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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Руководитель ООП канд. физ.- мат. наук Л.В. Гензе и М. Писися 2021 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПО ДЕТЕКТИРОВАНИЮ И ТРЕКИНГУ ГОРЯЩИХ И ТЛЕЮЩИХ ЧАСТИЦ ПРИРОДНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА ТЕПЛОВОМ ИЗОБРАЖЕНИИ

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

Орлов Константин Евгеньевич

Руководитель ВКР канд. физ,-мат. наук, доцент Д.П. Касымов подпись «<u>11</u>» июни 2021 г.

Автор работы студентка группы № 04704 К.Е. Орлов подпись «11 » Шоня 2021 г.

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

УТВЕРЖДАЮ Руководитель ООП канд. физ. -мат. наук Л.В. Гензе подпись CENS >> 2020

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы бакалавра / специалиста /магистра обучающемуся

Oplob Konemannun Ebiensebur

Фамилия Имя Отчество обучающегося

по основной образовательной программе подготовки бакалавров направление подготовки 01.03.03, Механика и математическое моделирование «Основы научно-исследовательской деятельности в области механики и математического моделирования»

1 Тема выпускной квалификационной работы

Верификация програминого кониленса по детекрипрованию И пренсику горянут и теропут гастину упрозного проискоторения на

2 Срок сдачи обучающимся выполненной выпускной квалификационной работы:

а) в учебный офис / деканат - <u>11 июна</u> б) в ГЭК - <u>14 июна</u>

3 Исходные данные к работе:

Объект исследования – <u>горящие и теконуие Саетицы природного происхотрения</u> Предмет исследования – <u>терлоорицисские хорантеристики горящую и теконум Сок</u>ицу Цель исследования – получить терлооручение сорантеристики сорящих и теконум Сок Задачи:

Провесние получатирания Эксперинент обстояние ролученные результаты экспериненто (занения салину ка паловом изобрансение), обстоятия результатов (нолучение зарантелистии) Методы исследования:

Литературный обгор, ризличение нозвищование, измерение, наблюдение, МК-недмозрания, алиритиче компенсово зрения, кабронные свертонные сеть, желеришент

Организация или отрасль, по тематике которой выполняется работа, -

TTY, UOA, negensqueraumon

4 Краткое содержание работы

Проверение селии экспериненнов по модетровоснию applycolo Juch

racing bornell resultancered to rangelauno aperdonuest u

Руководитель выпускной квалификационной работы

lully Jury acycum должность, место работы

Задание принял к исполнению

Студент, 117 должность, место работы

подпись

И.О. Фамилия

1. KARBIA

И.О. Фамилия

АННОТАЦИЯ

Общеизвестно, что природные пожары являются мощным природным И антропогенным фактором, существенно изменяющим функционирование и состояние лесов. Выгорают десятки тысяч гектаров лесных массивов и угодий. Нередко пожары возникают и развиваются вблизи населенных пунктов и городов. В настоящее время существует множество математических моделей лесных пожаров, но только небольшая их часть учитывает вклад горящих и тлеющих частиц, образующихся в зоне горения, которые являются одной из главных причин распространения пожаров во всем мире. Подобные частицы после генерации посредством конвективной колонки поднимаются и переносятся ветром на новую территорию, где в дальнейшем оседают на поверхность и с определенной вероятностью образуют новый очаг возгорания. Именно поэтому необходимо иметь спектр различных моделей или подходов по детектированию и получению характеристик горящих и тлеющих частиц природного происхождения, с целью прогнозирования возможных очагов пожара и для дальнейшего предотвращения катастроф.

В данной работе рассматривается серия экспериментов по изучению генерации и переноса воздушным потоком горящих и тлеющих частиц природного происхождения на уникальной установке "Огненный дракон". В качестве измерительного оборудования использовалась скоростная ИК-камера JADE J530SB с набором узкополосных фильтров, с помощью, которой регистрировался процесс генерации и переноса частиц. Используя оригинальные методы и алгоритмы получения теплового изображения, была получена база данных термограмм, которая в дальнейшем обрабатывалась при помощи специального программного комплекса.

В ходе выполнения данной работы была получена база данных характеристик горящих и тлеющих частиц (температура, размер, скорость переноса), а также опробованы различные подходы по детектированию данных частиц.

ОГЛАВЛЕНИЕ

введение	5
1. Горящие и тлеющие частицы как фактор возникновения очагов пожара	7
1.1 Основное понятие и физический механизм зажигания огненных частиц	7
1.2 Генерация горящих и тлеющих частиц	8
1.3 Перенос частиц	11
1.4 Поджоги, вызванные горящими и тлеющими частицами	13
2. Обзор существующих экспериментальных установок по моделированию генерации потока частиц природного происхождения	o 15
2.1 NIST Dragon	15
2.2 Генератор горящих и тлеющих частиц	16
3. Существующие методы анализа процессов генерации и транспортировки горящих и тлеющих частиц	19
3.1 Использование трехмерной диагностики с временным разрешением для характеристики ливней горящих тлеющих частиц в WUI	и 19
3.1.1 Система Emberometer №1	19
3.1.2 Экспериментальная схема и методика в NIST	23
3.1.3 Результаты эксперимента	25
3.1.4 Полевое развертывание системы измерения потока и состояния горящих частиц	29
3.1.5 Анализ кадров RGB, инфракрасной съемки, коллекции из поддонов	30
3.1.6 Результаты	32
3.2 Исследование экспериментов по уязвимостям горючих веществ к воспламенениям вокруг домов	33
3.2.1 Литературные исследования: угроза зазоров	33
3.2.2 Влияние размера мульчирующего слоя и потока частиц на уязвимость к воспламенению	35
4. Эксперименты в ИОА	37
4.1 Проведение серии экспериментов в Большой аэрозольной камере	37
4.2 Программный комплекс для обнаружения, отслеживания и определения характеристик на тепловизионно видео горящих и тлеющих частиц)м 39
4.2.1 Разработка графического интерфейса	39
4.2.2 Алгоритмы детекторов	40
4.2.3 Возможности графического интерфейса	41
4.2.4 Аннотировка роликов	42
5. Детектирование горящих и тлеющих частиц на основе сверточных нейронных сетей	45
5.1 Принцип работы сверточных нейросетей	45
5.2 Особенности YOLO трекера	49
5.2.1 Обучение YOLO	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	51
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	55

введение

Сегодня природные пожары являются одной из самых крупных природных катастроф, которые влекут за собой большие последствия (человеческие, материальные и экономические потери). Примерами таких пожаров, которые привели к чрезвычайным ситуациям, приведшим к непоправимым последствиям и значительному материальному ущербу, являются природные пожары в Греции 2007 г. (пожар уничтожил более 270 тыс. га леса, погибло 84 человека), в австралийском штате Виктория 2009 г. (уничтожено 450 тыс. га леса, погибло 173 человек), в европейской части России 2010 г. (ущерб оценивался в 85 млрд. 500 млн. рублей), в Сибири 2019 г. (ущерб 7 млрд. рублей), в Австралии 2020 г. (ущерб 3,5 млрд. долларов США) [1,2]. Причина данных пожаров была связанна с аномально высокой температурой, которая привела к засухе ряда лесных и других растительных массивов, данная аномальная активность была вызвана в ходе изменения существующего климата [3]. Горящие и тлеющие частицы в подобных пожарах служат распространителями очага пожара, захватывая все большие территории. Именно поэтому необходимо иметь спектр различных моделей или подходов, с целью прогнозирования возможных очагов пожара и для дальнейшего предотвращения катастрофы.

Один из таких подходов – созданная трехмерная система отслеживания и калибровки частиц с временным разрешением "Emberometer" [4]. Данная система способна характеризовать потоки искусственно генерируемых воздушных огненных частиц, с целью значительно улучшить техническую основу для строительных норм и стандартов WUI (стандарт предоставляющий методологию оценки опасностей возгорания, в диких землях вокруг существующих сооружений и требования к новому строительству, чтобы уменьшить вероятность возгорания конструкций от пожаров в диких землях) и для устранения уязвимостей воспламенения, который был откалиброван и испытан в полевых условиях во время полевых пожаров [5]. В другой статье были рассмотрены результаты воздействия горящих и тлеющих частиц природного происхождения на объекты частного сектора при WUI пожарах [6]. Для облегчения характеристик: относительная влажность, температура окружающей среды, скорость ветра, условия местности и состояние топлива был разработан автоматизированный алгоритм обработки изображений, который способен измерить проекционную площадь огненных частиц, может автоматически обнаруживать края фонового листа, поворачивать фотографию, обнаруживать края огненных частиц, удалять ошибочные

частицы (например, золу) и, наконец, измерять проекционную площадь. Модель также может предсказать массу частиц в пределах погрешности 5 % по сравнению с измерением.

В ходе данных исследований использовались генераторы горящих и тлеющих частиц из–за трудностей, а в большинстве случаев невозможности, получения необходимых данных о детектировании и моделирования таких частиц во время реальных пожаров. Данные генераторы способны генерировать частицы, близкие по характеристикам к частицам реальных пожаров, которые используются для проведения мелкомасштабных экспериментов по изучению аэродинамических характеристик частиц.

После изучения данных работ была проведена серия экспериментов, опираясь на собственную методику, по генерации, моделированию и обработке «огненного ливня», представляющего собой горящие и тлеющие частицы природного происхождения. Эксперименты проводились в Большой аэрозольной камере Института оптики атмосферы Сибирского отделения РАН. Воздействие на образцы потоком горящих частиц было обеспечено с помощью генератора горящих и тлеющих частиц собственной оригинальной разработки. Для определения температуры генерируемых установке на частиц использовалась инфракрасная камера JADE J530SB. По результатам проведения экспериментов была получена серия тепловизионных файлов, на которых запечатлен процесс падения частиц на модельный напочвенный покров. Обработка результатов экспериментов происходила в специальном программном комплексе специальной разработки.

1. Горящие и тлеющие частицы как фактор возникновения очагов пожара

1.1 Основное понятие и физический механизм зажигания огненных частиц

Горящие и тлеющие частицы – частицы, полученные в результате процесса нагрева и разделения горючих материалов, таких как кустарники, деревья (или любое другое природное топливо) и строительные материалы, на более мелкие горящие частички во время пожара, как естественного (удар молнии), так и искусственного (костры, беглые предписанные пожары, поджоги) происхождения [7-9]. Такие частицы, образующиеся во фронте пожара, могут переноситься ветром и вызвать новые очаги горения перед основным фронтом, подобное явление называется огненным ливнем. Этапы развития пожара отображены на (Рис. 1) и рассмотрены в следующих подпунктах.



Рисунок 1 – Этапы развития пожара: (1) генерация частиц, (2) связанная транспортировка и термохимическое изменение и (3) потенциальное воспламенение основного топлива [10]

Если упрощенно представлять развитие пожара, связанного с тлеющими частицами, то его можно разделить на несколько последовательных этапов: генерация частиц, их перенос шлейфом и силами сопротивления ветру, осаждение и воспламенение топливных пластов либо пламенем, либо тлением, и последующее поверхностное распространение огня.

1.2 Генерация горящих и тлеющих частиц

Данные частицы, следуя выше сказанному определению, образуются в процессе сжигания дикорастущих видов топлива (трава, кустарники, деревья) и деревянных конструкций (конструкционные элементы, черепица). Они образуются, когда горящее топливо термически разлагается, теряет структурную целостность и распадается на более мелкие горящие куски. Менее распространенный способ генерации частиц – генерация при взаимодействии линий электропередач с деревьями или элементами конструкций [11]. Характеристика частиц зависит от типа горючего (растительность или конструкция), его морфологии (геометрия, размер, пористость, плотность) и интенсивности возникающего пожара и характеристик плавучего шлейфа. В дополнение к физическим характеристикам огня частиц сложна, так как на их генерацию влияет множество факторов, независимо от источника, а именно скорость ветра в зоне горения, а также геометрия, распределение и ботанический состав растительности или структур - все это играет определенную роль. Без всестороннего понимания процесса генерации невозможно полностью параметризовать размер, форму, массу и энергетические характеристики генерируемых частиц [12].

Генерация частиц из растительного топлива изучалось как теоретически, так и экспериментально в лабораторных условиях и в полевых условиях. Ранние лабораторные эксперименты по исследованию частиц от полномасштабного горения деревьев проводились с использованием Дугласовой пихты "Pseudotsuga menziesii" высотой 5,2 м с максимальным обхватом шириной 3 м в Национальном институте стандартов и технологий (NIST) [13]. В условиях отсутствия ветра частицы собирались в кастрюли, наполненные водой. Предыдущие эксперименты по сжиганию Дугласовой пихты, проведенные не с целью сбора частиц, а для измерения скорости тепловыделения, авторы предложили три режима горения, основанные на содержании влаги в деревьях (СВВД): режим, при котором невозможно поддерживать горение, переходный режим, при котором деревья частично сгорают, и режим интенсивного горения [14]. Эти режимы СВВД были использованы в качестве основы для экспериментов по сжиганию частиц деревьев. Деревья с 50 % СВВД частично сгорели без образования частиц, в то время как деревья с 18 % СВВД были охвачены пламенем только через 20 °С после воспламенения, производя многочисленные частицы. Частицы, собранные с деревьев с 18 % СВВД, имели цилиндрическую форму со средним размером 4 мм в диаметре и длиной 53 мм. Площадь поверхности рассчитывалась и строилась по массе. Эта

зависимость полезна при сравнении площадных измерений частиц с массой, которая более тесно связана с содержанием энергии и ее влиянием на воспламенение. Кроме того, была проведена еще одна экспериментальная серия с Дугласовыми пихтами высотой 2,4 м с максимальным обхватом шириной 1,5 м [13]. Средний размер частиц составлял 3 мм в диаметре и длину 40 мм. Эта зависимость была позже изучена с помощью масштабного анализа между массой частиц и проекционной площадью для цилиндрических частиц, обнаружив, что площадь поверхности должна быть связана в степенной форме с массой в 2/3 степени [15]. Хотя это соотношение силовых законов и полезно, его следует оценивать для более разнообразного набора видов топлива.

Корейская сосна "Pinus koaiensis", произрастающая в Китае, Японии и Корее, была сожжена в строительном исследовательском институте (BRI) Fire Research Wind Tunnel Facility (FRWTF) для изучения различий в производстве частиц из разных пород деревьев [16]; ветер не применялся. Высоту поддерживали постоянной на уровне 4,0 м, а вокруг дерева ставили кастрюли с водой для сбора частиц. Для того чтобы корейская сосна полностью сгорела при значительном количестве произведенных горящих частиц, было установлено, что СВВД должен был держаться отметки ниже 35% без применения ветра. Сожжение прогрессировало несколько спорадически, что заняло более 2 минут. Это почти двойная продолжительность для Дугласовых пихт (50-60 °C). Установлено, что частицы имеют цилиндрическую форму со средним диаметром 5 мм и средней длиной 34 мм. Общая масса частиц, полученных от каждого размера дерева, нормировалась на массу, потерянную от дерева во время горения, а также на начальную массу дерева. В то время как деревья Дугласовы пихты демонстрировали снижение производства частиц (почти вдвое) при увеличении высоты деревьев (почти вдвое), корейские сосны производили большее соотношение массы частиц по сравнению с Дугласовыми пихтами. При одинаковом соотношении выгорающих частей (хвои и сучьев) Дугласовой пихты и корейской сосны это отражает различие в поведении горения между двумя видами. Как уже упоминалось ранее, для полного выгорания сосны корейской потребовалось более 2 мин, в то время как пихты Дугласа полностью выгорели за 50-60 °C для обеих испытанных высот. Дугласовые пихты ели также имеют более полную, менее открытую структуру, чем корейская сосна.

Для аналогичных СВВД, Дугласовы частицы производили более высокую скорость тепловыделения, чем корейская сосна [17,18]. Авторы пришли к выводу, что, поскольку большинство частиц, произведенных или собранных в этой серии, были относительно

небольшими, более интенсивный огненный шлейф от более высоких скоростей тепловыделения при сожжении пихты Дугласа мог полностью поглотить меньшие частицы до сбора [16]. В то время как листья с деревьев часто можно считать выгоревшими, прежде чем стать частицами, листья на Земле могут вести себя как пылающие частицы, особенно в ветреных условиях. Частицы от листьев наблюдались во время экспериментов по распространению пламени с листьями при ветре 2 м/с и наклоне 18 градусов. При ветре выше 4 м/с также наблюдалось обнаружение очагов пожара при пылающих листьях [19].

Серия полевых экспериментов в Национальном заповеднике Pinelands, штат Нью-Джерси, США была проведена в рамках предписанных поджогов в течение нескольких лет, с 2013 по 2016 год. Во время предписанных поджогов собирались частицы, и предпринимались шаги для связи данных частиц и растительности, скорости (ветер и частицы), состоянием горения (горение или отсутствие горения), расстоянием движения (расстояние от места расположения фронта пожара) и интенсивностью огня (размер пожара). К сожалению, метод сбора и полученные характеристики частиц с течением лет претерпевали изменения, что затрудняло сравнение частиц. В 2013 году частицы были собраны в трех местах с помощью кастрюль, наполненных водой, и тонкого пластикового слоя сверху, через который, как ожидается, будут проникать только реагирующие частицы [20]. Они отличали частицы от коры, а те от веток.

Большинство фрагментов коры имели толщину 1-2 мм, в то время как 70% собранных фрагментов ветвей имели диаметр от 2 мм до 4 мм. Толщина и площадь поперечного сечения частиц были сопоставлены с данными из [13,16], где показано, что данные экспериментов в лаборатории хорошо согласуются с данными полевых исследований. Предписанные поджоги выполнялись в последующие годы, а также сбор частиц [9]. Эти данные также совпадают с данными о частицах из пожара в Ангоре [21].

Еще один набор предписанных пожаров был выполнен в 2016 году с некоторой усовершенствованной технологией измерения частиц [22]. Кастрюли, наполненные водой, все еще использовались для сбора осажденных частиц, но без пластиковой пленки. Средний поток частиц, собранных в ранее описанных котлах, был коррелирован с интенсивностью огня, который произвел эти частицы, в диапазоне от 7,35 MBT \pm 3,48 MBT до 12,59 MBT \pm 5,87 MBT. Средний поток частиц определялся на основе общего количества собранных частиц, деленного на время, в течение которого они были собраны, начиная с момента осаждения первой частицы в контейнерах до последней частицы. Видеозапись показала, что

пик потока частиц длился всего одну-две минуты. В итоге, более высокая интенсивность огня привела к появлению большего количества частиц, достигая максимума в 0,82-1,36 м⁻² с⁻¹.

В попытке понять генерацию частиц и предоставить валидационные данные для будущих моделей, деревянные ящики были использованы в качестве заменителей зданий [23]. Науаshi и Iwami исследовали влияние размера деревянных ящиков при различных условиях ветра и его влияние на массу частиц, собранных ниже по течению. Все деревянные ящики имели высоту 450 мм, квадратную ширину и длину 1000 мм, 1500 мм и 2000 мм. Масса деревянных ящиков и количество выпущенных частиц отслеживались как функция времени, причем более поздние образцы отбирались каждые 30 с. Кастрюли с водой и верхняя ССD-камера были размещены в трех местах ниже по течению для каждого эксперимента. Всего для всех проведенных экспериментов было собрано 2095 частиц, причем большинство частиц имели массу от 0,005 г до 0,01 г. По мере увеличения скорости ветра средняя масса, а также скорость генерации собранных частиц также медленно увеличивались при более низких скоростях ветра, а затем быстро при более высоких скоростях ветра. Скорость генерации частиц также резко возросла ближе к концу экспериментов, когда рухнул деревянный ящик.

1.3 Перенос частиц

Горящие и тлеющие частицы переносятся шлейфом и воздушными потоками. Данный перенос считается наиболее изученным аспектом детектирования таких частиц, так как природа процессов переноса поддается простым расчетным методам в соответствии с законами движения Ньютона (Рис. 2), хотя характеристики горения частиц усложняют эти расчеты. После того, как частицы генерируются, они поднимаются огненным шлейфом и переносятся окружающими ветрами. Важным, но менее изученным аспектом транспортировки было накопление горящих и тлеющих частиц вблизи препятствий [12].



Рисунок 2 – Схема формирования траектории движения частиц огня [10]

Шлейфовые корреляции или CFD-моделирование для осесимметричных и линейных пожаров [24-31] могут использоваться в сочетании с коэффициентами сопротивления для определения подъемной (вертикальной) силы, приложенной к частицам. Боковые (горизонтальные) компоненты силы определяются аналогичным образом на основе профиля скорости ветра. Эти расчеты требуют информации о характеристиках шлейфа, профиле ветра и изменениях термохимических свойств частиц [32]. Новаторская работа в этом аспекте проблемы была проведена Tarifa и др. [24,33], которые экспериментально определяли сопротивление и скорость горения сфер, цилиндров и пластин из различных пород древесины. Ключевой вывод этой работы состоял в том, что можно предположить, что частицы падают с конечной скоростью, поскольку это достигается быстро по сравнению с более длительным временем горения частицы. Эта работа была позднее расширена Lee и Hellman [34], Muraszew и др. [35], и Albini [36-38], которые рассматривали вознесение частиц с помощью линейных термов и огненных шлейфов и предлагали методы моделирования их переноса и скорости горения, в конечном итоге приводя к практическим моделям для максимального расстояния, которое может обнаружить частицу. За этими ранними работами последовало несколько теоретических и экспериментальных исследований переноса частиц, затрагивающих различные аспекты проблемы [39-45]. Эти исследователи применили различные модели плавучего шлейфа для расчета подъема и последующего ветрового переноса частиц различной формы (сфер, цилиндров, дисков). Himoto и Tanaka [41], Коо и др. [42], Kortas и др. [46], и Sardoy и др. [44,45], изучали перенос частиц с использованием различных CFD моделей для прогнозирования характеристик шлейфа и переноса частиц.

Модель для лофтинга и транспортировки частиц была включена в CFD модель FIRETEC [43] компанией Коо и др. [42]. FIRETEC - это основанная на физике модель диких пожаров [43] другой гораздо менее цитируемый и хорошо известный подход, заключающийся в вычислении распределения концентраций аэрозолей (загрязнителей) в предположении, что частицы достаточно малы, чтобы считаться такими типами загрязнителей [47]. Катеі также исследовал несколько пожаров и построил график зависимости количества точечных пожаров от расстояния и скорости ветра [48]. Еще одним важным, но менее изученным аспектом переноса было накопление частиц вблизи препятствий, которое было экспериментально изучено лишь недавно [49]. Были также исследования, изучающие частицы и измерения, такие как поток частиц (частицы в единицу времени площади) от контролируемого пожара [22].

1.4 Поджоги, вызванные горящими и тлеющими частицами

Самым важным аспектом проблемы частиц – вопрос о способности частицы или ливня частиц воспламенить топливный слой после приземления. При столкновении с топливным слоем частицы могут находиться в трех состояниях: пламенеющем, тлеющем или они могут быть минимально реагирующими и просто охлаждаться. Если достаточное количество энергии передается от частицы к соседнему топливному слою, топливо нагревается и может начать пиролиз, в то время как частица теряет энергию в процессе. Тепло, выделяющееся в результате реакции тлеющей частицы, может также инициировать самоподдерживающееся тление слоя топлива, которое в конечном итоге может перейти в пламя. В качестве альтернативы пиролизат может быстро смешиваться с окружающим воздухом, образуя горючую газовую смесь вблизи частиц, которая может непосредственно воспламеняться в газовой фазе в виде пламени. Этот сложный процесс воспламенения зависит от нескольких факторов, включая характеристики частиц при посадке (тип древесины, размер и состояние горения), характеристики слоя топлива, на который приземляется частица (тип топлива, температура, плотность, пористость, пустотная фракция, влажность) и условия окружающей среды (скорость ветра, относительная влажность, температура) [12]. Исследование такой сложности должно быть параметризовано, чтобы можно было анализировать влияние различных параметров и разрабатывать прогнозные модели.

Зажигание, вызванное горящими и тлеющими частицами, подобно образованию частиц, гораздо менее понятно по сравнению с процессами переноса частиц. Дикорастущие виды топлива имеют морфологию, которая очень сильно отличается от сплошного твердого тела. Как правило, поверхностное топливо состоит из тонких, твердых кусков биомассы, расположенных с образованием гетерогенного пористого материала [12]. Морфология топлива может варьироваться от порошка и очень тонких кусочков (например, угольная мелочь, трава и т. д.), к относительно большим кускам древесного материала (например, иголки, сучки и ветки). Состояние топлива может меняться от влажного к сухому и от живого к мертвому. Следовательно, характеристики воспламенения этих топлив сложны и представляют собой сложные задачи. Кроме того, пористый характер поверхностных топлив допускает прямое начало тлеющего воспламенения. Таким образом, воспламенение этих топлив представляет собой весьма сложный процесс, который зависит от размера и состояния частицы (тлеющей/раскаленной, пылающей), характеристик слоя топлива, на который она

приземляется (температура, плотность, пористость, влажность), и условий окружающей среды (температура, влажность, скорость ветра) [12]. При воспламенении дикорастущих видов топлива тонкодисперсные виды топлива, такие как трава, листья, хвоя, мульча и компост, как правило, являются наиболее простым и распространенным видом топлива, воспламеняемого с помощью частиц. Высокая пористость топлив позволяет верхнему слою воспламеняться и гореть с достаточной доступностью кислорода, в то же время теплоизолируя нижнюю часть горящего слоя из-за низкой теплопроводности биомассы и воздуха.

WUI, городские и неформального урегулирования, техногенных структур пожары также могут возникать от горящих и тлеющих частиц. Развитие генераторов NIST firebrand привело к прогрессу в этой актуальной области [50]. Обзор Caton и др. [51] дает обзор нескольких компонентных структур, которые были идентифицированы как уязвимые места в результате обнаружения частиц; в обзоре освещаются данные, полученные из США [50]. В обзоре Suzuki [52] описываются исследования уязвимостей, связанных с японским строительством при городских пожарах. В частности упоминаются: кровли, водосточные желоба, карнизы, вентиляционные отверстия, сайдинг, окна, веранды, заборы, мульчи и мусор. Эти уязвимые компоненты сами по себе могут служить топливом, но они могут служить местом для сбора мелкого топлива, такого как листья или сосновый апад с соседних деревьев. Эти тонкие виды топлива, как правило, скапливаются в щелях вдоль конструкций, таких как участки крыш и водосточные желоба. Эти особенности здания могут также обеспечить путь внутрь дома для частиц огня, например вентиляционные отверстия и открытые окна. Таким образом, виды топлива, которые могут быть воспламенены с помощью частиц в конструкциях, гораздо более разнообразны, чем природные виды топлива, включая синтетическое топливо, используемое в кровле или сайдинге, и минимально обработанное топливо, полученное из биомассы, такое как террасная доска. Эти виды топлива также охватывают диапазон от очень мелкого топлива (сосна и листовой мусор) до более крупных компонентов древесины (настил). Крупные древесные компоненты имеют низкую пористость (малая пустотная фракция) и обычно требуют больше тепла для воспламенения. Следовательно, эти более крупные материалы требуют более значительных взаимодействий пламени и горящих частиц для преодоления требований, установленных более крупными энергетическими потребностями.

2. Обзор существующих экспериментальных установок по моделированию генерации потока частиц природного происхождения

В настоящее время существует потребность в экспериментально проверенной информации о том, как горящие частицы, которые образуются во фронте пожара, воспламеняют постройки в случае пожаров на WUI, являясь при этом источником городских пожаров. Отсутствие таких экспериментальных данных делает невозможным развитие методов прогнозирования пожарной опасности, а также совершенствования мер и рекомендаций для проведения более эффективной работы по предотвращению возгорания, обнаружения и тушения лесных пожаров. Следовательно, необходимо использование специальных измерительных комплексов, позволяющих моделировать перенос тлеющих частиц и регистрацию их воздействия на напочвенный покров и деревянные постройки в естественных условиях. Существующие генераторы частиц позволяют генерировать частицы, совпадающие по характеристикам с частицами из реальных пожаров. Однако следует отметить, что характерным недостатком всех описанных в этой главе устройств является отсутствие тестирования генерируемых ими частиц и потоков на предмет соответствия той или иной интенсивности пожара, а также возможности длительной непрерывной подачи горючего материала [53].

2.1 NIST Dragon

NIST Dragon - первый прототип установки, позволяющей генерировать горящие и тлеющие частицы, разработанный в Национальном институте стандартов и технологий (NIST, National Institute of Standards and Technology, USA [54]).



Устройство [54] данного генератора (Рис. 3) состоит из вертикальной трубы, которая соединена с воздуходувкой внизу гибким шлангом. Вертикальная труба сделана в виде двух отдельных частей, а верхняя секция снимается с нижней трубы, чтобы загружать топливные заготовки на тонкую проволочную сетку, установленную на верхней части нижней трубы. Топливо (мульча и древесные куски) воспламеняется с помощью двух пропановых горелок, расположенных в нижней трубе под сеткой. Сгенерированные горящие частицы поднимаются путем вдувания воздуха в верхнюю трубу и, наконец, выхода из нее.

Данный генератор впервые использовался для проведения экспериментов по изучению проникающей способности горящих частиц в вентиляционные отверстия [54], а также в уязвимые места элементов кровли (ориентированно-стружечная плита (ОСП), толь и черепица) [55, 56]. Авторы смоделировали плоскую крышу, а также конструкция двускатной (угловой) крыши. В итоге они провели оценку вероятности воспламенения элементов кровли в зависимости от количества и размера частиц, а также конструкции крыши.

Так как ветер занимает важнейшее место в распространении WUI пожаров в США и городских пожаров в Японии, NIST стал сотрудничать со строительным научноисследовательским институтом (BRI) в Японии, который обладает одной из немногих крупномасштабных аэродинамических труб в мире, созданной специально для экспериментальных пожаров – аэродинамическая труба для исследования пожаров (FRWTF). Взаимодействие генератора обгоревших частиц NIST и FRWTF в BRI привело к прогрессу в оценке уязвимости построек при воздействии на них горящими и тлеющими частицами [57].

Также существует модификация данного генератора горящих и тлеющих частиц fullscale Continuous Feed Firebrand Generator [58]. Отличия от оригинала наблюдаются в конструкции, которая состоит из двух частей: основного корпуса и компонента непрерывной подачи.

2.2 Генератор горящих и тлеющих частиц

В 2015 г. в Институте оптики атмосферы СО РАН по техническому заказу ТГУ была сконструирована и создано уникальное устройство для генерации горящих и тлеющих частиц различного вида, скорости, размера и формы. Разработанный генератор горящих частиц (ГГЧ) имеет ряд отличительных особенностей, для долгой непрерывной подачи горючего материала установлен шнековый механизм подачи горючего с воздушной противо-дымовой завесой. Установка состоит из трёх сборных частей, что позволяет изменять вид, форму и

характеристику конструкции в зависимости от задачи. В конструкцию ГГЧ предусмотрены ряд окон и отверстий для измерений температуры и тепловых потоков, топка ГГЧ изнутри обмазана высокотемпературным теплозащитным составом. В комплекс ГГЧ входит блок измерений температур до 1000 °C и тепловых потоков, а в роли регистрирующей аппаратуры используется видеокамера и быстродействующая ИК-камера исследовательского класса JADE J530SB в том числе и для измерения температуры движущихся частиц [53].

Основные технические характеристики:

1. Управление скорости воздушного потока и увлекаемых потоком горящих частиц осуществляется в пределах 1 – 10 м/с при помощи регулировки напряжения питания основного вентилятора.

2. Максимальная дальность вылета горящих частиц – 5 ÷ 10 м.

3. Максимальная температура частиц до 700 °С.

4. Внутренняя поверхность горна выполнена с нанесением теплозащитного покрытия.

5. Установка имеет колеса для перемещения.

6. Мощность потребления электрической энергии 200 Вт, напряжением 220 В.

В состав установки входит (Рис. 4): Приёмный бункер (1) для загрузки образцов исследуемого горючего топлива. Объем бункера составляет 10 л. Шнековый механизм (2) подачи горючего материала в горн. Привод шнека через редуктор электрическим двигателем, либо вручную за колесо привода. Горн (3), по которому осуществляется движение частиц под воздействием воздушного потока, их зажигание и генерация в окружающую среду. Электрический силовой шкаф (4), обеспечивающий распределение электроэнергии и защиту установки от перегрузок и коротких замыканий. Для подачи потока воздуха в канал горения используется канальный вентилятор TUBE 250XL 5 с максимальной производительностью 1100 м³/час. Скорость подачи воздуха определяется величиной подаваемого напряжения на электромотор вентилятора через симисторный регулятор напряжения или через ЛАТР (лабораторный автотрансформатор). Контрольные измерения скорости воздушного потока



Рисунок 4 – Общий вид установки для генерации горящих и тлеющих частиц. 1 – приемный бункер; 2 – шнековый механизм подачи частиц; 3 – рабочая зона горна; 4 – электрический силовой шкаф; 5 – канальный вентилятор TUBE 250XL; 6 – измерительные окна

Измерение температуры горючей смеси производится в одном из 3-х отверстий (6) расположенных по длине горна. Измерение тепловых потоков производится через специальные люки в двух местах горна. Кроме того в состав установки входит система подачи горючей смеси в горн с регулировкой подачи горючего газа и подачи воздуха. Конструкция установки для генерации горящих и тлеющих частиц позволяет использовать блок измерений температур до 1000 °C с выносной термопарой и блок измерений величины тепловых потоков с выносным датчиком, которые выполнены в одном корпусе со стандартным креплением на ДИН – рейку.

В качестве теплового источника используется ручная газо-воздушная горелка инжекторного типа (ГВМ-1б), а для поджога газо-воздушной смеси используется газовая зажигалка типа XHG360 с пьезоэлементом. Регулировка скорости и объём подачи газа осуществляется с помощью вентиля редуктора установленного на баллоне с газом и рычажного клапана на горелке предусмотренного конструкцией, давление газа пропан-бутана 0,1–0,2 МПа, максимальный расход газа 1 м³/час [53].

3. Существующие методы анализа процессов генерации и транспортировки горящих и тлеющих частиц

3.1 Использование трехмерной диагностики с временным разрешением для характеристики ливней горящих и тлеющих частиц в WUI

В данной статье движение и размер переносимых воздухом горящих и тлеющих частиц решаются с помощью 3D-оптических методов. Движение частиц изучается с помощью 3D-Велосиметрии слежения за частицами (3D-PTV), которая позволяет отображать отдельные траектории частиц. 3D-реконструкция формы частиц (3DPSR), следуя принципам визуальной концепции корпуса [59], выполняется на каждом временном шаге для получения характерных размеров огненных частиц. Все неопределенности представлены в виде расширенных неопределенностей, $X \pm k$ *uc*, из комбинированной стандартной неопределенности (расчетное стандартное отклонение) ис и коэффициента покрытия k = 2 (95% уровень, предполагающий нормальное распределение данных) [4].

3.1.1 Система Emberometer №1

Фотография и схематическое изображение системы представлены на (Рис. 5) и (Рис. 6) соответственно. Измерительное устройство, известное как "emberometer", состоит из четырех компактных камер потребительского класса (Sony DS-RX10 M3), направленных в центр контрольного объема (~2 M^3), расположенного примерно в 1,2 м от плоскости камеры. Все камеры работают с минимальным фокусным расстоянием (f = 8,8 мм) и наибольшей диафрагмой (f/2,4). Фокусировка выполняется в центре контрольного объема, легко визуализируемого как пересечение четырех коллимированных лазеров (серии CPS, Thorlabs), тщательно выровненных во время калибровки. Камеры одновременно записывают видео высокой четкости (HD) (1080p, 120 Гц) переноса по воздуху горящих частиц, перемещающихся в пределах объема измерения. Запуск камеры осуществляется с помощью специально разработанного центра управления (CAMremote-4CAM, VP-Systems), который может дистанционно управляться пользователями (RF 433.92 МГц, диапазон ~2.4 км) [4].



Рисунок 5 – Фотография системы 3D-PTV / PSR (вид сзади) [4]

Центр управления также работает с лазерным модулем, установленным для доставки точки, видимой со всех видов камеры в начале каждой последовательности записи. Исчезновение лазерной точки используется для последующей синхронизации видеопотоков по четырем камерам во времени. Это очень важно, так как каждая камера имеет свое собственное время отклика, даже если начальное событие запуска является общим. Правильность синхронизации видео было проверено путем отображения счетчика миллисекунд и обнаружена в промежутке времени между двумя последовательными кадрами.

В дополнение к дистанционному управлению, система предназначена для обеспечения предварительного просмотра в реальном времени для всех камер, что позволяет пользователям контролировать качество изображения и настройки камеры. Для этого четыре видеопотока объединяются в один HD-поток с помощью quad multi-viewer (Sofly HDSW4-Q). Выход multi-viewer подключен к дальнодействующим (~1 км), низким латентным (<1 мс) HD-видеопередатчикам (Amimon Connex, RF 5.1-5.8 ГГц), который подает видеосигнал на портативную управляющую установку, оснащенную родительским приемником. В дополнение к мгновенному мониторингу, пользователи имеют возможность удаленно

одновременно записывать четыре видео для устранения неполадок. Электроника системы встроена в усиленный пакет с воздушным охлаждением для облегчения настройки в случае развертывания на местах [4].



Рисунок 6 – Схематическое изображение системы 3D-PTV / PSR (AL.: Лазер Выравнивания) [4]

После получения, видеофайлы преобразуются в последовательности цветных изображений (1920*1080 пикселей) с помощью промышленного программного обеспечения для видео. Последовательности изображений затем синхронизируются, и их цветовое пространство изменяется на 8 битные оттенки серого. 3D отслеживание частиц выполняется с помощью программного обеспечения с открытым исходным кодом OpenPTV выходные файлы Raw tracking используются для создания индивидуальных файлов идентификации частиц (PID), сбора временной истории основных характеристик частиц (например, 3D-местоположение, скорость и т. д.). 3D-реконструкция формы частиц выполняется для каждой частички на каждом временном шаге на основе информации о цветном изображении и ранее созданных файлов PID. В свою очередь, файлы PID дополняются информацией о размере, извлеченной из 3D-моделей частиц, и далее используются в качестве входных данных для визуализации и анализа данных. Шаги отслеживания и размеров требуют калибровки с

использованием 3D-мишеней различной природы. Все внутренние коды разрабатываются с использованием инструментов MATLAB и Fortran [4].

Применяется следующий набор операций [4]:

1-калибровка системы 3D-PTV: это относится к пространственной калибровке системы 3D. Создается изображение 3D-объекта, и создаются файлы ориентации камеры. Они содержат важную информацию, относящуюся к внешним параметрам камеры (положения и углы камер относительно выбранной точки отсчета в измерительном объеме) и внутренним параметрам (величины, относящиеся к модели отверстия, используемой для представления камер, и ошибки позиционирования на датчиках камеры, например из-за оптических искажений, и т.д.);

2-обнаружение частиц: частицы обнаруживаются с помощью оператора порога интенсивности. Координаты центра частицы (найденные с помощью центроидного оператора, взвешенного по интенсивности пикселей) перечислены для каждого 2D-изображения;

3-установление соответствий частиц между различными видами камер: это делается с использованием метода пересечения эпиполярных линий, более подробную информацию можно найти в [60];

4-вычисление 3D координат частиц;

5-отслеживание частиц: использование информации, найденной как в пространствах 2D-изображений (2D-изображение с каждой камеры), так и в пространстве 3D-объектов (предварительно вычисленные 3D-координаты частиц).



Рисунок 7 – Пример видеокадра, записанного камерой 1 во время генерации огненных частиц (изображение в оттенках серого) [4]

Шаги с 1 по 5 обеспечивают отображение траекторий частиц в измерительном объеме с временным разрешением. Обратите внимание, что в настоящей работе частицы находятся в состоянии тлеющего горения и поэтому излучают сильное оранжево-желтое свечение. Это уменьшает потребность в освещении, обычно требуемом в обычных экспериментах по отслеживанию частиц для визуализации трассировщиков. Шаг 2 применяется здесь без какой-либо двусмысленности, т. е. частицы хорошо отличается от фоновых элементов (Рис. 7).

3.1.2 Экспериментальная схема и методика в NIST

Етвеготеter был протестирован в национальной пожарной исследовательской лаборатории NIST (NFRL). Экспериментальная схема показана на (Рис. 8). Етвеготеter был установлен ниже выхода генератора горящих частиц. Генератор был устроен так, что создавал поток пылающих частиц, пересекавших калибровочный объем системы. Генератор частиц состоял из воздуходувки (Cincinnati Fan PB-9), соединенной в линию с цилиндрическими воздуховодными элементами, размеры и расположение которых аналогичны тем, которые использовались в предыдущем исследовании частиц [8]. В настоящей работе топливо было изготовлено из цилиндрических березовых /кленовых дюбелей (диаметр: $6,6 \pm 0,3$ мм, длина: $50,6 \pm 0,1$ мм) со скошенными краями. Содержание влаги в топливе измерялось с помощью портативного влагомера (Delmhorst J-2000) и было подтверждено, что оно составляет менее 6 % [4].



Рисунок 8 – Экспериментальная схема для испытаний в Национальной лаборатории пожарных исследований (воздуходувка и контур зажигания генератора зажигательной смеси здесь не показаны): а) трехмерный вид; б) вид сверху с характерными размерами [4]

Испытание с огненными частицами проводили следующим образом [4]: 1) в генератор горящих частиц вводили 350 ± 1 г первичного топлива (Рис. 9 (а)); 2) устанавливали частоту вращения вентилятора на 5 Гц и зажигали две пропановые горелки (Bernzomatic TS8000), которые вставляли чуть ниже топливной партии, с противоположных сторон. Зажигание поддерживалось в течение 45 секунд; 3) через 45 секунд подача пропана прекращалась, и наблюдалось время ожидания 15 секунд; 4) Частота вращения вентилятора устанавливалась на 20 Гц. Вскоре после увеличения скорости вентилятора на выходе генератора образовалось большое пламя. Длина пламени медленно уменьшалась до полного исчезновения через ~30 секунд. Первые частицы были получены вскоре после начала горения (~3 секунды), и генерация продолжалась около 75 секунд.

Большинство частиц были собраны в алюминиевые поддоны, заполненные водой (Рис. 9 (b)), занимающие площадь около 2,4 м² и начинающиеся на 0,56 м ниже выходной плоскости генератора частиц. Собранные огненные частицы высушивали и измеряли их размеры, чтобы получить независимый набор данных для сравнения распределения частиц по размерам [4].



Рисунок 9 – Подготовка к сбору данных:а) Партия топлива, загруженного в генератор горящих частиц; b) Устройство водяного поддона для сбора частиц [4]

Кроме того, для обеспечения базовой оценки результатов измерений emberometer с известными частицами была проведена проверка системы на месте с использованием негорючих дюбелей (палочек, идентичных тем, которые используются для получения

огненных частиц). Палочки были выброшены из генератора зажигательной смеси без зажигания, чтобы обеспечить аналогичные траектории и случайное поведение, как в случае горения. Палочки были окрашены в белый цвет, и для обеспечения адекватной видимости было предусмотрено дополнительное освещение с теми же настройками камеры, что и для сжигания частиц [4].

3.1.3 Результаты эксперимента

Авторы получили горящие частицы с использованием дюбелей с теми же размерами, что и в случае несгорающей валидации. Тлеющие частицы направлялись в контрольный объем в соответствии с процедурой, описанной в предыдущем разделе. Полные результаты отслеживания показаны на (Рис. 10) вместе с обозначенной областью, используемой для расчета потока. В ходе испытания было прослежено и измерено в общей сложности 1032 частицы.

Частицы были захвачены и погашены в кастрюлях с водой, расположенных на полу для последующего подсчета и измерения. После испытания авторы высушивали и помещали фотографирования. Калиброванные изображения накопленные частицы для были использованы для измерения 1155 восстановленных частиц с использованием собственного сценария анализа. На (Рис. 11) показана подборка восстановленных тлеющих частиц, а также ограничительные рамки, используемые для автоматической оценки размеров каждой частицы. Несмотря на то, что при сборе, транспортировке, сушке и фотографировании частиц были приняты меры предосторожности, а некоторые части могли разбиться/рассыпаться на несколько более мелких частей и могли быть выброшены. Ограничения этого метода измерения на основе изображений включают характеристику ширины частиц, особенно для более длинных изогнутых частиц (например, частицы № 4 Рис. 11) [4]. Ограничивающий прямоугольник был выровнен по самой длинной оси и определен как наименьший ограничивающий прямоугольник. Этот метод сопоставим с методом калибровки, основанным на ортогональных видах восстановленных частиц emberometer, как показано на (Рис. 12).



Рисунок 10 – Горящие частицы, отслеживаемые через контрольный объем (N = 1032) [4]

Гистограммы распределения размеров частиц представлены на (Рис. 13). Сравниваются распределения, как для собранных горящих частиц, так и для измерений собранных с emberometer, нормализованные по общему количеству частиц, собранных каждым методом. Синие полосы соответствуют собранным частицам, в то время как оранжевые полосы соответствуют emberometer измерениям воздушных частиц. На (Рис. 13 А) показано распределение длинного измерения. Отмечено, что процессы горения



Рисунок 11 – Горящие палочки были захвачены и погашены в кастрюлях с водой. Размеры каждой захваченной частицы (N = 1155) были измерены с использованием калиброванного изображения [4]



Рисунок 12 – Ортогональные представления восстановленной частицы показывают хорошее согласие, особенно в направлениях х и у. Добавленная длина наблюдается в z-направлении из-за отсутствия видимости задней части частиц, увеличивая размер визуального корпуса [4]

и принудительного выброса в генераторе горящих частиц существенно изменяют размеры частиц, и наблюдается значительное количество более коротких частиц по сравнению с исходной длиной. Очень хорошее согласие наблюдается между двумя методами измерения, так как распределения перекрываются. В обоих случаях существует потенциальное ограничение на подсчет самых маленьких частиц, в частности, поскольку крошечные марки могут быть достаточно плавучими, чтобы избежать объема управления emberometer, а также поддонов сбора, поскольку они транспортируются через вытяжной колпак [4].



Рисунок 13 – Распределение размеров огненных частиц, измеренных emberometer, по сравнению с размерами, физически собранными в резервуарах для воды [4]



Рисунок 14 – Совокупное количество огненных частиц (на м²) и количество потоков частиц в течение испытательного периода [4]

Дополнительным ограничением является то, что калибровка тушеных частиц с использованием метода визуализации дает только два измерения. Для сравнения с измерениями emberometer следует выбрать соответствующий размер. Основываясь на ориентации собранных частиц на фотографиях, соответствующий вид имеет плоскость у-z вдоль оси х (т. е. видны два самых длинных измерения). Это сравнение представлено на (Рис. 13 Б). Отмечается, что ошибка в emberometer измерения систематически завышает размер частиц аналогично ошибке, наблюдаемой на (Рис. 12 С). В данном случае можно предположить, что собранные частицы имеют сопоставимые размеры вдоль осей х и у (на основе их исходных форм), таким образом, х-размерность, вероятно, обеспечит лучшее измерение короткого размера частиц. Х-размерность частицы показаны на (Рис. 13 С) и показывает лучшее согласие с собранным распределением размеров частиц [4].

Как и в случае с валидацией, поток огненных частиц также учитывался в случае сжигания. В связи с существующими ограничениями в отношении точности реконструированного объема здесь представлен только поток количества частиц. Поток количества частиц теперь измерим и представлен на (Рис. 14). Черные точки соответствуют суммарному числу частиц, проходящих через обозначенную область, и считываются по левой оси. Красная линия соответствует потоку чисел как функции времени и читается по правой

оси. Подтверждено, что флуктуации потока чисел коррелируют с визуально наблюдаемыми флуктуациями генерации огненных частиц во время испытания [4].

3.1.4 Полевое развертывание системы измерения потока и состояния горящих частиц

Система измерения потока и состояния частиц (emberometer) состоит из алюминиевого прямоугольного корпуса с размером поперечного сечения 250 × 350 мм. Частицы собираются в алюминиевую воронку (диаметр 550 мм, расположенную на 400 мм выше корпуса) и падают через прямоугольную щель 250 × 100 мм. Когда образцы попадают в корпус, они проходят перед задним освещенным экраном размером 250 × 350 мм (Рис. 15).





Изображения частиц, проходящих перед этим экраном, были сняты камерой видимого спектра (Sony HD Handycam, частота кадров 50 Гц), и длинноволновой инфракрасной (ИК) камерой, записывающей в спектральном диапазоне 7,5–14 лм (FLIR A615) [5]. Длина emberometer была рассчитана на размещение ИК-камеры на таком расстоянии, которое позволяло запечатлеть весь экран в одном кадре. Торцевые крышки использовались для обеспечения контролируемой среды освещения. Учитывая короткое время пребывания частиц перед экраном (порядка 0,2 с), необходима высокая частота кадров, чтобы обеспечить захват каждой частицы более чем в одном кадре (т. е. минимум 50 кадров в секунду), повышая точность оценки размеров частиц. Так же требуется высокая выдержка, чтобы избежать размытого изображения, а подсветка использовалась для записи объектов с высоким контрастом и четко очерченными границами. Как только частицы падают перед экраном, они попадают в поддон, что позволит провести физические измерения, с целью проверки методов анализа изображений. Площадь воронки известна, и поэтому поток может быть выражен как количество частиц на единицу площади и времени. Однако учет количества частиц на единицу площади, возможно, приведет к интерпретации результатов как репрезентативных для всей исследуемой области, а не для места измерения. Поэтому поток частиц - число частиц, поступающих в emberometer в единицу времени. Были проведены два различных анализа: один для видеозаписи, записанной с видимой (RGB) и ИК-камеры, расположенной внутри emberometer, и один для статического изображения частиц в поддон.

3.1.5 Анализ кадров RGB, инфракрасной съемки, коллекции из поддонов

Для определения количества частиц и их свойств (времени прибытия и размеров) был принят метод многообъектного слежения, основанный на движении [61]. Этот метод использует природу падения горящих частиц для распространения информации от кадра к кадру. Шаги этого метода имеют следующий вид [5]:

(1) Изображения корректируются с учетом наклона камеры, кадры были обрезаны, чтобы соответствовать экрану emberometer с подсветкой, и был рассчитан размер пикселя. Чтобы сократить время обработки, кадры, в которых не было никаких частиц, фильтровались и удалялись. Кадры исключались из дальнейшего анализа, если в них не было пикселей в синей полосе с цифровыми числами (DN) больше 30, что являлось порогом насыщения частиц из-за высокой контрастности подсветки. Кадры, в которых были обнаружены частицы, затем были скомпилированы в новое видео, чтобы можно было провести дополнительный анализ изображения.

(2) Чтобы учесть изменение фона из-за изменения света или дрожания прибора, фон определяется путем интерпретации каждого пикселя в кадре как смеси 3 нормальных гауссовых распределений, по одному для каждой цветовой полосы. Хотя интенсивность цвета пикселя, составляющего фон, известна, она будет немного изменяться во времени из-за шума, создаваемого записью изображения, например изменения освещенности. Смесь гауссианов приводит к мультимодальному цветовому распределению пикселя, что помогает распознавать пиксели переднего плана при наличии дрожания камеры [62]. Это необходимо из-за дрожания камеры, связанного с увеличением (индуцированной) интенсивности ветра во время пожара.

(3) Обнаруживаются частицы переднего плана, и применяется ряд морфологических операций. Эти операции изменяют форму объекта в соответствии со значением соседних пикселей (например, эрозия: удаление пикселей, расширение: добавление пикселей). Далее

проводится операция по объединению пикселей, принадлежащих одной и той же частице, и созданию на переднем плане "капли", представляющей собой частицу. Это и составляет трек.

(4) Траектории и треки оцениваются с помощью фильтра Калмана [63].

(5) В следующем кадре (или временном шаге) обнаруженные частицы назначаются треку путем применения версии венгерского алгоритма Мункреса [64] для минимизации евклидова расстояния между центроидом трека и центроидом обнаруженного объекта, т. е. Как только такое расстояние вычислено, все значения организованы в матрицу затрат m × n, где m и n-количество следов и обнаружений соответственно. Максимальное расстояние для стоимости не присвоения обнаруженной частицы треку было установлено равным квадрату в 3 пикселя. Эта величина была скорректирована экспериментально на основе размера и скорости частиц и оставалась постоянной для всех анализов. Если порог расстояния слишком мал, модель разделит одну и ту же дорожку на несколько частиц. И наоборот, если предел расстояния слишком велик, несколько частиц могут быть включены в одну дорожку.

(6) Когда обнаружение не принадлежит ни одному предыдущему треку, генерируется новый трек. Если частица не была видна в течение определенного числа кадров, выбранных на основе исследуемой проблемы, дорожка удаляется. Это значение было выбрано равным трем кадрам. Этот процесс применяется на каждом пикселе внутри кадра и для каждого кадра. Вычислительное время было сокращено за счет предварительного выбора кадров для анализа на основе ручного наблюдения за частицами. Каждый выбранный кадр был помечен временем до первоначального времени эксперимента, и каждая частица помечена уникальным контрольным номером в соответствии с порядком прибытия от времени зажигания. Результатом анализа трекинга является матрица, содержащая временные значения положения центроида и площади частиц. Время прибытия оценивалось как время, когда частица впервые попадает в камеру emberometer. Перед началом эксперимента на каждой камере регистрировался объект известной площади, чтобы обеспечить возможность повторного масштабирования размера от пикселей до квадратных миллиметров для последующих обнаруженных частиц.

Инфракрасная съемка была проанализирована в соответствии с приведенной выше методой. Это позволило определить количество горячих частиц и время их пребывания в emberometer. Для полевого исследования для различения горячих и холодных частиц использовалась пороговая температура 100 °C [5]. Был выбран фиксированный диапазон температур от 5 °C до 100 °C, а пиксельные цвета, извлеченные из кадров отснятого

материала, были масштабированы линейно, т. е. белый и черный соответствуют 5 °C и 100 °С соответственно. Поскольку истинные радиометрические измерения температуры частиц осложнены рядом факторов, включая спектральную излучательную способность [65], температуры, связанные с каждым пикселем, не являются точными измерениями. Для древесины был сообщен диапазон значений излучательной способности, и они могут варьироваться в зависимости от таких факторов, как температура поверхности (включая реагирующее состояние), содержание влаги и рассматриваемый спектральный диапазон. Было использовано значение 0,9. Точное значение имеет меньшее значение, так как инфракрасные измерения используются для классификации состояния частиц, руководствуясь лабораторными калибровочными экспериментами, а не для определения точных температур [5].

После прохождения анализа изображения частицы собирались для апостериорного анализа. Были сделаны неподвижные изображения коллекций поддонов, чтобы извлечь количество и проекционную площадь частиц. Исходное изображение RGB было преобразовано в двоичное изображение, чтобы отличить частицы от фона. Морфологические операции были применены к бинарным изображениям, чтобы оценить форму каждой частицы в банке для сбора. Чтобы разрешить преобразование пикселей в область, был сделан калибровочный снимок, который включал объект известной площади. Монета в один цент США (диаметр 19,05 мм) и квадрат 20 * 20 мм использовались в полевых и лабораторных условиях соответственно [5]. Частицы, извлеченные из коллекций поддонов, были использованы в качестве основной истины для проверки анализа видеозаписи. Для этого была выбрана минимальная область, как для анализа визуального отснятого материала, так и для изображения банки, ниже которой пиксельные кластеры, распознанные как частицы, отбрасывались. Накладывающиеся друг на друга или прикрепленные частицы были тщательно разделены, чтобы избежать неправильного толкования.

3.1.6 Результаты

Используя комбинацию визуальных и инфракрасных данных, emberometer peшает основные проблемы, связанные со сбором и характеристикой частиц. В частности, этот новый инструмент дает новое понимание динамики частиц, собирая достоверную информацию об [5]:

• общем количестве частиц и их реальном размере;

- общем объеме и массе, путем объединения приведенной выше информации с типом растительности;
- времени осаждения;
- тепловом состоянии частиц, приближающихся к земле.

Было установлено, что эти пороговые значения зависят от материала. В полевых экспериментах было показано, что система способна улавливать геометрические свойства частиц, а также различать горячие и холодные частицы. Для изученных пожаров 9% частиц были горячими. Корреляции между размером частиц и температурой не наблюдалось. В настоящее время прибор ограничен исследовательскими приложениями из-за его размеров и стоимости.

3.2 Исследование экспериментов по уязвимостям горючих веществ к воспламенениям вокруг домов

3.2.1 Литературные исследования: угроза зазоров

Деревянные настилы считаются одним из уязвимых мест вокруг дома для воспламенения горящими частицами и представляют интерес для ряда исследований [66-68]. Различные размеры зазоров указывали на различную уязвимость воспламенения; большие зазоры приводили к тому, что узлы настила были более уязвимы для частиц. Результаты были сравнены с измельченной мульчей лиственных пород с теми же размерами (1,22 м × 1,22 м) для простоты, как показано на (Рис. 16). Входе данной экспериментальной серии доски настила не сушились в печи, а сухая основа варьировалась от 9% до 15%, сравнение проводилось с "мокрой" измельченной мульчей, чья сухая основа варьировалась от 9% до 40%. Время до воспламенения (SI или FI), где SI - тлеющее, но не пылающее воспламенение, а FI - тлеющее переходящее к пылающему воспламенение [6] менее 8 м/с сравнивается сначала на (Рис. 16), затем количество частиц на M^2 для воспламенения сравнивается на (Рис. 16). На этих рисунках приведены данные с собранного настила при скорости ветра 6 м/с для справки [66]. Сравнение показывает, что время до SI или FI для настилочных сборок было в два раза больше, чем для "мокрой" измельченной мульчи лиственных пород (содержание топливной влаги от 9% до 40%), исключение составляет зазор в 10 мм. Время до SI или FI для сборки настила с зазором 10 мм аналогично времени для "мокрой" мульчи лиственных пород (содержание топливной влаги от 9% до 40%). Время до воспламенения при ветре 6 и 8 м/с для узла настила с зазором 5 мм аналогично (Рис. 16), в то время как прошлые исследования [67,68] показали, что фактическая масса, необходимая для воспламенения узла настила с зазором 5 мм при скорости 8 м/с, была значительно меньше массы, необходимой при скорости 6 м/с. На (Рис. 17) показано, что время до воспламенения будет почти одинаковым, если принять во внимание разницу потоков частиц при двух скоростях ветра. Это показывает, что если поток частиц одинаково для ветра 6 и 8 м/с, то время до воспламенения одинаково, несмотря на то, что место накопления частиц или точки воспламенения могут быть разными.



Рисунок 16 – Время до воспламенения настила в собранном виде с различными зазорами менее 8 м/с. Для информации были добавлены данные по "мокрой" мульче (содержание топливной влаги от 9% до 40%) (8 м/с) и узлу настила с зазором 5 мм (6 м/с) [6]



Рисунок 17 – Количество частиц на м² для воспламенения настила в собранном виде с различными зазорами менее 8 м/с. Для информации были добавлены данные по "мокрой" мульче (содержание топливной влаги от 9% до 40%) (8 м/с) и узлу настила с зазором 5 мм (6 м/с) [6]

3.2.2 Влияние размера мульчирующего слоя и потока частиц на уязвимость к воспламенению

Ранее измельченная древесная мульча использовалась в качестве топливного слоя для изучения уязвимости самой мульчи к воспламенению [70] или в сочетании с другими конструкционными узлами вокруг домов [69]. Эти исследования показали, что сухая измельченная древесная мульча уязвима для ливней огненных частиц, воспламеняясь всего за несколько минут. Авторы изучили вопрос о размере топливного слоя, который является более безопасным. Здесь учитывалось соотношение сторон, определяемое как длина (параллельная ветру) топливных пластов и ширина (перпендикулярная ветру) топливных пластов. Толщина топливных слоев осталась прежней-51 мм. Все эксперименты в этом сравнении проводились при ветре 8 м/с. В этих условиях поток осаждения частиц (количество частиц, приземляющихся на слой мульчи на м² в секунду) варьировался от 5,6 до 9,7, при этом соотношение сторон изменялось [6]. Время до воспламенения, а также

количество частиц, необходимых для воспламенения на единицу площади (м²), как для SI, так и для FI, показано на (Рис. 18) и (Рис. 19) соответственно.



Рисунок 18 – Время до воспламенения и соотношение сторон топливного слоя при ветре 8 м/с [6]



Рисунок 19 – Количество частиц, необходимых для воспламенения, в зависимости от соотношения сторон топливного слоя при ветре 8 м/с [6]

Поскольку все размеры имеют разный поток осаждения частиц, также представлено количество частиц для воспламенения на единицу площади (м²). На (Рис. 18) показано, что при соотношении сторон 1 (угловой узел) время до зажигания имеет пик как для SI, так и для FI, а время до зажигания относительно постоянно при других соотношениях сторон. Соотношение сторон 1 имеет большую неопределенность из-за количества повторных

экспериментов, и сборка отличается от других случаев. Ограждающий узел действительно имеет небольшие зазоры между досками, в то время как угловой узел-нет. Считается, что этот пик вызван различиями в сборке, а ни соотношением сторон топливного слоя. На (Рис. 19) рассмотрена разность потоков частиц, в этом случае пик при соотношении сторон значительно меньше времени до воспламенения как для SI, так и для FI. С учетом потока приземления частиц разница между узлами ограждения меньше. Известно, что переход от SI к FI является сложным явлением; в этом случае, хотя приложенный ветер был одинаковым для всех экспериментов, фактическая скорость ветра вокруг сборки может отличаться, поскольку конфигурация сборки не одинакова. Как было отмечено выше, ограждающий узел имеет определенные зазоры между ограждающими досками, в то время как повторный угловой узел таких зазоров не имеет. Это, безусловно, повлияло бы на переход от SI к FI. Как уже упоминалось в [69,70], FI во всех экспериментах распространялся на узлы, что приводило к сгоранию ограждения/углового узла. Сравнение потока частиц и времени до воспламенения срасто узла.



Рисунок 20 – Время до воспламенения против потока приземления частиц менее 8 м/с [6]

Результаты показывают [6], что время до воспламенения на мульче не было чувствительно к потоку посадки частиц от 5 м²/с до 10 м²/с, учитывая неопределенность экспериментальных данных. Стендовые эксперименты показали, что по мере уменьшения потока частиц время до воспламенения увеличивается, и в конечном итоге частицы не могут воспламенять образцы

[71]. Это означает, что, несмотря на разницу высадки частиц на мульчирующее ложе, самое короткое время высадки на измельченную лиственную мульчу может составлять около 1 мин.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. TASS: Крупнейшие лесные пожары в мире. Досье. 2018. URL: <u>https://tass.ru/info/5397861</u>.

2. Газета.ру: Экономика бедствия: сколько стоят пожары и наводнения. 2020. URL: <u>https://www.gazeta.ru/business/2020/01/13/12907814.shtml</u>.

3. Flannigan M.D., Stocks B.J. and Wotton B.M. Climate change and forest fires // Science of the Total Environment, - 2000. – V. 262(3). – Pp. 221-229.

4. On the use of time-resolved three-dimensional diagnostics to characterize firebrand showers in the WUI / N. Bouvet [et al.] // Advances in Forest Fire Research. – 2018. – Pp. 826-836.

Development of a Field Deployable Firebrand Flux and Condition Measurement System /
 S. Zen [et al.] // Fire Technology. – 2021.

6. Ignition Vulnerabilities of Combustibles around Houses to Firebrand Showers: Further Comparison of Experiments / S. Suzuki, S. L. Manzello // Sustainability. – 2021. –vol. 13.

7. S. L. Manzello, T. G. Cleary, J. R. Shields, A. Maranghides, W. Mell, and J. C. Yang, "Experimental investigation of firebrands: Generation and ignition of fuel beds," Fire Safety Journal, vol. 43, pp. 226-233, Apr 2008.

8. S. L. Manzello, J. R. Shields, T. G. Cleary, A. Maranghides, W. E. Mell, J. C. Yang, Y. Hayashi, D. Nii, and T. Kurita, "On the development and characterization of a firebrand generator," Fire Safety Journal, vol. 43, pp. 258-268, May 2008.

9. Investigation of firebrand production during prescribed fires conducted in a pine forest /
A. Filkov [et al.] // Proceedings of the Combustion Institute. – 2017. – V. 36. – Pp. 3263–3270.

10. Koo E, Pagni PJ, Weise DR, Woycheese JP. Firebrands and spotting ignition in large-scale fires. Int J Wildl Fire 2010;19:818.

11. Wischkaemper JA, Benner CI, Russell BD. Electrical characterization of vegetation contacts with distribution conductors – investigation of progress faults behavior. In: Proc. of the PES T&D conf. & expo, Chicago, II.; 2008.

12. Role of firebrand combustion in large outdoor fire spread / S.L. Manzello [et al.] // Progress in Energy and Combustion Science. – 2020. – V. 76. – Pp. 1-19.

13. Manzello SL, Maranghides A, Mell W. Firebrands generation from burning vegetation. Int J Wildland Fire 2007;16:458–62. 14. Babrauskas V. Ignition handbook: principles and applications to fire safety engineering, fire investigation, risk management, and forensic science. Issaquah, WA: Fire Science Publishers; 2003.

15. Tohidi A, Kaye N, Bridges W. Statistical description of firebrand size and shape distribution from coniferous trees for use in Metropolis Monte Carlo simulations of firebrand flight distance. Fire Saf J 2015;77:21–35.

16. Manzello SL, Maranghides A, Shields JR, Mell WE, Hayashi Y, Nii D. Mass and size distribution of firebrands generated from burning Korean Pine (Pinus Koraiensis) trees. Fire Mater 2009;33:21–31.

17. Manzello SL, Maranghides A, Mell W, Sheilds JR, Hayashi Y, Nii D. Mass and size distribution of firebrands generated from burning Korean Pine (Pinus Koraiensis) trees. In: Proc. of 7th Asia-oceania symposium on fire science and technology, Hong Kong, China; 2007.

18. Mell WE, Maranghides A, McDermott R, Manzello SL. Numerical simulation and experiments of burning low-moisture Douglas-fir trees. Combust Flame 2009;156:2023–41.

19. National Research Institute of Fire and Disaster. Development of prediction system for likelihood of forest fires and forest fire spreads. Technical Report of National Research Institute of Fire and Disaster; 2004. No.63 (in Japanese).

20. El Houssami, et al. Experimental procedures characterizing firebrand generation in wildland fires. Fire Technol 2016;52(3):731–51.

21. Manzello SL, Foote EID. Characterizing firebrand exposure during wildland-urban interface fires: results of the 2007 Angora fire. Fire Technol 2014;50:105–24.

22. Thomas JC, Mueller EV, Santamaria S, Gallagher M, El Houssami M, Filkov A, Clark K, Skowronski N, Hadden RM, Mell W, Simeoni A. Investigation of firebrand generation from an experimental fire: development of a reliable data collection methodology. Fire Saf J 2017;91:864–71.

23. Hayashi Y, Iwami T. Development of Urban fire simulator Incorporated with spot fires caused by firebrands; 2010. The BRI annual report (in Japanese) p. 89–90.

24. Tarifa CS, Notario P, Moreno FG. On the flight paths and lifetimes of burning particles of wood. In: Proc Combust Inst, 10; 1965. p. 1021–1037.

25. Baum HR, McCaffrey BJ, et al. Fire induced flow field-theory and experiments. Fire Safe Sci 1989;2:129–48.

26. McGrattan KB, Baum HR, Rehn RG. Smoke plumes from large fires. Gaithersburgh, MD: UJNR panel on Fire Research, NIST; 1995.

27. Quintiere JG, Grove BS. A unified analysis for fire plumes. Proc. Combust. Inst. 1998;27:2757–66.

28. Woycheese JP, Pagni PJ, Liepmann D. Brand propagation from large-scale fires. J Fire Prot Eng 1999;10:32–44.

29. Huang H, Ooka R, Kato S, Otake H, Hayashi Y. CFD simulation of thermal plumes and firebrands scattering in urban fires. Fire Sci Technol 2004;23:152–63.

30. Himoto K, Mauyama T, Tanaka T. A study on the brand spotting in urban fires-LES analysis on the scattering of square disks in a turbulent boundary layer. In: Proceedings of the 10th interflam; 2004. p. 1039–50.

31. Song J, Huang X, Liu N, Li H, Zhang L. The wind effect on the transport and burning of firebrands. Fire Technol 2017;53:1555–68.

32. Fernandez-Pello AC. Wildland fire spot ignition by sparks and firebrands. Fire Saf J 2017;91:2–10.

33. Tarifa CS, Del Notario PP, Moreno FG, Villa AR. Transport and combustion of firebrands, Madrid: U.S. Department of Agriculture Forest Service; 1967. Final Report of Grants GF-SP-114 and GF-SP-146.

34. Lee SL, Hellman JM. Firebrand trajectory study using an empirical velocity-dependent burning law. Combust Flame 1970;15:265–74.

35. Muraszew A, Fedele JB, Kuby WC. Trajectory of firebrands in and out of fire whirls. Combust Flame 1977;30:321–4.

36. Albini FA. Spot fire distance from burning trees: a predictive model GTR-INT-56. USDA Forest Service; 1979.

37. Albini FA. Potential spotting distance from wind-driven surface fires; 1983. USDA Forest Service Research Paper ZNT-309.

38. Albini FA. Transport of firebrands by line thermals. Combust Flame 1983;32:277–88.

39. Tse SD, Fernandez-Pello AC. On the flight paths of metal particles and embers generated by powerlines in high winds – a potential source of wildland fires. Fire Saf J 30 1998:333–56.

40. Woycheese JP, Pagni PJ, Liepman D. Brand lofting above large-scale fires. 2nd international conference on fire research and engineering Boston, MA; 1998.

41. Himoto K, Tanaka T. Transport of disk-shaped firebrands in a turbulent boundary layer. Fire Saf Sci 2005;8:433–44.

42. Koo E, Pagni P, Linn R. Using FIRETEC to describe firebrand behavior in wildfires. Fire and materials 2007 San Francisco, CA; 2007.

43. Linn R, Resiner J, Colman JJ, Winterkamp J. Studying wildfire behavior using FIRETEC. Int J Wildland Fire 2002;11:233–46.

44. Sardoy N, Consalvi J-L, Poterie B, Loraud J-C, Fernandez-Pello CA. Modeling transport and combustion of firebrands from burning trees. Combust Flame 2007;150:151–69.

45. Sardoy N, Consalvi J-L, Kais J-L, Poterie B, Fernandez-Pello C. Numerical study of ground-level distribution of firebrands generated by line fires. Combust Flame 2008;154:478–88.

46. Kortas S, Mindykowski P, Consalvi JLL, Mhiri H, Porterie B. Experimental validation of a numerical model for the transport of firebrands. Fire Saf J 2009;4:1095–102.

47. Japan Association for Fire Safety Engineering. Kasai Binran: handbook for fire science and engineering. Rikasyoin; 1955.

48. Kamei K. Taikaji ni okeru fusoku to Tobihi ni kansuru kenkyu, 62. Transactions of the Architectural Institute of Japan; 1959. p. 115–21.

49. Suzuki S, Manzello SL. Experimental investigation of firebrand accumulation zones in front of obstacles. Fire Saf J 2017;94:1–7.

50. Manzello SL. Enabling the investigation of structure vulnerablities to wind driven firebrand showers. Fire Saf Sci 2014;11:83–96.

51. Caton SE, Hakes RSP, Gorham DJ, Zhou A, Gollner MJ. A review of pathways for building fire spread in the wildland Urban interface part I: exposure conditions. Fire Technol 2017;53:429–73 Mar.

52. Suzuki S. A review on structure ignitions by firebrands. Bull Jpn Assoc Fire Sci Eng 2017;67:49–55 (in Japanese).

53. Экспериментальная установка по генерации горящих частиц для исследования распространения природного пожара / Д. Касымов [и др.] // Известия высших учебных заведений. – 2017. – с. 1-6.

54. Manzello S.L., Shields J.R., Yang J.C., Hayashi Y., Nii D. // 11th International Conference on Fire Science and Engineering (INTERFLAM), 3–5 September 2007, London, UK. (Interscience Communications Ltd: London).

55. Manzello S.L., Shields J.R., Hayashi Y., Nii D. // F. Saf. Sci. PNIS. – 2008. – V. 9. – P. 143–154.

56. Manzello S.L., Hayashi Y., Yoneki T., Yamamoto Y. // Proc. of the E. Int. Con. on F. and M. – 2009. – P. 267–276.

57. Manzello S. L., Shields J. R., Cleary T. G., Maranghides A., Mell W. E., and other. // F. Saf. J. – 2008. – V. 43. №. 4. – P. 258-268.

58. Manzello S. L. Experimentally simulating wind driven firebrand showers in wildland – urban interface (WUI) fires: Overview of the NIST firebrand generator (NIST dragon) technology / S. L. Manzello, S. Suzuki // Procedia Engineering. – 2013. – V. 62. – Pp. 91-102.

59. Laurentini, A (1994) Visual hull concept for silhouette-based image understanding. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 16, 150-162.

60. Luhmann, T, Robson, S, Kyle, S, Boehm, J (2014) 'Close Range Photogrammetry and 3D Imaging.' (Walter De Gruyter GmbH: Göttingen).

61. C. Stauffer and W. E. L. Grimson, 1999 Adaptive background mixture models for realtime tracking, in Proceedings. 1999 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (Cat. No PR00149) – Pp. 246–252.

62. Magee DR (2004) Tracking multiple vehicles using foreground, background and motion models. Image Vis Comput 22(2):143–155.

63. C. Ridder, O. Munkelt, and H. Kirchner, 1995 Adaptive background estimation and foreground detection using kalman-filtering," in Proceedings of the Recent Advances in Mechatronics, 193–199.

64. Munkres TJ (1957) Algorithms for the assignment and transportation. Probl J Soc Ind Appl Math 5(1):32–38.

65. Filkov A et al (2017) Investigation of firebrand production during prescribed fires conducted in a pine forest. Proc Combust Inst 36(2):3263–3.

66. Manzello, S.L.; Suzuki, S. Exposing Decking Assemblies to Continuous Wind-Driven Firebrand Showers. Fire Saf. Sci. 2014, 11, 1339–1352.

67. Manzello, S.L.; Suzuki, S. Experimental investigation of wood decking assemblies exposed to firebrand showers. Fire Saf. J. 2017, 92, 122–131.

68. Manzello, S.L.; Suzuki, S. Influence of board spacing on mitigating wood decking assembly ignition. Fire Saf. J. 2019.

69. Suzuki, S.; Johnsson, E.; Maranghides, A.; Manzello, S.L. Ignition of Wood Fencing Assemblies Exposed to Continuous WindDriven Firebrand Showers. Fire Technology Spec. Issue Oper. Tomodachi Fire Res. 2016, 52, 1051–1067.

70. Suzuki, S.; Manzello, S.L.; Kagiya, K.; Suzuki, J.; Hayashi, Y. Ignition of mulch beds exposed to continuous wind driven firebrand showers. Fire Technol. 2015, 51, 905–922.

71. Manzello, S.L.; Suzuki, S. The new and improved NIST Dragon's LAIR (Lofting and Ignition Research) facility. Fire Mater. 2012, 36, 623–635.

72. Improvement of Firebrand Tracking and Detection Software / Prohanov S. [et al.] // A.p. Ershov informatics conference. – 2019. – Pp. 290–303.

73. Convolutional Neural Networks from the ground up [towards data science] // cocr.: Escontrela A. URL: https://towardsdatascience.com/convolutional-neural-networks-from-the-ground-up-c67bb41454e1?gi=7c8769a1affb.

74. Deep Neural Networks Applications in Handwriting Recognition [DOCBOX] // cocr.: Teodore Bluche. URL: http://technodocbox.com/3D_Graphics/70716176-Deep-neural-networksapplications-in-handwriting-recognition.html.

75. Introduction to Convolutional Neural Networks [RUBIK'S CODE] // URL: https://rubikscode.net/2018/02/26/introduction-to-convolutional-neural-networks/.

76. Как работает Object Tracking на YOLO и DeepSort [Habr] // URL: https://habr.com/ru/post/514450/.

77. Darknet [Github] // URL: https://github.com/AlexeyAB/darknet.



Отчет о проверке на заимствования №1



№ документа: 1

Размер текста: 97 кБ Символов в тексте: 99068 Слов в тексте: 12061

05.pdf

Автор: <u>humermor@yandex.ru</u> / ID: 9125858 Проверяющий: (<u>humermor@yandex.ru</u> / ID: 9125858)

Отчет предоставлен сервисом «Антиплагиат» - users.antiplagiat.ru

ИНФОРМАЦИЯ О ДОКУМЕНТЕ

Имя исходного файла: ВКР_ОРЛОВ_corr 05-

Название документа: ВКР_ОРЛОВ_corr 05-05

Начало загрузки: 16.05.2021 15:06:14

Длительность загрузки: 00:00:02

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТЧЕТЕ

Начало проверки: 16.05.2021 15:06:17 Длительность проверки: 00:15:34 Комментарии: не указано Модули поиска: Интернет



Число предложений: 823 ЗАИМСТВОВАНИЯ САМОЦИТИРОВАНИЯ ЦИТИРОВАНИЯ ОРИГИНАЛЬНОСТЬ 7,12% О% 92,88%

Заимствования — доля всех найденных текстовых пересечений, за исключением тех, которые система отнесла к цитированиям, по отношению к общему объему документа. Самоцитирования — доля фрагментов текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника, автором или соавтором которого является автор проверяемого документа, по отношению к общему объему документа.

Цитирования — доля текстовых пересечений, которые не являются авторскими, но система посчитала их использование корректным, по отношению к общему объему документа. Сюда относятся оформленные по ГОСТу цитаты; общеупотребительные выражения; фрагменты текста, найденные в источниках из коллекций нормативноправовой документации.

Текстовое пересечение — фрагмент текста проверяемого документа, совпадающий или почти совпадающий с фрагментом текста источника.

Источник — документ, проиндексированный в системе и содержащийся в модуле поиска, по которому проводится проверка.

Оригинальность — доля фрагментов текста проверяемого документа, не обнаруженных ни в одном источнике, по которым шла проверка, по отношению к общему объему документа.

Заимствования, самоцитирования, цитирования и оригинальность являются отдельными показателями и в сумме дают 100%, что соответствует всему тексту проверяемого документа.

Обращаем Ваше внимание, что система находит текстовые пересечения проверяемого документа с проиндексированными в системе текстовыми источниками. При этом система является вспомогательным инструментом, определение корректности и правомерности заимствований или цитирований, а также авторства текстовых фрагментов проверяемого документа остается в компетенции проверяющего.

N₂	Доля в отчете	Источник	Актуален на	Модуль поиска
[01]	1,57%	http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/services/Download/vital:7776/SOURCE01 http://vital.lib.tsu.ru	07 Сен 2020	Интернет
[02]	1,13%	Introduction https://geosci-model-dev.net	31 Дек 2019	Интернет
[03]	0%	Introduction https://geosci-model-dev.net	13 Апр 2020	Интернет

Еще источников: 17 Еще заимствований: 4,4%

30.05.20211. A. J. J. KACIMOB

Руководителю ООП по программе подготовке научно-педагогических кадров в бакалавриате по направлению 01.03.03 «Механика и математическое моделирование» к.ф.-м.н. Л.В. Гензе

СЛУЖЕБНАЯ ЗАПИСКА

В связи с оригинальностью результатов и возможностью ИХ коммерческого применения, прошу разрешить размещение выпускной квалификационной работы на сайте библиотеки в сокращенном виде следующим бакалаврам:

1. Орлов Константин Евгеньевич «Верификация программного комплекса по детектированию и трекингу горящих и тлеющих частиц природного происхождения на тепловом изображении», научный руководитель к.ф.-м.н. Касымов Д.П.

Научный руководитель канд. физ.-мат. наук

Д.П. Касымов

He Copparison

1. B. Peuje 1. D. 2021