

Аннотация

Название бакалаврской работы: «Разработка технологии получения огнетушащих средств для тушения лесных пожаров».

Ключевой вопрос бакалаврской работы заключается в необходимости создания состава для пожаротушения, который может не только устранить пламя, но и локализовать источник воспламенения, а в случае предварительной обработки лесных массивов - предотвратить пожар.

Первая часть работы содержит общую информацию о лесных и торфяных пожарах, а также физико-химическую основу для сжигания древесины и воздействия лесных пожаров на окружающую среду.

Во второй части рассматриваются пути и способы тушения пожаров, а также описаны схемы сжигания древесины, обработанной огнезащитными составами.

В третьей части статьи рассматриваются методы и средства для тушения. Был проведен патентный поиск по существующим составам для тушения пожара и огнезащиты древесины.

В четвертой части работы представлена технологическая схема синтеза огнезащитных составов марки ОСА.

В пятой части работы был проведен эксперимент, состоящий в воздействии открытого пламени на образцы древесины, пропитанной водой, и те же образцы, пропитанные антипиреном. В результате было сделано заключение, что в случае пропитанного образца в дигидрофосфате натрия потери массы составили 20%, в случае непропитанного более 30%. Это указывает на то, что предлагаемое огнезащитное устройство эффективно.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 46 источников. Общий объем работы 65 страниц машинописного текста, в том числе 16 таблиц, 16 рисунков.

Abstract

The title of the bachelor's thesis is Development of a technology for obtaining fire extinguishing agents for extinguishing forest fires.

The key issue of the bachelor's thesis is the need to create a fire-extinguishing compound that can not only eliminate the flame, but also localize the source of ignition, and in the case of pre-treatment of forestlands - prevent a fire.

The first part of the work contains general information on forest and peat fires, as well as the physic - chemical basis for burning wood and the impact of forest fires on the environment.

In the second part, ways and means of extinguishing fires were considered, and the patterns of combustion of wood treated with flame retardants were described.

In the third part of the article, methods and means of extinguishing were considered. A patent search for the existing compositions for fire extinguishing and fire protection of wood was carried out.

In the fourth part of the work the technology scheme of synthesis of fire – retardant composition of OSA brand is presented.

In the fifth part of the work, an experiment was carried out, in which the samples of wood impregnated with water, and the same samples impregnated with a flame retardant were exposed to an open flame. As a result, it was concluded that, in the case of an impregnated sample in sodium dehydrogenate phosphate, the mass loss was 20%, in the case of an unimpregnated sample of more than 30%. . This indicates that the proposed fire-protective device is effective.

The work consists of an introduction, 5 sections, conclusion, a list of literature used (46 sources). The total amount of work, without applications is 65 pages, including 16 tables, 16 figures.

Содержание

Введение	6
1 Общие сведения о лесных и торфяных пожарах	7
1.1 Анализ статистических данных	7
1.2 Виды и классификация лесных пожаров	10
1.3 Физико-химические основы горения древесины	14
1.4 Влияние лесных пожаров на окружающую среду	18
2 Способы и средства тушения пожаров	24
2.1 Способы тушения пожаров	24
2.2 Средства для тушения пожаров	29
2.2.1 Применение огнетушащей пены при тушении лесных пожаров	31
2.2.2 Закономерности горения древесины, обработанной антипиренами	33
3 Составы для тушения пожаров	36
3.1 Патентный поиск	36
3.2 Огнетушащий состав на основе «ОСА-1»	42
4 Технология синтеза антипиренов марки ОСА	46
5 Экспериментальная часть	49
5.1 Методика выполнения эксперимента	49
5.2 Основные результаты эксперимента	52
5.3 Расчетная часть	54

Заключение	57
Список используемых источников	59

Введение

Проблема лесных пожаров по праву считается одной из наиболее серьезных и нерешенных в настоящий момент. Чем больше страна, тем чаще на её территории возникают лесные и торфяные пожары. Только в России за апрель 2015 года произошло более восьмисот возгораний, в результате чего сгорело не менее 120 гектара леса. Гибель лесов от пожаров носит ярко выраженный циклический характер, обусловливаемый периодическими изменениями климатических условий.

Актуальность данной работы объясняется необходимостью создания огнетушащего состава, способного не только ликвидировать пламя, но и локализовать очаг возгорания, а в случае предварительной обработки лесных массивов – предотвратить пожар.

Целью работы является повышение эффективности технологии огнетушения. В связи с поставленной целью в работе решались следующие задачи:

- 1) анализ технической литературы на тему проблематики лесных пожаров и существующих технологиях пожаротушения;
- 2) анализ патентов по существующим составам, применяемым в пожаротушении;
- 3) предложение технологии производства огнетушащего состава;
- 4) проведение экспериментальных исследований огнетушащего состава на сравнение рабочих характеристик, а именно времени тушения пожара, исследуемого огнетушащего состава и воды.

1 Общие сведения о лесных и торфяных пожарах

1.1 Анализ статистических данных

В Российской Федерации ежегодно происходит до 30 тысяч лесных пожаров, площадь возгорания которых составляет миллионы гектаров [1].

Лесные пожары являются одной из серьезнейших проблем российских лесов, которые сопровождаются выбросом в атмосферу продуктов горения в виде газообразных и различных аэрозольных примесей, а так же развитием конвективного подъема горячих газов.

Образующиеся при возгорании и продолжительном горении зоны задымления и загазованности негативно влияют на здоровье людей.

Пожары наносят экономический и экологический ущерб на экосистему леса, изображены на рисунке 1.1.

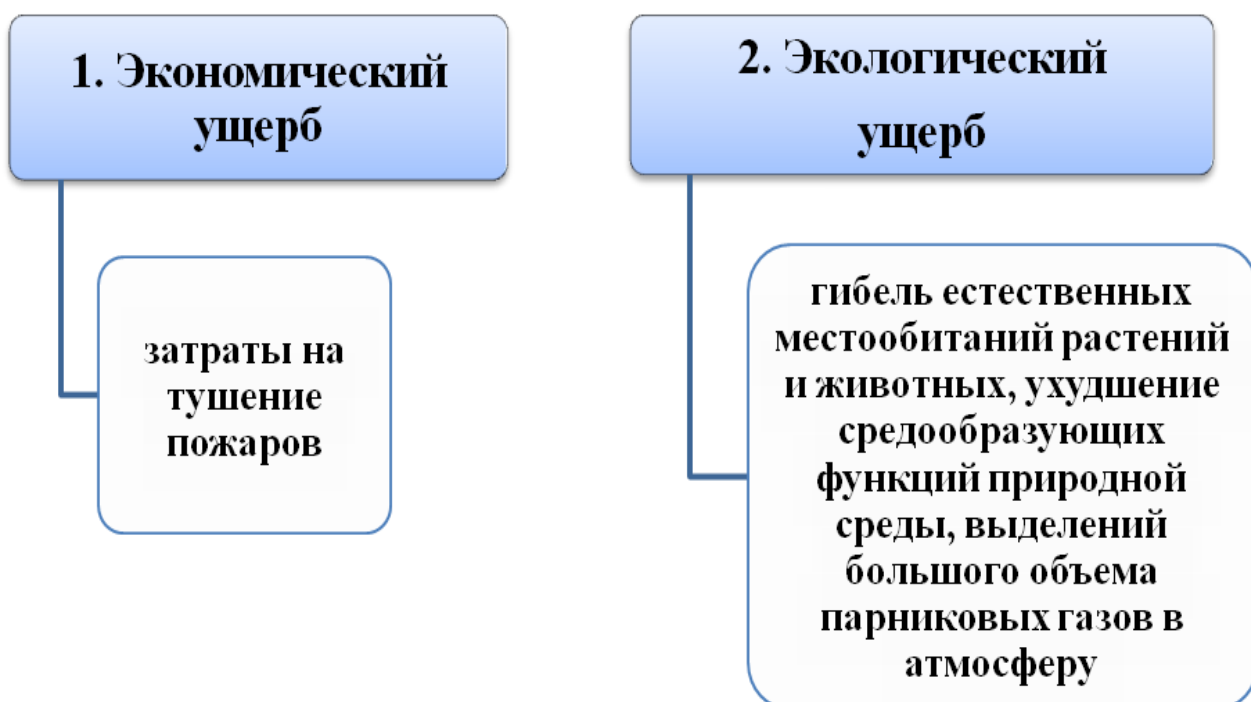


Рисунок 1.1 - Ущерб на экосистему леса вследствие лесных пожаров

В России ведется статистика лесных пожаров, которая имеет не только информационный характер. На основе полученных данных анализируют причины возгораний, скорость их распространения. Это необходимо для предотвращения повторных лесных пожаров, составления прогнозов, организации эффективного тушения. По пожарной опасности определяют экономический ущерб.

Первые записи о лесных пожарах в летописях датированы 1724 годом. Уже тогда были призывы сохранить угодыя от огня. Во времена царской России данные уже упорядочивали. Сегодня информация о лесных пожарах сводится в таблицы. Статистику ведут ведомства и службы. По данным Росстата последние массовые пожары были зафиксированы в летний период 2010 года. Однако их количество не рекордное, экологический и экономический ущерб был причинен вследствие больших территорий, охваченных огнем, и задымлением. В 2010 году в общей сложности произошло более 32000 лесных пожаров. Тогда сгорело на корню около 150000000 м³ лесов. Аналогичные масштабы лесных пожаров наблюдали в 1998 году. По количеству пожаров лидирует 2002 год – 35810 возгораний, но последствия не столь плачевны.

Статистические данные по количеству лесных пожаров в Российской Федерации в период за 1998-2016гг. представлены на рисунке 1.2.

Исходя, из данных можно сказать, что пик возгораний приходится на 2002 и 2010 года, возникновение лесных пожаров обусловлено ранним сходом снежного покрова и засушливым летом.



Рисунок 1.2 - Количество лесных пожаров на территории Российской Федерации за период 1998-2016 гг.

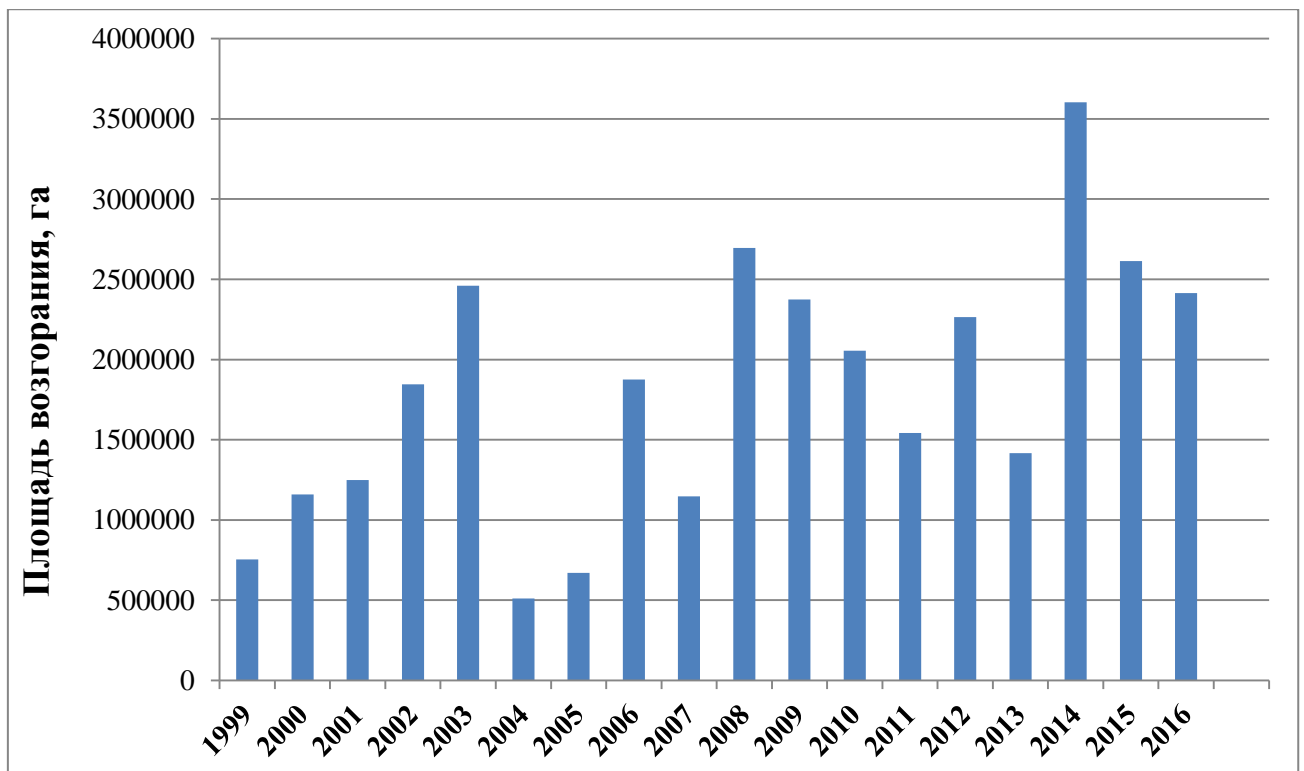


Рисунок 1.3 - Лесная площадь, пройденная пожарами на территории Российской Федерации за период с 1999-2016 гг.

1.2 Виды и классификация лесных пожаров

Основными причинами возникновения лесных пожаров являются естественные (вызванные молниями) и антропогенные (вызванные людьми). На рисунке 1.4 представлены виды лесных пожаров [2, 3].

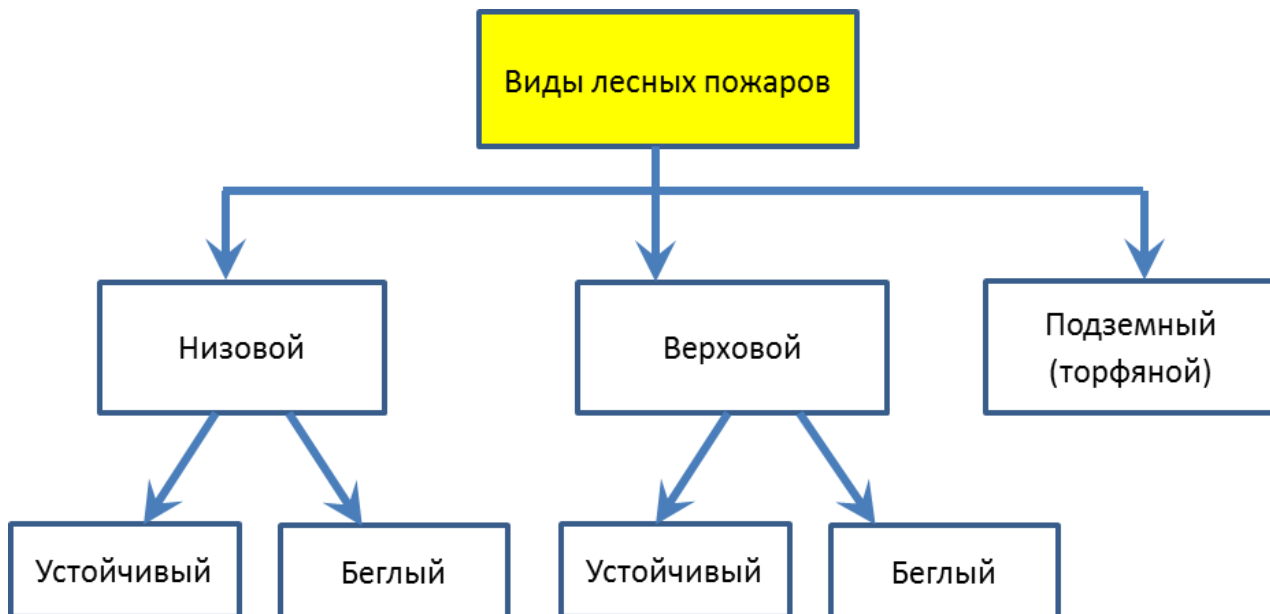


Рисунок 1.4 – Виды лесных пожаров

Низовой пожар в основном охватывает сухие корни деревьев, кустарники, покров из мха и травы, опавшие сухие листья, т.е. нижние ярусы леса.

Дальность распространения загрязнений от пожаров зависит от двух главных факторов:

- 1) высоты факела (пламени);
- 2) параметров ветра (скорости распространения огня).

Высота факела пламени определяется видом и интенсивностью пожара, скоростью ветра, шириной кромки.

Низовые пожары определяются:

- 1) беглым горением, присущим весеннему периоду, когда охватывается только верхний сухой покров;
- 2) устойчивым, более сильным возгоранием, возникающим во второй половине летнего сезона.

Верховой пожар возникает в последствие низовых пожаров, а так же в жаркие и сухие периоды летней погоды. Верховые лесные пожары в большинстве случаев охватывают хвойные леса, кедровые стланики и кустарниковые дубы.

По скорости распространения верховой типа пожаров значительно превосходит низовой, при этом захватываются активно пламенем новые участки леса. В верховом пожаре значительно страдают кроны деревьев, выгорая частично или полностью.

По типу верхового пожара выделяют: устойчивое и беглое горение.

Беглое горение чаще встречается в весенние месяцы, что связано с подсыханием поверхности земли, а вместе с ней и мелких горючих материалов. Такой тип горения характерен до момента образования зеленых листьев и травы.

Такой тип пожара развивается и распространяется со скоростью не более 5 м/с, при этом не затрагивая массивную древесину. И, т.к. лесная подстилка еще удерживает много влаги в себе, беглое горение не концентрируется в одном месте.

Именно поэтому беглое горение можно еще назвать поверхностным. Максимальный урон от такого пожара представляет собой обугленность нижней части коры деревьев, выступающих на поверхности земли корней, а также деструкция самосева.

Таким образом, беглый пожар не отличается большим объемом сгоревшей лесной массы.

Такие пожары причиняют наименьший вред лесу, так как количество сгорающих горючих материалов невелико.

Устойчивые низовые пожары в отличии от беговых характерны на тот момент времени, когда лесная подстилка подверглась длительному периоду засухи. В таком случае прогорание поверхности земли происходит вглубь до 15 см, при этом происходит деструкция корневой системы деревьев, пожар достигает минерального слоя.

Почвенные – подземные лесные пожары возникают обычно после длительной засухи.

В связи с тем, торф может гореть без доступа кислорода, подземные пожары трудно выявить. В результате торфяные слои выгорают, и на их месте образуются подземные пустоты.

Самым продолжительным по времени является подземный лесной пожар, или торфяной. Такой тип пожара возможен и в зимний период времени при наличии больших объемов снега. Такой тип пожара развивает наименьшую из всех типов пожаров скорость. Связано это прежде всего с отсутствием ветра и неизменных условий окружающей среды.

Возможность развития такого типа пожара обуславливается зачастую несоблюдением правил пожарной безопасности в местах разработки торфяных залежей, а также форс-мажорными ситуациями – например, попаданием молнии в период сухой грозы. Усиливает вероятность пожара свойство торфа самовозгораться при температуре более 50°C.

Распространение лесного пожара в основном зависит от типа лесного массива и категории насаждений. Так, например, в лесах, где в покрове преобладает мох, лишайники, пламя распространяется стремительно. При влажном покрове распространение огня – замедляется.

Существующие методики оценки лесопожарной обстановки позволяют определить площадь и периметр зоны возможных пожаров. Исходными данными являются значение лесопожарного коэффициента и время развития пожара.

Значение лесопожарного коэффициента зависит от природных и погодных условий региона и времени года.

Время развития пожаров определяется временем прибытия сил и средств ликвидации пожара в лесопожарную зону.

В зависимости от вида пожара лесные пожары бывают различного типа и в зависимости от того, как именно и на какой скорости движется огонь, разработана классификация лесных пожаров.

Классификация лесных пожаров, изображенная на рисунке 1.5, присваивает каждому возгоранию свою категорию. На группу (класс) категории влияет вид пожара, его площадь, охваченная пламенем, а также скорость движения огня и количество задействованных в тушении пожара людей и техники [4,5].

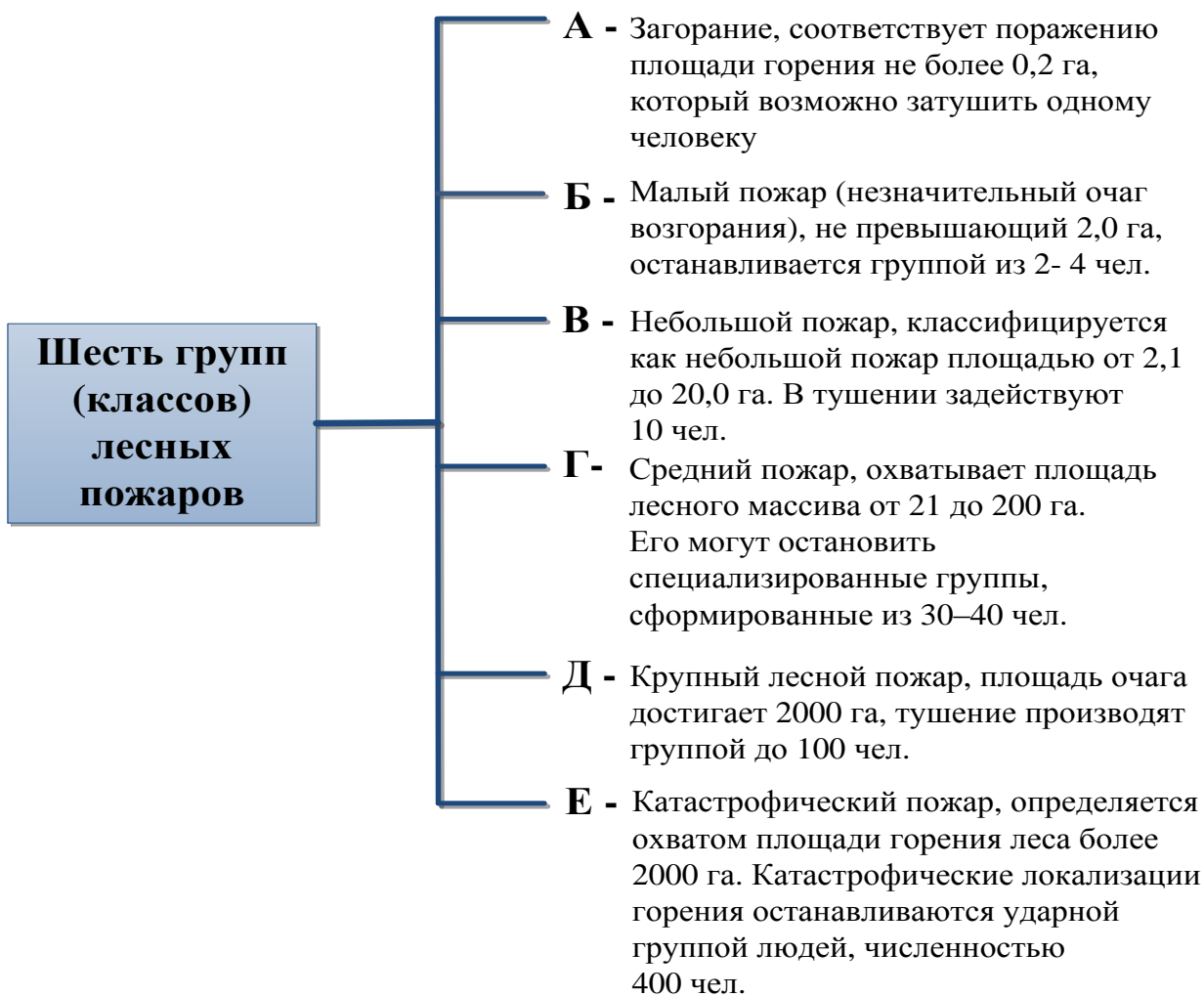


Рисунок 1.5 - Классификация лесных пожаров

1.3 Физико-химические основы горения древесины

Древесина, являясь органическим веществом, чувствительна к нагреву. Физико-химические процессы, протекающие при горении древесины, можно представить следующей схемой, представленной на рисунке 1.6 [6,7].

Процесс деструкции древесины под действием высоких температур начинается уже на отметке в 110°C и характеризуется несколькими стадиями. При повышении температуры от 120°C до 180°C наблюдается потеря древесиной свободной, а после и химически связанной воды, а также деструкция менее термостойких ее компонентов.

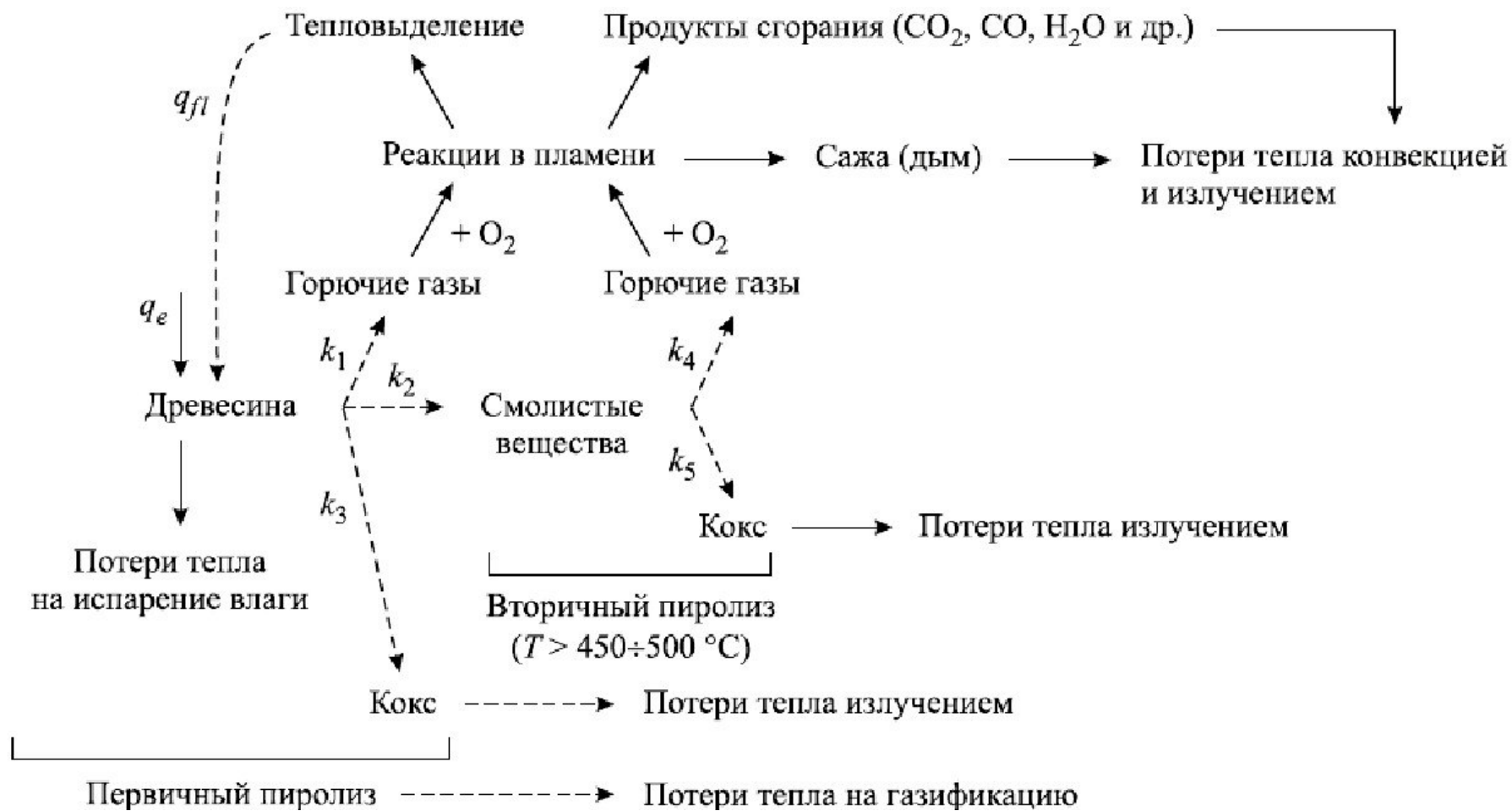


Рисунок 1.6 – Схема физико-химических процессов при горении древесины

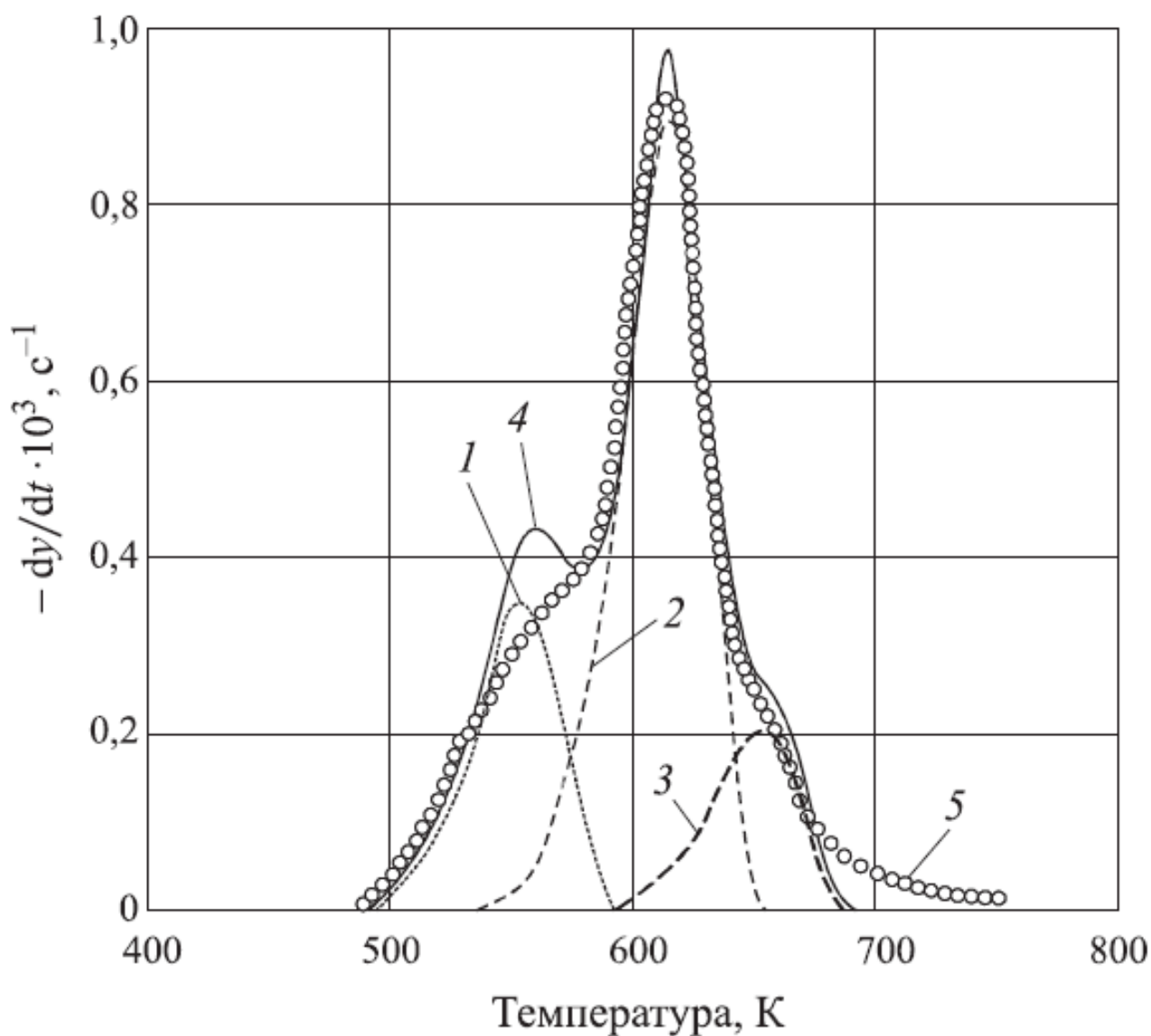
При достижении значения температуры в 250°C начинается процесс пиролиза. При этом выделяется газовая смесь, содержащая CO, CH₄, H₂, CO₂, H₂O и т.д. и способная к воспламенению от источника зажигания. Температурный интервал 280-300°C лишь интенсифицирует процесс.

В интервале температур 170-500°C имеют место химические превращения лигнина. Количество образуемых при горении ароматических веществ существенно увеличиваются при температуре от 300 до 400°C. Данный интервал также характеризуется выделением основного количества горючих газов (40% от возможного) содержащих около 25% об. H₂ и 40% об. углеводородов. Как только количество горючих газов в составе реакционной смеси достигнет достаточной концентрации, смесь способна к самовоспламенению [8,9].

Кинетика горения и пиролиза древесины, изображенная на рисунке 2, зависит в основном от ее состава, а именно от содержания целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина.

Основным компонентом (около 50% мас.) древесины является целлюлоза. При терморазложении целлюлозы имеют место реакции дегидратации и деполимеризации.

Дегидратация характеризуется разрывом связи C₁-O-C₅, при этом основная полимерная цепь остается целой, а продуктами реакции является уголь, CO, CO₂, H₂O. Данная реакция является преимущественной при относительно невысоких температурах.



1 – гемицеллюлоза; 2 – целлюлоза; 3 – лингин; 4 – древесина; 5 – древесина (экспериментальная кривая)

Рисунок 2 – ДТГ-кривые пиролиза древесины бука и выделенные температурные зоны отдельных ее компонентов при постоянной скорости нагрева 5 град/мин

Деполимеризация характерна при горении древесины в интервале 280-350°C и характеризуется разрывом β-гликозидной связи. Продуктом данной реакции является левоглюкозан, способствующий образованию летучих продуктов, способных к воспламенению.

Скорость сгорания древесины описывается следующим уравнением:

$$m = \frac{Q_r + Q_e + Q_i}{L_v}, \quad (1)$$

где Q_r – тепловой поток от пламени к поверхности;

Q_e – тепловой поток от источника тепла;

Q_i – потери тепла;

L_v – удельное количество теплоты.

Фактически процесс горения древесины делится на две стадии. Первая стадия – пламенное горение продуктов термодеструкции древесины; вторая – тление угольного остатка.

Пламя возникает в результате зажигания, которое является сложным нестационарным процессом, заключающимся в локальном нагреве участка древесины до критического значения температуры. Для поддержания пламенного горения после зажигания необходимо передать древесине количество теплоты, необходимое для подачи в зону горения достаточного количества горючих газов. Недостаточный газообмен в процессе горения древесины является причиной тления, в процессе которого полностью прекращается пламенное горение.

1.4 Влияние лесных пожаров на окружающую среду

Основные характерные признаки пожаров:

- 1) выделение в зоне горения тепла и продуктов горения;
- 2) обеспечение притока воздуха (кислорода) в зону горения с последующим отводом продуктов горения: CO_2 , H_2O , таким образом, осуществляется газообмен по механизму конвективных газовых потоков;
- 3) передача тепла из зоны горения в окружающее пространство (горючим материалам), без которого невозможно его развитие и распространение.

Продукты горения: газообразные хлористый водород и аммиак при взаимодействии с парами воды образуют жидкие аэрозоли или адсорбируются на частицах сажи и оседают на поверхность суши и растений.

В условиях лесного пожара горят органические вещества: древесина, мох, опавшие листья, сухие веточки, трава и т.д. В процессе ряда химических реакций выделяются оксиды ванадия, серы (SO_2), сероводород (H_2S), формальдегид (HCHO) и углеводороды: бензол, толуол, ксилолы, бензапирен, метан.

Процесс горения последовательно проходит следующие стадии:

- 1) предварительный нагрев и подсушивание горючих материалов ($120\text{ }^\circ\text{C}$);
- 2) с повышением температуры до $260\text{ }^\circ\text{C}$ дальнейшее подсушивание с выделением не только водяных паров, но и горючих веществ (смола, кислот);
- 3) воспламенение газов (при $300 - 425\text{ }^\circ\text{C}$);
- 4) пламенное горение (при $650 - 1095\text{ }^\circ\text{C}$) с выделением дыма, водяных паров и несгораемых газов;
- 5) обугливание и горение углей (беспламенное горение).

Выделение большого количества тепла и его распространение создает условия для возникновения новых очагов горения.

Лесные пожары вносят хотя и меньший, чем городские, но весьма заметный вклад в задымление земной атмосферы.

Приведем оценки выхода дыма при природных пожарах. Запас сухих горючих материалов в наиболее продуктивных лесах средних широт Северного полушария составляет $25-30\text{ кг/м}^2$, в том числе $15-20\%$ - это легко воспламеняемая и полностью сгорающая часть — мох, опад, подстилка. В малопродуктивных лесах запасы сухого материала невелики — около 1 кг/м^2 . Средний запас сухой древесины около 15 кг/м^2 . Доля выгоревшего торфа варьируется в широких пределах. Таким образом, в среднем в лесах сгорает $5 - 10\text{ кг/м}^2$ горючего материала, не считая торфа.

Тепловые потоки, регулирующие газообмен и развитие пожара, обеспечивают перенос загрязнителей в пространстве.

В результате неконтролируемого горения лесных горючих материалов возникает конвективная колонка (струя) нагретых продуктов полного и неполного сгорания топлива, которые выбрасываются благодаря этой колонке в приземный слой атмосферы. Высота конвективной колонки тем больше, чем большее количество тепла выделяется при горении, так как основная движущая сила продуктов сгорания – сила Архимеда.

К основным параметрам развития пожара относят: продолжительность пожара, площадь пожара, температуру пожара, скорость распространения пожара, скорость выгорания горючих веществ и материалов, интенсивность газообмена, интенсивность или плотность задымления [10, 42-45].

Эти параметры определяют обстановку и достигаемые в конкретных условиях значения опасных факторов пожара (ОФП), которые приводят к нарушению условий жизнедеятельности, заболеваниям, травмам, гибели людей. К числу ОФП относят токсичность продуктов горения, плотность дыма, температуру пожара и др. Их можно назвать также экологически опасными факторами пожара (ЭОФП), так как они негативно воздействуют на экосистемы суши и водных объектов [11, 46]. На рисунке 1.7 представлены значения коэффициента эмиссии для различных типов лесных пожаров.

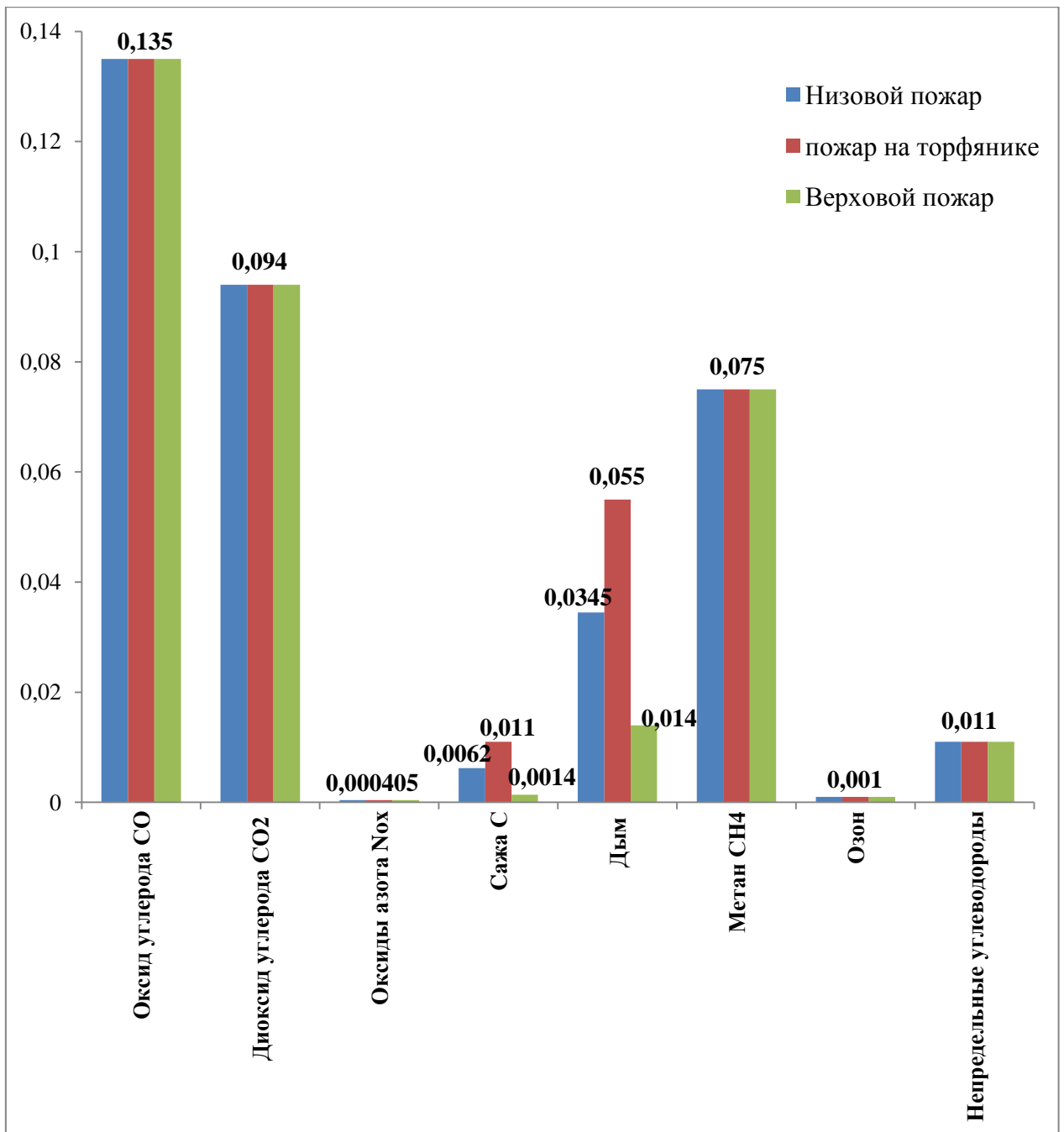


Рисунок 1.7 - Значения коэффициента эмиссии для различных типов лесных пожаров

Дым от пожаров вызывает изменение освещённости, температуры воздуха, влияет на количество атмосферных осадков. Дымовой аэрозоль и газообразные продукты, взаимодействуя с атмосферной влагой, вызывают кислотные осадки - дожди, туманы.

В воздухе частицы дыма радиусом 3 мкм могут находиться до нескольких дней, а более мелкие частицы радиусом 0,1-0,3мкм – могут оставаться в воздухе недели, а то и месяцы.

Аэрозоли на почву оседают под воздействием силы тяжести, вымываются осадками из воздуха. В этом случае происходит самоочищение атмосферы от продуктов горения, но токсичные вещества продолжают оказывать негативное действие на человека, растительный и животный мир. Вещества, загрязняющие окружающую среду при горении древесины, представлены на рисунке 1.8 [12].

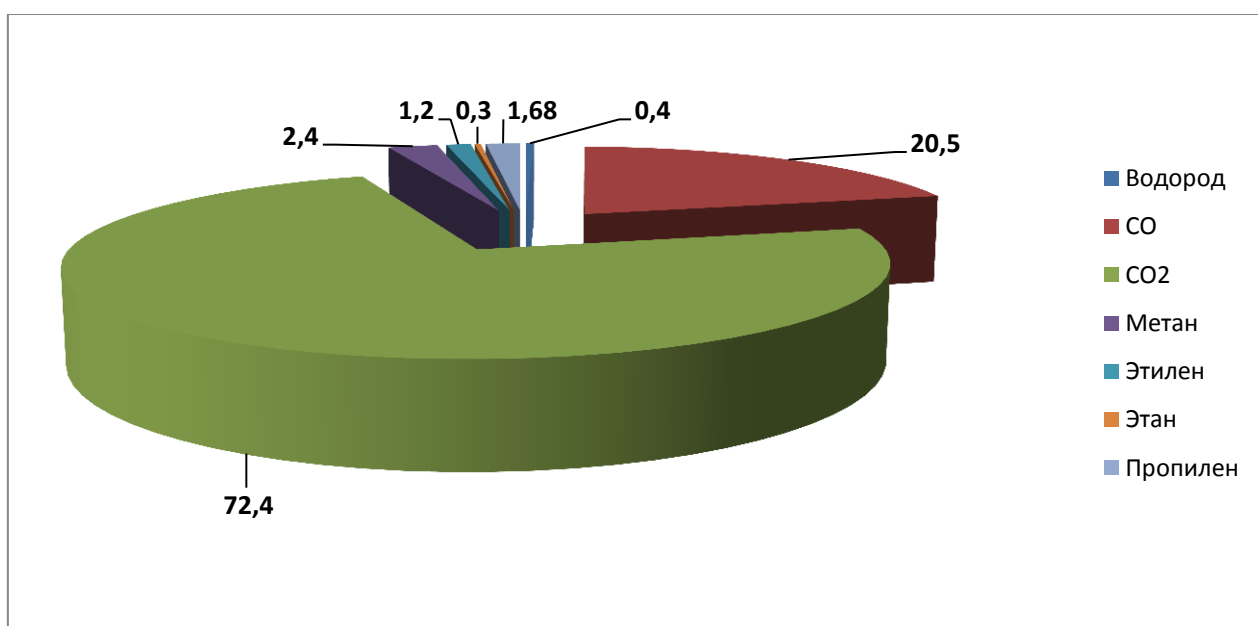


Рисунок 1.8 - Состав и концентрация газообразных продуктов горения древесины, % масс.

Отрицательное воздействие продуктов горения древесины на организм человека описывается в таблице 1.1 [13].

Таблица 1.1 - Компоненты древесного дыма и сажи, их воздействие на организм человека

№ п/п	Наименование компонентов	Характеристика токсичности (воздействие на организм человека)
1	Углерода монооксид (CO)	Обладает политропным действием с преимущественным воздействием на нервную систему. Представляет собой опасность, вплоть до смертельного исхода. Вызывает тканевую гипоксию, клеточный некроз, снижается способность крови переносить кислород к клеткам, органам и тканям.
2	Оксид азота (NO)	Поражает верхние дыхательные пути, вызывает воспалительные изменения в бронхах и альвеолах.
3	Диоксид серы (SO ₂)	Поражает верхние дыхательные пути, вызывает повреждение легких.
4	Частицы углерода (C)	Обладает раздражающим и токсическим эффектом.
5	Антрацен (C ₄ H ₁₀)	Токсичен
6	Пирен (C ₁₆ H ₁₀)	Токсичен

2 Технологии тушения пожаров

2.1 Технология тушения пожаров

Для тушения пожаров применяют следующие методы:

1) Захлестывание огня ветвями деревьев. Это самый старый и самый распространенный способ тушения лесного пожара. Используется он во всех странах мира. Такое широкое распространение объясняется просто - часто идущий по лесу человек не имеет ничего другого, кроме ветки дерева. В некоторых местах, особенно на каменистых почвах, для тушения пожаров применяют металлические метлы. Следует помнить: данный способ тушения применяется, когда горючий напочвенный покров легко сметается в сторону пожара с поверхности почвы.

2) Тушение пожара грунтом. Грунт имеется во всех условиях только теоретически. На многих склонах гор, где в почве много обломков скальных пород и сосредоточена основная масса корней, использовать почву для засыпки огня невозможно. Там же где почвы имеют большую мощность, грунт можно использовать как для засыпки огня, так и для создания заградительных полос на пути движения пожара. Рабочие (при тушении пожара лопатами) роют небольшие ямки и из них берут грунт. За 1 ч. можно забросать всего 20 - 30 м кромки пожара. Выпускаемый в нашей стране тракторный грунтомет ГТ-3 разбрасывает почву на расстояние до 25 м, создавая полосу шириной 18 м, которая может остановить пожар, применяется только на открытых местах и в изреженных древостоях.

3) Тушение пожаров водой. Самым распространенным на сегодняшний день средством тушения пожара является вода. Вода способствует изоляции материала, подвергающемуся воздействию открытого пламени, от кислорода, снижая его температуру. Это происходит вследствие расхода большого количества энергии системы на охлаждение и испарение воды. Процесс тушения характеризуется выделением около $1,6 \text{ м}^3$ пара из

одного литра воды. Так как наиболее распространенным видом тушения пожара в населенных пунктах является тушение водой, то для этих целей разработано множество различной техники. Большинство этих машин после изменения ходовой части (с целью увеличения их проходимости) используют и для тушения лесных пожаров.

Для тушения лесных пожаров вблизи водоемов употребляют различные мотопомпы, как выпускаемые специально для тушения лесных пожаров, так и устанавливаемые на пожарных автомашинах и автоцистернах с расходом воды от 600 до 1600 л в минуту. При тушении же кромки пожара расход воды на 1 м составляет (в зависимости от количества и качества горючего материала) 0,2 - 0,5 л. Там, где воды мало (а пожары чаще возникают именно там), нужны мотопомпы, более экономно расходующие воду, которые были разработаны на базе двигателя мотопилы. Используются за плечами в виде ранца. Есть мотопомпы плавающие, устанавливаемые вблизи водоемов. С их помощью или тушат пожары, или подают воду для тушения другими механизмами.

В большинстве случаев мотопомпы используются для подачи воды, которую подвозят в различных емкостях. Например, высоконапорная лесопожарная мотопомпа МЛВ-1, которая подает воду на расстояние до 1 км.

Самое экономное использование воды достигается при использовании ранцевых огнетушителей.

Ранцы эффективны при тушении низовых лесных пожарах. Их применение оправдано, когда техника еще не прибыла или ее количество меньше необходимого. Дополнительное преимущество - тушение в труднодоступных местах.

Ранцевый огнетушитель надевают как обычный рюкзак, очень удобен при использовании парашютистами-пожарными.

При тушении лесных пожаров используют огнетушители как для непосредственной борьбы с огнем, так и для создания заградительных полос на пути его движения. Чистая вода непригодна для тушения лесных пожаров,

так как под влиянием поверхностного натяжения на пыльной, а часто и смолистой подстилке образует шарики, которые проваливаются между частицами лесного опада (между хвоинками, листьями и т. п.), не смачивая их. Конечно, расходуя на 1 м кромки пожара по 1,5 л воды, можно потушить пожар и чистой водой, но тогда теряет смысл само применение огнетушителя, в резервуар которого вмещается 15—20 л жидкости. Чтобы уменьшить поверхностное натяжение и увеличить смачивающие свойства воды, в нее добавляют специальные вещества, чаще всего для этой цели применяют сульфанол.

Для уменьшения расхода воды применяют различные химические вещества. Наиболее широко распространены: хлористый кальций, хлористый магний, монофосфат аммония, дифосфат аммония, фосфорная кислота и др. Так же используются препараты, приготовленные на базе бишофита, который обладает и свойствами смачивателя. Добавление в воду пенообразователя для получения небольшого валика из пены применяются только для - искусственного пожара.

4) Прокладка на пути распространения пожара заградительных минерализованных полос и канав с помощью фрезерных или грунтометательных машин, бульдозеров, плугов, канавокопателей и др. Заградительные и опорные минерализованные полосы и канавы прокладывают в целях:

- а) локализации пожаров без предварительной остановки их распространения непосредственным воздействием на кромку;
- б) применения отжига от опорных полос.

Заградительные полосы, в зависимости от интенсивности и скорости распространения пожара и вида применяемого орудия, прокладывают одинарные или двойные, а при необходимости прокладки более широких полос -они создаются в несколько ходов.

5) Применение отжига. Отжиг является наиболее эффективным способом, применяемым при тушении верховых, а также низовых пожаров высокой и средней интенсивности.

Пуск отжига производится от имеющихся на лесной площади рубежей (дорог, троп, речек, ручьев, проложенных в порядке противопожарной профилактики минерализованных полос и других естественных или искусственно созданных преград распространению огня), а при отсутствии таких преград вблизи пожара - от опорных полос, специально проложенных вручную, с помощью почвообрабатывающих орудий, взрывчатых материалов, растворов химических веществ и другим способом, шириной 0,3-0,5 м. Зажигание напочвенного покрова при пуске отжига производится по самому краю опорной полосы, обращенной к пожару, без каких-либо промежутков.

Для зажигания применяют:

а) специальные зажигательные аппараты (ЗА-1, ЗА-4) фитильно-капельного типа, состоящие из резервуара (4-5 л) с горючей смесью (бензин + масло) и шланга для подачи смеси с горячей насадкой.

б) зажигательные свечи, дающие при горении температуру более 150°С в течении 8-12 мин. За это время можно поджечь горючий материал на протяжении 20-40 м.

в) факелы из различных тканей, смоченных машинными маслами, используются подручные материалы, например березовая кора, которая защепляется в любую палку, поджигается и используется как факел.

Наиболее осторожный - способ гребенки. Линия отжига имеет форму гребенки. В зубьях этой гребенки распространение огня против ветра заменяется боковым, между зубьями. Более быстро выжигается полоса необходимой ширины, когда применяют способ опережающего огня. От опорной полосы пускают отжиг, а потом, отойдя от него на 5—7 м в сторону пожара, зажигают горючий материал на линии, параллельной отжигу, и эти

два огня движутся навстречу друг другу, причем один из них по ветру. Для уширения отжига такую же операцию можно повторить.

Иногда производят ступенчатый отжиг, устраивая несколько опорных полос и пуская обычный отжиг от каждой.

б) Тушение пожаров с помощью авиации путем обработки водой или огнетушащим составом полос леса на пути распространения пожара при помощи водосливных устройств вертолетов или самолетов-танкеров, а также путем высадки воздушного десанта. Наиболее эффективное применение авиации осуществляется, в том случае если для тушения пожара используется вода со смачивателем.

Для авиационного тушения рекомендуется применять смачиватели:

а) пенообразователь-смачиватель «ФАЙРЭКС»,
б) СП-01 или разработанный Академией ГПС МЧС России «Экспериментальный - ULTRA».

7) Тушение пожаров с помощью взрывчатых веществ путем устройства заградительных полос или использования ударной волны для срыва пламени и заброса грунтом на очаг пожара.

Опорные полосы для искусственного пожара готовят с помощью взрывчатых веществ. Последнее время широкое распространение получили шнуровые заряды, укладываемые по поверхности почвы. После их взрыва образуется минерализованная полоса, лишенная всех растительных остатков и состоящая из одного минерального грунта.

Такая полоса при отсутствии ветра иногда и сама может остановить распространение пожара, но чаще она используется в качестве опорной полосы для отжига.

При тушении массовых пожаров в 1972 году в ряде регионов (в основном в месте примыкания леса к торфяникам, при отсутствии вблизи населенных пунктов) для создания минерализованных полос и локализации пожаров использовались взрывы в лесном массиве (особенно в лесных массивах на минеральном грунте (суходоле)) с дальнейшей расчисткой полос

бульдозерами, пилами; в Шатурском районе в ряде случаев применялись двойные взрывы при глубине залега торфа 3-4 м – первым взрывом производился выброс торфа, вторым – минерального грунта, которым создавалась противопожарная зона шириной 35-50 м (иногда после второго взрыва появлялась вода).

8) Тушение пожара искусственно вызванными осадками из облаков путем обстрела облачного фронта специальными ракетами. Способ и выбор технических средств для тушения пожара зависит от вида, интенсивности и скорости распространения пожара, окружающей обстановки, наличия сил и средств пожаротушения, намечаемых тактических приемов и сроков тушения, а также метеорологической обстановки [14].

2.2 Средства для тушения пожаров

Для тушения лесных пожаров чаще всего используется вода и специальные химические вещества (пенного тушения, порошком). В свою очередь химические составы подразделяются на:

- 1) смачивающие;
- 2) огнезадерживающие (ретарданты);
- 3) огнегасящие.

При тушении торфяных, травяных и лесных пожаров, когда подача воды представляет значительную проблему, а также в случае тушения пожаров санных сараев, скирд, отвалов применяются смачиватели.

Положительным свойством смачивателей является быстрое проникновение жидкости внутрь горючего материала, а повышенная смачивающая способность позволяет сэкономить расход воды на 50% и как следствие уменьшить время тушения пожара.

Водные растворы смачивателей способны быстро проникать в толстые слои торфа и лесные подстилки поэтому они незаменимы для борьбы с устойчивыми почвенными пожарами, особенно с торфяными.

Для борьбы с ландшафтными пожарами в наземных условиях и с использованием авиации наилучшими свойствами обладают пенообразователи (смачиватели) и огнезадерживающие составы, включающие ретарданты, которые придают огнестойкость лесным материалам на длительное время. Горючие материалы, обработанные такими растворами, теряют способность гореть на длительное время (до выпадения осадков).

В рамках проведения опытно-конструкторской работы «Разработка высокоэффективных смачивателей, повышающих эффективность применения воды при тушении лесных и торфяных пожаров, разработка новых высокоэффективных биологически-мягких пенообразователей для применения, в том числе на объектах, расположенных на Крайнем Севере» Академией ГПС МЧС России по заказу МЧС России в 2011 году созданы инновационные продукты – опытные образцы смачивателей с высокой огнетушащей эффективностью, такие как:

1) соли и смачиватели от пожарно-химических станций. Заводом изготовителем предусмотрена возможность готовить рабочие растворы непосредственно рядом с очагами возгорания или приготовить растворы заранее. Соблюдая все санитарно-гигиенические требования при их хранении, транспортировке и использовании;

2) огнетушащие химикаты применяют для тушения горения на кромке низового пожара, создания опорных полос для отжига, а также для дотушивания оставшихся очагов горения после локализации пожара. Дозировка раствора на опорных полосах в зависимости от мощности напочвенного покрова не менее 0,5 и не более 1,5 л на 1 м.

Пенообразующие вещества применяют для предотвращения воспламенения, создавая пенный слой на поверхности горючего материала.

При применении пены концентрация поверхностно-активных веществ (ПАВ) в воде на порядок выше, чем для получения водного раствора смачивателя. С экологической точки зрения применение пены не оправдано.

Тушение лесных и торфяных пожаров весьма трудоемкий процесс, т.к. зачастую нет возможности доставить технику, пригодную для пожаротушения, к очагу возгорания. Это связано с отсутствием дорог (особенно в лесах Сибири, Севера и Дальнего Востока). Помимо этого сложность доставки технического оборудования характерна и для горной местности. В таких случаях преимущество в пожаротушении отдается мобильным средствам [16].

2.2.1 Применение огнетушащей пены при тушении лесных пожаров

Огнетушащая пена – коллоидная система, состоящая из пузырьков газа, окруженных пленками воды. Появляется при соединении воды и пенообразователей.

Преимущество пены в качестве средства пожаротушения перед остальными состоит в том, что она оказывает изолирующее и охлаждающее действие в месте развития пожара. Это в свою очередь является причиной эффективности пожаротушения и снижает вероятность повторного возгорания, а также опасность взрыва от смеси горючих газов.

Пена сбивает пламя и охлаждает горючий материал, используется для создания противопожарных заградительных полос, а так же опорных линий для последующего отжига при тушении лесных пожаров, эффективна работа и на кромке огня.

Распознают пены невысокой (до 20), центральной (20–200) и высочайшей (наиболее 200) кратности. Кратность пены выражается отношением объема пены к объему раствора, из которого она происходит.

Основным показателем качества пены является: стойкость к тепловым и механическим воздействиям, что обеспечивается подбором пенообразователей на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ).

Фторированные ПАВ, входящие в состав пенообразователей являются биологически не разлагаемыми продуктами, которые попадают в почву и водоемы способны нанести колоссальный вред окружающей среде.

ПАВ попадая в водоемы препятствуют поступлению кислорода. Такие поверхностно-активные вещества, как ПО-1, ПО-10, Форэтол, ПО-6К, сульфанол НП-3, ДС-ПАС, ПО-2, ПДК ПО-6К биологически трудно разлагаются, в результате происходит гибель фитопланктона, рыб.

Существуют следующие признаки, подтверждающие присутствие ПАВ в растворе: на вкус раствор вяжет; раствор становится мутным; при тряске раствора образуется пена. В воде содержание ПАВ влечет за собой уменьшение концентрации растворенного кислорода, а также снижение численности микроорганизмов. Помимо этого ПАВ токсически влияют на водные и почвенные экосистемы.

Применение ПАВ наносит вред окружающей среде, в тоже время тушение с применением пены уменьшает загрязнение воздушной среды токсичными и вредными продуктами горения.

В соответствии с рекомендациями ВНИИПО МЧС РФ израсходованный на тушение пожара пенообразователь должен быть собран и отправлен на завод для переработки или на полигон захоронения химических отходов.

ПАВ негативно воздействуют на человека, токсичность которых оценивается:

- 1) по летальной дозе, при попадании в желудок;
- 2) по раздражающему действию на слизистые оболочки глаз;
- 3) по дерматологическому действию на кожу;
- 4) по способности изменять функциональное состояние нервной системы.

Последствия использования пены таковы, что после разрушения огнетушащей пены водный поток попадает через стоки, дренажные в грунтовые воды, почву и водоемы.

Недостатком смачивателей - Сульфанол, ОП-7 и ОП-10 является низкая степень биоразлагаемости данных ПАВ (40-50%), что приводит к загрязнению окружающей среды.

Недостатком применения моющих средств типа «Прогресс», «Дон», «Астра» и пенообразователей общего назначения для тушения пожаров с биоразлагаемостью не менее 80% является их высокая концентрация в растворах смачивателей равная, так же ведущая к загрязнению окружающей среды.

Общим недостатком всех известных пенообразователей, является невозможность использования пены в качестве средства профилактики и тушения лесных и торфяных пожаров, вследствие низкой устойчивости пены к самопроизвольному разрушению и к открытому пламени.

Наконец, все используемые в мировой практике синтетические моющие средства (СМС) и пенообразователи для тушения пожаров, включающие биологически мягкие синтетические ПАВ, в настоящее время являются наиболее опасными загрязнителями окружающей водной среды.

Использование природных продуктов в качестве пенообразователей позволяет сохранить природную среду от загрязнения. К таким веществам относятся сапонины, пектины, получаемые из отходов плодов и фруктов, производные целлюлозы, лецитин, глюкозиды.

2.2.2 Закономерности горения древесины, обработанной антипиренами

Пропитка антипиренами является одним из способов перевода древесины в группу трудносгораемых материалов. Это дает возможность задержать воспламеняемость и снизить горючесть древесины, а также локализовать распространение пламени [17,18].

На рисунке 2.1 представлена схема горения, представленная в виде циклического процесса.

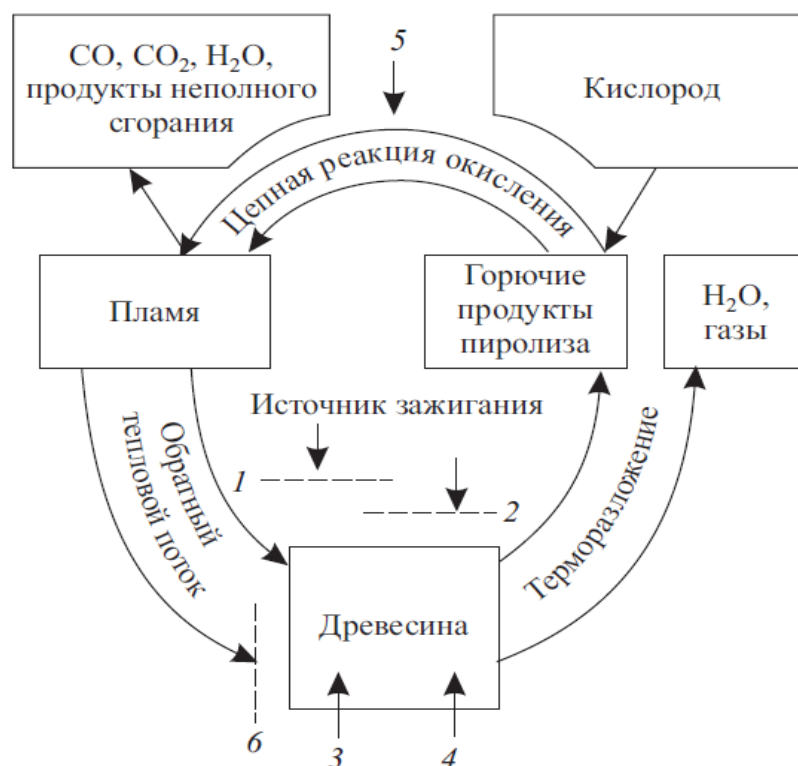


Рисунок 2.1 – Схема процесса горения древесины и мероприятия, направленные на его подавление

При покрытии поверхности древесины огнезащитными составами 1, способными к вспучиванию при действии высоких температур, ограничивается доступ кислорода, снижается температура материала и затрудняется выход горючих газов 2 в процессе горения древесины.

Нанесенные на древесину вспучивающиеся покрытия 1 предотвращают нагрев материала, преграждают доступ кислорода воздуха и затрудняют выход летучих продуктов 2. Минеральные наполнители 3 играют роль компонента, снижающего количество горючих компонентов в материале. Антипирены воздействуют на процесс пиролиза снижением концентрации продуктов горения, при этом замедляя пламенное горение 5. В связи с этим теплоты экзотермической реакции окисления в газовой фазе значительно падает. Развитие процесса пиролиза 6 тормозится обугливанием поверхности.

Механизм действия антипиренов пропитывающего действия основан на образовании слоев-барьеров в древесине при действии на нее пламени.

Эти слои ограничивают передачу теплоты за счет образования на поверхности древесины плоской двухслойной стенки, состоящей из вспененного теплоизолирующего слоя и слоя угля, образующегося при терморазложении азот- и фосфорсодержащих антипиренов, входящих в состав пропитывающих средств [19].

Действие антипиренов заканчивается и начинается воспламенение древесины только после того, как тепловой поток преодолеет толщину вспененного слоя и слоя угля, а температурный напор превысит 250°C [20,21].

Процесс термодеструкции, пропитанной антипиреновым составом, древесины при воздействии на нее теплового потока, соответствующего температуре горения древесины, можно описать следующим образом:

- 1) Прогрев древесины на глубину пропитки;
- 2) Обугливание верхнего слоя и выделение на поверхности древесины продуктов разложения пропиточного средства;
- 3) Вспенивание и отверждение углеродсодержащих компонентов огнезащитного средства;
- 4) Осмоление и усадка вспенившегося слоя; достижение тепловым потоком угольного слоя;
- 5) Окончание действия огнезащитных свойств нанесенного на древесину средства при достижении температуры теплового потока 250°C ; возгорание древесины.

3 Составы для тушения пожаров

3.1 Патентный поиск

В патенте РФ 2149665 описывается порошковый состав на основе аммософа для тушения пожаров на открытом воздухе следующего химического состава: 87-94 % масс. аммософа; 3-8 % масс. гидрофобного диоксида кремния; 3-5 % масс. алюмосиликатного наполнителя [22].

Алюмосиликатный наполнитель, представленный флогопитом или пирофиллитом, а также гидрофобный диоксид кремния в виде аэросила или силохрома предварительно осушаются.

Нижний предел концентрации аммофоса обусловлен снижением эффективности пожаротушения, в то время как верхний предел напрямую влияет на эксплуатационные характеристики порошка – при большей концентрации порошок слеживается и не распыляется должным образом.

Верхний предел содержания диоксида кремния связан с нецелесообразностью его дальнейшего повышения с целью улучшения его технологических свойств. Нижний предел ограничивается неудовлетворительной гидрофобностью и набуханием, связанным с впитыванием влаги.

Концентрация алюмосиликата, превышающая 5 % масс., снижает адсорбирующие свойства состава. При концентрации менее 3 % масс. состав становится недостаточно текучим и снижается срок его хранения.

Пожаротушащие свойства данного состава основаны на реакциях разложения:



Если в процессе пожаротушения применяется вода, то присутствует реакция связывания образовавшегося аммиака:



В патенте РФ № 2270711 описывается состав для тушения пожаров класса А, в том числе лесных и торфяных пожаров. В таблице 3.1 представлен состав для тушения пожаров [23].

Таблица 3.1 – Состав для тушения лесных и торфяных пожаров

Вещество	Содержание, мас. %
Алкилсульфаты натрия первичных высших жирных спиртов:	
- фракции C ₈ -C ₁₀	9 – 20
- фракции C ₁₂ -C ₁₄	3 – 8
Сульфэтоксилаты натрия первичных высших жирных спиртов фракции C ₁₂ -C ₁₄	4 – 9
Первичные высшие жирные спирты фракции C ₁₂ -C ₁₄	1 – 3
Карбамид	5 – 15
н-Бутиловый спирт	2 – 7
н-Бутиловый спирт	2 – 5
Неонол	1 – 3
Оксанол	1 – 3
Вода	остальное

Данный состав может использоваться как с пресной, так и с морской водой. В процессе пожаротушения такой состав отличается повышенной огнетушащей способностью и обеспечивает образование устойчивой пены.

Для тушения и локализации пожаров класса А1, к которому относятся лесные пожары, может использоваться состав, описанный в патенте РФ № 2485989. Данный газовый состав содержит в себе флегматизатор,

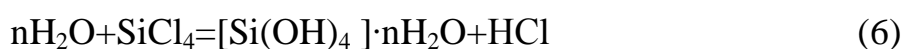
представленный смесью диоксида углерода с азотом или воздухом (при соотношении (70-95):(30-5) или метфораном, а также йодсодержащий углеводородный ингибитор. Ингибитор представлен в виде смеси растворов йодоформа (5-50% масс.) в хлороформе или раствором неорганической соли цезия (2-20% масс.) в этиловом или пропиловом спирте [24].

Диапазон температур эксплуатации данного состава от -50 до +50 °С. Газовый состав отличается пониженным значением массовой огнетушащей концентрацией.

Для тушения лесных массивов и торфяников патенте 2262367 предлагается использовать следующий состав: 47-48,5% молотой глины, 1-2% хлорида натрия, 0,5-1% молотого асбеста (остальное вода). Данный состав является эффективным, недорогим и удобным в эксплуатации. Однако существует и ряд недостатков. Среди них невозможность тушения тлеющих пожаров, а также использование только при помощи сброса (слива) [25].

Данные недостатки могут быть устранены согласно патенту РФ № 2504414, путем использования наноразмерных форм огнетушащих веществ и введением в известный состав хлорсиланов, в частности тетрахлорида кремния [26].

В результате использования в процессах пожаротушения хлорсиланов образуется облако над очагом возгорания, в котором происходят реакции гидролиза:



Вода для реакции берется из воздуха, а образующийся хлороводород ингибирует процесс горения. Распыляемые наночастицы кремния образуют критически малые расстояния между собой, что останавливает развитие пожара.

Пенообразующий состав для тушения пожаров класса А описан в патенте РФ № 2302890, состав изобретения представлен в таблице 3.2 [27].

Таблица 3.2 – Состав для тушения

Компонент	Содержание, мас. %
Кубовые остатки органического синтеза	25-40
Карбамид	10-15
Высшие жирные спирты C ₁₂ -C ₁₄	1-5
бутанол	3,5-8
глицерин	1-5
хромат циклогексиламина	0,1
35% водный раствор вторичных алкилсульфатов натрия	остальное

В качестве остатков органического синтеза могут быть использованы отходы производства 1,4-бутандиола, поливинилпирролидона, γ -бутиролактона, ректификации метилпирролидона, регенерации моноэтаноламина, а также их смеси.

Описываемый состав отличается повышенной морозостойкостью и огнетушащей эффективностью.

В описании к изобретению РФ № 2416448 имеется информация о составе для тушения пожаров класса А, изображенная в таблице 3.3 [28].

Таблица 3.3 – Состав для тушения пожаров класса А

Компонент	Содержание, мас. %
Натриевые соли первичных высших жирных спиртов фракции C ₈ -C ₁₀	39 – 41
Триэтаноламиновые соли алкилсульфатов первичных высших жирных спиртов фракции C ₁₂ -C ₁₄	1,5 – 2
Этилцеллозольв или бутилцеллозольв	0,5 – 1
Вода	остальное

Натриевые соли первичных высших жирных спиртов, отличающиеся повышенными пенообразующими свойствами, играют роль анионного пенообразующего ПАВ. Триэтаноламиновые соли алкилсульфатов первичных высших жирных спиртов вводятся с целью повысить стойкость образующейся пены и улучшить ее кратность при низком содержании ПАВ. Этилцеллозольв или бутилцеллозольв вводятся с целью стабилизации состава при хранении.

Известен многоцелевой огнетушащий порошок – описан в патенте РФ 2489189, который может применяться и для тушения лесных пожаров. Состав порошка представлен в таблице 3.4 [29].

Таблица 3.4 – Многоцелевой огнетушащий порошок

Компонент	Название	Содержание, мас. %
Основной компонент	хлористый натрий	59-62
Целевая добавка	кварц пылевидный	30-33
Гидрофобизирующая добавка	микротальк : стеориновая кислота = 10 : (0,4-2,5)	1,8-10

В патенте РФ 2449825 имеется описание состава для тушения в частности лесных пожаров, представляющий собой смесь воды и легкоплавкого стекла. Шихта легкоплавкого стекла представлена раствором или взвесью концентрацией 0,0001-10% . Данный состав при воздействии на него высоких температур образует стеклянную пленку, тем самым прекращает доступ кислорода к очагу возгорания [30].

В патенте РФ 2158150 имеется описание способа тушения пожара при помощи аэрозоля, полученного в результате взрыва смеси, состав которой представлен в таблице 3.5 [31].

Таблица 3.5 – Состав промышленного взрывчатого вещества

Компоненты	Содержание, мас. %
Нитрат аммония	31-44
Динитрофеноксиэтанол или тринитротолуол	6-9
Натрий хлористый	50-60

В результате взрыва образуются следующие газообразные вещества: водяной пар, диоксид углерода, азот, хлороводород. На 50-60% аэрозоль состоит из тонкодисперсного пламегасителя NaCl.

Патент РФ 2496546 описывает возможность применения состава для тушения и предотвращения лесных и торфяных пожаров, представленного в таблице 3.6, содержащем в себе ПАВ на основе триэтаноламиновых солей первичных алкилсульфатов ПО-6ТС [32].

Таблица 3.6 - Пенообразующий состав термостойкой пены для профилактики и тушения лесных и торфяных пожаров

Компонент	Содержание, мас. %
Основной хлорид алюминия - $Al_2(OH)_5Cl$	0,5
ПАВ - ПО-6ТС	0,16
Триэтанолами	0,4
Вода	остальное

Состав может быть использован в качестве заряда огнетушителей и в автоматических системах тушения пожаров.

3.2 Предложение оптимального огнетушащего состава на основе «ОСА-1»

Для предупреждения, локализации и тушения лесных пожаров может использоваться состав, описанный в работах [33-35].

Данный состав представляет собой антипирен, основными компонентами, представленных в таблице 3.7, которого являются карбамидоформальдегидный концентрат, аммиачная вода, карбамид и ортофосфорная кислота.

Таблица 3.7 – Состав КФК

Компонент	Содержание, % масс.
Формальдегид	58,5-605
Карбамид	23,5-25,,5
Вода	остальное

Огнетушащий состав на основе антипирена «ОСА-1» представляет собой водный раствор антипирена при массовом соотношении «ОСА-1»:вода=(1-8):100.

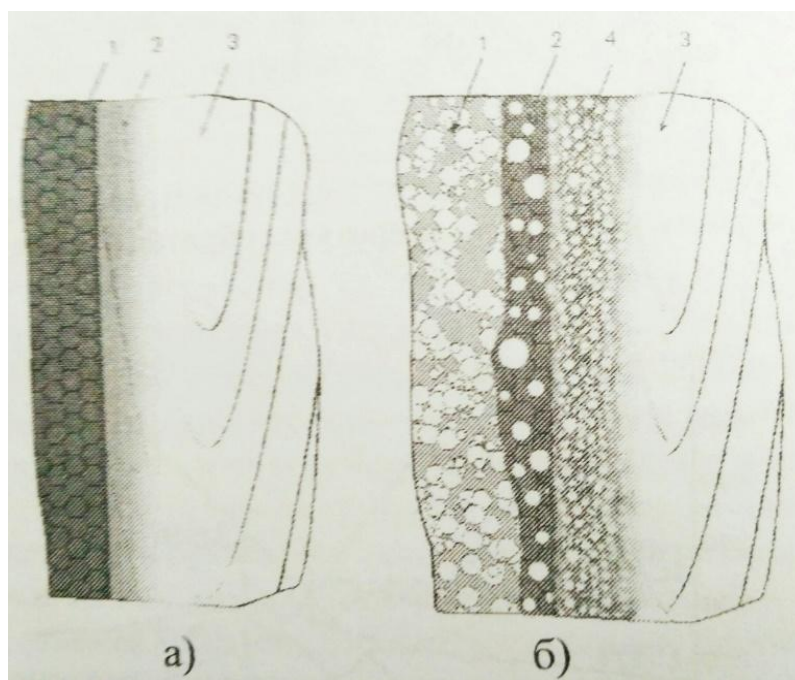
Состав «ОСА-1» может применяться в качестве огнезащиты древесины, за счет высоких показателей пропитывающей способности [36,37]. На рисунок 3.1 изображено влияние плотности древесины на ее пропитываемость огнезащитным составом «ОСА-1» .

На рисунке 3.2 представлена модель огнезащиты древесины.

Образующийся в процессе горения обугленный слой древесины, обработанной огнезащитным составом, отличается большей однородностью и отсутствием глубоких трещин.



Рисунок 3.1 – Влияние плотности древесины на ее пропитываемость огнезащитным составом «ОСА-1»



а) исходный образец; б) после горения в течение 2 минут при $t=200^{\circ}\text{C}$

1 – наружный слой антипрена; 2 – слой древесины, пропитанный «ОСА-1»; 3 – непропитанный слой; 4 - карбонизированный слой

Рисунок 3.2 – Модель огнезащиты древесины

Обработанная древесина характеризуется также пониженной дымообразующей способностью, показатели которых представлены в таблице 3.8 [38].

Таблица 3.8 – Влияние обработки сосны огнезащитным составом ОСА-1 на дымообразующую способность

Показатель	Обработанная древесина		Древесина без обработки	
	тление	горение	тление	горение
Светопропускание, %				
- начальное	100	100	100	100
- конечное	5,6	58	3,2	55
Коэффициент дымообразования, м ² /кг	447	90	610	92

В таблице 3.9 приведены результаты испытания огнетушащего состава «ОСА-1» в процессе тушения модельного очага пожара в сравнении с огнетушащим составом ПО-6ТС [39].

Таблица 3.9 – Время тушения пожара различными составами

Расход на тушение, л/с	Время ликвидации пожара, с		
	вода	р-р ПО-6ТС (2%/6%)	р-р «ОСА-1» (2%/6%)
0,0008	65	-/55	-/50
0,0009	63	-/50	-/45
0,002	31,5	18/-	12,4/-
0,003	28	17,5/-	11,5/-
0,004	24	16,2/-	10,2/-
0,010	16	13,3/-	7,6/-

Применение антипирена ОСА-1 в виде 2- или 6% водных растворов снижает расход огнетушащего состава, а также сокращает время тушения

пожара по сравнению с водой и аналогичными по концентрации водными растворами ПО-6 ТС.

Таким образом, огнетушащий и огнезащитный состав «ОСА-1» отличается следующими преимуществами:

- 1) эффективно снижает горючесть и дымообразующую способность древесины;
- 2) обладает высокой реакционной способностью, за счет чего образует прочно связанный с древесиной огнезащитный комплекс;
- 3) не содержит органических растворителей;
- 4) хорошо растворим в воде;
- 5) не требует для своего приготовления дефицитных веществ и материалов.

4 Технология синтеза антипиренов марки ОСА

В предложенной технологии получения огнетушащего состава используются экономически и экологически целесообразные компоненты: КФК-85, аммиачная вода, карбамид и ортофосфорная кислота.

Получаемый состав представляет собой маловязкую жидкость. Данный раствор может быть использован непосредственным нанесением его на поверхность древесины.

Последовательность операций в процессе синтеза антипирена приведена на рисунке 4.1 [40,41].

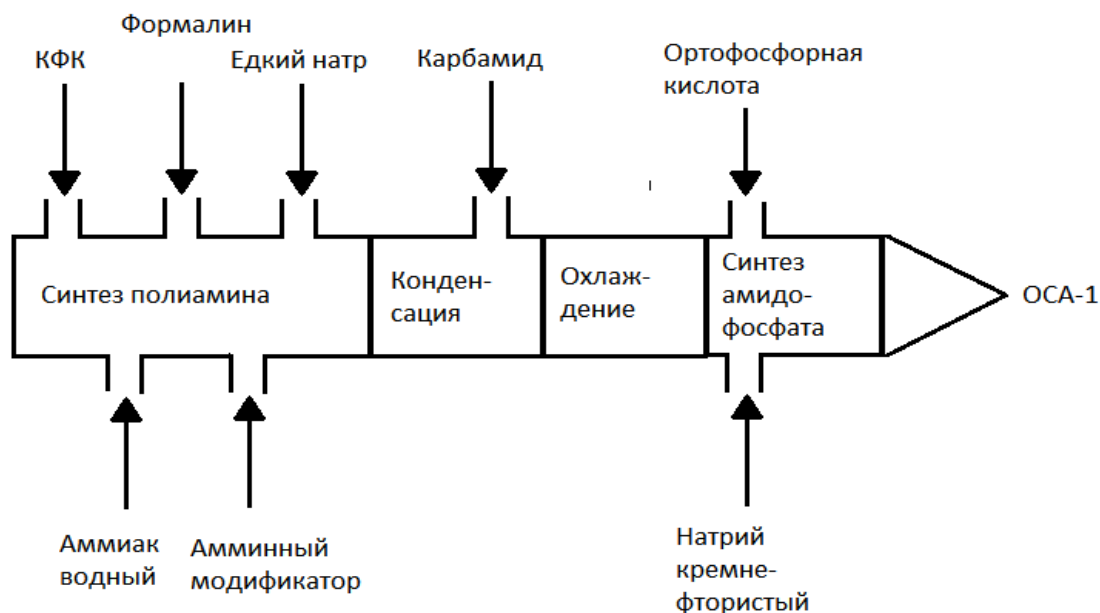


Рисунок 4.1 – Последовательность проведения технологических операций в производстве ОСА

С целью связывания остаточного формальдегида и аммиака предусмотрен ввод на завершающей стадии процесса 1-10% мас. карбамида в расчете на 100% мас. КФК и ортофосфорной кислоты для доведения показателя концентрации водородных ионов рН готового продуктов до

уровня 6-8. Для придания антисептических свойств на стадии синтеза добавляется кремнефтористый натрий.

Принципиальная технологическая схема установки получения ОСА представлена на рисунке 4.2.

Синтез «ОСА-1» осуществляется реакторах рамного типа с мешалкой, оснащенных рубашкой, путем смешения аммиачной воды и КФК при температуре не более 65°C. После смешения реакционная смесь выдерживается в течение часа, после чего к ней добавляют карбамид. При этом образуется полиамин общей формулой $H_2[H_6N_2C_2]_{n+1}NCON[C_2N_2H_6]_{m+1}$, где $n=0,1$ и $m=0,1$. Массовое соотношение аммиачная вода : КФК : карбамид составляет 26,6:23,3:1.

Реакционная смесь тщательно перемешивается в течение 30 минут с целью полного связывания формальдегида. После чего смесь охлаждают и нейтрализуют с помощью ортофосфорной кислоты (рН=6-8). В результате нейтрализации образуются ди- и триаммонийфосфат и амидофосфат.

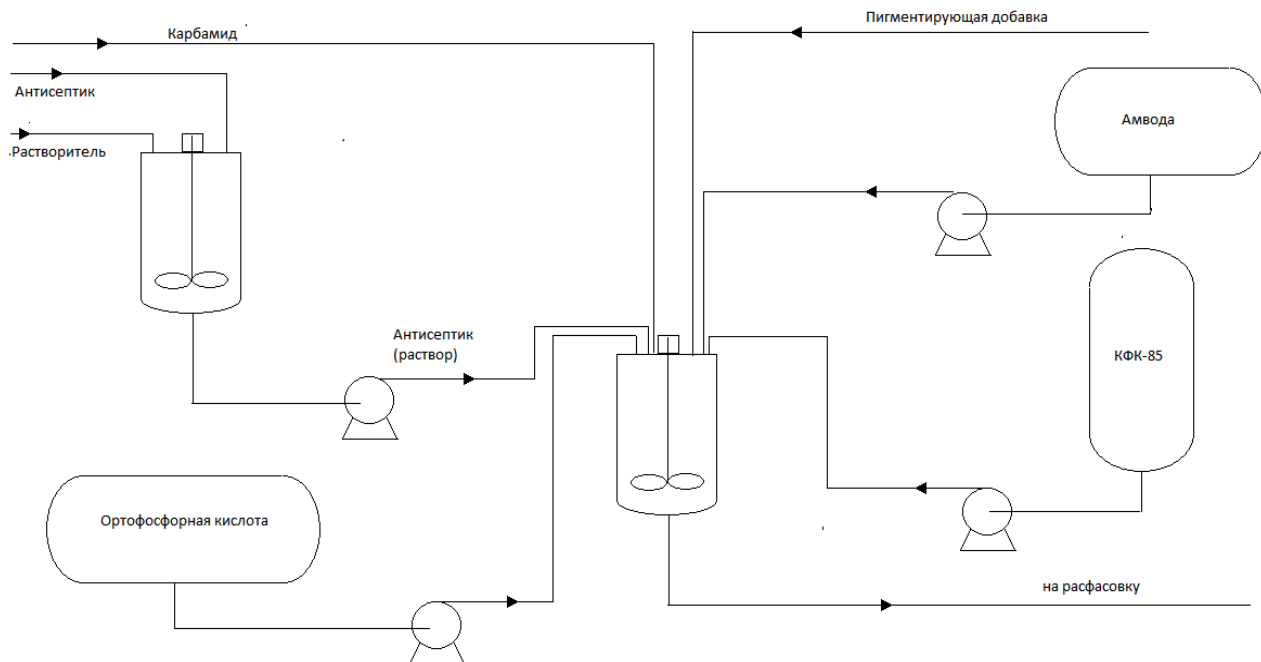


Рисунок 4.2 – Принципиальная технологическая схема получения ОСА-1

Полученный таким образом состав «ОСА-1» обладает следующими характеристиками, представленными в таблице 4.1.

Введенный на стадии синтеза полиамина карбамид одновременно связывает свободный формальдегид в метилолмочевину и образует сложные надмолекулярные структуры. Эти структуры имеют свойство вспучиваться при повышенной температуре за счет выделения низкомолекулярных соединений - воды, аммиака, углекислого газа, подавляющих процесс горения древесины. Интенсивное термическое разложение антипирена «ОСА-1» наблюдается уже при температурах свыше 110°C.

Таблица 4.1 – Показатели качества «ОСА-1»

Показатель	Значение
Внешний вид	Бесцветная прозрачная жидкость. Возможно присутствие тонкой взвеси
Содержание формальдегида	отсутствует
рН	6-7,5
Плотность при 20°C, г/см ³	1,1-1,25
Коэффициент рефракции, не менее	1,405
Температура замерзания °С, не выше	минус 15
Расход для перевода древесины в 1 группу огнезащитной эффективности, г/м ²	350

Амидофосфат, входящий в состав «ОСА-1», контактируя с горячей поверхностью, в процессе кислотной поликонденсации переходит в твердое состояние. Это свойство позволяет замедлить скорость горения.

Огнезащитное действие состава ОСА-1 объясняется также высоким содержанием в нем карбамида, который является сильным карбонизатором.

Описанные свойства антипирена «ОСА-1» обуславливают эффективность его применения в пожаротушении.

5 Экспериментальная часть

5.1 Методика выполнения эксперимента

В качестве исследуемой древесины в работе использовались образцы сосны. Данные образцы, изображенные на рисунке 5.1, были разделены на две части, первая из которых сутки вымачивалась в дистиллированной воде, а вторая – в 10%-ом растворе дигидрофосфата натрия.



Рисунок 5.1 – Вымачивание образцов сосны в воде (слева) и водном растворе дигидрофосфата натрия (справа)

После вымачивания образца подверглись сушке на открытом воздухе в течение двух суток. На рисунок 5.2 представлено изображение сушки образцов.



Рисунок 5.2 – Сушка образцов

Осушенные образцы взвешивались. Полученные данные приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты взвешивания образцов древесины

№	Масса образцов, г	
	Вымоченных в воде	Вымоченных в кислоте
1	7,09	5,46
2	5,31	2,80
3	3,31	5,11

После чего осушенные образцы подвергались воздействию открытого пламени на лабораторной установке для сжигания древесины, представляющей собой штатив с закрепленными образцами и спиртовую горелку, которые представлены на рисунке 5.3.



Рисунок 5.3 – Лабораторная установка для сжигания образцов древесины

Образцы древесины под номером 1, представленные в таблице 4.1, замоченные в разных растворах, подвергались воздействию открытого пламени в течение 1 мин. 18 сек; образцы № 2 – в течение 30 сек; образцы № 3 – 40 сек.

Тушение горящих образцов осуществлялось путем помещения их в стакан, наполненный дистиллированной водой. После чего образцы подвергались сушке на открытом воздухе в течение трех суток и были взвешены. Полученные данные внесены в таблицу 5.2.

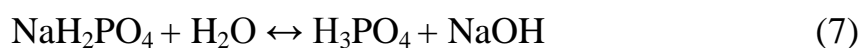
Таблица 5.2 – Результаты взвешивания образцов сосны, подвергшихся воздействию открытого пламени

№	Масса образцов, г	
	Вымоченных в воде	Вымоченных в кислоте
1	5,32	4,38
2	4,63	2,49
3	2,41	4,35

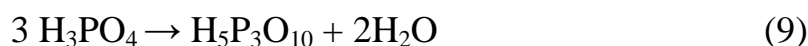
5.2 Основные результаты эксперимента

Наличие фосфора в составе древесины значительно меняет механизм ее термодеструкции.

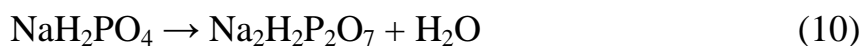
В качестве фосфорсодержащего компонента в нашем эксперименте использовался дигидрофосфат натрия. В присутствии воды данная соль подвергается гидролизу с образованием ортофосфорной кислоты:



При пиролизе протекают процессы образования других фосфорных кислот:



При температуре выше 160°C дигидрофосфат разлагается согласно реакциям:

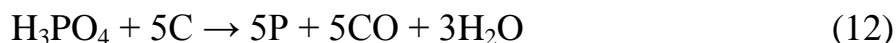


при $t=160^\circ\text{C}$



при $t = 220\text{-}250^\circ\text{C}$

Соединения пятивалентного фосфора значительно тормозят процессы горения за счет окисления углерода в присутствии фосфорной кислоты:



Согласно приведенным уравнениям процесс горения древесины, пропитанной дигидрофосфатом натрия, сопровождается повышенным выделением воды и сниженным содержанием горючих газов в продуктах реакции.

Следовательно, процесс горения пропитанной фосфорным соединением древесины протекает с меньшей интенсивностью по сравнению с вымоченной в воде сосной. Что и наблюдалось в процессе эксперимента.

Рассчитаем скорость горения образцов по формуле:

$$w_{\text{гор } i} = \frac{\Delta m_i}{\tau}, \quad (15)$$

где Δm_i – изменение массы в процессе горения i -го образца;

τ – время его горения.

Рассчитаем потери массы по формуле:

$$\frac{m_1 - m_2}{m} \cdot 100\% \quad (16)$$

где m_1 – масса образца до горения;

m_2 – масса образца после горения.

Результаты расчета приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Скорость горения образцов

№	Вымоченные в воде				Вымоченные в кислоте			
	Δm_i , г	τ , с	$w_{гор i} \cdot 10^3$, г/с	потеря массы, %	Δm_i , г	τ , с	$w_{гор i} \cdot 10^3$, г/с	потеря массы, %
1	1,77	78	22,7	24,9	1,08	78	13,8	19,7
2	0,68	30	22,6	12,8	0,31	30	10,3	11,1
3	0,9	40	22,5	27,2	0,76	40	19	14,8

Таким образом, в случае пропитанного образца в дигидрофосфате натрия потери массы составили 20%, в случае непропитанного 30%. Во втором случае, образцы отличаются меньшей скоростью сгорания. При этом процесс горения протекает менее интенсивно, снижается количество выделяемых горючих газов и, следовательно, уменьшается интенсивность задымления.

5.3 Расчетная часть

Рассчитаем количество требуемых компонентов для приготовления 1 м³ огнетушащего состава на основе антипирена марки «ОСА-1».

Огнетушащий состав представляет собой 6% водный раствор антипирена. Согласно ТУ №2499-024-00206492-06 плотность антипирена «ОСА-1» составляет 1200 кг/м³. Плотность воды 1000 кг/м³. Тогда, плотность огнетушащего состава составляет:

$$\frac{1}{\rho_{см}} = \frac{x_{вода}}{\rho_{вода}} + \frac{x_{оса}}{\rho_{оса}}, \quad (17)$$

где x – мольная доля компонента.

$$\frac{1}{\rho_{см}} = \frac{0,94}{1000} + \frac{0,06}{1200} = 0,00099$$

$$\rho_{\text{см}} = 1010 \text{ кг/м}^3$$

Масса огнетушащего состава:

$$m = \rho_{\text{см}} \cdot V_{\text{см}} \quad (18)$$

$$m = 1010 \cdot 1 = 1010 \text{ кг}$$

Количество антипирена ОСА-1 в составе огнетушащего средства:

$$m_{\text{ОСА-1}} = 1010 \cdot 0,06 = 60,6 \text{ кг}$$

Компонентный состав антипирена марки «ОСА-1» приведен в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Состав антипирена «ОСА-1» [39]

Компонент:	Масса, кг	Содержание, %
Аммиак	316,9	12,73
Карбамид	223	8,96
Формальдегид	560	22,50
Ортофосфорная кислота	267,72	10,76
Вода	1121,38	45,05
Итого:	2489	100

Расчет количества компонентов, необходимого для получения 1 м³ 6% водного раствора антипирена марки «ОСА-1» приведен в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Результаты расчета компонентного состава

Компонент:	Содержание	
	масса компонента, кг	массовая доля, %
Вода	949,40	96,00
Антипирен «ОСА-1»:	60,60	6,00
в т.ч. Аммиак	7,71	0,76
Карбамид	5,43	0,54
Формальдегид	13,64	1,35
Ортофосфорная кислота	6,52	0,65
Вода	27,30	2,70
Итого:	1010	100

Заключение

Результаты проделанной работы заключаются в следующем:

1) Рассмотрены общие характеристики лесных пожаров. Виды, классификации, статистические данные, а также влияние пожаров на окружающую среду. Проведён анализ процесса горения с физико-химической точки зрения.

2) Проведен анализ способов и средств для пожаротушения. Проведен патентный поиск по существующим составам для тушения пожара и огнезащиты древесины.

3) Определен оптимальный состав для тушения пожаров, а также для его предотвращения и локализации, содержащий в себе КФК-85, аммиачную воду, карбамид и ортофосфорную кислоту.

4) Рассмотрены основные свойства огнетушащего состава: его пропитывающую способность, влияние на дымообразование и структуру древесины, подвергшуюся действию открытого пламени, а так же сравнение характеристик данного состава в качестве средства пожаротушения с составом, применяемым повсеместно.

5) Предложена технология получения огнезащитного и огнетушащего состава марки «ОСА-1».

6) Проведен эксперимент, заключающийся в воздействии открытого пламени на образцы древесины, пропитанные в воде, и такие же образцы, пропитанные огнезащитным средством. Рассчитан сравнительный анализ полученных в результате эксперимента данных. Сделан вывод о том, что в случае пропитанного образца дигидрофосфате натрия потери массы составили 20%, в случае непропитанного более 30%. Это говорит о том, что предлагаемое в работе средство огнезащиты эффективно.

7) Произведен расчет необходимого количества компонентов для получения 1 м³ предлагаемого огнетушащего состава, представляющего собой 6% водный раствор антипирена марки «ОСА-1».

Список используемых источников

- 1 Федеральное агентство лесного хозяйства [Электронный ресурс]// Режим доступа <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/projects/18/>
- 2 Власова О. С. Опасные природные процессы [Электронный ресурс]: учебное пособие / О.С. Власова — Волгоград: ВолгГАСУ, 2014. — Учебное электронное издание сетевого распространения. - Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета.
- 3 Причины ликвидации и экологические последствия лесных пожаров [Электронный ресурс]//Режим доступа:<http://works.doklad.ru/view/7C3AULrOGMM/all.html>
- 4 Лесные пожары: виды и классификация [Электронный ресурс]// Режим доступа: <https://protivpozhara.com/tipologija/prirodnye/vidy-lesnykh-pozharov>
- 5 Курбатский Н.П. Классификация лесных пожаров. Вопросы лесоведения Н.П. Курбатский – Красноярск. 1970. – 172 с.
- 6 Абдурагимов, И.М. Процессы горения.: учеб. пособие для вузов / И. М, Абдурагимов, А.С. Андросов, Л.К. Исаева, Е.В. Крылов – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1984. – 268 с.
- 7 Серков, Б.Б. Физико-химические основы горения и пожарная опасность древесины. Часть 1./ Б.Б. Серков, Р.М. Асеева, А.Б. Сивенков.//Интернет-журнал «Технология техносферной безопасности» - Вып. №6(40) – 2011.
- 8 Иличкин, В.С. Термические превращения и токсичность продуктов горения древесины./ В.С. Иличкин, А.А. Леонович, М.В. Яненко – М.: Гл. информ. Центр МВД СССР, 1990. – 67 с.
- 9 Демина, М.Ю. Технология изготовления огнезащитных древесностружечных плит. Диссканд. техн. наук. С.-Пб.2004. ЛТА.

10 ГОСТ Р 22.1.09-99 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров.

11 Причины ликвидации и экологические последствия лесных пожаров[Электронный ресурс]// Режим доступа:<http://works.doklad.ru/view/7C3AULrOGMM/all.html>

12 Гришин А.М., Долгов А.А., Цимбалюк А.Ф. Огонь и экология [Электронный ресурс] / А.М. Гришин [и др.] под ред. М.Ю. Булышко.

13 Романов В., Алексашенко В.А., Петров В.Н. Прикладные аспекты аварийных выбросов в атмосферу/ В. Романов [и др.] - Физматкнига, 2006. – 63 с.

14 Терещнев В.В., Артемьев В.В., Подгрушный А.В. Противопожарная защита и тушение пожаров/ В. В. Терещнев [и др.] - М.: Пожнаука, 2007- Кн. 5: Леса, торфяники, лесосклады - 2007. – 113 с.

15 Федеральное агентство лесного хозяйства [Электронный ресурс]// Режим доступа <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/projects/18/>

16 Кириллова Г.Н. Безопасность и защита населения в чрезвычайных ситуациях: Учебник для населения / Г.Н. Кириллова. - М. 2001. – 77 с.

17 Пат. №2200363 Великобритания, МКИ В 27 К 3/50, С 08 G 12/30. Woodtreatment composition./ Smith К.М., Condlyffe D.Н. №8802009; Заявл. 29.01.88; Опубл. 03.08.88; НКИ С3R.

18 Идентификация твердых веществ, материалов и средств огнезащиты при испытаниях на пожарную опасность./ Инструкция – М.: ВНИИПО, 2004. – 33с.

19 Леонович, А.А. Огнезащита древесины и древесных материалов. /А.А. Леонович – Спб.: СПбГЛТА, 1994. – 148 с.

20 Новое поколение огнезащитных составов для древесины: препарат ПИРИЛАКС /Пожаровзрывобезопасность, 2000. №6. – С 54-55.

21 Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. / М.: МГУЛ, 2001. – 340 с.

22 Патент РФ № 2149665. Огнетушащий порошковый состав/ Гречман А.О./ Оpubл. 27.05.2000.

23 Патент РФ № 2270711. Пенообразующий состав для тушения пожаров/ Гаравин В.Ю., Клейн В.П., Ковалёв В.А./ ООО "ПЛАСТНЕФТЕХИМ"/ Оpubл. 27.02.2006.

24 Патент РФ № 2485989. Газовый состав для объемного пожаротушения/ А.Н. Баратов, А.Ф. Жевлаков, Н.П. Копылов и др./ ФГУ ВНИИПО МЧС России/ Оpubл. 05.06.2000.

25 Патент РФ № 2262367. Водный состав для тушения пожаров/ Ветошкин Ю.П., Горелов В.В./ Оpubл. 20.10.2005.

26 Патент РФ № 2504414. Способ тушения пожара/ Ивахнюк Г.К., Матюхин В.Н., Клачков В.А./ Оpubл. 20.01.2014.

27 Патент РФ № 2302890. Пенообразователь для тушения пожаров/ Седов А.Б., Нестеркин В.П., Пешков В.В./ Оpubл. 20.07.2007.

28 Патент РФ № 2416448. Пенообразующий состав для тушения пожаров/ Гаравин В.Ю., Третьяков А. В./ Оpubл. 20.04.2011.

29 Патент РФ № 2489189. Способ получения и состав многоцелевого огнетушащего порошка/ Чумаевский О.В., Гусарова Л.Н./ ЗАО «ФК»/ Оpubл. 10.08.2013.

30 Патент РФ № 2449825. Состав для тушения пожара/ Староверов Н.Е./ Оpubл. 10.05.2012

31 Патент РФ № 2158150. Способ локализации и тушения пожаров/ Талалаев А.П., Охрименко Э.Ф. / Оpubл. 27.10.2000.

32 Патент РФ № 2496546. Пенообразующий состав для профилактики и тушения лесных и торфяных пожаров/ Тайсумов Х.А. / Оpubл. 28.11.2012.

33 Афанасьев, С.В. Антипирен на основе КФ-концентрата./ С.В. Афанасьев, Р.В. Коротков, Н.В. Широков и др. // Синтез, модифицирование и применение смол древесных плит. Сб. трудов научно-практ. семинара. 18 ноября 2004. – СПб: Изд-во Полит. ун-та 2004. – С. 114-117.

34 Афанасьев, С.В. Антипирены для древесины/ С.В. Афанасьев, Р.В. Коротков, Н.В. Широков. // Древесные плиты: теория и практика: Материалы VIII межд. научно-практ. конф. 23-24 марта 2005. – СПб: Изд-во СПбГЛТА, 2005. – С. 57-58

35 Патент №2270752 России, МПК В 27 К 3/52, С 09 К 21/12. Способ получения антипирена / Махлай В.Н., Афанасьев С.В., Михайлин М.П., Коротков Р.В. №2004129996/04. Заявл. 12.10.2004, опубл. 27.02.2006. Бюл. №6.

36 Афанасьев, С.В. Огнезащитные составы на основе амидофосфатов и механизм их действия./ С.В. Афанасьев, А.А. Триполицин, В.Е. Рукшин, О.С. Рощенко. // Пожаро-взрывобезопасность – 2008. – Т.17. №2 – С. 40-42.

37 Афанасьев, С.В. Снижение горючести древесины путем пропитки амидофосфатом многофункционального действия./ С.В. Афанасьев, О.С. Рощенко, И.В. Кузьмин, А.А. Триполицин. //Известия Самарского научн. Центра РАН. Специальный выпуск «Безопасность Технологии Управления». 2008. – С.216 – 222.

38 Афанасьев, С.В. Состав для пожаротушения./ С.В. Афанасьев, И.В. Кузьмин, А.А. Триполицин. // Древесные плиты: теория и практика: Материалы X межд. научно-практ. конф. 21-22 марта 2007. – СПб: Изд-во СПбГЛТА, 2007. – С. 114-118.

39 Патент №2333025 России, МПК А 62 D 1/00. Огнетушащий состав./Афанасьев С.В., Махлай В.Н., Триполицин А.А., Кузьмин И.В. №2007105727/15. Заявл. 15.02.2007, опубл. 10.09.2008. Бюл.№25.

40 Махлай В.Н. Химия и технология карбамидоформальдегидного концентрата. - / В.Н. Махлай, С.В. Афанасьев. – Самара. Изд. Сам. научн. центра РАН. 2007. – 234 с.

41 Афанасьев, С.В. Огнезащитные составы на основе амидофосфатов и механизм их действия./ С.В. Афанасьев, А.А.

Триполицин, В.Е. Рукшин, О.С. Рощенко..// Пожаро-взрывобезопасность. – 2008. – Т.17. №2 – С. 40-42.

42 Fire ecology/Ecological Society of America. Washington, DC, 2002. – p 87.

43 Simon van Bellen, Michelle Garneau, Yves Bergeron. Impact of climate change on forest fire severity and consequences for carbon stocks in boreal forest stands of quebec, canada: a synthesis/ Fire Ecology Volume 6, Issue 3, 2010. – p 210.

44 Douglas J. Krieger. The economic value of forest ecosystem services: a review/ The Wilderness Society, Washington, D.C., 2001. – p 64.

45 Predrag Aleksić, Milun Krstić, Gordana Jančić. Forest fires - ecological and economic problem in Serbia/ Botanica Serbica 33(2), 2009. – p 169.

46 Andrew Hinshelwood. Boreal forest fire ecology and archaeological site formation: an example from northern Ontario/ ONTARIO ARCHAEOLOGY № 62, 1996. – p 134.