

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования Саратовский государственный аграрный университет  
имени Н.И. Вавилова

На правах рукописи

ПАНКИН КИРИЛЛ ЕВГЕНЬЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО БОРЬБЕ С  
ЛЕСНЫМИ НИЗОВЫМИ ПОЖАРАМИ  
В ЛЕСОСТЕПНОЙ И СТЕПНОЙ ЗОНАХ ПОВОЛЖЬЯ**

06.03.03 - Агролесомелиорация, защитное лесоразведение и озеленение  
населенных пунктов, лесные пожары и борьба с ними

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени  
доктора сельскохозяйственных наук

Научный консультант:  
доктор технических наук, доцент  
Соловьев Дмитрий Александрович

Саратов - 2022

## Содержание

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ ПРОФИЛАКТИКИ И ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ.....	14
1.1 Анализ обстановки с лесными пожарами в России и за рубежом .....	14
1.2 Мероприятия по борьбе с лесными пожарами.....	22
1.3 Предупреждение лесных и степных пожаров и противопожарная профилактика.....	25
1.4 Обнаружение, мониторинг и прогнозирование лесных пожаров.....	26
1.5 Противопожарное обустройство лесов и лесных культур.....	31
1.6 Мероприятия по тушению и локализации лесных и степных пожаров.....	32
1.7 Огнетушащие средства пригодные для тушения лесных и степных пожаров.....	35
1.8 Программа исследований и методические замыслы ее решения.....	57
<i>Выводы к Разделу 1.....</i>	<i>63</i>
2 ТЕОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ОГNETУШАЩИХ И ОГНЕЗАЩИТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ БОРЬБЫ С ЛЕСНЫМИ ПОЖАРАМИ .....	64
2.1 Горение углеродсодержащих материалов.....	64
2.2 Факторы, способствующие и препятствующие горению .....	74
2.3 Факторы роста и распространения лесных и ландшафтных пожаров.....	81
2.4 Принципы лесного пожаротушения и их реализация на практике.....	90
2.5 Тушение и локализация лесных низовых и степных пожаров. Тактические приемы при тушении лесных низовых пожаров.....	92
2.6 Физическое и химическое воздействие для подавления и прекращения горения.....	100
2.7 Огнезащитная и огнетушащая способности воды, возможности для их физической и химической модификации	113
2.8 Потенциал повышения эффективности предотвращения лесного низового пожара и его тушения с применением воды и водных растворов.....	134
<i>Выводы к Разделу 2 .....</i>	<i>141</i>

3	СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЛЕСАХ И ЛЕСНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ.....	142
3.1	Географические и климатические особенности территорий наиболее благоприятных для возникновения и распространения лесных пожаров.....	142
3.2	Состояние лесных массивов в лесостепной и степной зонах и их предрасположенность к пожару.....	149
3.3	Влияние региональных условий на развитие лесных низовых пожаров в лесостепной и степной зонах.....	162
3.4	Противопожарные мероприятия в лесах, лесных культурах и их эффективность.....	175
3.5	Тушение и локализации лесных низовых пожаров в лесах, лесных культурах лесостепной и степной зонах.....	178
3.6	Определение потребности в огнетушащих средствах на основе воды.....	189
3.7	Технические средства локализации и тушения лесных низовых пожаров.....	194
3.8	Резервы возможностей тушения и локализации лесных низовых пожаров.....	206
	<i>Выводы к Разделу 3.....</i>	246
4	АПРОБАЦИЯ И ВНЕДРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЛЕСАХ И ЛЕСНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ.....	248
4.1	Влияние погодных условий на возникновение лесных низовых и ландшафтных пожаров, а также прогнозирование лесопожарной обстановки.....	248
4.2	Предотвращение и тушение лесных и степных пожаров путем совершенствования противопожарных барьеров.....	263
4.3	Способы и средства снижения пожарной опасности лесных горючих материалов.....	278
4.4	Применение заградительных полос для защиты лесов и лесных культур от лесных и степных пожаров .....	288
4.5	Эффективность огнетушащих средств на основе тонкораспыленной воды и переохлажденного водяного пара .....	292

4.6	Применение огнетушащих средств на основе воды и водных растворов электролитов и неэлектролитов для тушения лесных пожаров.....	303
4.7	Эффективность огнетушащих средств на основе водных растворов поверхностно-активных веществ и гидрогелей.....	322
4.8	Потенциал технических и технологических приемов по снижению расхода воды при профилактике и тушению лесных пожаров.....	330
	<i>Выводы к Разделу 4.....</i>	331
5	ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ БОРЬБЫ С ЛЕСНЫМИ ПОЖАРАМИ.....	333
5.1	Экономическое обоснование мероприятий по профилактике и тушению лесных низовых пожаров .....	334
5.2	Экономическое обоснование применения от внедрения оборудования для создания водяной завесы.....	335
5.3	Экономическая эффективность построения минерализованной полосы.....	336
5.4	Экономическая оценка эффективности построения огнезащитной полосы.....	341
	<i>Выводы к Разделу 5 .....</i>	347
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	348
	РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРОИЗВОДСТВУ.....	350
	ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ .....	352
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	353
	ПРИЛОЖЕНИЯ .....	378

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АП – автомобильный прицеп;	ОЗС – огнезащитное средство;
БПЛА – беспилотный летательный аппарат;	ОТС – огнетушащее вещество;
ВПП – восходящий поток газов;	Ох – окислитель;
ГА – гидрогель алюминия;	ОШ – опрыскиватель штанговый;
ГВ – горючее вещество/материал;	ПАВ – поверхностно-активное вещество;
ГТК – гидротермический коэффициент (по Селянинову);	ППП – передвижной пожарный пост;
ДВС – двигатель внутреннего сгорания;	ПФО – Приволжский Федеральный округ;
ДЗ – диффузионная зона;	РЛО – ранцевые лесные огнетушители;
ЗЛП – защитная лесная полоса;	СтП – степной пожар;
ИЗ – источник зажигания;	ТС – транспортное средство;
ККМ – критическая концентрация мицеллообразования;	УПВД – установка пожарная высокого давления;
КППО – комплексный показатель пожарной опасности;	ХВ – химическое взаимодействие (между горючим веществом и окислителем);
ЛГМ – лесные горючие материалы;	ЧС – чрезвычайная ситуация.
ЛК – лесные культуры;	
ЛМ – лесной массив;	
ЛНП – лесной низовой пожар;	
ЛП – лесной пожар;	
ЛСП – лесные и степные пожары;	
МКП – мобильный комплекс пожарный;	

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Тушение лесных пожаров является одной из важных задач лесоуправляющих организаций. Для эффективного тушения лесных пожаров необходима организационная и техническая подготовка службы лесного пожаротушения, которая немыслима без актуальной информации об особенностях возникновения и развития пожаров, а также о возможностях по противодействию им и эффективности действия огнетушащих средств.

В последние десятилетия во всех странах богатых лесными ресурсами наблюдается рост числа лесных пожаров. Если в середине XX века в мире насчитывалось до 200 тыс. лесных пожаров в год, то к концу столетия их происходило от 2 до 3 млн, а во второй декаде XXI века фиксируется от 6 до 7 млн лесных пожаров. В последние 10-15 лет Российской Федерации происходит от 10 до 35 тыс. лесных пожаров на площади от 500 тыс. до 9 млн га, большая часть которых приходится на районы Сибири и Дальнего Востока. Ущерб от лесных пожаров достигает 20 млрд руб., из них от 3 до 7 млрд - ущерб лесному хозяйству (потери древесины). Остальные потери - расходы на тушение и последующую расчистку горелых площадей, ущерб от гибели животных, загрязнения продуктами горения, затраты на восстановление леса и так далее.

Обстановка с лесными пожарами является отражением мощности антропогенного воздействия на окружающую среду, выражающуюся в потеплении климата и увеличению темпов эксплуатации лесных массивов. Поэтому для защиты лесов от пожаров уже недостаточно разработанных и применяемых в производственном процессе противопожарных мер. Происходящие изменения в природе должны привести к эволюционным изменениям в профилактике и тушении лесных пожаров. Модернизации должна быть подвергнута если не вся система борьбы с лесными пожарами, то отдельные ее элементы. Необходимо проанализировать проблемные вопросы по профилактике и тушению лесных пожаров и найти решения, которые в

комплексе привели бы к качественному повышению эффективности борьбы с ними. Из всех видов деятельности с научной точки зрения наиболее перспективными являются обоснование защитного действия противопожарных барьеров и применение средств тушения лесных пожаров. Оба эти направления являются единым целым, т.к. базируются на одном принципе препятствование горению и свободному распространению пожаров, путем исключения взаимодействия лесных горючих материалов с кислородом воздуха. Модернизация противопожарных мероприятий и борьба с лесными пожарами наиболее необходима в тех местах, где существуют серьезные трудности с послепожарным восстановлением лесов. К таким территориям относятся лесостепная и степная зоны, где ведется интенсивное сельскохозяйственное производство, а на лесные массивы возложены защитная и экологические функции. В этом случае, лесной пожар наносит двойной удар и по ведению лесного хозяйства, и по эффективности сельскохозяйственного производства.

Современное техническое и технологическое состояние мероприятий по обеспечению пожарной безопасности и средств пожаротушения в недостаточной степени отвечает разнообразию и особенностям природных условий местонахождения лесных массивов в Российской Федерации, их видового состава, что требует индивидуальных подходов в борьбе с лесными пожарами. Важной научной проблемой в этом вопросе является выявление особенностей возникновения и развития лесных пожаров и эффективных мер в борьбе с ними. Для решения данной проблемы в лесостепной и степной зонах необходимо провести сравнение с возникновением, развитием пожаров и существующими методами борьбы с ними в лесных зонах и предложить эффективные технические средства и технологические противопожарные мероприятия для рассматриваемой территории. На основании выявленных недостатков в противопожарных мероприятиях и средствах тушения лесных пожаров необходимо разработать меры по повышению защитных свойств

противопожарных барьеров и повышению эффективности применения огнетушащих средств при пожаротушении.

Указанное выше обуславливает актуальность проводимого исследования для разработки надежных способов прогнозирования вероятности, сценария развития, последствий лесных пожаров, а также эффективных способов борьбы с возникновением, распространением лесных пожаров и их эффективного тушения.

**Степень разработанности темы.** Обеспечение пожарной безопасности в лесах является сложным комплексом организационных и технических мероприятий, состоящим из реализации следующей последовательности действий: противопожарная профилактика, противопожарное обустройство лесных массивов, мониторинг лесопожарной обстановки и обнаружение лесных пожаров, тушение и локализация лесных пожаров.

Развитием тематики борьбы с лесными пожарами занимались такие ученые, как И.М. Абдурагимов (2011, 2012), Е.С. Арцыбашев (2014, 2015, 2018), Г.Д. Главацкий (2001,2002), В.Д. Захматов (2012, 2013, 2015). Проблемами создания эффективных противопожарных барьеров и тушением пожаров были посвящены работы таких ученых как Г.Д. Главацкий (2001, 2002), В.М. Груманс (2001, 2002), Залесов (2014, 2015, 2016, 2018), В.Г. Гусев (2011, 2015, 2016, 2017), Н.Д. Гуцев (2013, 2015, 2016, 2017), Е.С. Арцыбашев (2015, 2018), А.М. Ерицов (2015, 2016), Н.В. Михайлова (2015, 2016), Г.Н. Куприн (2016), П.А. Цветков (2011-2021). Прогнозирование лесных пожаров, их профилактика и предотвращение, борьба с ними, а также проблемы тушения лесных пожаров изучались такими учеными, как И.М. Абдурагимов (2011, 2012), Е.С. Арцыбашев (2014, 2015, 2018), Л.В. Буряк (1999-2021) Г.Д. Главацкий (2001,2002), В.Д. Захматов (2012, 2013, 2015), С.В. Залесов (2014, 2015, 2016, 2018), Г.А. Доррер (2011, 2012, 2017), Д.Г. Замолотчиков (2001, 2012, 2013), И.С. Мелехов (1934-1965), Н.П. Курбатский (1964), В.Г. Гусев (2011, 2015, 2016, 2017), Н.Д. Гуцев (2013, 2015, 2016, 2017), М.А. Козаченко (2015, 2017, 2019), Ю.В. Подрезов (2000-2021).



**Цель исследований** – повышение эффективности применения огнезащитных и огнетушащих средств в лесном хозяйстве за счет системных подходов к профилактике и тушению лесных и ландшафтных пожаров.

**Задачи исследований:**

1. Проанализировать проблемные вопросы профилактики и тушения лесных низовых и ландшафтных пожаров, а также функционирования систем борьбы с лесными пожарами;

2. Провести анализ процессов возникновения и распространения лесных низовых и ландшафтных пожаров, а также действия огнетушащих средств для совершенствования приемов и средств их предотвращения и тушения;

3. Разработать и обновить подходы к обеспечению пожарной безопасности в лесах и ландшафтах, а также новые огнезащитные и огнетушащие составы;

4. Провести апробацию и внедрение различных приемов и средств обеспечения пожарной безопасности в лесах и лесного пожаротушения;

5. Определить экономический эффект от внедрения усовершенствованных приемов и средств борьбы с лесными низовыми и ландшафтными пожарами.

**Объект исследований.** Лесные пожары, их возникновение и способы тушения.

**Предмет исследований.** Тушение и профилактика лесных пожаров с использованием огнетушащих и огнезащитных составов.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

- разработана математическая модель, которая на основании погодных условий позволяет вычислить геометрические размеры и положение противопожарного барьера для защиты лесов и населенных пунктов от лесных и ландшафтных пожаров.

- применены новые подходы комплексного использования огнетушащих средств для тушения лесных пожаров с минимальным расходом воды.

- предложены запатентованные технологические решения: в качестве огнезащитных и огнетушащих средств применять двухкомпонентные огнетушащие составы на основе воды и неорганических веществ образующих

гидрогели (гидрогель алюминия), предложен мобильный комплекс пожаротушения, в виде легкового автопоезда, переоснащение и доукомплектование пожарной автоцистерны для тушения лесных пожаров.

Новизна технических и технологических решений профилактики и тушения лесных и ландшафтных пожаров подтверждена патентами РФ на изобретение №2552995, №2614963.

#### **Теоретическая и практическая значимость результатов работы.**

Теоретическая значимость исследования заключается в выработке подхода к модернизации элементов системы борьбы с лесными пожарами с поиском эффективных приемов и средств препятствования распространению лесных и ландшафтных пожаров и их тушению.

Практическая значимость работы заключается в результатах лабораторных и полевых испытаний огнетушащих и огнезащитных свойств струи тонкораспыленной воды, переохлажденного водяного пара, водных неорганических веществ для создания средств пожаротушения по критерию минимального расхода воды. Разработан способ тушения пожара с применением гидрогеля алюминия (патент на изобретение №2614963 от 31.03.2017), а также способ обработки напочвенного травяного покрова гидрогелями алюминия с целью понижения их пожароопасных свойств для профилактики возникновения и распространения низового пожара. Разработан мобильный комплекс пожаротушения на базе легкового автопоезда (№2552995 от 10.06.2015).

**Реализация результатов исследований.** Результаты исследования внедрены в научно-исследовательскую, образовательную и производственную деятельность ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ. Технические и технологические решения внедрены в практическую деятельность Министерства природных ресурсов и экологии Саратовской области, Главного управления МЧС России по Саратовской области, службу по обеспечению противопожарной защиты администрации с. Мироновка Питерского района Саратовской области.

**Методология и методы исследования.** Для проведения моделирования пожароопасной обстановки применялись математические и физические модели поведения изучаемых объектов под влиянием внешних условий. Для оценки эффективности противопожарных барьеров их геометрические размеры сравнивались с результатами расчетов дальности переноса горящих, адекватность которой в свою очередь подтверждалась результатами собственных исследований и данными литературы. Анализом эффективности применения сил и средств при тушении лесных пожаров установлено преобладающая эффективность воды, а также разработана модель оценки количества воды необходимое на тушение лесного низового пожара.

При лабораторных исследованиях огнетушащей способности применялись стандартные методики тушения пожара, а полевая методика разработана самостоятельно, и подтверждена ее адекватность. Лабораторные и полевые исследования огнезащитных свойств гидрогелей алюминия также разработаны самостоятельно. Полученные экспериментальные данные обрабатывались с применением стандартных методик математической обработки результатов.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Анализ проблем профилактики и тушения лесных низовых и ландшафтных пожаров и существующих систем борьбы с ними;
2. Анализ процессов возникновения и распространения лесных низовых и ландшафтных пожаров для разработки более совершенных приемов и средств их предотвращения и тушения;
3. Новые огнезащитные и огнетушащие средства для профилактики и тушения лесных низовых и ландшафтных пожаров;
4. Внедрение предлагаемых приемов и средств профилактики и тушения лесных низовых и ландшафтных пожаров в лесостепной и степной зонах Поволжья;
5. Экономическая оценка эффективности разработанных приемов и средств борьбы с лесными низовыми и ландшафтными пожарами.

**Степень достоверности и апробация работы.** Достоверность результатов диссертационного исследования подтверждается достаточным количеством наблюдений, современными методами исследования, которые соответствуют цели работы и поставленным задачам. Сформулированные в тексте диссертации научные положения, выводы и практические рекомендации основаны на фактических данных, продемонстрированных в приведенных таблицах и рисунках. Статистический анализ и интерпретация полученных результатов проведены с использованием современных методов обработки информации и статистического анализа.

Материалы диссертационной работы изложены на международных, национальных и всероссийских конференциях: II Международной научно-практической конференции «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях» (Саратов, 2015); IV Всероссийской научно-практической конференции «Техногенная и природная безопасность-2017» (Саратов, 2017)», IV Национальная научно-практическая конференция «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях» (Саратов, 2018); V Международная научно-практическая конференция «Техногенная и природная безопасность-2019» (Саратов, 2019); I Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы пожарной безопасности: теория и практика (FIRESAFETY 2019)» (Уфа, 2019), VI Всероссийская научно-практическая конференция «Техногенная и природная безопасность (ТПБ-2021)» (Саратов, 2021), IX Международная научно-практическая конференция «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях», а также на ежегодной конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ с 2013 по 2022 годы.

**Публикации.** По результатам исследования опубликовано 45 научных работ общим объемом 14,89 п.л., в том числе с долей автора 11,43. В журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, опубликовано четыре статьи с участием автора 1,25 п.л., и опубликовано восемь статей в международных

журналах, индексируемых WoS и Scopus с участием автора 2,32 п.л. Получено два патента РФ на изобретение.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 352 наименования, из которых 51 на иностранных языках. Общий объем работы – 387 страниц компьютерного текста, 377 страниц основного текста, 10 страниц приложений, 89 таблиц и 83 рисунка.

# 1 АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОФИЛАКТИКИ И ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

## 1.1 Анализ обстановки с лесными пожарами в России и за рубежом

Лесные пожары в мире являются серьезной проблемой во всех регионах богатых лесными ресурсами: России, США, Канады, Австралии и ряда других стран Америки, Европы, Азии, Африки. Пожары в лесах и других природных ландшафтах ежегодно складываются на территории нашей страны. На их долю в Российской Федерации приходится в среднем около 24 % от всех чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного характера [1,8, 237]. Лесные пожары (ЛП) были, есть и будут, пока на планете Земля существуют лесные массивы [54]. Как видно из вышесказанного, проблема лесных пожаров остается актуальной для большинства стран мира, независимо от степени экономического развития и географического расположения.

Самый древний ЛП, следы которого обнаружены археологами, произошел около 46 млн. лет назад, причиной которого, по-видимому, явилось либо грозовой разряд, либо падение метеорита. Появилась возможность реконструировать лесные пожары, произошедшие в древности [136] Понятно, что ни о какой антропогенной нагрузке на лесные массивы (ЛМ) в такое время речи быть не может.

**Обстановка с ЛП за рубежом.** Проблема лесных пожаров актуальна во всем мире. Так, во Франции происходит около 3000 ЛП, а площадь, пройденная ЛП, составляет около 28 тыс. га в среднем в год [321, 323]. В Германии ежегодно насчитывается порядка 508 лесных пожаров, в Испании ежегодно поражается огнем 218 тыс. га, в Италии - 126 тыс. га, в Греции - 48 тыс. га лесных площадей [323]. В Корее в среднем в год насчитывается 336 лесных пожаров на площади 1,39 млн га [321]. В Монголии число лесных пожаров составляет порядка 250 на лесной площади, пройденной огнем, около 100 тыс. га [323].

По данным Н.П. Курбатского (за 1964 г) в 50-е годы XX в ежегодно возникало около 200 000 лесных и ландшафтных пожаров (ЛП) [161]. В 90-е годы XX века эта цифра значительно возросла (до 2 млн) причиной роста явилось более интенсивное освоение лесов, ростом численности населения и присутствия источников зажигания. В последние годы (2015-2020 гг) наблюдается увеличение количества природных пожаров, число которых по всему миру ежегодно достигает значений в 6...7 млн ЛП [323].

Согласно докладу Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН «State of World's Forests, 2007», ежегодно общая площадь пожаров лесов, степей и саванн в мире составляет более 350 млн. га [321]. При этом площадь лесов, подверженных пожарам, превышает 200 млн. га, что около 5% от общей площади лесов в мире. В докладе также отмечается, что от 80% до 99% всех очагов возгорания возникают по вине человека. Данная статистика остается практически неизменной на протяжении последних десятилетий. Так, в США, согласно статистическим данным National Interagency Fire Center, в последние годы имеется тенденция к увеличению общей площади подверженных огню земель, которая в 2012 году составила более 3,7 млн. га [323].

Лесные пожары наносят огромный ущерб: уничтожают собственность, представляют угрозу жизни и здоровью людей. Примерами могут являться пожары в Греции (2007, 2009 гг.), в Португалии (2003, 2005 гг.), в Австралии (2009 г.), в США (2008, 2009, 2011 и 2013 гг.). Только в США ЛП в год уничтожают около 3000 домов. Пожар 2012 г. в каньоне Валдо привел к тотальной эвакуации более 32 тыс. жителей Колорадо-Спрингс и уничтожению более 350 домов. В июне 2013 года в шт. Аризона (США) погибло 19 лесных пожарных в результате ЛП сопровождавшегося сильным ветром. Ежегодно ЛП охватывают 12 - 15 млн. га сомкнутых бореальных лесов, большая часть которых находится в Евразии [308], т.к. считается, что лесная зона протирающаяся от Скандинавского полуострова через север

Европейской части РФ и Сибирь вплоть до Тихого океана представляет собой единый лесной массив.

На п. Земля постоянно происходит изменение климата. Исследователи до сих пор спорят о влиянии антропогенного фактора на изменение климата в сторону потепления. При этом хорошо известно, что одно время на Земле формировался тропический климат, но потом наступил Ледниковый период (похолодание), а потом опять наступило потепление. Есть много свидетельств о наличии влияния сжигания ископаемого топлива на потепление климата, а также его отсутствия.

Статистика второй половины XX и начала XXI веков свидетельствует о том, что частота и сила проявления лесных пожаров возрастает [40,292]. Причем такая ситуация складывается во всех странах богатых лесами. Причинами участвовавших пожаров считают изменение климата [271, 292], подтверждением истинности, которого считается сокращение на треть межпожарного интервала [17]. Как и любая другая самоорганизующаяся система ЛМ адаптируется к изменениям климата [209], тем не менее, даже в этом случае существуют объективные ограничения. Тем не менее, автор в течение последних 10 лет наблюдает за приходом зимы на территории Саратовской области и интервал в 40 дней (русская народная примета XVIII-XIX веков) между первым снегом и установлением постоянного снежного покрова соблюдается до сих пор. Причина участвовавших лесных пожаров кроется в самом характере человеческой деятельности в лесных массивах. Поставив лесной пожар вне закона, человек способствует накоплению лесных горючих материалов (ЛГМ) на территории лесного массива. Потребность современной промышленности в древесине снижается, в связи с широким применением в строительстве пластических масс, кирпича, бетона и т.п., а также с внедрением рациональной, низкоотходной переработки древесины.

**Обстановка с ЛП в Российской Федерации.** Лесом/ЛК покрыто почти две трети территории России. Общая площадь земель лесного фонда, по данным ФГБУ "Рослесинфорг" на 2021 год, составляет 1 млрд 187,6 млн га



(включая леса на особо охраняемых природных территориях и в населенных пунктах). С 2019 года в рамках федерального проекта "Сохранение лесов" ежегодно высаживается порядка 1 млн га саженцев деревьев. При этом в России в год регистрируется от 9 тыс. до 35 тыс. ЛП, охватывающих площади от 500 тыс. до нескольких млн га. Согласно данным МЧС России и Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоз), с начала 1992 года по конец 2018 года в России было зарегистрировано более 630 тыс. лесных (затронувших земли лесного фонда) пожаров [258].

Согласно статистике ежегодно в Российской Федерации происходит 10-35 тыс. лесных пожаров, охватывающих площади от 500 тыс. до 5,5 млн га, большая часть которых приходится на районы Сибири и Дальнего Востока. По официальным данным Рослесхоза ущерб от лесных пожаров ежегодно составляет около 20 млрд руб., из них от 3 до 7 млрд - ущерб лесному хозяйству (потери древесины). Остальные потери - расходы на тушение и последующую расчистку горелых площадей, ущерб от гибели животных, загрязнения продуктами горения, затраты на восстановление леса и так далее. Обычно возгорания лесов в России начинаются в апреле и длятся до октября [155].

В результате лесных пожаров ежегодно в Российской Федерации гибнет около 3,5 млн. га леса [258]. Если сложить ущерб от ЛП с прочими обстоятельствами снижения площади облесения, то в России ежегодно гибнет лес на территории более 8 миллионов га.

Анализ информации о лесных пожарах в России за последние 10 лет показывает, что их абсолютное большинство относится к низовым пожарам, разной интенсивности. В принципе, любой пожар начинается как низовой, который позже при определенных условиях превращается в верховой. Согласно данным МЧС России и Рослесхоза [267], всего с 1992 года по 2018 год в России зарегистрировано порядка 635 тыс. лесных пожаров. В среднем размер ущерба от лесных пожаров в год составляет порядка 20 млрд. рублей, из них от 3 до 7 млрд. рублей - ущерб лесному хозяйству (потери товарной

древесины). Остальные потери - расходы на тушение и последующую расчистку горелых площадей, ущерб от гибели животных, загрязнения продуктами горения, затраты на восстановление леса и т. д. В 2019 году – площадь, пройденная лесными пожарами, составила 16,5 млн га, общая площадь лесных пожаров в России за первые четыре месяца 2020 года превысила отметку в 9,3 млн га [258].

По данным на 9 мая 2022 года, пожароопасный сезон открыт в 77 субъектах РФ. Режим ЧС введен на всей территории Курганской области и в одном муниципальном образовании в Хакасии. Особый противопожарный режим действует в 49 регионах страны. По оценкам Авиалесоохраны, наиболее сложная ситуация наблюдается в Курганской области, в Алтайском крае, в Красноярском крае, в Амурской и Иркутской областях. В Иркутской и Омской областях в результате пожаров погибли по два человека, в Кемеровской области - четыре человека, в Красноярском крае - семь человек. Десятки человек пострадали. В числе причин пожаров, в частности, в Красноярском крае, назывались обрывы линий электропередачи, короткое замыкание и неосторожное обращение с огнем. Стремительному распространению пожаров способствовал сильный ветер, порывы которого достигали 40 м/с. Огонь нанес ущерб 60 населенным пунктам и двум садоводческим товариществам в Большемуртинском, Емельяновском и других районах края. Огнем уничтожены 827 строений, в том числе более 500 жилых домов, фельдшерско-акушерский пункт и детский сад [258].

Пожары - один из основных дестабилизирующих факторов - естественной динамики лесов. После пожара сформированная в ЛМ экосистема частично или полностью распадается. Даже если части древовидных растений удастся выжить в таких условиях, то вслед за пожаром начнется массовое размножение древо- и листогрызущих насекомых, т.к. поврежденное дерево обладает пониженной сопротивляемостью к ним [141]. По оценкам [8] в северной тайге России ежегодно 320 тыс. га покрытой лесом площади подвергается низовым пожаром, следовательно, пожар является

главным фактором, регулирующим запас и потерю органического вещества почвы [314]. При воздействии пожаров коренным образом изменяются гидротермические и эдафические условия, микробиологические и биохимические процессы в почвах, и, как следствие, биоразнообразие растительных сообществ. Наконец, следствием лесных пожаров является их влияние на потоки углерода в региональных и глобальных масштабах, обусловленное пирогенными и постпирогенными эмиссиями углерода, в атмосферу и последующим его переносом [104,105,131,152,287]. Вместе с тем, существенный интерес вызывает поведение и качественные параметры органического вещества почв, сохраняющегося после пирогенного воздействия. В данном контексте можно отметить изменения его количественных и качественных характеристик, вызванные как образованием новых соединений, так и трансформацией или селективным изъятием исходных его компонентов.

*Обстановка с ЛП в лесостепной и степной зонах.* По мере усиления континентального характера климата и снижению количества осадков выживаемость древовидных растений на таких территориях снижается и характер территории начинает относиться к лесостепной и степной зонам. Территории такого типа в Европейской части Российской Федерации находятся в пределах, Ульяновской, Самарской, Пензенской, Саратовской и Волгоградской областей. Из всех перечисленных регионов первые четыре относятся к Приволжскому Федеральному округу (ПФО). Однако Волгоградская и Астраханская области, также располагаются в бассейне р. Волга и по своему характеру тоже относятся к степной зоне. Количество ЛП произошедших в регионах ПФО за 2017-2020 гг представлено в таблице 1.1.

Анализ представленных результатов показывает, что в период 2017-2020 число ЛП имеет стабильный рост. По отдельным регионам данный рост может составлять 2-4 раза. У территорий входящих в состав ПФО наблюдается разный процент облесения (площадь территории занимаемая ЛМ), поэтому и число ЛП на данных территориях должно быть разным. Тем не менее граница

лесной и степной зон проходит по территории четырех субъектов РФ. В Пензенской, Самарской, Ульяновской областях сформирована лесостепная зона, по территории Саратовской области «пролегает граница» лесостепной и степной зоны, а Волгоградская область – типичный представитель степной зоны с 4,5% территории занимаемой ЛМ. Распределение ЛП на территории указанных регионов представлено на рисунке 1.1 [212].

Таблица 1.1 - Число лесных пожаров в регионах ПФО за 2017-2020 гг.

Регион ПФО	Год				Итого:
	2017	2018	2019	2020	
Республика Башкортостан	38	150	160	172	520
Республика Марий Эл	18	46	40	39	143
Республика Мордовия	5	26	18	2	51
Республика Татарстан	0	0	0	3	3
Удмуртская Республика	15	29	19	23	86
Чувашская Республика	4	0	3	9	16
Пермский край	31	82	22	106	241
Кировская область	7	31	39	35	112
Нижегородская область	39	90	65	70	264
Оренбургская область	91	215	145	195	646
Пензенская область	31	78	87	90	286
Самарская область	0	29	21	68	118
Саратовская область	28	94	48	144	314
Ульяновская область	51	169	88	83	391
Итого:	<b>358</b>	<b>1039</b>	<b>755</b>	<b>1039</b>	
Волгоградская область*		33	17	13	56
Астраханская область*		0	1	2	0

\* не входят в Приволжский федеральный округ, но по природным и климатически условиям относятся к степной зоне Европейской Части Российской Федерации

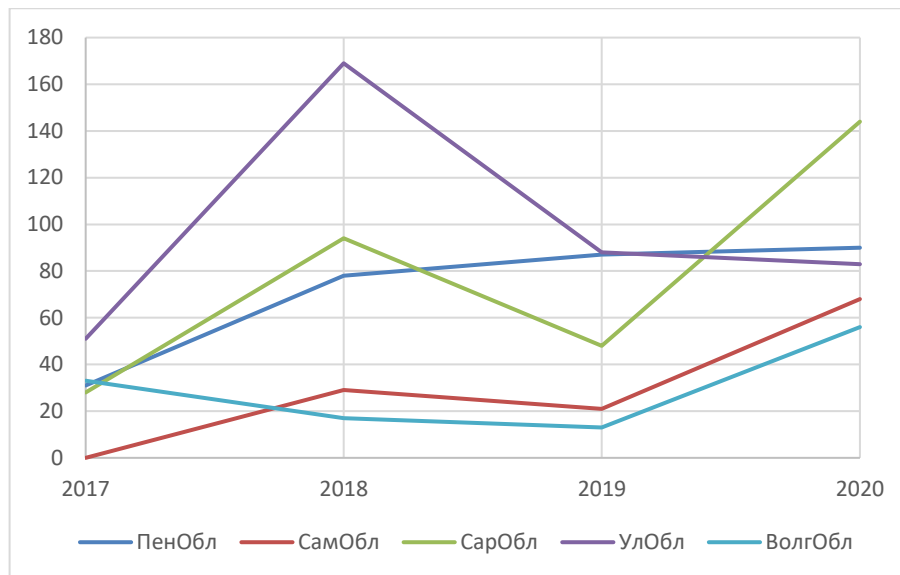


Рисунок 1.1 - Диаграмма, отражающая изменение числа лесных пожаров в отдельных регионах бассейна реки Волги

Анализ представленных результатов показывает, что за 4 года рост числа пожаров наблюдается в четырех из пяти (за исключением Ульяновской области) регионов, входящих в лесостепную и степную зоны Поволжья.

Саратовская область относится к регионам с длительным пожароопасным сезоном (6-7 месяцев). Большая часть обнаруженных лесных пожаров относятся к низовым, а их тушение осуществляется силами лесхозов, лесничеств, волонтеров, сотрудников Противопожарной службы МЧС России, ведомственных противопожарных подразделений. В связи с вышеизложенным, целью настоящей работы является анализ возможностей привлекаемых сил и средств к тушению лесных пожаров в хвойных и лиственных лесах Саратовской области.

Понятно, что год на год не приходится, существуют периоды относительной спокойной природной пожарной обстановки, например, в 2016 году в Саратовской области лесных пожаров было меньше на 22% по сравнению с 2010 годом. Пожароопасный сезон 2016г. на территории Саратовской области характеризовался наименьшими показателями по количеству природных пожаров за период 2011-2016, статистика лесных пожаров с 2016 по 2018 годы имеет возрастающий характер. В 2015 году количество пожаров составило 95 ед. на площади 535.95 га. В 2016 г.

количество пожаров в области составило 10 ед. на площади 19.7 га. В 2017 г. количество пожаров увеличилось до 33 ед. на площади 543.8 га. В 2018 г. количество пожаров достигло 91 ед. на площади 1409,00323 га. В 2019 г. количество пожаров составило 43 ед. на площади 214.41 га. В 2020 г. количество пожаров составило 134 ед. на площади 5547,42 га. Ущерб от лесных пожаров нанесенный лесному хозяйству в Саратовской области в 2014 г. составил 47106.09 тыс. руб., а затраты на тушение составили 582.067 тыс. руб. В 2015 году ущерб составил 3968.07 тыс. руб., а затраты на тушение составили 253.27 тыс. руб. В 2016 году ущерб составил 245.01 тыс. руб., а затраты на тушение составили 144.09 тыс. руб. В 2017 году ущерб составил 39238.17 тыс. руб., а затраты на тушение составили 805.10 тыс. руб. В 2018 году ущерб составил 173.534 тыс. руб., а затраты на тушение составили 18.2174 тыс. руб. В 2019 году ущерб составил 534,01 тыс. руб., а затраты на тушение составили 590,05 тыс. руб. В 2020 году ущерб составил 8708,12 тыс. руб., а затраты на тушение составили 880,41 тыс. руб.

## **1.2 Мероприятия по борьбе с лесными пожарами**

Увеличение антропогенной нагрузки на лесные экосистемы и изменение климата вызывает необходимость усиления работы по охране лесов от пожаров [102, 173, 284], которая во всех странах богатых лесными ресурсами является государственной задачей [1,184,268,306,344], а разработка мероприятий не мыслима без исследований в области охраны лесов от пожаров [64,76]. Обеспечение пожарной безопасности в лесах является сложным комплексом мероприятий, включающих ряд систем, представленных на рисунок 1.2.



Рисунок 1.2 - Система обеспечения пожарной безопасности в лесах/ЛК

Все перечисленные системы могут быть объединены в три направления деятельности: предупреждение лесных пожаров, их локализация и тушение, послепожарное восстановление/реабилитация лесов. Для организации эффективной деятельности указанной системы необходимо выработать алгоритм принятия решений, что диктуется приоритетами [154], а деятельность необходимо планировать, т.к. для них необходимо финансирование для привлечения сил и средств, а также подготовке к пожароопасному сезону [18].

***Содержание мероприятий по предупреждению лесных пожаров:***

- выявление территорий наиболее подверженных возникновению пожара, деление их по их потребности в финансовых и материально-технических средствах для предупреждения и тушения лесных пожаров, приоритетности пожаротушения, обозначение этих территорий на картах/схемах;
- противопожарное обустройство лесных массивов (строительство лесохозяйственных и противопожарных дорог, опорных полос/рубежей, наблюдательных пунктов/систем видеонаблюдения, искусственных

противопожарных водоемов, противопожарное обустройство мест отдыха и др.);

- повышение противопожарной устойчивости лесных насаждений путем создания защитных лесных полос из огнестойких древесных лиственных пород и кустарниково-травянистой растительности, расчленяющих сплошные лесные массивы на отдельные участки;

- мониторинг погодных условий и состояния лесов/ЛК, прогнозирование пожарной опасности и развития ЛП;

- создание и поддержание деятельности информационных систем (спутниковый мониторинг, системы видеонаблюдения, применение БПЛА, наземное патрулирование территорий, реагирование на сообщения от местного населения и т.п.) по обнаружению лесных пожаров;

- создание и совершенствование противопожарной нормативно-правовой базы;

- создание и совершенствование финансового, материально-технического обеспечения противопожарных мероприятий;

- проведение очистки территорий от ЛГМ (бурелома, валежа, опада), включая контролируемые палы и другие меры;

- доведение необходимости реализации мер противопожарной профилактики до населения (активная и пассивная противопожарная пропаганда, организация общественных акций, например, «Леса – наше богатство!» или «Лес и пожар не совместимы!», доведение на постоянной основе до населения информации о лесопожарной обстановке, принимаемых мерах к ее снижению и др.).

***Содержание мероприятий по локализации и тушению лесных пожаров:***

- обеспечение непрерывной работы наземных, аэрокосмических систем по обнаружению ЛП;



- создание и реализация в практической деятельности законодательно-нормативной основы планирования, приемов мобилизации людских, материально-технических и финансовых ресурсов для борьбы с ЛП;

- оперативное реагирование (оценка и прогноз развития пожара, выбор тактики борьбы, технологии и средств пожаротушения и т.п.) и практическая организация регулирования горимости. Контроль за динамикой распространения и развития ЛП;

- локализация и тушение ЛП;

- сбор, обработка и передача информации о ЛП, ведение учета, формирование и передача статистической отчетности в региональные и федеральные центры мониторинга лесопожарной обстановки;

- выявление и наказание виновников ЛП.

***Содержание мероприятий по послепожарному восстановлению/реабилитации лесов:***

- проведение оценки текущего и прогнозируемого ущерба от ЛП;

- оценку краткосрочных и долгосрочных послепожарных последствий и планирование мероприятий по снижению ущерба, реабилитации лесов/ЛК;

- восстановление лесов/ЛК, популяций растений и животных в рамках потенциала естественного биоразнообразия;

- послепожарная очистка территорий от мертвой древесины, сокращение или локализация мест самопроизвольного формирования пожароопасных травяно-кустарниковых сообществ и др.

### **1.3 Предупреждение лесных и степных пожаров и противопожарная профилактика**

Первый этап борьбы с лесными пожарами осуществляет система предупреждения ЛП и противопожарная профилактика [114], повышение эффективности которой важная задача [216]. «Пожар легче предупредить, чем

его тушить» гласит прописная истина! Данная система состоит из следующих элементов:

- нормативно-правовая база федерального и регионального уровней, регламентирующая деятельность по недопущению возникновения ЛП;
- доведение необходимости реализации мер противопожарной профилактики до населения (активная и пассивная противопожарная пропаганда, организация общественных акций, например, «Леса – наше богатство!» или «Лес и пожар не совместимы!», доведение на постоянной основе до населения информации о лесопожарной обстановке, принимаемых мерах к ее снижению и др.);
- введение запретов (при необходимости) на хозяйственную и рекреационную деятельность в лесах при достижении критических значений показателей пожарной опасности.

Действия, предпринимаемые для предупреждения лесные пожаров представлены на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 - Деятельность системы профилактики ЛП

#### **1.4 Обнаружение, мониторинг и прогнозирование лесных пожаров**

Борьба с ЛП невозможна без наблюдения за лесными пожарами, лесопожарной обстановкой и прогнозирования развития ЛП. Все перечисленное объединено в систему мониторинга ЛП, которая состоит из следующих элементов:

- нормативно-правовая база федерального и регионального уровней, регламентирующая деятельность служб по обнаружению ЛП;

- создание материально-технической базы для организации наблюдения за ЛП на федеральном и региональном уровнях;
- создание и поддержание деятельности информационных систем (спутниковый мониторинг, системы видеонаблюдения, применение БПЛА, наземное патрулирование территорий, реагирование на сообщения от местного населения и т.п.) по обнаружению ЛП;
- выявление пожарной опасности лесов региона и их классификация по породному составу;
- выявление пожарной опасности лесов по условиям погоды (КППО по Нестерову);
- прогнозирование пожарного риска, а также развития ЛП, ущерб от него, возможной угрозы населенным пунктам и промышленным объектам [11, 34, 159,163].
- сбор обработка и передача информации о лесопожарной обстановке, а также о числе ЛП их площади, ущербе, привлеченных к тушению силах и средствах, необходимых ресурсов для лесовосстановления.

**Обнаружение ЛП.** Отдельным направлением деятельности в системе мониторинга является наблюдение за возникновением лесных пожаров. Сама по себе лесопожарная обстановка еще не свидетельствует о том, что ЛП будут возникать и распространяться. Хорошо известно, что лесные пожары, в абсолютном большинстве случаев, возникают в ограниченном количестве мест. Это, как правило, участки местности, расположенные вдоль населенных пунктов, промышленных объектов, оживленных авто- и железнодорожных магистралей. Однако в последние время в связи с усиленной эксплуатацией ЛМ пожары могут возникнуть там, где людям будет угодно. Участились случаи хищения древесины в лесах, которое сопровождается умышленным поджогом порубочных остатков, для сокрытия следов преступления, ЛП стали инструментом в хозяйственных спорах на территорию и т.п. В настоящее время обеспечение обнаружения возникновения лесного пожара является многоуровневой системой [57] от непосредственной деятельности

сотрудников лесничеств, которые обязаны патрулировать территорию, в том числе с целью обнаружения мест возникновения ЛП [296]. В качестве эксперимента на предмет повышения эффективности обнаружения и наблюдения за развитием ЛП лесничества получили доступ к данным спутникового мониторинга защищаемых территорий [213, 214].

Наиболее старым и надежным способом обнаружения ЛП является наземное патрулирование территории (рисунок 1.4), а также выстраивание взаимодействия с местным населением. В некотором виде она сохранилась до сих пор. Однако в конце XX века в Российской Федерации такой способ обнаружения ЛП начал проявлять свои недостатки, связанные с финансированием по остаточному принципу, вызвавшую сокращение работников увольнению специалистов, снижение расходов на обеспечение мобильности лесных патрульных. Патрули перемещались по лесным массивам в пешем порядке, а при обнаружении ЛП были вынуждены добираться до населенного пункта и сообщать в лесничество информацию по проводной телефонной связи, т.к. системы сотовой телефонной связи тогда не существовало. Все это приводило к возрастанию времени свободного развития ЛП и большому ущербу от него.



Рисунок 1.4 - Патрулирование в лесной местности

Обнаружить лесной пожар в дневное время можно по дыму («нет дыма без огня»), а в ночное по световому излучению [299], которое формирует открытое пламя. В ночное время хорошо видно зарево пожара, которое легко идентифицируется если известны время рассвета и заката, а также расположение сторон света на местности. Для обнаружения ЛП применяются стационарные посты – построенные на возвышенностях наблюдательные вышки (см. рисунок 1.5) [299], а в связи с бурным развитием технической электроники, а также компьютерной техники и программного обеспечения позволявшего распознавать визуальные образы, появилась возможность передать функцию наблюдения за возникновением и распространением лесных пожаров автоматизированным системам [27,299], состоящим из видеосенсоров (видеокамер, работающих в видимом и инфракрасном диапазонах) и системы обработки видеоинформации [74]. Появление свободного доступа к беспроводной связи по каналам GSM позволило размещать видеокамеры там, где это удобно на антеннах сотовой связи, устанавливаемых вдоль автомагистралей, а также в населенных пунктах (см. рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 - Элементы системы наземного наблюдения за лесными пожарами

В это же время, по тем же причинам (сокращение финансирования) пришла в упадок малая авиация, обеспечивающая коммуникацию между удаленными населенными пунктами и осуществлявшую попутно наблюдение за лесопожарной обстановкой и способной оперативно доставлять силы и

средства к месту тушения ЛП. Как выход из сложившейся ситуации было предложено применять сверхмалые летательные аппараты – дельтапланы – для патрулирования территории. Эксплуатация пилотируемого транспортного средства ограничена погодными условиями (летная или нелетная погода), обеспечивающая безопасность воздухоплавания. Более безопасным способом наблюдать за ЛП можно благодаря активному внедрению в деятельность лесничеств – беспилотных летательных аппаратов (дронов) [37] (см. рисунок 1.6). Высокую эффективность в обнаружении пожаров демонстрируют возможности подключения лесничеств системе спутникового мониторинга ЛП [213]. Появились возможности по автоматизации процессов выявления ЛП путем программирования вычислительных алгоритмов на поиск и идентификацию, так называемых, горячих точек на местности [37, 299].

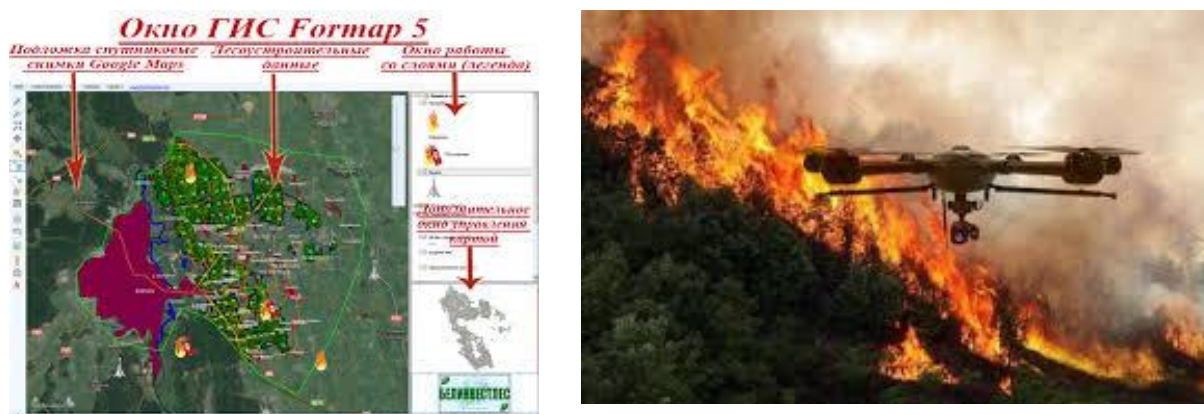


Рисунок 1.6 - Функционирование системы обнаружения ЛП

Обнаружение и мониторинг лесных пожаров также позволяет поводить специализированные системы прогнозирования лесных пожаров [27,93], которые по данным о месте возникновения пожара и данных о погодных условиях способны прогнозировать сценарий развития лесного пожара, возможные направления его движения, возможную угрозу для населенных пунктов и промышленных объектов, а также возможный ущерб [36,45,48,93]. Такие программные комплексы могут выполнять и консультационную функцию, т.е. подсказывать направления деятельности лесоуправляющих

организаций при различных классах лесопожарной обстановки (см. рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 - Функционирование прогнозирования лесопожарной обстановки и реагирование на нее

### **1.5 Противопожарное обустройство лесов и лесных культур**

Полностью оградить ландшафт от ЛП невозможно, поэтому если не сработала система предупреждения возникновения ЛП в действие вступает система препятствования его свободному распространению. Данная система состоит из следующих элементов:

- нормативная база противопожарного обустройства ЛМ;
- планирование объемов работ и затрат человеческих, финансовых и материальных ресурсов для противопожарного обустройства ЛМ
- создание учреждений и организаций, на которые будет возложена обязанность
- проведение в ЛМ работ по снижению их пожарной опасности путем очистки территории от ЛГМ (сухостоя, бурелома, валежа, опада);
- строительство лесохозяйственных и противопожарных дорог, опорных полос/рубежей, наблюдательных пунктов/систем видеонаблюдения, искусственных противопожарных водоемов, противопожарное обустройство мест отдыха и др.;
- обустройство техногенных объектов на территории ЛМ, создание условий для сбора и вывоза бытовых и техногенных отходов;

- создание противопожарных разрывов и барьеров (минерализованных полос);
- повышение противопожарной устойчивости лесных насаждений путем создания защитных лесных полос из огнестойких древесных лиственных пород и кустарниково-травянистой растительности, расчленяющих сплошные лесные массивы на отдельные участки;
- обустройство источников противопожарного водоснабжения.

Противопожарные преграды представлены на рисунках 1.8 и 1.9.



Рисунок 1.8 - Минерализованная полоса



Рисунок 1.9 - Противопожарный разрыв

Согласно нормативной документации [217] требования к противопожарным барьерам таковы: минерализованные полосы обустройства шириной от 1,2 до 9 м, а противопожарные разрывы от 20 до 30 м.

## **1.6 Мероприятия по тушению и локализации лесных и степных пожаров**

Тушения ЛП реализуется в том случае, когда не помогла противопожарная профилактика, а система обнаружения ЛП выявила место его возникновения и определила исходные параметры (площадь ЛП на момент обнаружения). Система состоит из следующих элементов:

- нормативно-правовая база тушения и локализации ЛП;



- создание учреждений/организаций, в деятельность которых введено тушение ЛП;

- оценка потребности в силах и средствах тушения ЛП, утверждение штатного расписания на должности в подразделениях по тушению ЛП;

- материально-техническое и финансовое обеспечение (на федеральном, региональном и местном уровнях) для обеспечения действий сил и средств по тушению ЛП.

- создание условий по воспроизводству или взаимозаменяемости кадров организующих, управляющих и выполняющих мероприятия по тушению ЛП.

Для тушения и локализации ЛП на федеральном и региональном уровнях создается законодательно-нормативная база регулирующая деятельность в данном направлении [178,267]. Объемы противопожарных работ, численность группировок и их материально-техническое обеспечение определяется решениями региональных властей [178], на основании методик расчета [154]. Действия лесных пожарных представлены на рисунке 1.10.



Рисунок 1.10 - Функционирование системы тушения ЛП

Для выполнения требований законодательства создаются лесоуправляющие организации – лесничества – в задачу, которых, в том числе, входит охрана и защита лесов от пожаров. В их обязанности входят основы планирования, приемов мобилизации людских, материально-технических и финансовых ресурсов для борьбы с ЛП. Лесничества созданы во всех регионах Российской Федерации, вне зависимости от типа зоны: лесная, лесостепная и степная. Проведение лесных работ возлагается лесничествами на

лесохозяйственные предприятия (лесхозы) – именно они обязаны осуществлять все мероприятия по сбережению леса, его защите от пожаров и их тушение.

Следующим большим этапом является ее реализация в практической деятельности – создание новых учреждений по тушению ЛП или передача указанных полномочий уже созданным организациям. Для выполнения имеющихся полномочий учреждения обязаны иметь в своем штате обученный персонал, технику, расходные материалы и т.п. Для функционирования службы тушения ЛП необходимо выделять финансовые и материальные ресурсы, за счет средств федерального, регионального, местного бюджета или средств частных инвесторов. Согласно [266] тушение ЛП осуществляется силами и средствами организаций, за которыми закреплена территория. Она обязана обеспечивать оперативное реагирование на (1) формирование и развитие лесопожарной обстановки (оценка и прогноз развития пожара, выбор тактики борьбы с ним), (2) возникновение и развитие ЛП с выбором и применением технологии и средств пожаротушения, (3) возникновение ЛП путем сбора группировки, его доставки к месту тушения ЛП и практическая организация регулирования горимости. Согласно имеющимся в организации силам, средствам, материальным ресурсам разрабатываются и реализуются тактические приемы по тушению и локализации ЛП на основе учета местных условий. Попутно должен осуществляться контроль за динамикой изменения лесопожарной обстановки, распространения и развития ЛП, направления его распространения (и его возможные изменения) путем сбора, обработки и передачи информации о ЛП, ведения учета, формирования и передачи статистической отчетности в региональные и федеральные центры мониторинга лесопожарной обстановки.

Тушение и локализация лесных пожаров тесно связаны с возможностями их быстрого обнаружения и передачи информации о них в противопожарные подразделения. Для этого проводят мероприятия созданию комплекса слежения за пожарным состоянием лесов/ЛК, обеспечивая

непрерывность работы служб наземного патрулирования, систем видеонаблюдения со стационарных станций или летательных аппаратов см. п.1.4, систем спутникового мониторинга пожаров.

На последнем этапе лесопожарных мероприятий проводят расследование причин возникновения и развития ЛП, выявляют виновников, анализируют качество функционирования системы обнаружения ЛП, скорость передачи данных и качество ее обработки с выработкой решений для дальнейших действий, оценивают оперативность реагирования на ЛП, эффективность действий лесных пожарных и выработанных руководством решений, объемы дополнительной помощи, запрашиваемой при тушении и локализации ЛП, оценивают ущерб от ЛП с выработкой решений по ликвидации его последствий и совершенствовании мер противопожарной защиты лесов/ЛК.

## **1.7 Огнетушащие средства, пригодные для тушения лесных и степных пожаров**

Тушение ЛП связано с применением лесопожарного оборудования и техники, а также ОТС. Для тушения ЛП применяется один или несколько тактических приёмов. Тушение ЛП можно осуществлять двумя основными способами: ограничением его распространения и непосредственным воздействием на зону горения [210,253,295]. В случае ЛНП, реализация второго способа может быть осуществлена как с применением ОТС, так и без их применения. Кроме перечисленного, на кромку ЛНП можно оказать воздействие мощным потоком воздуха (осуществить сдувание пламени с ЛГМ), создаваемого воздуходувкой [63].

Тушение ЛНП как технология представляет собой следующую последовательность действий: (1) сбить пламя при наличии пламенного горения, (2) осуществить дотушивание для полного прекращения взаимодействия ГВ с Ох. Только при реализации обоих действий цель тушения

пожара будет достигнута. Поэтому реализовать оба сценария возможно как с применением, так и без применения огнетушащих составов.

В таком случае для тушения лесных низовых пожаров существуют четыре варианта развития событий:

- 1) Тушение пламенного горения без расходования огнетушащих составов;
- 2) Тушение пламенного горения с расходованием огнетушащих составов;
- 3) Тушение беспламенного горения без расходования огнетушащих составов;
- 4) Тушение беспламенного горения с расходованием огнетушащих составов.

Следует отметить, что при ЛП одновременно присутствуют оба режима горения и пламенное, и беспламенное, из которых наибольшую трудность при тушении представляет последнее, т.к. обнаружить пламенное горение можно по наличию пламени, которое при пожаре образует довольно компактную зону, в то время как признаком беспламенного горения является наличие дыма, который может распространяться за значительное расстояние, а также образовывать сплошные зоны задымления протяженностью десятки километров. Как правило беспламенное горение сохраняется на участках по которому прошла кромка низового пожара, но по каким-либо причинам на них не успели выгореть все ЛГМ. беспламенное горение наблюдается для материалов с содержанием углерода выше 80%, так горит древесный или каменный уголь [30, 210].

Борьба с пламенным горением может быть осуществлена несколькими путями [210,253,295]: сбивание пламени с помощью пожарной хлопушки, подача в зону горения ОТС (чаще всего воды), разработка грунта в ручную или механизировано с подачей его в зону горения, контролируемый отжиг территории, очистка территории от горючих материалов путем опаживания или срезания слоя ЛГМ, плугом или отвалом бульдозера. В некоторых случаях при подземных пожарах или при наличии подземных проводников горения помогает рытье траншей вокруг участка горения. Все вышперечисленное

эффективно, но требует привлечения значительных сил, расхода ОТС, больших энергетических затрат при использовании энергонасыщенной техники.

Против беспламенного горения некоторые приемы тушения бесполезны, например, тушение с помощью пожарной хлопушки. Очаг беспламенного горения сохраняется в объеме слоя ЛГМ. По прошествии некоторого времени, в условиях наличия теплоизоляции в рыхлом слое ЛГМ вновь начинают интенсивно выделяться нагретые газообразные продукты пиролиза. Когда их концентрация и температура преодолевают некоторые критические значения – нижний концентрационный предел воспламенения и температуру воспламенения, вновь беспламенное горение перейдет в режим пламенного горения и ЛП продолжит свое движение по ЛМ.

***Набор оборудования и ОТС для лесного пожаротушения.*** Для тушения лесных и ландшафтных пожаров необходимо пригодны любые средства, обладающие огнетушащим действием. Справочная литература [210,253,295] предлагает следующие типы огнетушащих средств: механизированные и ручные. Разница между ними в следующем: механизированные средства оснащены ДВС, которые приводят в действие устройство, с помощью которого осуществляется тушения пожара, например, пожарный насос, активный или пассивный почвообрабатывающий агрегат и т.п. Это реализуется в двух вариантах. В первом варианте, привод насоса или агрегата может осуществляться от ДВС транспортного средства, во втором, имеет собственный ДВС. К таким средствам тушения относятся лесопожарные вездеходы, пожарные автоцистерны, индивидуальные мотопомпы низкого или высокого давления, лесопожарные воздуходувки-опрыскиватели и т.п. Поэтому в последние 25-30 лет в тушение ЛП начали активно внедряться средства малой механизации. В набор оборудования для тушения ЛП вошли лесопожарные воздуходувки-опрыскиватели [63], показавшие свою эффективность в тушении рыхлых слоев ЛГМ, зарослей камыша (*Scirpus sylvaticus* L. 1753.), осоки (*Carex* L. 1753) и рогоза (*Typha*

*angustifolia L.*), и травостоя. В последние 10-15 лет начали активно внедряться УПВД [264]. Ручные средства пожаротушения, наоборот, не имеют механизированного привода и для осуществления огнетушащего действия лесным пожарным необходимо осуществлять собственную физическую силу. К таким средствам относятся ранцевые лесные огнетушители, хлопушки, лопаты, грабли, подручные средства – пучки ветвей лиственных растений и т.п.

Анализ литературы [210,253,295] показал, что применение механизированных средств тушения ЛП с подачей ОТС в зону горения обладает производительностью в 30-40 раз выше, чем та, что обеспечивается ручными средствами даже при использовании ОТС. Отличия заключаются в интенсивности подачи ОТС в зону горения, что позволяет проводить большие объемы работ за меньшее время. Тем не менее, определенную роль в тушении лесных пожаров играют и ОТС, которыми при применении ручных средств являются вода (водные растворы) и грунт, которые подают в зону горения. Тем не менее, согласно [210,253,295] применение воды с помощью РЛЮ в 1,5...2 раза эффективнее использования грунта, подаваемого лопатами в зону горения тушения ЛП. Таким образом, применение воды и водных растворов обладает значительным преимуществом перед применением грунта.

Значительным недостатком применения воды при тушении ЛП является необходимость постоянного пополнения ее запасов, что требует введения дополнительных операций в тушение, связанных с доставкой воды к месту тушения ЛП. Кроме этого, вода из-за своих физических и химических свойств плохо смачивает ЛГМ и реализует только один тип огнетушащего действия – охлаждение зоны горения. Указанное обуславливает ее перерасход при тушении ЛП, а повышение огнетушащих возможностей воды является важной научной задачей.

Расширить возможности воды позволяют химические средства, которые в составе водного раствора попадают в зону горения и осуществляют свое огнетушащее действие. Анализ литературы показывает, что чаще всего в

качестве огнетушащих средств предлагают многокомпонентные составы содержащие одновременно электролиты, неэлектролиты и поверхностно-активные вещества. Поэтому при обзоре достижений в этой области трудно разделить огнетушащее и огнезащитное действие электролитов или неэлектролитов.

***Набор оборудования и ОТС для лесного пожаротушения.*** Справочная литература [210,253,295] предлагает оснащение лесных пожарных следующим набором лесопожарной техники и огнетушащих средств: лесопожарные вездеходы, лесопожарные автоцистерны, мотопомпы высокого и низкого давления, ручные средства (лопаты, грабли, хлопушки). Анализируя производительность применяемых средств пожаротушения можно определить, что наиболее эффективным является тушение ЛНП с применением воды, а наиболее эффективным способом тушения лесного пожара является подача воды на его кромку (фронт). Тем не менее, лесные пожары происходят как раз в то время, когда погода формирует длительные засушливые условия и доставлять воду к месту тушения пожара приходится за многие километры. В связи с этим, исследователи обязаны разработать такие способы тушения лесных пожаров и огнетушащие средства, чтобы снизить потребление воды при тушении.

Подачу воды в зону горения удобнее всего осуществлять с помощью специальных пожарных насосов. Для этого используют насосы центробежного типа, главным достоинством которых является нетребовательность к чистоте воды, подвергаемой перекачке. Оснадив такой насос мотоприводом можно получить автономную водоперекачивающую станцию с достаточной мощностью. К недостаткам таких водоперекачивающих систем является их масса, низкое давление на выходе из рукава т.п. Тем не менее, большой расход воды, обеспечиваемый этими мотопомпами, покрывает имеющиеся недостатки. Технические характеристики применяемых для тушения ЛНП мотопомп представлены в [210,253,295].

Пожарные автоцистерны (АЦ) уже более 100 лет применяются для тушения техногенных пожаров [260]. Это полностью автономная мощная установка пожаротушения, смонтированная на мобильном шасси полноприводных легких, средних и тяжелых грузовых автомобилей. При тушении лесных пожаров нашли свое применение АЦ, на базе шасси ГАЗ-66, ГАЗ-3308 и т.п. Они легкие, маневренные, способны перемещаться по узким лесным дорогам, въезжать на поляны и т.п.

Несмотря на применение при тушении ЛП высокопроходимых транспортных средств на базе легковых и грузовых автомобилей, а также гусеничной техники, превзойти человека по проходимости по пересеченной местности до сих пор не удалось. Именно поэтому основная нагрузка при тушении ЛП ложится на человека. Для эффективного тушения ЛП лесного пожарного необходимо готовить и оснащать. В большинстве случаев для этого применяют ручное оборудование. Его преимуществом является простота и надежность, например, если пожарная мотопомпа перестанет функционировать по какой-либо причине, то на ее ремонт может уйти длительное время, а ручной инструмент – лопату, топор, грабли, РЛЮ сломать достаточно трудно, если уметь с ними обращаться. К тому же, применение РЛЮ носимых человеком в 1,5...2 раза эффективнее использования лопат и подручных средств тушения ЛПН [295]. Единственным, но очень значительным недостатком применения ручного оборудования и ручного труда является его низкая производительность [295]. При тушении ЛП приходится выполнять различные тяжелые работы с высокой интенсивностью труда [281]. Осложняет условия труда еще и воздействие поражающих факторов пожара – дыма, которым дышат лесные пожарные. Дым от пожара содержит в своем составе тысячи компонентов (см. п. 2.1) поэтому требуется сочетание труда и отдыха для сохранения трудоспособности людей на длительный период [295].

Значительным недостатком применения воды при тушении ЛП является необходимость постоянного пополнения ее запасов, что требует введения



дополнительных операций в тушение, связанных с доставкой воды к месту тушения ЛП. Кроме этого, применение воды в качестве ОТС подачей ее в зону горения с помощью моторизованных средств, ограничивается запасом топлива (автомобильного бензина), надежностью ДВС, его моторесурса, качества его технического обслуживания.

Известно, что локализация ЛП следует за его тушением, для предотвращения повторного возникновения и распространения пожара. Для локализации проводят работы по разрыву цепи передачи пламени по слою ЛГМ. Для этого проводят срезание и удаление растительности с участка местности с помощью специальных плугов или отвалов бульдозеров. Валку деревьев осуществляют с помощью рубящего или режущего инструмента - топоров, цепных пил. Проводят контролируемый отжиг территории [295]. Последнюю процедуру необходимо проводить с большой осторожностью, т.к. высока вероятность возникновения дополнительного ЛП в случае потери контроля над горением. Непрерывное совершенствование технологии тушения ЛНП требует проведения исследований на модельных и реальных пожарах по поиску новых эффективных ОТС [87]. Проведение исследований требует разработки методик их проведения, т.к. для обеспечения объективности результатов эксперимента необходимо обеспечивать одинаковые условия [89].

*Огнезащитное и огнетушащее действие электролитов.* Вода является одним из самых распространенных веществ на п. Земля и самым лучшим растворителем. В природе пока не найдены вещества абсолютно в воде не растворимые. Вещества способные растворяться в воде принято разделять на электролиты и неэлектролиты [21,186]. Электролиты при растворении распадаются на заряженные частицы - их водные растворы проводят электрический ток, неэлектролиты образуют растворы электрический ток не проводящие. К электролитам относятся преимущественно вещества неорганического происхождения, а также часть органических веществ (органические кислоты, соли и т.п.).

Электролиты, растворенные в воде, согласно первому закону Рауля, изменяют ее физические свойства. Кроме этого, компоненты водного раствора способны вступать в химическое взаимодействие с ГВ и продуктами его термической деструкции. К примеру, согласно литературным данным, сода (бикарбонат натрия) проявляет высокую огнетушащую способность как в твердом виде, т.к. входит в состав зарядов порошковых огнетушителей, так и в виде растворов [304,310,317,345,347]. Это связывают с тем, что при тепловом воздействии на соду она разрушается с образованием углекислого газа, который наполняет диффузионную зону горения и вытесняет оттуда кислород. Тем не менее, автором проводились собственные исследования огнетушащей способности водных растворов соды для тушения горящей древесины, где насыщенный водный раствор соды в воде показал незначительную эффективность в тушении горения в сравнении с водопроводной водой [126].

В работе [207], представлен способ тушения пожара, заключающийся в подаче в зону горения огнетушащего состава, содержащего два компонента: гранулированное минеральное волокно и от 3 до 5 массовых процентов жидкого стекла. Оба компонента подают одновременно при помощи воздушной струи. При смешивании компонентов состава на выходе из специального устройства, на горячей поверхности образуется покрытие, которое имеет огнетушащие и теплоизолирующие свойства. При этом толщина покрытия зависит от времени подачи компонентов. Недостатками этого способа является высокая вязкость жидкостного компонента огнетушащего состава, усложняющая процесс его подачи в очаг пожара, а также сложность удаления остатков огнетушащего состава после завершения пожаротушения.

Авторы работы [206] описали способ тушения пожара, в котором для тушения пожара необходимо использовать смесь равных объемов карбамидоформальдегидной смолы и 25% водного раствора кристаллогидратной соли  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ . К основным недостаткам предложенного способа являются большие затраты огнетушащего вещества,

вследствие необходимости постоянно обеспечивать его пребывание на горячей поверхности.

Анализируя состав для тушения пожаров в виде минерально-водяной суспензии, состоящей из жидкого стекла, глины и воды [199], предназначенный преимущественно для тушения природных пожаров можно выделить следующие у него недостатки: сложный состав суспензии и сложность технологии ее приготовления.

Еще одно ОТС [197] разработано на основе виде двухкомпонентного водного раствора силиката щелочного элемента (жидкое натриевое или калиевое стекло) с массовым содержанием силиката от 3,5 до 25,0 % и раствора соли двухвалентного или многовалентного элемента (коагулянта), например алюминия, железа (+3), титана (+3 или +4), магния (+2), кальция (+2) с массовым содержанием соли от 4,5 до 47,0%. Недостатком данного состава является двухкомпонентность раствора, один компонент которого состоит из силиката, а второй из коагулянта.

При тушении пожаров [197] определенную эффективность показывают растворы, содержащие молотую глину, молотый асбест, хлорид натрия и воду. Недостатками известного состава являются: недостаточная огнетушащая эффективность при тушении лесных и торфяных пожаров; возможность подачи только путем сброса (слива); неспособность подавить тлеющие очаги горения лесной подстилки и тем более торфяных массивов; в силу фракционного состава и структуры огнетушащего раствора невозможность его применения в ранцевых установках пожаротушения; сложность получения готового раствора (требуется механизированный способ приготовления).

Средства на основе оксида кремния довольно перспективны в тушении пожаров веществ/материалов, находящихся в различных агрегатных состояниях. Предложено ОТС № 2275951 [202], состав которого включает воду в количестве 50-95 мас.% и в качестве загущающей добавки жидкое стекло с модулем 2,5-3,2 в количестве 5-50 мас.%. Дополнительно состав может содержать высокомолекулярное поверхностно-активное вещество в

количестве 0,001-0,1 кг на 1000 л воды в растворе. Недостатком данного состава является большая концентрация раствора - до 50% по массе.

Еще в 1930–1950 гг. XX столетия была доказана эффективность применения для борьбы с лесными пожарами таких химических веществ, как водные растворы хлористого магния и кальция, карналлита, моноаммония фосфата и сульфата аммония. Для прокладки огнегасящих заградительных опорных полос с целью борьбы с пожарами хороший эффект достигается при использовании углекислого натрия (сода) и сернокислого натрия (мирабилита, или глауберовой соли), [230]. По основному действующему элементу или группировке огнезащитные материалы можно разделить на:

1. Фосфор-, азот-, галоген-, серо-, бор-, сурьму- кремнийсодержащие соединения.

2. Вещества, содержащие фосфор и галоген, или фосфор и азот, или другие два или более действующих элементов или группировок (комбинированные соединения).

3. Вещества, содержащие аллильные группы, гетероциклы, пероксидные группы и другие группировки, способствующие процессам сшивания, коксования.

4. Вещества, содержащие связанную воду, карбонаты и другие соединения, разрушение которых сопровождается фазовыми переходами (гидроксиды алюминия или других металлов, бораты и карбонаты металлов (щелочноземельных).

5. Комплексные соединения, оксиды и соли металлов переменной валентности, способствующие коксованию (соединения рения меди и ванадия и др.) [144].

Самым наиболее часто используемым крупнотоннажным антипиреном остаётся гидроксид алюминия, ежегодный рост применения этого материала оценивается в 3%, что обусловлено дешевизной данного вещества [164]. Разнообразие и соотношение предлагаемых на Мировом рынке антипиренов

может быть проиллюстрировано данными, представленными на рисунке 2.13 [164].

Антипирены должны удовлетворять следующим требованиям: совмещаться с материалом и не мигрировать на его поверхность; не ухудшать механических и других физических характеристик материала; не разлагаться при переработке материала и эксплуатации изделия; быть нетоксичными, не выделять при горении токсичных продуктов и уменьшать дымообразование. Желательно также, чтобы антипирены были бесцветны, атмосферостойки, обладали высокими диэлектрическими показателями [96,97].

Наиболее распространенные антипирены: гидроксид алюминия  $Al(OH)_3$ , соединения бора (например  $2BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot nH_2O$ ;  $2ZnO \cdot 3B_2O_3 \cdot nH_2O$ ), фосфора [фосфаты аммония, три(2,3-дибромпропил)фосфат и др.], сурьмы ( $Sb_2O_3$  и др.), высоко хлорированные парафины  $C_{20}-C_{25}$ , бромпроизводные ароматических углеводородов (например, гексабромбензол), смеси солей неорганических кислот с меламино- или мочевино-формальд смолами, карбонаты и сульфаты аммония, соли Mo, V, Se, Ti, Fe, на практике применяют обычно смеси различных антипиренов с азот- и фосфорсодержащими веществами [221,230-235,305,329-334,337,338, 341,342, 346], т.к. при этом повышаются огнетушащие свойства, но выделить огнетушащий эффект от отдельных компонентов смеси затруднительно. Состав мирового рынка антипиренов представлен на диаграмме (см. рисунок 1.11).

В настоящее время большое значение в профилактике и ликвидации лесных пожаров придается использованию эффективных огнетушащих химических составов. Проведен сравнительный анализ эффективности огнезащитных средств на примере древесных материалов [165]. Они используются для прокладки длительнодействующих профилактических огнезадерживающих полос на наиболее пожароопасных направлениях, тушения пожара, создания заградительных огнегасящих полос непосредственно перед кромкой пожара, опорных полос для пуска отжига.

Одним из удачных изобретений, используемых при борьбе с лесными пожарами можно назвать новый экологически безопасный огнезащитный химический состав «Метафосил», который предназначен для прокладки профилактических длительно действующих (до 40–45 суток) огнегасящих полос в районах наиболее вероятного возникновения пожаров: зон отселения и отчуждения, вдоль систем коммуникаций (дорог, ЛЭП, нефте- и газопроводов и т.п.), а также в наиболее пожароопасных лесных массивах; заградительных полос непосредственно перед кромкой пожара, опорных полос для отжига, непосредственного тушения лесных пожаров, а также их окарауливания.

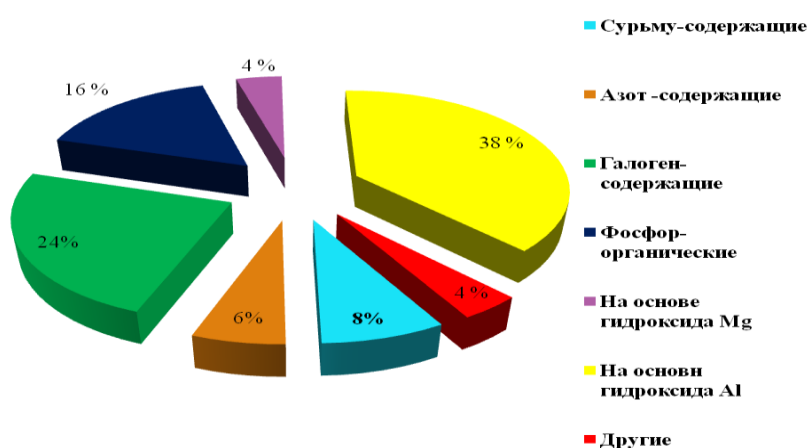


Рисунок 1.11 – Соотношение основных антипиренов, предлагаемых на мировом рынке

«Метафосил» представляет собой пастообразную массу от белого до серого цвета, содержит аморфный фосфат алюминия и соединение аммония и дополнительно – аморфный фосфат цинка и воду при следующем процентном содержании компонентов: гидроксид аммония 7,0–8,0; аморфные фосфаты алюминия в пересчете на оксиды (оксид алюминия 1,7–1,9, оксид цинка 3,5–4,5 и оксид фосфора 30,5–35,0); вода все остальное. Для повышения стабильности при хранении состав дополнительно содержит 2,2–4,0 % силиката натрия [59].

Для создания заградительных полос пригодна огнетушащая быстротвердеющая пена, получаемая пенообразователями Фос-Чек ВД-881

(США), Файрэкс (Россия) и подаваемая на обрабатываемый участок с помощью установки типа ВВСУ УКТП «Пурга». Определенные надежды на снижение пожароопасных свойств ЛГМ дает препарат на основе СДКП-1 [88], а также сложная смесь, состоящая из воды, пенообразующих добавок полимеров, замедлителей горения [85]. Хорошие огнезащитные характеристики показывает применение огнетушащая пена на основе фторсодержащего препарата АFFF (США) [156].

Антипирены с успехом применяют для противопожарной защиты деревянных конструкций, электрических кабелей и трубопроводов. При действии огня огнезащитные материалы вспениваются и ограничивают доступ тепла к защищаемым поверхностям, что значительно снижает ущерб и последствия при возгораниях средней сложности [13,15,130].

Несмотря на довольно многочисленный ряд исследований по анализу всего многообразия рекомендуемых огнетушащих химических составов для борьбы с лесными пожарами до настоящего времени, к сожалению, отсутствуют систематизация и критерии выбора антипиренов. При борьбе с лесными пожарами используются, в основном, многокомпонентные огнетушащие смеси или концентраты, в состав которых входят хорошо растворимые в воде антипирены. Являясь активными на момент тушения пожаров, такие огнегасящие составы не пригодны для превентивной защиты от огня (прокладка профилактических длительно действующих заградительных огнегасящих полос), так как их водные растворы не образуют прочных атмосфероустойчивых покрытий на напочвенных лесных горючих материалах. После испарения воды их защитный слой оказывается рыхлым, легко осыпается и под действием атмосферных осадков из него легко вымываются растворимые продукты [15].

Впервые использованный ЛенНИИЛХ в 1980-1996 г. (г. Санкт-Петербург) для борьбы с лесными пожарами разбавленный раствор природного бишофита, который в последствии был преобразован в состав (бишофит-ОСБ-1), оказался эффективным средством при тушении лесных и

степных пожаров. Также опытным путем было установлено, что обработанные раствором бишофита древесные материалы длительное время (до смыва дождем) сохраняют высокую огнестойкость. Оптимально эффективной для пожаротушения лесных массивов, степных пожаров и обработки лесного горючего материала и деревянных строений является водно-бишофитовая смесь 10% концентрации, допускается осадок. Для визуализации обработанной территории в смесь рекомендуется добавлять 0,9-1,2% кислотного красителя желтого или оранжевого цвета (ОСТ 6-14-37-80) [29].

Также борная кислота сама по себе или в смеси с борнокислым натрием особенно эффективна для уменьшения горючести материалов, содержащих целлюлозу. Поэтому бура и борная кислота используются в качестве антипиренов для деревянных конструкций и целлюлозной теплоизоляции. [247].

Анализ показал, что в России наиболее распространены солевые антипирены. В основном это комбинации диаммонийфосфата, хлорида или сульфата аммония, фторида натрия, фосфорных кислот, мочевины, ПАВ (в основном сульфонола бессульфатного) и др. компонентов. Из них можно создавать многочисленные комбинации, солевые ингредиенты дешевы и легко готовятся [246].

***Огнезащитное и огнетушащее действие неэлектролитов.*** Как отдельная группа - *неэлектролиты* – в качестве ОТС не исследовались, но определенную роль в пожаротушении они все же играют. Так при тушении ЛП нашел применение полимер – полиуретан (Изолан-125) [31], карбоксиметилцеллюлоза, входящая в препарат СО-К1 [189], а также карбамидоформальдегидная смола [168]. В технической литературе, а также при патентном поиске обнаружено много неионогенных соединений мономолекулярного и полимерного строения, проявляющих огнетушащие свойства, однако, все они специально разрабатывались для тушения именно техногенных пожаров. Обзор по применению полимерных материалов для повышения эффективности пожаротушения представлен в работе [168].



Физико-химия процессов формирования полимерных покрытий представлена в работе [192, 324].

Следует отметить, что именно поверхность ГВ является источников легковоспламеняющихся веществ и именно на обработку поверхностей необходимо направить усилия на размещение охлаждающих, изолирующих и ингибирующих компонентов ОТС. Свойствами накапливаться на поверхностях обладают – поверхностно активные вещества природного или синтетического происхождения [220, 280], часть которых находит свое применение при создании ОТС для тушения пожаров.

***Огнетушащее и огнезащитное действие ПАВ.*** Анализ литературных источников показал, что электролиты чаще всего используют в смесях с другими компонентами – смачивателями и пенообразователями, т.к. предпринимаются попытки повышения огнетушащих свойств реализацией всех возможных огнетушащих воздействий: охлаждения, изоляции и ингибирования [5,6]. Так в работе [83] предложены огнетушащие составы на основе воды, со смачивающими, пенообразующими и огнезащитными свойствами. В работе [156] предложено применение быстротвердеющей пены (на основе пенообразователя AFFF) для остановки распространения кромки ЛНП для защиты населенных пунктов от них. Данные о попытках применения ОТС, одновременно обладающих еще и огнезащитным действием в отечественной и зарубежной литературе чрезвычайно скудны. В отечественно научно-технической литературе найдена всего одна работа [83] посвященная реализации ингибирования горения при тушении лесных пожаров.

Поверхностно активные вещества (ПАВ) соединения, обладающие уникальными свойствами, которые позволяют им концентрироваться на поверхности раздела жидкость/твердое тело, жидкость/газ. Присутствие растворенных веществ в объеме и на поверхности растворителя приводит не только к снижению давления насыщенного пара, но и поверхностного натяжения, которое ПАВ снижают наиболее сильно 8-15 раз [220,280]. Это свойство применяют для обеспечения процесса растворения и удаления

загрязнений с различных поверхностей (мытья и стирки), в которых необходимо повысить растворимость гидрофобных загрязняющих веществ/материалов. Широкое применение ПАВ получили в пожаротушении. На их основе создаются огнетушащие пены различной кратности, обладающие высокой изолирующей способностью, а также способные смачивать гидрофобные материалы: нефть, пластики, древесину и т.п.

В настоящее время известны ПАВ различного состава и строения. Все ПАВ относятся к высокомолекулярным соединениям, поэтому по своему агрегатному состоянию они относятся к жидкостям и твердым веществам, хорошо смешивающимся с водой и образующие истинные и коллоидные растворы. Наиболее общим делением ПАВ на группы является их принадлежность к электролитам (катионные и анионные ПАВ) и неэлектролитам (неионогенные ПАВ).

Необходимо пояснить, что на основе ПАВ создаются два типа ОТС и компоненты ОЗС. Главным отличием ПАВ от других неорганических и органических соединений заключается в том, что при образовании ими водного раствора может наблюдаться структурный переход(ы), характеризующиеся таким параметром как критическая концентрация мицеллообразования (ККМ) [280]. При превышении ККМ ПАВ образуют надмолекулярные структуры – *мицеллы*– при этом раствор меняет свои свойства, что можно наблюдать визуально – при механическом на него воздействии, например встряхивании, на его поверхности образуется пена. В зависимости от типа применяемого ПАВ и его концентрации образуются мицеллы разного строения: сферические, цилиндрические, пластинчатые и т.п. (рисунок 1.12) [280].



Рисунок 1.12. Основные виды мицелл

Для некоторых видов ПАВ существует несколько ККМ, например, при ККМ1 образуются сферические мицеллы, при ККМ2 – цилиндрические, а при ККМ3 – мицеллы пластинчатого строения и т.п. (рисунок 1.13).

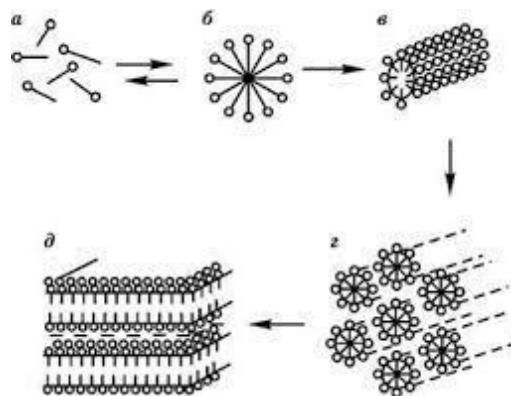


Рисунок 1.13 - Эволюция надмолекулярных структур – мицелл

При концентрациях ПАВ до ККМ растворы пены не формируют (см. рисунок 1.13), но свойства ПАВ по снижению поверхностного натяжения воды сохраняются как в домицеллярной, так и в послемицеллярной областях концентраций [280]. Таким образом, если при профилактике и тушении ЛП ПАВ используют в домицеллярных концентрациях, тогда такие препараты называют смачивателями, а если их концентрация выше ККМ, то препараты называют пенообразователями. При тушении ЛП находят применение штатные– анионные ПАВ – сульфонолы [210,253,295], т.к. они дешевы в производстве и доступны для приобретения, т.к. объемы производства в мире составляют десятки миллионов тонн в год. При тушении техногенных пожаров чаще всего применяют пенообразователи неионогенные ПАВ, т.к. их обладают стабильной структурой, а в смеси с водой образуют стабильные в течение долгого времени растворы, т.к. являются химически инертными и не взаимодействуют с компонентами водопроводной воды.

*Применение смачивателей – ПАВ в домицеллярных концентрациях.* Наиболее часто при тушении лесных пожаров в качестве огнетушащего состава применяют воду, водные растворы смачивателей, грунт [86, 210,253]. Смачиваемость водой ЛГМ настолько низка, что при тушении лесного

низового пожара остаются многочисленный очаги тления, сохраняющиеся в объеме ЛГМ имеющем рыхлую структуру, сохраняющим в себе достаточное количество воздуха для горения. Наличие таких очагов в тылу лесных пожарных закономерно приводит к повторному возникновению возгорания из-за подсушивания верхнего слоя ЛГМ, что нередко требует проведения дополнительных операций окарауливания и дотушивания. Так как доподлинно неизвестно их местоположение - их можно определить только по наличию дыма и интенсивности дымообразования (что в условиях масштабных лесных низовых пожаров довольно затруднительно (задымлена большая территория), что неизбежно приводит к перерасходу воды и увеличению времени тушения, что «играет на руку» ЛНП.

Для расширения возможностей воды при тушении ЛП используются двух- и многокомпонентные ОТС подразделяющиеся на смачивающие, огнезадерживающие (ретарданты) и огнетушащие. Из смачивающих составов (поверхностно активных веществ) наиболее известен сульфанол - быстрорастворимый в воде, желтый порошок. Его добавка в количестве 30 г на ведро воды (0,3 % по массе) или одна таблетка смачивателя на 15-18 дм<sup>3</sup> – объем лесного ранцевого огнетушителя резко повышает ее смачивающие свойства. Основные виды смачивателей [295] представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Пенообразователи и смачиватели

Характеристика	“Финифлам”	По-6ЦТ	По-НП	Фос-Чек	Сульфанол 50%-й концент- рации
1	2	3	4	5	
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	1045	1000...1200	-	-	-
Водородный показатель (рН)	7,66	7,0...10,0	-	7,0...8,0	-
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с, не более	95	100	-	45СП	-
Температура застывания, °С	-13,6	-8,0	2...3,0	-10,0	-

1	2	3	4	5	
Кратность пены на 1 л воды: средняя низкая	83 8	60	60	-	
Устойчивость пены, с: средней кратности низкой кратности	1560 1090	2100	-	-	-
Концентрация рабочего раствора, %	4,0...6,0	4,0...6,0	4,0...6,0	0,6...1,0	-
Концентрация рабочего раствора для смачивания, %	1,0...2,0	1,0...2,0	1,0...2,0	0,2...0,4	0,3...0,4
Гарантийный срок хранения, лет	-	3	-	10	-

Анализ информации, представленной в таблице 1.2, показывает, что при огромном разнообразии ПАВ катионного, анионного и неионогенного типов [220,280] в практической деятельности нашли свое применение всего несколько типов.

В качестве смачивателей можно использовать моющие средства типа «Прогресс», «Дон», «Астра», «Пальмира», их зарубежные аналоги «Tide», «Ariel», «Fairly» и смачиватели группы ОП-7, ОП-10 и др. Водные растворы сульфанола и др. смачиватели незаменимы при борьбе с устойчивыми подземными пожарами, особенно с торфяными, т. к. они способны быстро проникать в лесную подстилку и торф. К огнетушащим и огнезадерживающим составам долговременного действия относится ОС-5 [82]. Он выпускается в виде порошка (смесь диаммонийфосфата, карбамида и сульфанола), легкорастворимого в воде. Последний компоненты (сульфонол) необходим для снижения поверхностного натяжения раствора и увеличения проникающей способности раствора в объем твердого ГВ. Оптимальная концентрация в растворе - 13 %. Раствор хорошо тушит огонь не только в пламенной фазе горения, но и угли (в фазе тления) и используется при прокладке противопожарных заградительных полос. Обработанные этим раствором лесные горючие материалы не горят в течение нескольких суток.

Опорные полосы для пуска отжига достаточно прокладывать шириной 0,3-0,5 м. Дозировка раствора на опорных полосах, в зависимости от мощности напочвенного покрова, - от 0,5 до 1,5 л на 1 м<sup>2</sup>. Состав ОС-5 доставляют до места приготовления растворов в заводской упаковке. Рабочий раствор транспортируют к месту пожара в цистернах, баках, мягких емкостях и т. д. Применение твердых смачивателей представлено на рисунке 1.14.



Рисунок 1.14 - Смачиватели и их применение

*Применение пены - ПАВ в мицеллярных концентрациях.* Огнетушащая пена нашла широкое применение в пожаротушении нефти и нефтепродуктов [290,291]. Это обусловлено необходимостью обеспечить пожаротушение в условиях невозможности прекратить поступление ГВ в зону горения (горение в резервуаре), т.к. изоляцией его от Ох, а для этого необходимо создать непреодолимый для кислорода воздуха слой располагающийся на поверхности горячей жидкости (нефти или нефтепродукта). Вода, по понятным причинам, для этого не подходит, но возможно на ее основе создать воздушно-механическую пену, плотность которой (из-за присутствия большого количества воздуха) меньше плотности любой жидкости. Создание пены основано на способности поверхностно активных веществ (ПАВ) концентрироваться на поверхности растворителя (воды), понижая ее поверхностное натяжение [220,280]. Высокое поверхностное натяжение жидкости ограничивает ее проникающую способность в поры и трещины

веществ и материалов, снизив ее удастся повысить смачивающую способность раствора, что находит применение при тушении ЛП.

Для получения пены применяют специальный раствор, состоящий из воды и пенообразователя (рисунок 1.15). Для получения пены данный раствор подают в специальное устройство – пеногенератор – где производится механическое насыщение водного раствора с воздухом и объем раствора резко увеличивается (рисунок 1.16).



Рисунок 1.15 - Пенообразователь ПО-6



Рисунок 1.16 - Пеногенератор ГПС-600

По насыщенности воздухом пены (довольно условно) разделяют на кратности: низкую, среднюю и высокую. Рост кратности отражается в увеличении объема воздуха в пене и, соответственно, ее объема. Чаще всего в пожаротушении используется пена средней кратности, в связи с оптимальным соотношением расхода водного раствора пенообразователя и его огнетушащих свойств.

Огнетушащий состав СО-К1 может использоваться для прокладки заградительных и опорных полос для отжига авиационными и наземными техническими средствами. Порошок светло-коричневого цвета, размер частиц - 0,25-0,50 мм. Отличительная особенность СО-К1 - возможность получения из доступного природного сырья (бентонитовая глина) с незначительными добавками, а также низкая стоимость по сравнению с составами, изготовленными на основе минеральных удобрений (диаммонийфосфат,

карбамид и т. п.). Высокая вязкость раствора (0,5 Па·с) позволяет снизить потери на распыление при сливе его с авиационных технических средств. Состав относится к категории “кратковременного действия”. Рабочий раствор готовится в специальных смесителях. СО-К1 нетоксичен, пожаро- и взрывобезопасен, безопасен для лесной флоры и фауны, при работе с ним не требуется особых мер предосторожности. Огнетушащий состав СО-К2 используют для прокладки заградительных полос с помощью наземных и авиационных технических средств. ОС-К2 - порошок белого цвета с размером частиц не более 0,5 мм. Отличительная особенность - возможность использовать местные технические отходы, обладающие огнезащитными свойствами, что позволяет снизить затраты при борьбе с лесными пожарами. Состав относят к категории “кратковременного действия”. Раствор можно готовить в любой емкости. Состав огнетушащий ОС-А1 предназначен для использования при тушении пожаров с самолетов и вертолетов, оборудованных специальными водосливными устройствами, путем прокладки с воздуха заградительных противопожарных полос, а также в наземных условиях с применением лесопожарных агрегатов, вездеходов и пожарных автоцистерн. ОС-А1 представляет собой сыпучий материал порошкообразной консистенции с размером частиц до 0,65 мм, хорошо растворяется в воде и применяется в виде 15-18 %-го водного раствора вязкостью 0,2-0,8 Па·с. Загуститель NaКМЦ, позволяет сократить потери жидкости на снос и испарение при сбросе с самолета (вертолета). Вязкие растворы, хорошо удерживающие краситель во взвешенном состоянии и обладающие высокой обволакивающей способностью, позволяют окрашивать кроны деревьев для определения с воздуха границы проложенной полосы.

При выборе в пользу систем пенного пожаротушения нужно помнить о трех основных особенностях пены как огнетушащего состава:

- пена всегда легче любой горячей жидкости, поэтому она хорошо покрывает поверхность топлива, чем и подавляет пламя;



- в составе пены находится вода, поэтому горящее вещество довольно быстро можно охладить до той температуры, при которой горение поддерживаться уже не будет;

- слой пены предотвращает выброс в воздух горючих испарений, в том числе, и опасных для здоровья человека.

***Огнетушащие свойства микроэмульсий на основе ПАВ.*** В последнее время вместо углеводородных ПАВ предлагается использовать их более гидрофобные фторированные аналоги, а также ведется разработка высокоэффективных комбинированных огнетушащих смесей, сочетающих одновременно различные механизмы прекращения горения [290,291]. Перспективным в этом плане является применение смесей галогеноуглеводородов (ГУ) с водой, позволяющих совместить процесс охлаждения пламени водой с ингибированием реакции горения галогеноуглеводородом. Примером такого ингибитора горения является 1,1,2,2-тетрафтордибромэтан, апробированный на лабораторной установке автоматического автономного модуля пожаротушения. Его смесь с водой в соотношении 1:70 показала высокую огнетушащую эффективность при тушении модельных очагов пожаров ацетона, бензина и дизельного топлива.

## **1.8 Программа исследований и методические замыслы ее решения**

Борьба с лесными пожарами является сложной задачей, требующей от эффективной реализации организационных и технических решений в определенном объеме, для чего необходимо выявить обстановку с ЛП в Российской Федерации и других странах богатых природными ресурсами, влияние ЛП на рост и продуктивность лесных угодий, общую экономическую эффективность лесного и сельского хозяйства. Лесопожарная опасность сложный комплекс взаимосвязанных между собой объектов и явлений: тип леса/ЛК, географические особенности места произрастания, климат и погода, вид антропогенной нагрузки и ее интенсивность. Знания всего этого дают

возможность выявить общие и частные особенности протекания процессов, способствующих и препятствующих развитию ЛП, по-новому проанализировать методологию борьбы с лесными пожарами, выявить и предложить решение для повышения эффективности проводимых мероприятий.

Начать необходимо с общих вопросов возникновения пожаров в лесах/ЛК. Для этого необходимо выявить влияние природно-климатических факторов на формирование запасов ЛГМ и их предрасположенность к горению. Определить особенности горения ЛГМ, относящихся к классу твердых горючих материалов и процессов сопровождающих их горение. Горение в ЛМ возникает там, где складываются определенные условия – необходимы запасы ЛГМ, доступ воздуха и ИЗ, причем ЛГМ должны быть в максимально сухом состоянии [42]. Однако ЛП возникают по всему миру от экваториальной до субарктической зон, а в последние годы огненная стихия начинает проявляться и в арктической зоне. Пожары появляются в теплый период года или, к примеру, в экваториальной и субэкваториальных климатических зонах ЛП происходит круглый год. Наиболее сложная обстановка с ЛП в лесостепной и степной зонах, которые, с одной стороны, характеризуются умеренным континентальным и континентальным климатом, т.е. теми условиями при которых реализуются холодная зима и жаркое засушливое лето. Осадков в теплый период выпадает меньше необходимого и древовидные растения питаются за счет влаги, накопленной в почве. Такие типы территорий распространены в Европейской части Российской Федерации, а также в мире. Интересно, что специалисты в области пожарной обстановки в лесах и борьбе с пожарами не уделяют достаточно внимания таким территориям. Это тем более удивительно, что в лесостепной и степной зонах интенсивно ведется сельское хозяйство, а леса и лесные полосы осуществляют функцию и по снегозадержанию зимой и защите от суховея летом. Предельные условия выживаемости лесов на данных территориях, наоборот, должны мотивировать исследователей на разработку

более эффективных способов борьбы с лесными пожарами, т.к. восстановить леса на указанных территориях, особенно после пожара, представляет значительную трудность и результат не гарантируется даже в ближайшей перспективе.

Следующим этапом необходимо выявить факторы, способствующие поступлению кислорода в зону горения. Для этого необходимо рассмотреть факторы наличия поддува зоны горения ветром, дующим в приземном слое атмосферы. Влияние ветра наиболее сильно на опушке леса/ЛК, а также на участках обезлесивания. Поэтому, чем более развита границы ландшафт/лес тем больше влияние ветра. При прочих равных условиях чем меньше площадь леса/ЛК тем более протяженной является его опушка. Кроме перечисленного, этому должно способствовать устройство ЛМ, подвергнувшегося воздействию мероприятий по обустройству, в т.ч. противопожарному, а также лесовосстановлению. В этом случае, в ЛМ появляются структуры линейного характера, ЛП в которых при соответствующем направлении ветра способны продуваться и скорость распространения фронта (кромки) ЛП увеличивается соответственно скорости ветра. Зная скорость развития ЛП, а также влияние на нее породного состава леса, типа и влажности ЛГМ, скорости ветра можно спрогнозировать развитие обстановки, а также сформулировать требования к группировке сил и средств необходимой для осуществления профилактики и тушения ЛП. Данные, приведенные в справочниках [210,253,295] даются представления о скорости развития ЛП в лесах – типа тайги, простирающейся через север Европейской части РФ и далее на восток – в Сибирь. Леса Поволжья являются совершенно другими и необходимо выявить скорости развития ЛП в них и сравнить со справочными данными, а от этих результатов планировать противопожарные мероприятия.

Лесостепная и степные зоны характеризуются ветрами, например, в Саратовской области безветренных дней в году не более 40-45. Все остальное время дуют ветры с средней скоростью 2-6 м/с и более и ураганные предупреждения в Поволжье не редкость. Такие ветры способны поднимать в

воздух и переносить горящие фрагменты ЛГМ на расстояния от десятков сантиметров до десятков метров, а используемые штатно противопожарные барьеры не способны удержать распространение верхового и низового ЛП [71]. Для решения этого вопроса необходимо найти управляющие факторы переброски фронта (кромки) ЛП через барьер и выработать соответствующие организационные и технические решения реализовав условия непреодолимости.

Пожароопасная обстановка складывается в лесах/ЛК в условиях длительного периода пониженной относительной влажности воздуха и высоких температур, что характерно для теплого периода года – пожароопасного сезона. Для борьбы с ЛП в лесоуправляющих организациях создаются специальные подразделения эффективность деятельности которых проявляется количестве ЛП за сезон, ущербе от него и в скорости тушения фронта (кромки) ЛП. Скорость тушения ЛП во многом определяется условиями, складывающимися в лесах, условиями местности и погоды. В справочной литературе [210,253,295] можно найти сведения о средней скорости тушения кромки ЛНП группировкой, оснащенной табельными средствами пожаротушения и зная количественные характеристики группировки можно рассчитать скорость тушения ЛНП. Полученные данные можно сравнить с реальными скоростями тушения ЛНП в регионе, которые отражены в протоколах тушения и отсюда сделать заключение о причинах расхождений, если таковые имеются. Знание причин дает возможность разработать мероприятия по совершенствованию подходов к тушению ЛНП.

Согласно литературным данным [210,253,295] наилучшим способом тушения ЛП является применение воды и ОТС на ее основе, хотя есть образцы средств пожаротушения демонстрирующие большую эффективность [110] Однако в засушливый период в лесостепной и степной местностях источники воды находятся в дефиците, ручьи и малые реки пересыхают, в водоемах понижается уровень воды, оставшаяся вода заиливается и ее невозможно закачать насосами и применять для тушения ЛП. В этом случае, самой важной

операцией становится *доставка воды* к месту тушения пожара и возможное *снижение ее расхода*.

Для снижения расхода воды при тушении ЛП необходимо выявить причины ее потерь, к коим могут относиться не сливаемые остатки в цистернах, паразитные объемы в насосах и рукавах и т.п. Также необходимо установить количественные характеристики расходов, к примеру, на единицу длины кромки ЛНП. Для максимального снижения расхода воды необходимо организационно и технически реализовать меры и применение оборудования, снижающее расход воды на тушение кромки ЛНП и обеспечивающие малые потери воды при заполнении технической системы. Косвенно снижению расхода воды при тушении пожара должно способствовать снижение времени обнаружения и реагирования на ЛП – идеальным было бы так организовать работу, чтобы возимого запаса воды в АЦЛ с учетом всех потерь хватило бы на тушение ЛП без дополнительного пополнения. Еще одним способом тушения ЛП снижающим расход воды – это применение механического воздействия на кромку ЛНП или применение грунта для тушения пожара. Эти способы либо отличаются трудоемкостью, либо требуют применения специальной техники – грунтометов, которые в свою очередь способны разрабатывать не все типы грунтов. Здесь необходимо обосновать количественные характеристики группировки оснащенных ручными средствами (лопатами, граблями, хлопушками, подручными средствами), огнетушащая эффективность которой равна или даже превышает таковую для тушения ЛП с применением воды и водных растворов.

Снижению времени обнаружения ЛП должна способствовать система наблюдения и мониторинга, способная оперативно отыскать зоны горения, обработать и передать информацию в информационный центр. Снижению времени реагирования на ЛП способствует высокое состояние готовности сил и средств тушения ЛП, а также время доставки их к месту тушения пожара. Дело в том, что ЛП не формируются непосредственно вблизи базы размещения сил и средств тушения ЛП, а сеть лесохозяйственных и пожарных

дорог в лесах/ЛК еще недостаточно развита и состояние самих дорог далеко от совершенства. Все это приводит к увеличению времени доставки сил и средств к месту тушения ЛП и способствует его росту и развитию.

Снизить время доставки можно увеличив скорость, а для этого необходимо использовать скоростные транспортные средства, способные преодолевать дорожные препятствия и обладать достаточной маневренностью. Все перечисленное могут предложить только легковые ТС, оборотной стороной которых является малая вместимость и грузоподъемность. Для увеличения обоих параметров можно использовать легковые автопоезда в пассажирском, грузопассажирском и грузовом вариантах. Последний случай позволяет увеличить возимый запас воды до уровня АЦЛ (1,6 м<sup>3</sup>).

Для дополнительного снижения расхода воды, необходимо применять ОТС, расширяющие возможности воды путем реализации других принципов пожаротушения - помимо охлаждения и изоляции еще и ингибирование. Принцип разбавления трудно реализуем при тушении пожаров на открытой местности и реально его вклад оценить невозможно. Анализ литературы показывает, что в качестве ОТС на основе воды могут применяться самые разнообразные препараты на основе органических и неорганических веществ: электролиты, неэлектролиты. Все они, в свое время, показали свою эффективность при тушении техногенных объектов, что чисто теоретически, позволяет им применяться и при тушении ЛП, т.к. между этими типами пожаров много общего. Однако существует большая разница в проведении экспериментальных исследований и внедрении их результатов в практическую деятельность. Многие вещества/материалы имеют высокую стоимость, низкую доступность (производятся в малых количествах), что вносит свои коррективы в реализацию их практического использования. Здесь начинает играть свою роль экономическая эффективность мероприятий по тушению пожаров. Понятно, что лес – наше богатство, но если стоимость тушения ЛП превышает затраты на лесовосстановление, то тушение

становится не целесообразным. В случае техногенных объектов ситуация похожая, вот только влияние техники и технологии обеспечение жизненных потребностей общества выше, чем аналогичное влияние на него леса/ЛК. К примеру, затраты на подслоное пожаротушение на резервуаре с нефтью или нефтепродуктом с применением фторпротеинового пенообразователя AFFF (США) ниже стоимости самого резервуара и его содержимого. В случае ЛП это может быть не очевидным, т.к. препарат AFFF, или его аналог, может быть просто не доступен в тех количествах, которые требуются в масштабах нашей страны.

### ***Выводы к Разделу 1***

1. Обстановка с лесными пожарами в Российской Федерации и за рубежом является сложной, во многом зависит от деятельности человека и требуют совершенствования или пересмотра организационных и технологических приемов и технических средств.

2. На основании анализа мероприятий по борьбе с лесными пожарами, установлено, что данная задача решается при применении комплекса мер: снижение вероятности возникновения лесного пожара, снижение возможностей для его распространения, повышение эффективности тушения. Предложенные организационные и технические решения не находят достаточного применения в производстве.

3. Существующий набор табельных средств и приемов тушения лесных пожаров ограничен, а многочисленные разработки недостаточно совершенны. Применение данных средств при тушении лесных пожаров затруднено в следствие отсутствия широкого доступа к ним, сложностью в использовании.

## 2 ТЕОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ОГНЕТУШАЩИХ И ОГНЕЗАЩИТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ БОРЬБЫ С ЛЕСНЫМИ ПОЖАРАМИ

### 2.1 Горение углеродсодержащих материалов

Лесной массив можно рассматривать как совокупность живой и неживой материи с высоким содержанием углерода (>70 мас. %) [152,287]. Углерод входит в состав органических веществ – преимущественно биополимеров – целлюлозы и лигнина, из которых построены растительные организмы [10,66,243,269,277]. Живую органическую материю леса составляют древовидные растения, кустарники, травы, а неживую – бурелом, валеж, лесной опад (листва, хвоя), отмерший травяной покров и т.п.

Лесные массивы обладают третьим по величине запасом углерода после океана и атмосферы [293]. Присутствие этого углерода в органической форме, обуславливает его доступность для горения в атмосфере п. Земля с ярко выраженным окислительным характером, содержащей (по объему) 21% кислорода, 78% азота и 1% всех остальных газов. Именно поэтому пирологический фактор является обязательным свойством любого лесного массива [38,102,176,177,161,173]. В качестве ГВ, в этом случае, выступает вся совокупность живой и неживой материи, расположенной на территории ЛМ – лесные горючие материалы (ЛГМ).

Пожар представляет собой физико-химический процесс - горение. Горение разновидность окислительно-восстановительного процесса, при котором происходит выделение большого количества дыма, тепла, светового излучения [30,210]. Суть процесса горения заключается в самопроизвольном высвобождении запасенной в ГВ внутренней энергии, которое осуществляющегося только в присутствии Ох [30,210]. Такой тип химического процесса предполагает обязательное наличие двух компонентов ГВ (восстановителя) и Ох - окислителя (при лесном пожаре им является кислород воздуха), а также условий, сопутствующих началу и продолжению



процесса (источника зажигания и наличие взаимодействия между ГВ и Ох). Таким образом, для возникновения и развития горения необходимы четыре фактора («квадрат огня»). Ряд авторов [30,210] утверждают, что факторов возникновения горения существует только три («треугольник огня»), т.е. «наличие устойчивого взаимодействия горючего вещества с окислителем» они объединяют с «источником зажигания», утверждая, что источник зажигания – это энергетический процесс, способный обеспечить взаимодействие ГВ и Ох. С этим стоит не согласиться, т.к. существуют способы тушения пожара, при котором прекращение горения осуществляется именно подавлением взаимодействия между ГВ и Ох. Такой способ тушения называется – *ингибированием* и применяется при объемных пожарах в закрытых помещениях, например в подводных лодках.

По своей природе ЛП практически не отличим от техногенного пожара. Лесные пожары как правило происходят при меньшей пожарной нагрузке (массе ГВ на единицу площади ЛМ). Кроме этого, при различных видах лесного пожара в горении участвуют не вся масса ЛГМ, а только ее часть – наиболее пригодная к горению. Лесные пожары различаются по своей интенсивности [38,102,176,177,161,173]. Интенсивностью горения определяется количеством теплоты, выделяемой при горении, которая в свою очередь определяет скоростные и массовые характеристики выделения полупродуктов и продуктов горения и пиролиза ЛГМ, визуальную выражающуюся в высоте пламени [160]. Самыми низкоинтенсивными ЛНП являются низовые беглые пожары, при которых горению подвергается только самая верхняя часть слоя ЛГМ, которая является наиболее сухой. При этом глубина проникновения процесса горения в слой ЛГМ составляет всего 20-30 мм. К наиболее интенсивным ЛНП пожарам относятся устойчивые, приводящие к полному выгоранию напочвенного покрова, происходящие в старых, захламливаемых лесах или в хвойных молодняках в засушливый сезон.

***Состав лесных горючих материалов.*** Лесные горючие материалы (ЛГМ) по своему агрегатному состоянию относятся к твердым ГВ. Основную

массу ЛГМ представленную древесными и травянистыми растениями составляют природные полимеры: гемицеллюлоза, целлюлоза и лигнин (рисунки 2.1 и 2.2), являющиеся «строительным материалом» клеточных стенок растительных организмов [10,66,243,269].

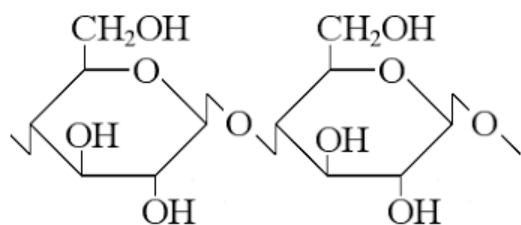


Рисунок 2.1 - Целлюлоза

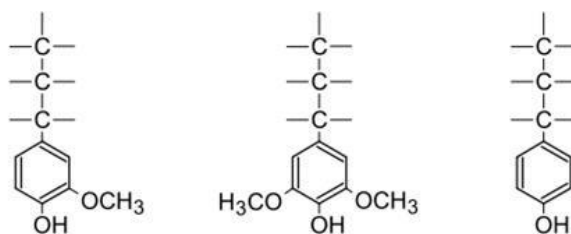


Рисунок 2.2 - Лигнин

Как видно на представленных рисунке 2.1 целлюлоза является полимером, состоящим из мономеров глюкозы, соединенных между собой особым видом химической связи –  $\beta$ -гликозидная. В свою очередь, лигнин представляет собой биополимер на основе производных фенола пирокатехинового ряда (для хвойных пород) и пирогаллового ряда (для лиственных пород) с боковыми цепями из трех углеродных атомов (см. рисунок 2.2). Отмечено также, что лигнин лиственных пород различается от лигнина хвойных пород деревьев [10,66,243,269].

По своим физико-химическим свойствам целлюлоза и лигнин различаются между собой, так целлюлоза менее устойчива к воздействию внешних условий теплу, солнечному излучению, микроорганизмам и т.п. [252]. Лигнин же наоборот более стоек к внешнему воздействию биотической и абиотической природы [10,66,243,269].

Целлюлоза и лигнин входят в растительные организмы в разном соотношении. Даже внутри одного растительного организма в различных его частях присутствует разное соотношение целлюлозы и лигнина. Например, лиственные древесные растения (береза, осина, бук клен) в стволовой древесине содержат целлюлозы 45-50 %, а лигнина 18-23 %, а в их коре лигнина больше, чем целлюлозы (40-45 против 35-40 %). Хвойные породы деревьев содержат в своем составе чуть больше целлюлозы – 50-55%, против

25-30% лигнина. Соотношение целлюлозы и лигнина меняется с возрастом растения в пользу лигнина, чем старше древесина, тем больше в ней лигнина [10,66,243,269]. Из-за этого древесина теряет свою механическую прочность и при внешних механических воздействиях (ветер и сила тяжести) древесина ломается и древовидное растение обрушивается, либо полностью, либо частично. Для травянистых растений это выражается в меньшей степени т.к. содержание целлюлозы в них больше, чем лигнина. После гибели растительного организма детрит довольно быстро обедняется целлюлозой из-за ее меньшей термостойкости и биостойкости [254].

В древесине хвойных и лиственных древовидных растений содержатся также смолы, терпены, жиры, камеди, дубильные, красящие и другие вещества. Особенно много экстрактивных веществ в коре древовидных растений. Все они могут быть подвергнуты экстракции и поэтому называются – экстрактивными веществами. Анализ литературы [10,66,243,269] показал, что, не смотря, на широкое разнообразие растительных организмов, состав получаемых экстрактивных веществ приблизительно одинаков: скипидар, смоляные кислоты, талловое масло и т.п., источниками которых являются продукты перегонки живицы и осмола; экстрактивные вещества, извлекаемые растворителями; экстрактивные вещества коры, извлекаемые растворителями; продукты, получаемые из древесной зелени [269]. В таблице 2.1 представлен количество состав экстрактивных веществ – терпены, смоляные и жирные кислоты [328].

Кроме этого в скипидаре сырце содержатся продукты изомеризации, окисления и гидратации терпенов – дитерпен, терпинолен, а также терпеновые спирты состава  $C_{10}H_{17}OH$  – терпинелол, борнеол, фенхильный спирт и др.; углеводы (моно- и олигосахариды, водорастворимые полисахариды, полиурониды) и их производные (гликозиды и др.); фенольные соединения (таннины, флавоноиды, лигнаны, гидроксистильбены и др.); азотсодержащие соединения (белки, алкалоиды и др.); соли неорганических и органических кислот [10], но, как правило, их общее содержание в сумме не превышает 1%

[66] и исключение их из оценки общей теплотворной способности исследуемой смеси не приведет к возникновению значительной ошибки.

Таблица 2.1 - Состав экстрактов стволовой древесины и коры хвойных и лиственных растений

№	Вещество	Брутто формула	Содержание, % (мас.)	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Вклад в общую теплоту сгорания, МДж/кг	Кол-во воздуха на сжигание компонента в смеси, кг.
<b>Терпены</b>						
1	$\alpha$ -Пинен	$C_{10}H_{16}$	18,84	42,0	7,91	2,680
2	$\beta$ -Пинен	$C_{10}H_{16}$	0,79	42,0	0,33	0,112
3	$\Delta^3$ -Карен	$C_8H_{12}$	4,12	41,5	1,71	0,580
4	Лимонен	$C_{10}H_{16}$	1,65	42,0	0,69	0,234
5	Терпинолен	$C_{10}H_{16}$	0,30	42,0	0,13	0,042
6	$\beta$ -Фелландрен	$C_{10}H_{16}$	0,17	42,0	0,07	0,024
7	Камфен	$C_8H_{12}$	0,23	41,5	0,23	0,032
8	$\beta$ -Мирцен	$C_{10}H_{16}$	0,12	42,0	0,12	0,017
9	$\gamma$ -Терпинен	$C_{10}H_{16}$	0,04	42,0	0,04	0,005
<b>Смоляные кислоты</b>						
10	Левопимаровая к-та	$C_{20}H_{30}O_2$	12,08	35,9	4,35	1,465
11	Абиетиновая к-та	$C_{20}H_{30}O_2$	14,87	35,9	5,35	1,803
12	Дегидроабиетиновая к-та	$C_{20}H_{28}O_2$	7,56	35,5	2,69	0,916
13	Неоабиетиновая к-та	$C_{20}H_{30}O_2$	13,96	35,9	5,02	1,693
14	Пимаровая к-та	$C_{20}H_{30}O_2$	19,01	35,9	6,84	2,305
15	Изопимаровая к-та	$C_{20}H_{30}O_2$	1,51	35,9	0,54	0,183
16	Сандаракопимаровая к-та	$C_{20}H_{30}O_2$	0,05	35,9	0,02	0,006
17	Пальюстровая к-та	$C_{20}H_{30}O_2$	3,54	35,9	1,27	0,429
<b>Жирные кислоты</b>						
18	Олеиновая к-та	$C_{18}H_{34}O_2$	0,59	37,1	0,22	0,071
19	Линолевая к-та	$C_{18}H_{32}O_2$	0,55	36,6	0,20	0,066
20	Линоленовая к-та	$C_{18}H_{30}O_2$	0,02	36,1	0,01	0,002
<i>Общее для всей смеси:</i>					37,53	12,674

Так как, ни в отечественной, ни в иностранной научно-технической литературе не удалось найти численных значений энтальпий образования многих из вышеперечисленных веществ, то теплотворную способность исследуемой смеси вычисляли, используя подход, предложенный Д.И. Менделеевым [81,169]. Если известен элементный состав топлива, то низшая теплота сгорания может быть определена согласно формуле

$$Q_n = 339.5C + 1256H - 109(O - S) - 25.8(9H + W) \quad (2.1)$$

где  $Q_n$  – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг;  $W$  – влага рабочей массы топлива, масс. %;  $C, H, O, S$  – содержание углерода, водорода, кислорода и серы в топливе, масс. %.

Уравнение Менделеева (2.1) получено на основании обработки большого числа экспериментальных данных и позволяет приближенно оценить теплотворную способность топлива. При этом неизвестна степень погрешности данной оценки, которая, по-видимому, должна зависеть от строения молекулы органического соединения. Для оценки величины относительной погрешности были проведены предварительные расчеты теплотворной способности углеводородов  $C_1$ - $C_{20}$ , спиртов  $C_1$ - $C_{16}$ , карбоновых кислот  $C_1$ - $C_{16}$  и т.п. Полученные результаты показали хорошее согласие с величинами тепловых эффектов реакций окисления тех же соединений, рассчитанных с использованием термодимических уравнений. Численные значения энтальпий образования веществ были взяты из справочной литературы [65,187]. Практически пределы колебаний относительной погрешности определения теплотворной способности для выбранных классов химических соединений ограничиваются только 1-3%. Погрешность определения теплотворной способности возрастала при переходе от предельных углеводородов к непредельным и, далее, к ароматическим (4-5%). Тем не менее, наличие в молекуле органического соединения  $C_{10}$ - $C_{20}$  нескольких (от 1 до 3) кратных  $C=C$  связей не приводит к значительному увеличению (менее 2%) погрешности расчета теплотворной способности. Таким образом, использование подхода Менделеева при вычислении низшей теплоты сгорания органических веществ является оправданным. Рассчитанные значения теплоты сгорания компонентов экстрактивных веществ представлены в таблице 2.1.

Анализ полученных данных позволяет утверждать, что даже с учетом погрешности определения теплотворной способности и несмотря на отсутствие некоторых компонентов в исследуемой смеси расчетная теплота ее

сгорания составляет 37,5 МДж/кг. Наибольший вклад в теплоту сгорания вносят смоляные кислоты, т.к. их вклад в общую массу смеси составляет 72,6%.

**Особенности горения ЛГМ.** Так как ЛГМ относятся к твердым ГВ, то их горение относится к типу гетерогенных, контролируемым диффузией [30,210]. Это особый вид горения, происходящий в условиях невозможности свободного смешивания ГВ и Ох из-за разницы в агрегатных состояниях. Древесина не способна растворять в себе газообразный кислород из-за этого процесс твердых горючих веществ должен сопровождаться образованием диффузионной зоны (ДЗ) имеющей газообразное состояние. В ДЗ свободно проникает кислород, а также ГВ находящиеся в газо- и парообразном состоянии. Понятно, что переходу при атмосферном давлении в газообразное или парообразное состояние способны только низкомолекулярные вещества, поэтому горение твердых ГВ должно предварительно обеспечиваться деструкция целлюлозы и лигнина, происходящая под действием тепла подводимого от ИЗ.

Пиролиз древесины хвойных и лиственных пород приводит к образованию трех продуктов: неконденсирующихся газов (1 м<sup>3</sup> древесины при нормальных условиях дает 75-90 м<sup>3</sup> газов), жидких продуктов (в среднем 280-380 кг на 1 м<sup>3</sup> древесины) и твердого древесного угля (27-35% от исходной массы древесины). Обобщенные данные, полученные на основе анализа [10,66,243,269] представлены в таблице 2.2. Пиролиз древесины происходит при высокой температуре, поэтому образующиеся жидкие продукты попадают в ДЗ в парообразном состоянии и сгорают в ней.

Воздействие на растительные биополимеры высокой температуры приводит к протеканию сложного физико-химического процесса, связанного с распадом макромолекул и образованием, в конечном итоге, древесного угля, а также сложной смеси низкомолекулярных веществ: смолы и неконденсирующихся газов. Состав продуктов пиролиза является отражением состава исходных материалов, а также воздействия на них условий пиролиза.

Так как, при практической реализации пиролиза невозможно обеспечить постоянство состава сырья, то технологические условия (скорость нагрева, конечная температура, время теплового воздействия и т.п.), по сути, являются единственными условиями управления процессом.

Таблица 2.2 - Продукты пиролиза лесных горючих материалов

Вид воздействия на ЛГМ	Глубина воздействия	Продукты	Количественные продукты
Пиролиз	100%	Горючие газы	20% (масс.)
	(74% при исключении воды)	смола пиролиза	50% (масс.), из которой 18-26% воды
		уголь	30% (масс.)

Однако входящие в состав растительного сырья гемицеллюлозы, целлюлоза и лигнин в силу своего строения обладают различными физико-химическими свойствами, включая температуру начала деструкции. Анализ литературных данных показал, что углеводы обладают наименьшей термической стабильностью (температура начала разложения лежит выше 275-280 °С [10,66,243,269]). Лигнин, в свою очередь, является более термостойким полимером, и его температура устойчивого разложения лежит несколько выше. Полный механизм пиролиза природных полимеров в настоящее время до конца не изучен, тем не менее, по характеру образующихся продуктов пиролиз подразделяют на низкотемпературный ( $t < 500^{\circ}\text{C}$ ) и высокотемпературный ( $t > 500^{\circ}\text{C}$ ). При проведении эксперимента была выбрана средняя температура 500°С. В таблице 2.3 представлены результаты хроматографического исследования газообразных продуктов пирогагенетической переработки [157,158].

Таблица 2.3 - Выход газообразных продуктов при пиролизе древесины

Время, мин	Выход газообразных продуктов, %			
	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>
<i>Сосна обыкновенная (Pinus Silvestris)</i>				
30	62,6	30,1	2,0	1,8
60	57,5	28,6	4,8	1,6
90	59,4	30,5	5,4	2,4
120	22,1	73,3	2,5	0,9
<i>Береза повислая (Betula pendula)</i>				
30	74,9	21,1	0,8	0,8
60	65,9	28,9	1,9	0,2
90	57,2	24,3	11,9	2,3
120	52,9	25,2	13,9	3,1
<i>Тополь пирамидальный (Populus pyramidalis)</i>				
30	56,6	24,4	14,2	2,8
60	51,8	23,2	17,5	3,8
90	51,3	20,6	16,8	4,5
120	56,9	15,7	20,8	5,4

Выделение оксидов углерода преимущественно связано с деструкцией углеводной части растительного сырья, метан выделяется при термическом распаде как углеводов, так лигнина, а выделение водорода происходит при структурообразовании древесного угля [243]. В целом, газы пиролиза характеризуются высоким содержанием диоксида углерода. Кроме вышеперечисленных веществ, в газообразных продуктах пиролиза обнаружены небольшие количества (десятые доли процента) C<sub>2</sub>-, C<sub>3</sub>- и C<sub>4</sub>-углеводородов: этана, этилена и т.п., а также кислород и азот от 0.8 до 9.6 %. Процесс выделения газообразных продуктов наблюдается на всем протяжении горения.

Кроме неконденсирующихся газов в результате пиролиза исследуемых объектов, вне зависимости от их происхождения, получена смола пиролиза – высоковязкая жидкость, темно-коричневого (почти черного) цвета, с резким неприятным кисловатым запахом, напоминающая по своему внешнему виду – нефть. Хроматомасс-спектрограммы продуктов пиролиза растительного сырья чрезвычайно сложны, так в жидких обезвоженных смолах пиролиза



каждого образца удалось идентифицировать более 50 соединений, состоящих из углерода, кислорода и водорода, которые объединены в группы [336]:

1) Фенольная группа ( $\approx 50\%$  мас.): замещенные фенолы разнообразного строения);

2) Кислотная группа ( $\approx 15\%$  мас.): уксусная, пропионовая, масляная, валериановая и т.п.;

3) Спиртовая группа ( $\approx 14\%$  мас.): метиловый, пропиловый, аллиловый и т.п.;

4) Альдегидная группа ( $\approx 3\%$  мас.): формальдегид, ацетальдегид, фурфурол и др.;

5) Кетонная группа ( $\approx 12\%$  мас.) (ацетон, метилэтилкетон, метилпропилкетон, метилбутилкетон и др.);

6) Эфирная группа ( $\approx 4\%$  мас.) (метиловые эфиры уксусной и других кислот эфиры фенолов).

Сгорание всех компонентов, полученных пиролизом целлюлозы и лигнина, приводит к выделению теплоты в окружающую среду, которая благодаря теплоемкостям компонентов смеси продуктов сгорания трансформируется в температуру горения (таблица 2.4) [42].

Таблица 2.4 - Теплотворная способность древесины различных пород (влажность 20%)

Порода ( $Q_{\text{ср}}$ , МДж/кг)	Вид ( $Q$ , МДж/кг)	Температура горения, °С
Лиственные деревья (18,7)	Дуб (20,3)	840
	Береза (20,6)	816
	Тополь (17,2)	468
	Осина (20,0)	612
	Липа (16,8)	660
	Вяз (17,2)	864
	Ольха (20,4)	552
	Ясень (17,6)	1044
	Клен (17,2)	1200
Хвойные деревья (19,1)	Сосна (21,2)	624
	Ель (20,3)	632
Травянистые растения	Солома (13,5)	325

Представленные результаты (см. таблицу 2.4) показывают, что теплота сгорания древесины различных пород находится в пределах 17-21 МДж/кг и зависит не столько от химического состава (соотношения целлюлоза/лигнин) а сколько от плотности самой древесины, т.е. от количества атомов горючих элементов, содержащихся в объеме древесины (ЛГМ). Отмечено, также, что информация о теплотворной способности травянистых растений крайне скудна – информация есть в справочнике [42] и только для соломы. Теплота, выделяемая при горении, является важным фактором развития пожара, но нужно учитывать, что процесс ее высвобождения сложен и находится под влиянием множества факторов, причем одни и те же факторы способны как увеличивать процесс тепловыделения, так и снижать его.

## **2.2 Факторы, способствующие и препятствующие горению**

Любой процесс в природе протекает при определенных условиях, которые характеризуются набором факторов. Параметры осуществления любого процесса зависят от качественной и количественной стороны, влияющих на него факторов. Таким образом, ЛП находится под управлением определенного набора факторов, сочетание которых определит возникнет пожар и, если да, то с какой скоростью он будет развиваться. Лесной низовой пожар практически никогда не возникает сам по себе. Даже в случае полностью естественного происхождения лесного пожара – сухой грозы, этому предшествовал целый ряд событий, подготовивших возникновение и распространение лесного пожара. Условия внешней среды на территории Российской Федерации не могут привести к самопроизвольному возникновению лесного пожара, т.к. даже в полдень в южных регионах России мощности солнечного излучения недостаточно для достижения температуры самовоспламенения ЛГМ. Длительный период засухи только «подготавливает» территорию к возникновению и распространению лесных пожаров, а причина все та же – антропогенное воздействие.

***Факторы, способствующие горению.*** К условиям возникновения и распространения ЛП относят: (1) наличие достаточных запасов ЛГМ, доступных для горения; (2) растительной формации леса, (3) пирогенных свойств ЛГМ; (4) влажности ЛГМ; (5) наличие проводников горения; (6) наличие естественных или искусственных противопожарных преград; (7) проведенных мероприятий по обустройству лесного массива; (8) уклон местности, (9) процесс изменения климата в сторону потепления и снижение количества осадков.

*Запасы лесных горючих материалов и их состояние в течение пожароопасного сезона.* Растительные организмы являются первичными производителями биомассы на планете Земля. Благодаря наличию способности к фотосинтезу они превращают углекислый газ и воду в органическое соединение – глюкозу, из которой, затем, формируется биополимер – целлюлоза (или клетчатка) являющаяся «строительным материалом» для клеточных стенок. Такая способность реализуется растениями благодаря наличию в их клетках специальных структур – хлоропластов, содержащих сложное магнийорганическое соединение - хлорофилл. Зеленый цвет листьев и хвои растений как раз и обусловлен присутствием в них значительного количества хлорофилла [147].

Лесной массив в своем развитии проходит несколько стадий: интенсивный рост молодняка, становление леса (смыкание крон деревьев), зрелость леса (достижение древовидными растениями своих максимальных размеров), старение леса (перестой древесины, увеличение числа растений пораженных болезнями и насекомыми вредителями), гибель леса (массовое возникновение сухостоя). Понятно, что одновременно вырасти и погибнуть все слагающие ЛМ травянистые и древовидные растения не могут – этот процесс постепенный, тем не менее, лесам, в любом случае, присуще старение, которое сопровождается накоплением в них ЛГМ доступных для горения и поддержания природного пожара называемого лесным [103].

Рост и развитие леса и ЛК определяется как породным составом, так и внешними условиями. Понятно, неблагоприятные для произрастания места (степи, полупустыни, пустыни) многолетними растительными организмами самопроизвольно не заселяются. Конечно, есть определенные исключения – оазисы в пустынях, пойменные леса юга и юго-востока Европейской части РФ и т.п. В этом случае реализуются природные механизмы роста и конкуренции растительных организмов по воздействию абиотических и биотических факторов внешней среды [256]. Скорость роста различных растений различаются: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris L., 1753*) растет быстро, а дуб черешчатый (*Quercus robur L., 1753*) растет медленно. Тем не менее, на перспективу в 200 лет дуб черешчатый запасет углерода больше, чем сосна, т.к. средний срок жизни сосны обыкновенной на территории юго-востока Европейской части Российской Федерации – 130-150 лет, т.е. к двумстам годам сосна непременно погибнет и высвободит накопленный в ней углерод обратно в атмосферу, а дуб черешчатый будет продолжать расти и запасать углерод.

Для того чтобы узнать насколько интенсивно будет происходить горение в лесу/ЛК необходимо оценить запасы углерода в них [12,104,105 131], которые могут проводиться либо в рамках ежегодной инвентаризации лесов - важной государственной задачи, определяющей направление развития лесного хозяйства в Российской Федерации как часть мировой практики, либо сугубо в исследовательских целях.

Для оценки запасов углерода можно проводить как экспериментальные исследования [73, 103, 131,272], так и имитационное моделирование [73,286], с целью оценки эффективности консервации углерода в ЛМ. Пожары, происходящие в ЛМ и лесозаготовки отрицательно влияют на углеродный баланс, т.к. срубленные деревья перестают запасать углерод (хотя и будут содержать его в своих частях в течение некоторого времени), а ЛП непосредственно высвобождает углерод в атмосферу в виде его моно- и

диоксида [104,105]. Определенную роль в запасании ЛГМ играет рельеф местности, а также ориентация склона относительно сторон света [174].

*Состав напочвенного покрова.* Строение древовидного растения такого – чем оно старше, тем больше углерода запасено в его стволе. С технической точки зрения лесозаготовки и лесопереработки считается, что начиная со среднего возраста масса древовидных растений распределяется примерно поровну между стволом и кроной [243]. Но начиная с некоторого возраста (для разных пород древовидных растений он разный) рост растения замедляется.

Для взаимодействия с окружающей средой у древовидных растений есть листья (лиственные растения) и хвоя (хвойные растения), которые обладают более коротким сроком жизни – от нескольких месяцев до одного года. Из-за изменения времен года, наблюдаемых на территории Российской Федерации, лиственные растения в осенний период сбрасывают листву, а хвойные обновляют свою - хвою. Падая к подножью деревьев, листва и хвоя формирует лесной опад смешиваясь с корой и листьями, стеблями отмерших травянистых растений и кустарников. Все перечисленное формирует так называемый детрит, мертвую органическую материю, переработкой которой неорганическую массу занимаются группа микроорганизмов - детритофаги. Переработка детрита процесс довольно медленный (зависит от сезона, влажности, температуры и т.п.), так, например, стволы деревьев, поваленные бурей (*бурелом*)- могут подвергаться естественной переработке в течение нескольких лет [103].

Опавшая с дерева листва подвергается переработке в течение 1-1,5 лет, а хвоя 2-3 года. Срок переработки зависит температуры и влажности участка, из-за того, что для биопереработки условия являются довольно узкими. Детрит является первой «пищей» для лесного пожара, в который, в последствии, будет вовлечена и живая органическая материя – живые растительные организмы. Именно поэтому запасы ЛГМ в ЛМ и считаются по живой и мертвой материи.

Растительные организмы могут пострадать от воздействия внешних факторов, к которым относятся действия человека, ветра, недостатка/избытка

влаги, изменения химического состава почвы, действия насекомых и микроорганизмов и т.п. Так в ЛМ возникает сухостой, валеж, бурелом. Отмершие растения или их фрагменты либо остаются на поверхности почвы, либо падают на нее формируя напочвенный покров, классифицируемый как мертвую органическую материю – детрит [256]. «В природе все взаимосвязано», поэтому детрит подвергается переработке и превращению его в неорганическую материю вновь пригодную для употребления растительными организмами. Скорость переработки детрита зависит от его вида и активности организмов-детритофагов и абиотических факторов - влажности детрита и интенсивности солнечного излучения, длительности благоприятного периода.

На формирование запасов ЛГМ влияет множество факторов: рельеф местности [104,105], подрост [271], скорость накопления хвои в хвойных лесах, заселенных сосной и елью [103]. Процессы накопления и расходования ЛГМ лесного опада подвергаются натурным исследованиям [103] и моделированию [73]. На динамику напочвенного покрова оказывают влияние процессы природообустройства лесного массива, пройденного рубками [68, 283].

*Растительная формация леса* играет важную роль в возникновении и распространении кромки лесного низового пожара [245]. Различные древесные породы обладают различными пирогенными свойствами. Это обуславливается химическим составом ЛГМ, его плотностью, составом продуктов пиролиза, насыщенных горючими (монооксид углерода, метан) или негорючими (углекислый газ) газами, в виде паров выделяются: низкомолекулярные спирты, альдегиды, кетоны кислоты и т.п. Наибольшее тепловыделение наблюдается при горении древесины дуба, бука, ясеня и граба. Теплоты сгорания березы, осины, ольхи, ели, сосны очень близки и составляют  $17\div 21$  МДж/кг [42, 285]. Высокие температуры горения и значения тепловыделения при горении обуславливают легкое распространение лесного низового пожара и устойчивость горения ЛГМ.

Так горению более подвержены хвойные породы деревьев [132,218], которые на территории лесостепной и степной зон Европейской части Российской Федерации представлены сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L., 1753) и елью обыкновенной (*Picea abies* (L.) Н. Karst., 1881). Это можно объяснить тем, что хвойные породы древовидных растений более сухие и, тем самым, более пожароопасные [240]. Кроме этого, хвойные породы содержат в своем составе больше древесной смолы (см. п. 3.1) - *живицы* – является горючим веществом, смесью углеводов (скипидар), высокомолекулярных эфиров и органических кислот (канифоль) [243]. Наличие большого количества смолы в древесине хвойных пород повышает температуру ее горения, приводит к выделению в воздух летучих горючих веществ – пиненов, эфиров и т.п., что обеспечивает устойчивое протекание процессов горения.

Лиственные растения, наоборот, более влажные и должны быть менее пожароопасные [191,284], хотя и не без исключений – береза повислая (*Betula pendula* ROTH), которая также имеет в своем составе определенное количество жидких горючих веществ (дегтя), поэтому среди лиственных деревьев береза тоже обладает высокой пожарной опасностью.

*Влажность лесных горючих материалов* играет важную роль при лесном пожаре, т.к. согласно [67] с повышением влажности понижается теплотворная способность ЛГМ и при влажности 100% теплотворная способность равна нулю. Изменение теплотворной способности от влажности представлена [42] в рисунке 2.3. Влажность свежесрубленной древесины колеблется от 50 до 70% и такая древесина будет участвовать в горении только при высокоинтенсивных ЛП. При низкоинтенсивных пожарах большая часть выделяемой теплоты будет расходоваться на нагрев и испарение влаги. Поэтому в условиях повышенной влажности реализуются беглые низовые пожары, обходящие наиболее влажные участки. При длительной засухе (30-60 дней) доступным для ЛНП становится лесной опад, валеж, бурелом, находящийся в суховоздушном состоянии (влажность 25-35 %). Именно он

формирует тот запас ЛГМ, который наиболее активно будет обеспечивать распространение кромки ЛНП являясь проводником горения.

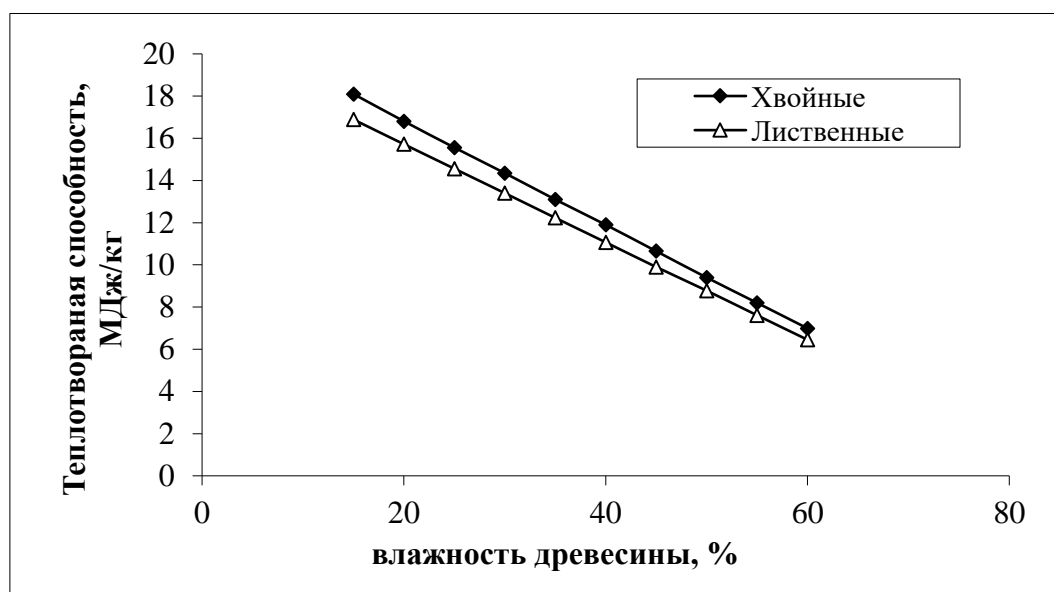


Рисунок 2.3 - Изменение теплотворной способности древесины хвойных и лиственных пород от влажности

*Наличие проводников горения.* Лесной низовой пожар распространяется в пространстве по поверхности ЛГМ, для обеспечения его распространения необходимо присутствие проводников горения [100, 223]. К проводникам горения относят лесной опад, травостой, лесную подстилку, лишайники, мхи, торф, валеж, а также остатки отходы лесозаготовления: пни и порубочные остатки. Длительный антициклон, высушивает указанные типы ЛГМ, подготавливая их к участию в процессе горения.

*Влажность воздуха.* Погодные условия имеют однозначное влияние на скорость распространения ЛП. Вода в большинстве случаев играет замедляющую роль при развитии и распространении пожаров. Причины этого понятны, вода поглощает энергию, выделяющуюся при пожаре, но при этом в условиях ЛП не горит и не поддерживает горение. Влияние влажности ЛГМ на теплотворную способность древесины обсуждено выше, а влияние влажности воздуха на скорость распространения ЛП [295] представлено на рисунке 2.4.



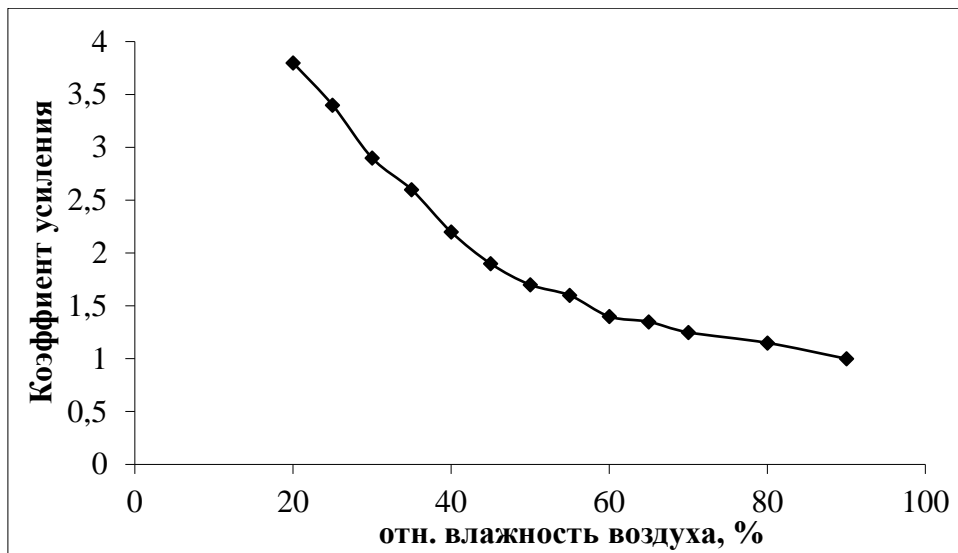


Рисунок 2.4 – Влияние влажности воздуха на скорость распространения ЛП

Анализ представленной информации показывает, что чем меньше относительная влажность воздуха, тем выше скорость распространения ЛП. Так при снижении относительной влажности воздуха с 90 до 20% скорость распространения пожара может возрасти в 3,5-4 раза. В лесостепной и степной зонах в пожароопасный сезон относительная влажность воздуха может снизиться до уровня 20...30%, что приведет к кратному увеличению скорости распространения ЛП.

### 2.3 Факторы роста и распространения лесных и степных пожаров

Пирологический фактор является свойством любого леса/ЛК. Гигантские запасы углерода рано или поздно высвободят запасенную в себе энергию, которой выделяется всегда больше, чем необходимо для поддержания горения. Это обязательное условие его самопроизвольности (см. п. 2.6). Избыточное количество энергии, выделяемое при пожаре, расходуется на вовлечение все новых и новых порций ГВ в зону горения, что обуславливает *рост и распространение ЛП*. Под *ростом ЛП* понимается увеличение его интенсивности, связанная со все возрастающим поступлением ГВ в зону горения. Под *распространением ЛП* понимается перенос зоны горения с

одного участка леса/ЛК на другой. Таким образом, примененные здесь понятия не являются аналогичными.

Рост ЛП определяется условиями, которые способствуют увеличению его интенсивности, которая визуальнo оценивается по высоте пламени, а физически по тепловому потоку из зоны горения и температуре пламени. С этой точки зрения лесные пожары подразделяются на три группы - низкой, средней и высокой интенсивности [38,102,161,176,177,295]. Распространение лесного пожара осуществляется по поверхности (или по объему) ЛГМ и, в зависимости, от вида горящего материала ЛП может быть верховым и низовым. Верховой пожар выжигает кроны деревьев, как бы перескакивая с кроны на крону. Низовые пожары распространяются по нижнему ярусу леса и выжигают ЛГМ находящиеся у подножий деревьев: лесную подстилку, лесной опад, травяной надпочвенный покров, кустарники, подрост и т.п. В зависимости от степени выжигания ЛГМ низовые пожары бывают беглыми и устойчивыми: при беглом низовом пожаре горит верхняя часть напочвенного покрова, подрост и подлесок.

Лесной пожар можно представить себе, как перенос пламени с одной порции ЛГМ на другую, до тех пор, пока по каким-либо причинам, такой перенос будет прекращен. С физической точки зрения пламя – это поток энергии, а передача которого осуществляется тремя путями: *теплопроводностью, конвекцией и излучением* [241]. Эффективность теплопередачи определяется количеством энергии способной быть переданной средой через единицу площади поверхности в единицу времени. Теплопроводность полностью зависит от свойств ЛГМ и воздуха, а это довольно плохие теплопередающие среды из-за довольно высокой теплоизолирующей способности. Конвекция определяется восходящими потоками продуктов горения, смешанных с воздухом. Повышение температуры газовой среды ведет к ее закономерному расширению при неизменном давлении (закон Ж.Л. Гей-Люссака, 1802 г) [241], а увеличение объема ведет к снижению плотности газовой среды и такой газ вытесняется

слоями более плотных и холодных газов опускающихся сверху. *Излучение* передается во все стороны через оптически прозрачную среду, к которой относится воздух. Любое излучение переносит энергию, но максимальное количество тепловой энергии переносит микроволновое излучения, находящееся в инфракрасном диапазоне спектра [241]. Тем не менее, тепловое излучение в пределах атмосферы не может передаваться на значительные расстояния из-за способности компонентов окружающей среды поглощать и рассеивать его. Поглощение тепловых лучей осуществляют главные компоненты атмосферы – азот и кислород, но наилучшим поглотителем для них является вода и водяной пар. Инфракрасные лучи также подвержены рассеянию на частицах пыли, взвешенных в воздухе.

Теплота, выделяемая при лесном пожаре, зависит как от количества ГВ, накопившихся на единице площади поверхности так и от его типа. Первое условие определяется возрастом леса/ЛК, степенью его повреждения и поражения, захламленностью буреломом валежем, опадом и т.п. Второе условие зависит от преобладающей породы леса/ЛК. Причины высокой пожарной опасности тех или иных пород деревьев представлены в пп. 2.1 и 2.2. диссертационной работы.

Согласно [218] ЛМ классифицируются по классам пожарной опасности, анализ которой показывает, что такие типы лесов и присвоенные им классы пожарной опасности характерны для типичной лесной и таежных зон севера Европейской части Российской Федерации (Архангельская и Вологодские области) и Сибири [251]. Таким образом, исследователи сосредотачивают свое внимание на лесных пирологических процессах в богатых лесными ресурсами регионах Российской Федерации. Тем не менее, не известно насколько эти результаты можно распространить на территорию лесостепной и степной зон Европейской части РФ. Таких лесов в этой части нашей страны просто нет, т.к. реализуются другие условия для формирования леса/ЛК, иная скорость роста и развития ярусов леса. Запасы ЛГМ на почве и их влажность в течение сезона будут также иными, а и условия протекания ЛП будут разными в разных

частях нашей страны [32] Все перечисленное свидетельствует о том, что изложенные в нормативных документах и рекомендациях сведения не будут, да и не должны, иметь всероссийского значения и требуется создание региональных шкал природной пожарной опасности как по породному составу, так и по погодным условиям [46, 255].

***Влияние ветра (доступ окислителя в зону горения).*** Развитию любого пожара способствует доступ окислителя в зону горения [30,210], что в случае ЛНП определяется доступностью кислорода, поступающего в зону горения из атмосферы, запасы которого в ней просто огромны. Скорость развития лесного пожара связана со скоростью ветра. Ветер влияет не только на поддув зоны горения (доставку в него дополнительного кислорода), но и на наклон пламени и перенаправление теплового потока от зоны горения на расположенные рядом фрагменты ЛГМ. Тепловое воздействие способствует сушке ЛГМ с последующим термическим разложением биополимеров, складывающихся ЛГМ.

Выявлено четкое влияние скорости ветра на скорость распространения лесного пожара [38,161,176,177,210]. «Сильный ветер задувает пламя свечи, но раздувает большой пожар» говорит нам русская народная пословица. Поток воздуха обеспечивает подпор для горения и увеличивает скорость сгорания ЛГМ. Для ЛНП существуют некоторые пределы воздействия ветра на кромку, чаще всего при скоростях ветра 10-12 м/с ветер просто срывает пламя с горящего материала, что приводит к исчезновению пламенного горения, снижению теплоты, выделяемой при горении и, местами, наблюдается самопроизвольное тушение ЛНП. Наблюдается, нередко, и обратный эффект при определенных природных условиях и скоростях ветра может измениться режим лесного пожара с низового на верховой [38,161,176,177]. В этом случае многократно возрастает скорость распространения лесного пожара и количество теплоты, выделяющее при пожаре.

Известно, что влияние ветра наиболее сильно на открытой местности, к которым ЛМ не относятся. Тем не менее, ЛП всегда начинаются на опушке

ЛМ или на территории, прилегающей к ним. Усиление ветра способствует переходу низового пожара в верховой [38,161,176,177].

Влияние ветра должно усиливать скорость распространения ЛП, однако здесь наблюдается ситуация несколько более сложная, чем обсужденная выше. Дело в том, что ЛП обладает фронтом, флангами и тылом. При отсутствии ветра (штиль) кромка ЛНП распространяется во все стороны с одинаковой скоростью, которая ограничивается возможностями горения ЛГМ. При этом форма ЛП близка к форме круга. При наличии ветра форма ЛП меняется и по мере усиления форма становится приближается к форме сектора, чем сильнее ветер, тем меньше угол данного сектора. В этом случае, кромку ЛНП можно разделить на четыре участка: фронт, два фланга (левый и правый) и тыл. Фронтом называется часть кромки ЛНП, распространяющаяся по ветру. Флагами и тылом, соответственно, называю части кромки распространяющиеся вдоль и поперек направления ветра. На рисунке 2.5 представлено влияние ветра на скорость прироста длины кромки ЛНП во фронте, флангах и тыле [295].

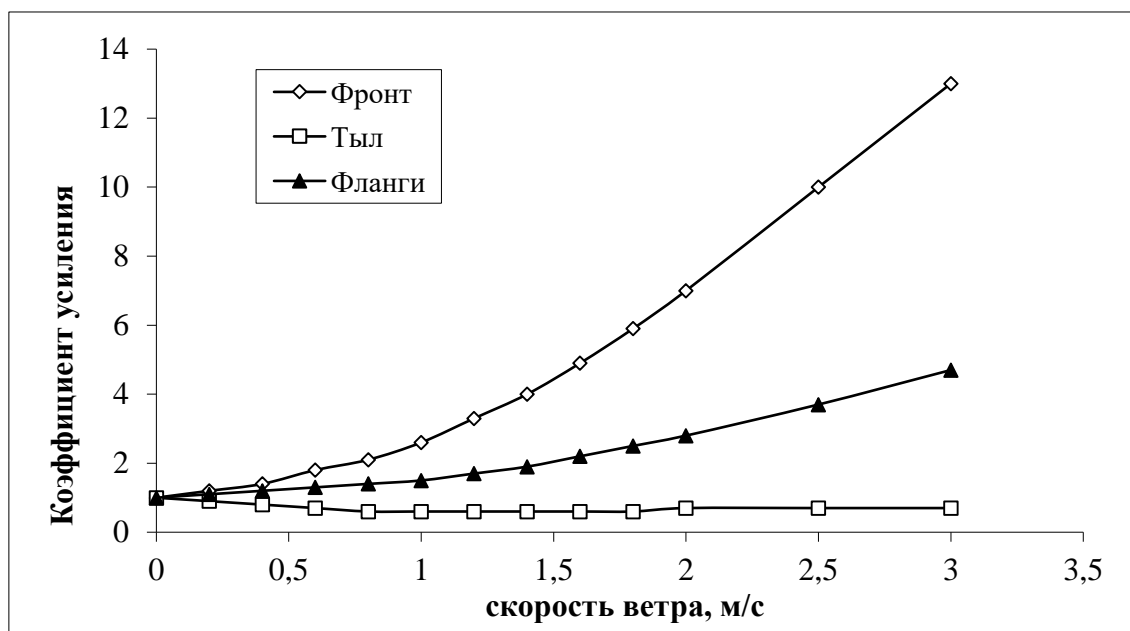


Рисунок 2.5 - Влияние скорости ветра на скорость распространения ЛП

Анализ представленной на рисунке 2.5 информации показывает, что наибольшее влияние скорость ветра оказывает на фронт, где при достижении

скорости ветра значения 3 м/с, скорость распространения ЛНП может увеличиться в 12-14 раз. Фланги в тех же условиях увеличивают свою скорость распространения в 3-5 раз, а скорость распространения тыл либо остается постоянной (0,9-1), либо незначительно снижается (0,7-0,8).

Наиболее доступным местом в лесном массиве для воздействия ветра является его опушка, а также прогалины в лесах и противопожарные разрывы. Здесь воздействию ветра на зону горения ничего не мешает. По мере продвижения в глубь лесного массива влияние ветра на распространение ЛНП снижается, т.к. воздушные массы, перемещаемые ветром, распространяются по верхней кромке ЛМ. Если определенные факторы не позволят пожару переместиться на кроны деревьев, то влияние ветра будет минимальным. Тем не менее, воздействию ветра может способствовать само строение ЛМ, некоторым образом связанное с его происхождением: естественное или искусственное. При естественном происхождении леса территория заселяется растениями под действием стохастических факторов, в противоположность этому, ЛК и ЗЛП обустроиваются определенным образом, т.е. деревья высаживаются в определенным образом – рядами или в шахматном порядке – для обеспечения условий наибольшего благоприятствования при их дальнейшем росте и развитии [166, 244]. Защитные лесные полосы могут быть обустроены как в плотном, так и в не плотном виде. Понятно, что ЛНП в неплотных ЛК и ЗЛП будут более подвержены воздействию ветра, чем в плотных.

Нужно помнить, что леса также подвергаются воздействию человека - проводятся различные лесохозяйственные работы [239]: рубки ухода, санитарные рубки, деление лесного массива на кварталы, прокладка дорог в лесах и вдоль линий электропередач, создание противопожарных разрывов и т.п. Для этого часть деревьев и подроста удаляется механическим способом (вырубается). Кроме этого, не вся территория леса или ЛК одинаково пригодна для роста и развития ярусов леса, поэтому с течением времени появляются открытые участки - прогалины. Искусственное или естественное появление

открытых пространств в лесах и ЛК что способствует воздействию ветра на возможный очаг ЛНП.

***Влияние характера местности.*** Местность, на которой располагается лесной массив обладает определенным рельефом – совокупностью неровностей поверхности, а он, в свою очередь, влияет на рост и распространение лесного пожара. В горной и холмистой местности проявляется определенные особенности поведения ЛП. Эти особенности обусловлены определенным сочетанием направления движения конвективных потоков, формируемых зоной горения, направления ветра и пространственным расположением горючих материалов. Существует несколько вариантов и множество вариаций развития ЛП в таких условиях. *Первый вариант* - ветер дует вверх по склону, формируя поддув зоны горения и направляя конвективный поток в сторону ЛГМ, который осуществляет его просушку и поджог. В этом случае, наблюдается максимальная скорость развития ЛП. *Второй вариант* – ветер дует вниз по склону, рассеивая конвективный поток от зоны горения. В это случае наблюдается минимальная скорость распространения пожара. Соотношение между максимальной и минимальной скоростями может составлять 4:1. Промежуточными вариантами (или вариациям) являются те, в которых ветер имеет направления поперек склона, в этом случае рост и распространение ЛНП близки или могут немного превышать таковые для ЛНП на равнинах или при небольших уклонах местности. Влияние уклона местности на скорость распространения ЛНП [295] представлена на рисунок 2.6.

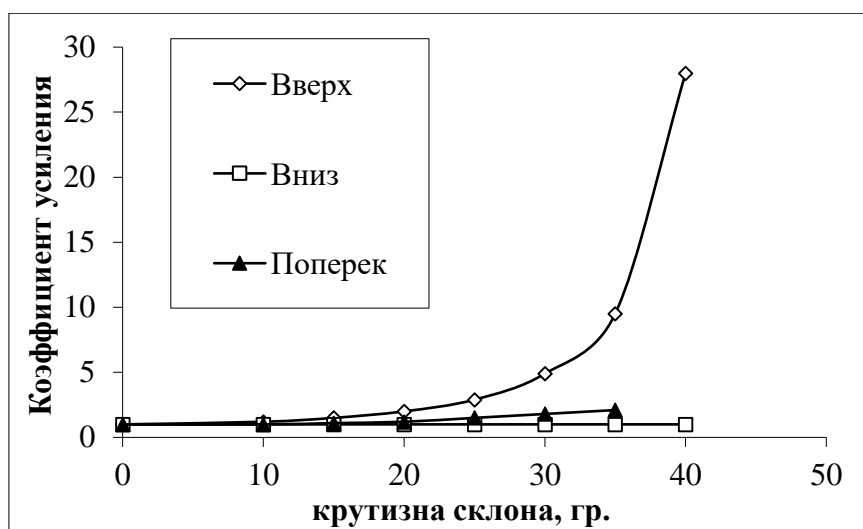


Рисунок 2.6 – Влияние уклона местности на распространение ЛП

Анализ представленной информации показывает, что вверх по склону ЛП способен распространяться со скоростью в 25-30 раз, превышающей ту, которая наблюдается на равнине. В других случаях, движение пламени вниз по склону или вдоль него незначительно отличается от движения по равнине (1...2,5 раза). Лесные и степные ценозы населяют объекты рельефа местности. Так в изучаемой зоне Левобережье р. Волга имеет ярко выраженный равнинный характер, в то время как, Правобережье холмистое с высотой холмов 70-100 м. Крутизна склона в распространении ЛП играет ту же роль, что и ветер – наклон местности аналогичен наклону пламени [295].

Таким образом, если учесть все факторы, действующие на распространение ЛП, то самыми опасными условиями являются распространения ЛП вверх по склону, с попутным направлением ветра, влажность воздуха в котором составляет 20-30%.

**Факторы, препятствующие лесным пожарам.** Кроме факторов, способствующих возникновению и развитию ЛНП, существуют факторы, препятствующие ему. По каким-то причинам, на отдельных участках природного ландшафта происходит остановка распространения ЛНП и наблюдается процесс его самотушения [25,100,274,275]. К естественным противопожарным преградами относятся: участки свободные от растительности, отрицательные уклоны, водные преграды (реки, пруды,



озера), влажные низины, овраги и т.п. К искусственным противопожарным преградами относятся: авто- и железнодорожные магистрали, места активных карьерных разработок, противопожарные разрывы, минерализованные полосы. Определенными огнезащитными свойствами являются места несплошных рубок леса [282].

Искусственные противопожарные заградительные полосы обладают универсальными свойствами, т.к. могут применяться (и применяются) как для ограничения (или замедления) распространения лесного низового пожара, так и для его тушения путем обустройства противопожарных ловушек. Так как лесной низовой пожар распространяется по напочвенному слою ЛГМ, то прекратив эту передачу можно и остановить низовой пожар и потушить его. Разработкам противопожарных преград посвящены следующие работы [19,78, 113, 77, 156, 236]. Для защиты лесных массивов и лесонасаждений от верховых пожаров используют приемы противопожарного обустройства – противопожарные разрывы, а для борьбы с низовыми пожарами применяют минерализованные полосы, обустроенные путем удаления с поверхности почвы горючих материалов опаживанием, срезанием и т.п. Указанные мероприятия постоянно совершенствуются [77, 79, 94], пересматриваются методы создания лесонасаждений с целью повышения их устойчивости к пожарам [236]. Существуют экспериментальные подтверждения возможности строительства противопожарных заградительных полос путем сброса огнетушащих или огнезадерживающих составов с воздушного судна, например, вертолета [78, 156]. Кроме этого, предложены защитные экраны для остановки и локализации лесных низовых пожаров [19].

Для предотвращения и тушения лесного пожара необходимо найти способ управления вышеперечисленными факторами. Те факторы, которые способствуют возникновению и развитию пожара необходимо ослаблять или исключать и всячески способствовать факторам, препятствующим возникновению и развитию пожара, т.к. все что не способствует горению (развитию пожара) – препятствует ему и реализует лесное пожаротушение.

## 2.4 Принципы лесного пожаротушения и их реализация на практике

Фактически, тушение ЛП – это создание условий, при которых реализация горения невозможна. На практике – это набор мер или приемов, реализующих термодинамические и кинетические запреты на горение. Принципами пожаротушения являются:

- прекращение подачи ГВ в зону горения;
- прекращение подачи Ох в зону горения;
- удаление ИЗ из(от) зоны горения;
- препятствование устойчивому взаимодействию ГВ и Ох.

Реализация перечисленных принципов ведет к совершенствованию и созданию новых способов тушения пожаров [108]. Реализовать принципы пожаротушения при ликвидации ЛНП можно следующим образом. Первый принцип «прекращение подачи ГВ в зону горения» реализуется ограничением распространения ЛНП по территории ЛМ. Для этого, на выбранных участках леса производится удаление ЛГМ с поверхности почвы до обнажения минерального слоя. Для этого применяют ручные средства: лопаты; грабли и т.п. Большую производительность в этом случае дают энергонасыщенные тракторы и бульдозеры, оснащенные плугами и отвалами. Удалить растительность еще можно огневым методом, который заключается в пуске движущемуся огню встречного огня [210,253,295]. Для этого создают огнезащитный барьер в виде искусственной широкой минерализованной полосы или просеки либо используют естественные барьеры (дороги, реки) и от них навстречу пожару пускают огонь. Еще одним способом прекратить подачу ГВ в зону горения, является принудительное увлажнение ЛГМ, например, при тушении лесных пожаров на осушенных торфяниках производят их повторное обводнение – закачивают воду обратно в ранее осушенное болото. Авторы работ [179-181] предложили повышать влажность ЛГМ обработкой их низкотемпературным паром. В этом случае, увеличивается влажность ГВ и снижается их пожарная опасность. При этом,

срабатывает эффект «сырых дров на пикнике», чем выше влажность ЛГМ, тем больше тепловой энергии расходуется на их предварительную сушку и меньше энергии остается на инициирование взаимодействия между ГВ и Ох. В п. 2.1 дано пояснение, что ЛГМ являясь твердыми веществами/материалами способны гореть только в диффузионном режиме, осуществляя подачу продуктов и полупродуктов распада целлюлозы и лигнина в ДЗ. Организовать такой распад может только предварительный прогрев ЛГМ, целлюлоза претерпевает изменения в своей структуре уже при температуре 120 °С [243].

Второй принцип *«прекращение подачи кислорода в зону горения»* осуществляется либо накрыванием пламени (хлопушкой), либо засыпкой его (песком, грунтом и т.п.), либо подачей в зону горения огнетушащего средства (ОТС), способного изолировать ГВ от Ох. Последнее можно реализовать залив его водой, огнетушащей пеной и т.п. Таким образом, данный принцип реализуется как с применением ОТС, так и без них.

Третий принцип *«удаление источника зажигания»*, реализуется следующими путями. Во-первых, сильный поток воздуха способен сорвать пламя с фрагмента горящего материала. Данный прием используется при тушении пожаров на газовых или нефтяных скважинах. Также при проведении собственных исследований, что порывы ветра 10-12 м/с срывают пламя с горящего травяного покрова при степных пожарах, являющихся низовыми. Небольшие по размеру низовые пожары можно тушить лесопожарными воздуходувками типа «Ангара» [63]. Сильные ветры нередко осуществляют тушение ЛНП, но нередко и способствуют развитию верховых ЛП. Второй путь реализации данного принципа заключается в передаче теплоты, выделяемой при пожаре какому-либо инертному теплоносителю. При пожаротушении (если не существует никаких специальных требований) в качестве такого теплоносителя выступает вода.

Четвертый принцип *«прекращение устойчивого ХВ между ГВ и Ох»*, реализуется либо при использовании специальных химических составов (фреонов или хладонов), либо путем увлажнения ЛГМ (реализация первого

принципа). Применение фреонов или хладонов эффективно только в закрытых помещениях, на открытом воздухе они бесполезны, а кроме этого, эти составы недешевы и их применение экономически оправдано только при защите дорогостоящего или уникального оборудования.

Таким образом, реализация всех принципов пожаротушения в большинстве своем требует применения ОТС, которые по своим физико-химическим свойствам способны обеспечивать: охлаждение, изоляцию, разбавление и ингибирование. Известно, что какое-либо одно огнетушащее действие реализуется довольно редко, чаще всего одновременно реализуются два и более. Применение воды, водных растворов, огнетушащей пены реализует два огнетушащих действия изоляцию и охлаждение. Разбавление при тушении гетерогенного горения (горения твердых ЛГМ в воздухе) не реализуемо в принципе. Остается ингибирование, которое до последнего времени применяется только при тушении техногенных пожаров [30,210] происходящих в закрытых помещениях. На открытом воздухе ингибирование не обладает высокой эффективностью. Для осуществления лесного пожаротушения разрабатывают стратегию и тактику – совокупность последовательных и параллельно проводимых операций для прекращения самопроизвольного взаимодействия ГВ и Ох [3], а также новые способы тушения ЛП.

## **2.5 Тушение и локализация лесных низовых и степных пожаров. Тактические приемы при тушении лесных низовых пожаров**

При тушении ЛП существует и *стратегия* и *тактика*. *Стратегия тушения ЛП* – совокупность приемов для прекращения пламенного и беспламенного горения ЛГМ на всех участках тушения. Тактикой тушения пожара, также называют выбор способов и средств тушения пожара в зависимости от характеристики участков, охваченных пожаром, и условий, существующих в момент тушения из большого набора приемов, направленных

на прекращение горения [210,253,295]. Успех мероприятия зависит от правильности сделанного выбора и осуществления последовательности действий, достаточности сил и средств, обеспечения действий группировки и ее снабжения, а также нередко от своевременности оказания помощи в тушении. Тактика – тушение горения ЛГМ на отдельных участках ЛП.

Тушение ЛП имеет свои особенности в сравнении с тушением техногенных пожаров. Например, техногенный пожар сначала локализуют (прекращают его рост и останавливают распространение), а затем тушат. При тушении ЛП поступают наоборот, сначала тушат пожар, затем его локализуют. Под локализацией ЛП понимают проведение опахивания кромки ЛНП трактором оснащенным специализированным плугом лесной серии. Эта операция необходима для предотвращения возможного возникновения нового очага ЛП в случае ликвидации не всех очагов тления. Операция окарауливания и дотушивания проводится при любых видах пожара и лесного, и техногенного [210,253,295].

Различают два основных метода тушения: прямое воздействие на зону горения при пожаре и косвенное (или упреждающее). В последнем случае пожар локализуют, ограничивая его распространение противопожарными барьерами. Первый метод применяется в том случае, когда есть возможность непосредственного воздействия на кромку пожара или создания заградительной полосы непосредственно перед кромкой (фронтом) ЛП.

Косвенный метод (упреждения) применяется, когда линия остановки пожара оборудуется на некотором расстоянии от его кромки (фронта) пожара. Применение этого метода обусловлено следующим: необходимостью обезопасить лесных пожарных от воздействия поражающих факторов пожара; выбором наилучшего места для создания заградительной или опорной полосы; возможностью сокращения длины полосы и уменьшения времени (трудозатрат) на ее создание; использование имеющихся естественных и искусственных преград и т.п.

При тушении ЛП применяют набор типовых технологий тушения ЛП [80] для чего применяют следующие способы и технические средства:

- захлестывание огня по кромке пожара ветками;
- засыпка кромки пожара грунтом;
- прокладка на пути распространения пожара заградительных и минерализованных полос (каналов);
- пуск отжига (встречного огня);
- тушение горячей кромки водой;
- применение химических веществ;
- искусственное вызывание осадков из облаков.

Разрабатываются новые технологии тушения ЛП [4,60,79,206], на основе понимания, что тушение лесного пожара разделяется на следующие последовательно осуществляемые стадии: (1) остановку распространения кромки пожара; (2) локализацию пожара; (3) дотушивание очагов горения, оставшихся внутри пожарища и (4) окарауливание.

Наиболее сложными и трудоемкими являются остановка и локализация пожара. Надежная локализация пожара представляет собой решающую фазу работ по его тушению. Распространение пожара останавливают, воздействуя непосредственно на его горящую кромку. Это дает возможность выиграть время и сосредоточить затем силы и средства на более трудоемких работах по его локализации – прокладке заградительных полос и каналов и на необходимой дополнительной обработке периферии пожара, с тем чтобы исключить возможность возобновления его распространения.

Захлестывание, засыпка грунтом или заливка (особенно с помощью лесных огнетушителей) кромки ЛНП водой или растворами химикатов в большинстве случаев обеспечивает лишь временную остановку распространения кромки пожара, причем горение кромки часто через некоторое время возобновляется и пожар продолжает распространяться. Поэтому локализованными следует считать только те пожары, вокруг которых проложены заградительные минерализованные полосы или каналы, надежно

преграждающие пути дальнейшего распространения горения, либо когда у руководителя тушения имеется полная уверенность, что применявшиеся другие способы локализации пожаров также надежно исключают возможность их возобновления.

Дотушивание пожара заключается в ликвидации очагов горения, оставшихся на пройденной пожаром площади после его локализации. Окарауливание пожара состоит в непрерывном или периодическом осмотре пройденной пожаром площади с целью предотвратить возобновление пожара от скрытых очагов, не выявленных при дотушивании.

При выборе тактических приемов и способов тушения лесных пожаров руководитель тушения должен учитывать особенности лесной растительности, рельеф местности (горный, равнинный), категорию земель (лесная, покрытая, непокрытая), мерзлотность и скелетность почв, вид пожара, его интенсивность и размер, текущие и прогнозируемые погодные условия, наличие сил и средств борьбы. Его усилия должны быть направлены на обеспечение наиболее быстрой остановки и локализации пожара находящимися в его распоряжении силами и средствами. При этом должны быть учтены максимальное использование имеющихся на местности препятствий для распространения пожара и возможности применения наиболее эффективных тактических приемов и технических способов тушения. Для оптимизации работы в этом направлении создаются специальные информационные системы [56].

***Особенности тушения низовых пожаров под пологом леса.*** При тушении слабых весенних низовых пожаров, если имеется достаточное количество рабочих, пожар оцепляется кругом, а при недостаточном – одна бригада сдерживает и тушит фронт пожара, а две другие, начиная с тыла, охватывают пожар с флангов, продвигаясь по мере тушения к фронту. Остановка распространения пожара может производиться захлестыванием огня на кромке ветвями или засыпкой его грунтом либо обработкой кромки химикатами из лесных огнетушителей.

Иногда работы ведутся двумя бригадами, которые движутся с тыла по флангам к фронту пожара, постепенно сжимая его с боков и сводя на “клин”. При этом движение рабочих в каждой бригаде осуществляется в следующем порядке: рабочий, работающий сзади, окончив работу на своем участке, становится впереди бригады, следующий – на расстоянии 15 – 20 м от первого и т.д.

Для надежной локализации пожара (если это будет необходимо) одновременно с работой по остановке его распространения (а при недостатке рабочих – после остановки) вдоль кромки расчищается ручными инструментами (мотыгой, лопатой и т.д.) до минерального слоя максимально спрямленная полоса либо прокладывается в таком же порядке узкая канава. При возможности минерализованная полоса прокладывается с помощью взрывчатых материалов либо почвообрабатывающими орудиями.

При тушении пожаров средней интенсивности, распространяющихся по напочвенному покрову со скоростью 1 – 3 м/мин, рекомендуется сначала произвести остановку кромки пожара захлестыванием или засыпкой грунтом, либо опрыскиванием растворами химикатов из лесных огнетушителей.

Остановку распространения огня следует начинать охватом с фронта, что дает возможность уменьшить площадь, поврежденную огнем, и сократить затраты труда на тушение. Такие пожары обычно возникают в засушливые периоды весной и летом и сопровождаются частичным выгоранием подстилки и валежа. Поэтому работы по обеспечению надежной локализации их, после остановки путем создания заградительных минерализованных полос, являются обязательными.

В случае низового пожара высокой интенсивности, распространяющегося со скоростью более 3 м/мин, с высоким пламенем на фронте, следует принять меры к остановке его распространения путем пуска отжига против фронта от опорной полосы. На флангах и в тылу остановка производится обработкой кромки водой из лесных огнетушителей либо грунтом путем охвата с тыла.



Окружение таких пожаров после их остановки заградительной минерализованной полосой является обязательным, причем полоса прокладывается ручными орудиями либо механизированным способом.

При сильных низовых пожарах, действующих под пологом леса, на участках со скоплениями хвойного подроста или горючего подлеска, а также в захламленных участках, т.е. в условиях, когда имеется большая опасность перехода низового огня в верховой, способы остановки распространения горения ручными орудиями и ранцевой аппаратурой, описанные выше, неприемлемы вследствие большой высоты пламени. Для тушения таких пожаров следует применять воду из баков автоцистерн либо других агрегатов водного пожаротушения или из имеющихся вблизи пожара водоисточников, а также производить отжиг от опорной полосы, проложенной не ближе 80 – 100 м от фронта и охватывающей затем фланги и тыл. При этом, в случаях пожаров на участках с хвойным подростом и подлеском, должна быть применена мелкораспыленная вода, а при горении древесного хлама – мощные сосредоточенные струи.

Прокладка заградительной минерализованной полосы вокруг пожара после его остановки обязательна, за исключением случаев, когда подачей воды из имеющихся вблизи водоисточников обеспечивалось полное тушение пожара или когда опорная линия для пуска отжига состояла из надежных преград распространению горения.

***Особенности тушения пожаров на не покрытых лесом площадях.*** На участках с несомкнувшимися хвойными молодняками или с зарослями высокогоримых кустарников, на вырубках, особенно захламленных, на участках с погибшими насаждениями (гари, шелкопрядники, ветровальники и т.п.) пожары могут распространяться с большой скоростью, причем вследствие разбрасывания ветром горящих частиц впереди фронта пожара нередко возникают пятнистые загорания, что резко ускоряет распространение горения по площади.

Останавливать такие пожары следует пуском отжига, причем, учитывая большую скорость их распространения, следует отступить перед фронтом пожара для пуска отжига возможно дальше с таким расчетом, чтобы успеть выжечь полосу шириной не менее 100 м. В качестве опорных полос рекомендуется использовать уже имеющиеся барьеры (дороги различного назначения, волоки, усы, реки и т.д.), а где их нет – необходимо прокладывать минерализованные полосы землеройной или почвообрабатывающей техникой.

Большое внимание при тушении таких пожаров следует уделять организации наблюдения за территорией позади отжига в целях своевременного обнаружения и ликвидации возникающих очагов загорания от перелетающих искр, горящих углей, веточек и т.п. Отжиг рекомендуется проводить в вечерние часы, с последующим обязательным окарауливанием локализованной кромки пожара в течение всей ночи и далее.

На лугах, пастбищах и степных участках весной и осенью обычно возникают беглые низовые пожары, которые при ветреной погоде могут распространяться со скоростью более 5 – 8 км/ч. Лесопожарные вездеходы являются наиболее эффективным средством тушения таких пожаров. Весьма высокий эффект при тушении кромки огня таких пожаров достигается также при использовании воздуходувок, созданных на базе бензопилы “Урал”, особенно на участках с травяным напочвенным покровом.

Для остановки быстро распространяющейся кромки огня следует также применять отжиг, используя в качестве рубежей дороги, тропы, речки или искусственно созданные с помощью почвообрабатывающих орудий преграды. В безветренную погоду, а также в вечерние и утренние часы кромку огня можно тушить захлестыванием или заливкой водой из лесных огнетушителей.

Пожары на моховых болотах и в притундровых лесах следует тушить захлестыванием кромки ЛНП, заливкой ее водой из лесных огнетушителей и с помощью мотопомп. На участках с зарослями кустарников рекомендуется

применять частичный отжиг, а в местах интенсивного развития мохового покрова – взрывчатые материалы.

***Тушение пятнистых пожаров.*** Пятнистые пожары обычно образуются из основного верхового (а нередко и сильного низового) пожара вследствие разлета горящих частиц от его фронта.

Поэтому при сильных низовых и слабых верховых пожарах ширину выжигаемой полосы при локализации пожара отжигом следует увеличивать примерно на 100 м, а при верховых пожарах средней силы – на 200 м против обычно рекомендуемой.

При штормовом ветре (более 15 м/с) скорость распространения пятнистых пожаров может достигать даже нескольких десятков км/ч, главным образом за счет возникновения (нередко на расстоянии до 1 км от действующих пожаров) многочисленных новых загораний. В результате создается большая опасность попадания в кольцо огня групп рабочих, занятых тушением, а также расположенных в лесу населенных пунктов, промышленных объектов, строений и т.п.

Практически борьба с пятнистыми пожарами днем может заключаться лишь в сдерживании его флангов с помощью средств водного пожаротушения и отжигов. Остановка фронта днем, как правило, невозможна, причем эта работа будет сопряжена с большой опасностью для жизни рабочих.

Руководитель тушения должен заблаговременно сообщить местной администрации о необходимости эвакуации людей, животных и материальных ценностей из лесных поселков и других объектов, расположенных перед надвигающимся фронтом такого пожара. Вместе с тем, должен быть разработан план и намечено несколько рубежей для остановки развившегося пятнистого пожара в ночные и утренние часы, т.е. когда утихнет ветер, снизится температура воздуха и пожар ослабеет, в значительной части перейдя в низовой. Остановку пожара в это время следует производить отжигом в том же порядке, как и верхового.

Остановить распространение развившегося пятнистого пожара днем можно в случае, если пожар подойдет к обширным площадям малогоримых насаждений и ослабнет. Кроме того, тушить такой пожар днем можно также искусственно вызванными осадками, однако для этого необходимы соответствующие условия (наличие кучевых облаков, подготовленного персонала и оборудования).

Для осуществления лесного пожаротушения необходимо использовать силы и средства. Под силами понимают людей, участвующих в тушении пожара: лесные пожарные; работники лесничеств и лесхозов, местные жители, волонтеры, сотрудники МЧС России, военнослужащие и т.п. Все они при тушении лесного пожара обязаны использовать ручной или механизированных инструмент, относящиеся к средствам тушения пожара. Для тушения лесного пожара часто используют табельные средства – полагающиеся лесхозам по табелю. Для совершенствования процесса тушения проводят исследования, в котором применяют экспериментальные средства тушения лесных пожаров.

## **2.6 Физическое и химическое воздействие для подавления и прекращения горения**

Горение имеет как физическую, так и химическую природу. Поэтому для разработки подходов по повышению эффективности мероприятий по огнезащите и огнетушению необходимо организовывать комплексное воздействие на зону горения. Тем не менее, для реализации возможности комплексного воздействия на зону горения необходимо выявить осуществима ли она в принципе. Для выяснения этого, необходимо рассмотреть физическую и химическую сторону горения пожаротушения и возможность к их комбинированному действию.

*Физическое воздействие для подавления горения.* С точки зрения физики пожар – это процесс самопроизвольного выделения энергии в форме

тепла. С точки зрения химии пожар – это процесс горения, происходящий самопроизвольно и вышедший из-под контроля человека. Таким образом, физика и химия процесса горения (пожара) определяет условия при которых осуществляется самопроизвольность процесса.

Процесс горения, точнее его принципиальную возможность и скорость, определяет наличие и численные характеристики ряда факторов (см. п. 2.2) [30,210]. Отсутствие этих факторов или при достижении их значений некоторого критического уровня ведет к прекращению горения.

***Элементы химической термодинамики в развитии и тушении пожара.*** Пожар – это процесс самопроизвольного выделения энергии, запасенного в горючем веществе. Энергию (Дж), выделяемую при пожаре можно в наиболее общем виде выразить первым началом термодинамики [257]

$$Q = \Delta U + A, \quad (2.2)$$

где  $\Delta U$  – изменение внутренней энергии системы, Дж,  $A$  – работа против внешних сил, Дж. В случае пожара, под работой ( $A$ ) подразумевают энергию, безвозвратно рассеивающуюся в окружающей среде ( $E_p$ ).

*Каково же условие самопроизвольности протекания горения (пожара)?* Любой пожар не возникает спонтанно, начало ему дает некоторый энергетический процесс - источник зажигания - который заставляет систему (ГВ+Ох) преодолеть некоторый энергетический барьер устойчивого взаимодействия, называемый энергией активации ( $E_a$ ), имеющий точное количественное выражение для каждого химического процесса [257].

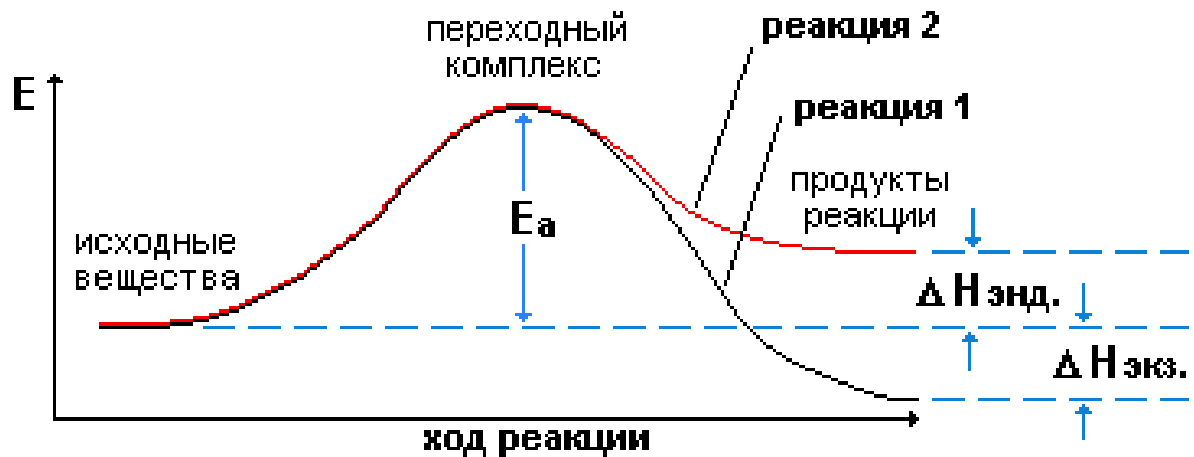


Рисунок 2.7 - Энергетическая диаграмма химического процесса:  
 1 – экзотермический процесс (с выделением энергии); 2 - эндотермический процесс (с поглощением энергии);  $E_a$  – энергия активации

Тогда условием самопроизвольности процесса горения является:

$$Q = E_a + E_p, \quad (2.3)$$

где  $E_a$  – энергия активации, Дж;  $E_p$  – энергия рассеивающаяся в окружающей среде, Дж, при этом доказано [279], что в абсолютном большинстве случаев  $E_a \ll E_p$ , тогда  $Q \gg E_a$ .

Для обеспечения пожаротушения методом охлаждения необходимо выполнить следующее условие:

$$Q < E_a, \quad (2.4)$$

т.е. каким-то образом нужно не позволить энергии, выделяющейся при пожаре ( $Q$ ) преобразоваться в энергию активации ( $E_a$ ). В действительности же нет необходимости полностью прекращать процесс преобразования энергии  $Q \rightarrow E_a$ , достаточно снизить его до некоторого критического значения ( $E_{a\_к}$ ) [279].

**Термодинамические факторы, способствующие горению.** Для обеспечения самопроизвольности горения твердых горючих веществ необходимо обеспечить цикличность процесса подачи ГВ в зону горения и тепла, выделяемого при горении на термическую обработку ГВ. В п. 2.1 показано, что горение твердых веществ обусловлено сгоранием именно

низкомолекулярных продуктов его термического разложения – газов и смол пиролиза, находящихся в парообразном состоянии. Поэтому условие 2.3 можно представить в виде:

$$Q = E_a + E_{разл} + E_p, \quad (2.5)$$

где  $E_a$  – энергия активации горения продуктов пиролиза ЛГМ, Дж;  $E_{разл}$  – энергия затрачиваемая на пиролиз ЛГМ, Дж,  $E_p$  – энергия, рассеивающаяся в окружающей среде, Дж. При этом условие самопроизвольности остается прежним  $E_a \ll E_{разл}$ , тогда  $Q \gg E_a$ .

Таким образом, если обеспечить непрерывность процесса пиролиза ЛГМ, то горение будет продолжаться либо до исчерпания запасов ГВ, либо Ох. Это затруднительно или невозможно в принципе, т.к. ЛП не стоит на месте, а перемещается по слою ЛГМ, а запас кислорода в атмосфере настолько велик, что способно обеспечить сгорание всего запаса ЛГМ на п. Земля. Низкая влажность ЛГМ способствует снижению величины  $E_{разл}$ , т.к. отсутствует дополнительная затрата тепла на предварительное высушивание порции ЛГМ и будет выполняться соотношение  $E_{разл} < E_p$ . Доступ кислорода в зону горения обеспечивает атмосферное давление и ветер, который способствует поддуву зоны горения.

***Термодинамические факторы, препятствующие горению.*** Для того чтобы воспрепятствовать процессу горения необходимо снизить его скорость до некоторого критического значения. Согласно закону действующих масс (Гульберг-Вааге, 1867 г) [257] скорость химического процесса прямо пропорциональна произведению концентраций ГВ на концентрацию Ох. Снижая скорость подачи ГВ или Ох в зону горения можно воспрепятствовать горению. Именно так происходит при прекращении подачи ГВ в зону горения – скорость выделения продуктов пиролиза постепенно снижается – высота пламени уменьшается. Затем пламя над твердым ГВ исчезает полностью и процесс горения еще некоторое время продолжается в беспламенном режиме, до полного выгорания углерода, до негорючей золы. В случае ЛП прекратить

подачу  $O_2$  (атмосферного кислорода) в зону горения возможно только искусственно - при применении изолирующих ОТС.

Другим влияющим на процесс горения фактором является температура. Согласно закону Ван-Гоффа (1897 г) [257] скорость химической реакции возрастает (снижается) в 2-4 раза при увеличении (снижении) температуры на  $10^\circ C$ . Снижению температуры горения способствуют присутствующие в зоне горения инертные компоненты, к которым относятся углекислый газ, водяной пар, азот, аммиак и т.п. Эти компоненты поглощают часть энергии ( $Q$ ), выделяемой при горении и способствуют ее рассеянию в окружающей среде – выводят ее из зоны горения. Хорошо известно [243], что высокая влажность древесины отрицательно влияет на ее теплотворную способность и выделение продуктов пиролиза, так что древесина со 100% влажностью переходит из класса горючих материалов в класс сгораемых, т.е. такая древесина не способна гореть самостоятельно. Для обеспечения процесса горения требуется ее дополнительная сушка, на которую расходуется большая часть энергии, выделяемой при горении. Активное выделение влаги из древесины при ее сушке способствует охлаждению зоны горения и снижению ее температуры, тем самым снижается и скорость горения. Это является основанием для разработки способа тушения пожара путем охлаждения зоны горения, где в качестве инертного теплоносителя выступает вода.

***Теоретические основы тушения пожара методом охлаждения.*** Для тушения пожара методом охлаждения нужно подать в зону горения столько воды, чтобы обеспечить выполнение условия (3.3). Однако количество воды, подаваемой в зону горения, определяется оператором (пожарным-ствольщиком) и окончание тушения (достаточность подачи воды) контролируется визуально по исчезновению пламени и прекращению выделения дыма. Понятно, что для обеспечения выполнения условия (3.4) воды в зону горения можно подать и больше, чем это нужно, что на практике и реализуется, т.к. на тушение пожара воду как правило не экономят.



Отсутствие необходимости экономии воды наблюдается при техногенных пожарах, в этом случае вода на тушение подается из противопожарного водопровода, через насосы пожарных автоцистерн и далее по пожарным рукавам и стволам в зону горения. В случае ЛП в большинстве случаев наблюдается недостаток воды, т.к. ЛП активизируются именно в засушливое время и к месту тушения пожара ее требуется доставлять, отвлекая при этом часть сил и средств или вовлекая в процесс доставки дополнительные силы и средства. Перспективным направлением деятельности будет являться разработка таких подходов к повышению эффективности тушения ЛП, которые позволят снизить расход воды на тушение.

Для разработки таких подходов нужно выяснить сколько воды нужно подавать в зону горения, а для этого необходимо узнать какая часть энергии горения ( $Q$ ) преобразуется в энергию активации ( $E_a$ ) и энергию разложения ЛГМ ( $E_{разл}$ ). Основная трудность заключается в том, что значения  $Q$ ,  $E_a$  и  $E_{разл}$  не имеют определенных численных характеристик, т.к. их значения определяются здесь и сейчас, т.е. при данных условиях. Какое количество энергии выделится при пожаре неизвестно, т.к. это зависит от самого горючего материала, его влажности и условий горения - доступ кислорода в зону горения и т.п., а также от полноты сгорания ЛГМ. Как правило, при пожаре энергии выделяется меньше, чем это ожидается теоретически из-за того, что пожары представляют собой примеры аномального горения [30,210], в котором тип горючего вещества, его масса, влажность, доступ кислорода как раз и отражается в теплоте, выделяемой при горении. В противоположность аномальному горению существует нормальное горение, но оно осуществляется только искусственно и под непосредственным контролем человека при сжигании топлива на теплогенерирующих станциях. Таким образом единственным точно установленным фактом является то, что, если пожар (горение) способен самопроизвольно продолжаться значит условие (2.3) выполняется.

Теоретический подход для определения минимального количества воды необходимого для гарантированного тушения пожара с тепловыделением ( $Q$ ) можно описать следующим образом [9]. Энергию, выделяемую при горении, необходимо передать инертному теплоносителю (воде):

$$Q_{\text{пож}} \rightarrow Q_{\text{погл}}. \quad (2.6)$$

Теплоноситель (вода) перераспределит энергию как это предписывает первое начало термодинамики

$$Q_{\text{погл}} = E_{\text{нагр}}(\Delta U) + E_{\text{исп}}(A), \quad (2.7)$$

где,  $E_{\text{нагр}}$  – энергия, расходуемая на нагревание некоторой массы воды, до температуры кипения, Дж;  $E_{\text{исп}}$  – энергия, расходуемая на парообразование, Дж. Учитывая 2.7 в 2.3 получим

$$Q_{\text{пож}} = E_a + E_{\text{нагр}}(\Delta U) + E_{\text{исп}}(A). \quad (2.8)$$

Если условие 2.6 представить как равенство ( $Q_{\text{пож}} = Q_{\text{погл}}$ ), то  $Q_{\text{пож}} = E_{\text{нагр}}(\Delta U) + E_{\text{исп}}(A)$  и тогда  $E_a = 0$ . Исходя из этого, чем больше энергии, выделяемой при пожаре будет поглощено водой, то тем меньше энергии перейдет в  $E_a$  и будет осуществлено тушение пожара.

*Как передать энергию горения инертному теплоносителю?* Дело в том, что выделение и поглощение энергии осуществляется единым актом и контролируется законом сохранения энергии [257]. Попавшая в зону горения вода поглощает часть выделившейся энергии и перенаправляет ее на изменение своей внутренней энергии (нагрев) и на работу (испарение). При этом получив порцию энергии при горении она не вступает в химическое взаимодействие ни с горючими веществами, ни с продуктами и полупродуктами горения. Таким образом, в реализации тушения пожара участвует только та вода, которая попала в зону горения и поглотила выделяемую энергию.

Оценки минимального количества воды подаваемого в зону горения можно провести только экспериментально. Для этого необходимо определить ее расход различными средствами для гарантированного тушения ЛП. Желательно проводить сравнение в одинаковых условиях лесопожарной

обстановки. Для этого воспользуемся справочными данными [210,295] о средствах тушения ЛП с применением воды см. таблицу 2.5. расход воды

Таблица 2.5 - Расход воды на тушение единицы длины кромки лесного низового пожара и на основании собственных экспериментальных данных

Наименование средств тушения	Наименование работ	$V_k$ , м/ч	$Q_{ст}$ , дм <sup>3</sup> /с	$Q_k$ , дм <sup>3</sup> /м
Лесопожарный вездеход ВПЛ-149 ВРЛ-149А ВПЛ-6	Тушение кромки пожара водой при расстоянии от водоисточника до 1 км	1200	2,7	8,1
Лесопожарная автоцистерна АЦ-30(66)-146 АЦ-30(66)-11 мод. 184А АПЛ-10(88)-221	То же	400	2,7	24,3
Мотопомпы МЛ П-0,2 ПЛВ-2/1,2 МЛН-25/0,25	Тушение водой	300	1	12,0
Наименование средств тушения	Наименование работ	$V_k$ , м/ч	$Q_{ст}$ , дм <sup>3</sup> /с	$Q_k$ , дм <sup>3</sup> /м
Установка высокого давления УПВД «Ермак»	Тушение водой	280	0,05	0,65
Воздуходувка-опрыскиватель лесопожарная «Ангара»	Тушение водой	700	0,03	0,15
Лесной огнетушитель РЛО-6 РЛО-М	Тушение кромки пожара водой при подноске воды на расстояние до 100 м	40	0,038	0,5
	а) при низовом устойчивом пожаре б) при низовом беглом пожаре			0,4
Лесной ранцевый огнетушитель РП-18 «Ермак»*	Тушение кромки пожара водой при подноске воды на расстояние до 100 м при низовом устойчивом пожаре	72	0,038	0,21

\*- собственные экспериментальные исследования [117]

Анализ результатов, представленных в таблице 2.5, показывает, что применение воды три из четырёх представленных средств осуществляют механизировано, т.е. с использованием насосов с мотоприводом и, только в одном случае, подача осуществляется вручную из ранцевого лесного огнетушителя (РЛО). Указанные сведения получены обработкой статистических данных, указанных в протоколах тушения ЛП за длительный период (не менее 10 лет). Тем не менее, приведенные данные свидетельствуют только о скорости тушения ЛП, ничего не говоря о фактическом расходе воды на единицу длины кромки ЛНП выраженную в метрах. Общим условием, объединяющим данные, является то, что при использовании данного оборудования удается потушить ЛНП с указанными скоростями.

Сделаем попытку определить объем воды, подаваемый в зону на кромку ЛНП. Для этого воспользуемся несколькими предположениями: (1) подача воды осуществляется на все протяжении кромки ЛНП; (2) тушение ЛНП осуществляется непрерывно. В этом случае, расход воды на единицу длины кромки ЛНП определяется расходом ее через устройство подачи воды. Известно [259], что при тушении ЛНП применяются пожарные стволы в случае тушения ЛП с использованием лесопожарных вездеходов и пожарных автоцистерн или гидропульты при использовании пожарных установок высокого давления. Расходы пожарных стволов (ствол Б) и гидропультов составляют 2,7 дм<sup>3</sup>/с и 3,0 дм<sup>3</sup>/мин соответственно, а гидропульт с ручным побуждением, которым оснащен РЛО (РП-18, «Ермак») обладает расходом 2,25 дм<sup>3</sup>/мин. Зная величины расхода и скорости тушения кромки ЛНП можно рассчитать расход воды на кромку (дм<sup>3</sup>/м) ЛНП по уравнению:

$$q_k = 3600 * q_{ст} / V_k, \quad (2.9)$$

где  $q_{ст}$  – расход воды через ствол (гидропульт), дм<sup>3</sup>/с;  $V_k$  – скорость тушения кромки ЛНП, м/ч. Полученные в результате расчета данные представлены в таблице 2.5.

Анализ результатов представленных в таблице 2.5 показывает, что самым экономным, с точки зрения расхода воды на тушение 1 м кромки ЛНП,

является лесопожарная воздуходувка-опрыскиватель «Ангара» с расходом 0,15 дм<sup>3</sup>/м. Кроме этого, разница в применении РЛО по данным литературы [210,295] и собственных исследований [117] объясняется разной пожарной нагрузкой формируемым горючими напочвенными покровами в разных зонах Европейской части РФ.

Если ЛНП удастся потушить с расходом 0,15 дм<sup>3</sup>/м возьмем его в качестве базового значения. Тогда вычислим энергию, поглощаемую жидкой водой при ее нагреве до точки кипения:

$$Q_{\text{погл}} = C_p * m(\text{вода}) * (100 - t_{oc}), \quad (2.10)$$

где  $C_p$  – теплоемкость воды в диапазоне 0-100 °С (4,19 кДж/кг·°С);  $m(\text{вода})$  – масса воды, кг;  $t_{oc}$  – температура окружающей среды, (25 °С).

Используя уравнение (2.10) возможно вычислить энергию, поглощаемую водой, которая составляет около 47 кДж. Данное численное значение показывает какую теплоту, выделяемую при пожаре, необходимо поглотить, чтобы выполнилось условие (2.4). Полученная величина коррелирует с данными, представленными в работе [279], в которой экспериментально установлено, что для прекращения горения необходимо поглотить не более 1/12 части выделяемого тепла. В таком случае, анализ расходов воды при тушении ЛНП другими средствами пожаротушения в значительной степени избыточен, что свидетельствует от неэффективности применения воды в качестве ОТС при тушении ЛНП другими ручными и механизированными средствами. Таким образом экономить воду при тушении ЛНП позволяют средства с малым расходом воды, т.к. это позволяет лучше контролировать ее подачу в зону горения и не допускать перерасхода. Обратной стороной малого расхода воды при тушении является увеличение времени тушения кромки ЛНП. В этом случае, необходимо соблюдать некоторый баланс, который должен определяться руководителем тушения ЛНП исходя из имеющихся у него сил и средств, а также сложившихся лесопожарных условий.

Огнетушащие свойства воды велики, но не беспредельны, кроме этого, вода обладает целым рядом свойств отрицательно сказывающихся на тушении лесных пожаров. Однако, определенные физические и химические воздействия позволяют модифицировать свойства воды и расширить ее возможности для пожаротушения.

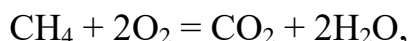
***Теоретические основы тушения пожара методом изоляции.***

Тушение методом изоляции предполагает создание условий для пространственного разделения ГВ и Ох. Горение твердых ГВ предполагает обязательное формирование диффузионной зоны, куда должны поступать и смешиваться с воздухом продукты термического распада горючих материалов, а теплота, переносимая ими, выступает в качестве источника зажигания. Для обеспечения тушения необходимо прекратить поступление ГВ в диффузионную зону, хотя довольно часто полного прекращения не требуется, достаточно лишь снизить поступление ГВ до некоторого критического значения. В этом случае управляющим фактором будет являться скорость химического процесса, определяемая *законом действующих масс* (ЗДМ) [257]

$$V_{xp} = K_{xp} \cdot C_{гв}^a \cdot C_{ох}^b, \quad (2.11)$$

где  $K_{xp}$  – константа химической реакции;  $C_{гв}$  и  $C_{ох}$  – концентрации ГВ и Ох, соответственно, моль/дм<sup>3</sup>;  $a$  и  $b$  – стехиометрические коэффициенты в уравнении химической реакции.

Для примера применения ЗДМ представим химическую реакцию окисления метана



тогда скорость химического процесса можно определить как

$$V_{xp} = K_{xp} \cdot C(CH_4) \cdot C(O_2)^2. \quad (2.12)$$

Из представленного уравнения видно, что скорость химической реакции прямо пропорциональна концентрации реагирующих частиц. Отсюда следует, что при уменьшении этих концентраций будет снижаться скорость химического процесса. Для характеристики способности различных

веществ/материалов гореть применяется специальный термин – концентрационный предел воспламеняемости. Таким пределов два – нижний и верхний – они ограничивают некоторый концентрационный диапазон воспламеняемости, являющийся индивидуальным для каждого ГВ [7,30,210]. Для обеспечения тушения необходимо выполнить условие  $C(ГВ \text{ или } Ох) \rightarrow 0$ , тогда  $V_{xp} \rightarrow 0$  и при достижении  $V_{xp}$  некоторого критического значения горение прекратиться.

***Теоретические основы тушения пожара методом разбавления.*** По своей физико-химической природе разбавление довольно близко к изоляции, т.к. в нем реализуется действие тех же физических и химических законов, определяющих формирование ДЗ горение в ней. Как было указано выше, ЗДМ определяет скорость химического процесса как произведение концентраций реагирующих веществ. Физический смысл этого закона заключается в следующем, реагирующие частицы должны найти друг друга в объеме реакционного пространства. Понятно, что чем больше там находится реагирующих частиц, тем меньше времени на это понадобится - при высоких давлениях многие химические процессы окисления могут сопровождаться взрывом. Процесс разбавления горючей смеси препятствует этому – если в реакционный объем добавить какой-либо инертный разбавитель (азот, углекислый газ, водяной пар и т.п.), то реагирующие частицы будут чаще сталкиваться с ними, а не между собой:



Энергия системы будет перераспределяться внутри ансамбля частиц, при этом энергия частиц ГВ и Ох будет уменьшаться, а энергия инертного разбавителя будет увеличиваться. Таким образом, метод разбавления по своему физико-химическому действию близок к методу изоляции, только физический барьер между ГВ и Ох проходит не между границами агрегатных состояний веществ, как при использовании огнетушащей пены: твердое вещество/пена/газ, а между отдельными частицами ГВ/ $N_2$ /Ох. Для прекращения взаимодействия

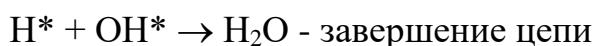
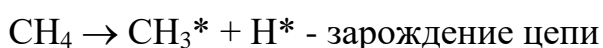
ГВ и Ох достаточно добавить определенную концентрацию инертного разбавителя, называемого флегматизатором [30,210], количественные характеристики процесса флегматизации можно найти в [153].

***Теоретические основы тушения пожара методом ингибирования.***

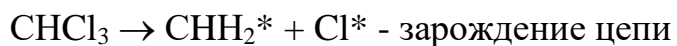
Ингибирование также относится к воздействию на кинетику процесса горения определяемую ЗДМ (см уравнение 2.11), только в этом случае осуществляется прямое воздействие на сам процесс горения, определяемый его константой ( $K_{xp}$ ). Физический смысл  $K_{xp}$  заключается в следующем – это скорость химического процесса при концентрациях реагирующих веществ равных единице, т.е.

$$V_{xp} = K_{xp} \cdot I^a \cdot J^b, \text{ тогда } V_{xp} = K_{xp} \quad (2.13)$$

В определенных случаях, возникает такое опасное явление как *объемное горение*, применение охлаждения, изоляции или разбавления в этом случае либо бесполезно, либо малоэффективно. Именно в этом случае применяется воздействие ингибиторов (замедлителей) горения. Физико-химический смысл процесса ингибирования можно продемонстрировать следующим образом, на примере горения метана как совокупности последовательных и параллельных бимолекулярных реакций с образованием высокорекционноспособных радикалов [238]:



Для обеспечения ингибирования процесса горения необходимо создать условия для завершения цепей радикальных реакций, для чего применяют галогенуглеводороды [30,210], которые отличаются пониженной горючестью, но также способны образовывать при нагреве радикалы:





В результате происходящих процессов в реакционном объеме образуются новые химические вещества с другим значением константы химической реакции ( $K_{xp}$ ). Это приводит к рассогласованию процессов окисления продуктов и полупродуктов горения и в, конечном итоге, реализации огнетушащего эффекта.

## **2.7 Огнезащитная и огнетушащая способности воды, возможности для их физической и химической модификации**

Важной составляющей научно-технического совершенствования процедур тушения ЛП является разработка таких подходов и способов модификации, которые позволят уменьшить расход воды при тушении пожаров с сохранением оставив неизменной огнетушащую эффективность. Выполнить это можно путем совершенствования технологий тушения пожара [61], разработки технических средств ее реализации [170,194,248,249], огнетушащих составов [82,85,88] и методик оценки их параметров и эффективности [52,62].

Когда встает вопрос о снижении расхода воды при тушении ЛП первое что приходит на ум – это ее замена, например на грунт. Недостатка в грунте нет, т.к. именно на нем происходит рост леса/ЛК. Грунт можно подавать в зону горения как вручную [210,253,295], так и механическим способом - с помощью грунтомета [22, 52,62]. Такая доступность имеет и обратную сторону: не каждый тип грунта способен к разработке с низкими энергетическими затратами (только песчаники, супеси, суглинки и т.п.); при применении грунта в качестве ОТС производительность падает в 10-20 раз.

***Свойства воды и влияние их на эффективность тушения лесных пожаров.*** Вода является одним из распространенных веществ на планете Земля прочно вошедшую в обиход человека и его хозяйственную деятельность. Все крупные города России и мире расположены на берегах крупных рек. Издревле, наличие источника водоснабжения делает место

пригодным к проживанию и ведению хозяйственной деятельности человека. Относительно легкий доступ к воде и ее дешевизна обусловили ее применение при тушении пожаров. Кроме этого, с точки зрения теории элементов (Демокрит, философ, Древняя Греция) вода является полной противоположностью огню [171], т.к. обладает таким набором свойств, делающих ее пригодной к пожаротушению.

Несмотря на большие запасы воды на п. Земля, распределена она по поверхности планеты очень неравномерно. Наряду с регионами с избыточными водными ресурсами существуют крайне засушливые места. Смена сезонов в году, заметно влияет на запасы воды в естественных и искусственных водоемах. Следует помнить, что леса растут и развиваются при наличии двух абиотических факторов солнечного излучения и достаточного количества воды. Сочетание этих факторов, как раз и определяет типы лесов их породный состав и т.п. Южные и особенно Юго-Восточные регионы Европейской части Российской Федерации и богаты, и бедны водными ресурсами одновременно. Богата ими в весенний и осенний сезоны, а бедна в летний. В качестве курьеза - вода является продуктом горения водорода в воздухе (или в кислороде). Если постановить эксперимент по сжиганию водорода в воздухе, то можно заметить, что из пламени конденсируется вода [21,186]. При этом вода обладает серьезными огнетушащими свойствами обусловленными ее физическими и химическими свойствами, а именно ее принадлежностью к продуктам горения.

**Физические свойства воды.** Вода в диапазоне температур 0...100 °С представляет собой жидкость [65,187], имеет аномально высокие значения теплоемкости (4,2 кДж/кг·К) в диапазоне температур 5-100 °С и температуру кипения (100 °С) и затвердевания (0 °С). Это обуславливает использование воды в технике и технологии как инертного теплоносителя. Такие аномальные свойства воде придает свойственная ей способность образовывать водородные связи. Это можно проиллюстрировать (рисунок 2.8) на зависимости температуры кипения от молекулярной массы соединений

водорода и элементов IV группы Периодической системы элементов Д.И. Менделеева.

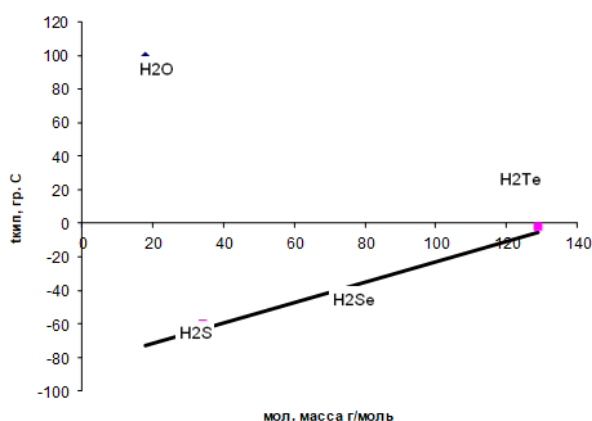


Рисунок 2.8 - Зависимость температуры кипения водородсодержащих халькогенов (кислорода, серы, селена, теллура) от их молекулярной массы, по данным

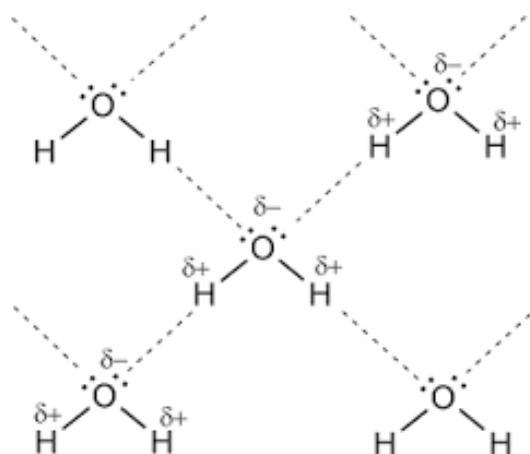


Рисунок 2.9 - Водородные связи в воде

Представленные данные показывают, что температуры кипения сероводорода, селеноводорода и теллуrowодорода с высокой точностью описываются линейной зависимостью и согласно ей температура кипения воды должна составить около -80 °С. При этом, достоверно экспериментально доказано, что температура кипения воды равна 100 °С, т.е. она превышает расчетную температуру на 180 °С. Причина аномально высокой температуры кипения у воды является наличие у нее пространственной сетки водородных связей (см. рисунок 2.9)

Дело в том, что вода не единственное вещество в природе способная формировать водородные связи [21,186]. Аналогичными свойствами обладают, низшие спирты, амины, жидкий аммиак, низшие карбоновые кислоты, галогеноводороды (фтороводород, хлороводород и т.п.) и других полярных соединений. Тем не менее, энергия, запасенная в водородных связях воды, многократно больше энергии запасенной в водородных связях других полярных соединений. Так, метиловый спирт кипит при 64,7 °С, а этиловый спирт – при 78,4 °С, что несколько ниже, чем у воды, при этом молекулярная масса метилового и этилового спиртов больше, чем у воды в 1,8 и 2,6 раза,

соответственно, а фтороводород и хлороводород при нормальных условиях являются газами. Дело в том, что тип водородной связи, формируемой низкомолекулярными спиртами и аминами, галогеноводородами, относится к линейному типу (см. рисунок 2.10 и 2.11).

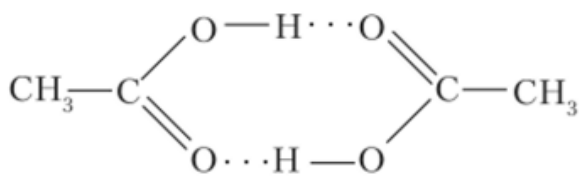


Рисунок 2.10 - Водородная связь в уксусной кислоте

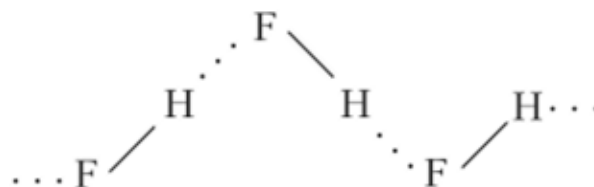


Рисунок 2.11 - Водородная связь во фтороводороде

Линейный тип водородной связи менее энергонасыщенный, т.к. при этом один заряженный центр молекулы находится в электромагнитном взаимодействии только с одним противоположно заряженным центром другой молекулы (см. рисунки 3.10 и 3.11). В пространственной водородной связи (см. рисунок 3.9) каждый заряд в одной молекуле находится во взаимодействии с двумя, а то и тремя зарядами на другой молекуле. Исключением из этого правила является аммиак, масса которого сравнима с массой воды 17 г/моль у аммиака, против 18 г/моль у воды.

Наличие у воды способности к образованию пространственной сетки водородных связей обуславливает ее высокую теплоемкость, аномально высокую температуру кипения, а ее природа – продукт горения водорода в кислороде – определяет ее относительную химическую инертность. Все перечисленное обуславливает ее пригодность к тушению пожаров, определенную в учении Демокрита о элементах, как полную противоположность огню [171].

**Строение воды.** Частицы любого тела испытывают по отношению к друг другу силы притяжения и отталкивания. Изменение внешних условий (давления и температуры) могут изменить характер этого взаимодействия. Нормальные условия (101 кПа, 25 °С) определяют «нормальный» характер состояния вещества, например, вода при данных условиях является

жидкостью, каменный уголь и древесина – твердыми веществами, монооксид углерода, аммиак и сероводород – газами. Жидкости и твердые тела часто называют конденсированным состоянием вещества, т.к. в них *силы притяжения* превалируют над *силами отталкивания*. В газах же, наоборот, *силы притяжения* очень малы и над ними превалируют *силы отталкивания*. В принципе, только воздействие гравитационного поля п. Земля не дает газообразной оболочке – атмосфере - испариться в космическое пространство.

Агрегатное состояние определяется соотношением сил притяжения и отталкивания характерных для данных условий. Если условия изменить, например, нагреть воду до температуры кипения – она начнет превращаться в водяной пар. Физический смысл этого процесса в том, что отдельные частицы в результате нагрева набирают такую кинетическую энергию, что силы притяжения между ними не в состоянии их удержать и происходит смена агрегатного состояния *жидкость* → *газ(пар)*, при этом *силы отталкивания*, действующие наряду с *силами притяжения* остаются неизменными. Та же ситуация наблюдается и с газообразными веществами – при повышении давления большинство из них можно превратить в жидкость (конденсирующиеся газы), некоторые газы, например водород, в состояние жидкости перейдет при дополнительном глубоком охлаждении  $-200 \dots -180 \text{ }^\circ\text{C}$ , поэтому водород, гелий и т.п. называют неконденсирующимися газами.

С твердыми веществами/материалами ситуация обстоит несколько иначе, хотя в общем наблюдаемая картина та же. Твердый водяной лед при нагреве превращается в жидкость (воду), но бывают и исключения. Так твердый углекислый газ при нормальном давлении (100 кПа) превращается сразу в газ минуя жидкое состояние. Древесина при нагреве подвергается термическому разложению, т.к. температура распада целлюлозы ниже температуры ее плавления, что в общем характерно для многих высокомолекулярных веществ/материалов.

Исследования свойств воды позволили найти параметр – *внутреннее давление*, - который объединяет в себе действие сил притяжения (давление

притяжения) и сил отталкивания (давление отталкивания) [138]. Проблема заключается в том, что величину внутреннего давления измерить невозможно, ее можно только рассчитать из способностей жидких систем изменять свой объем при изменении температуры. Был разработан прибор – дилатометр [139,205], который способен измерять объемные свойства жидкостей: термический коэффициент объемного расширения ( $\alpha$ ), изотермическую сжимаемость ( $\beta_T$ ) и плотность ( $\rho$ ). Из отношения термического коэффициента объемного расширения к изотермической сжимаемости можно рассчитать внутреннее давление ( $P_i$ ) жидкости по уравнению

$$P_i = - \alpha \cdot T / \beta_T, \quad (2.14)$$

где  $T$  – температура по шкале Кельвина, К.

Измерив величины  $\alpha$  и  $\beta_T$  при различных температурах можно построить зависимость внутреннего давления жидкости от температуры – политерму, пример такой политермы для воды, моноэтаноламина (МЭА) и его водных растворов с концентрацией 1,5 и 24,9 мол. % представлен на рисунках 2.12 и 2.13.

Анализ представленных результатов показывает, что величина внутреннего давления для жидкостей преимущественно является отрицательной. Их соотношение  $P_i = P_{inp} + P_{iom}$  и определяет знак получившейся суммы – внутреннего давления ( $P_i$ ) Исключением составляет вода в диапазоне температур 0...4 °С (см. рисунок 2.12), здесь величина  $P_i$  является положительной. Точка, в которой политерма воды пересекает ось абсцисс составляет 3,98 °С – это температура в которой  $P_i = 0$ , т.е.  $P_{inp} + P_{iom}$  и плотность воды в данной точке имеет максимальное значение, 0,9999 кг/м<sup>3</sup>.

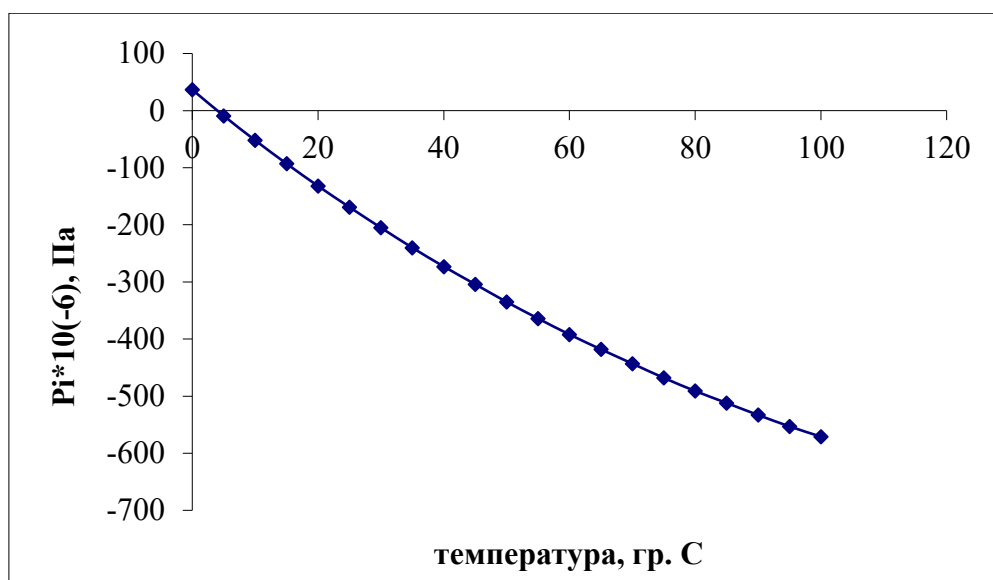


Рисунок 2.12 – Политерма внутреннего давления воды в диапазоне температур 0-90 °С

При снижении температуры ниже 3,98 °С, силы отталкивания начинают превалировать над силами притяжения и поэтому плотность водяного льда меньше плотности воды. Моноэтаноламин и его водные растворы обладают сходной природой строения раствора (см. рисунок 2.13), т.к. форма их политерм совпадает формой политермы воды. Это означает, что МЭА образует аналогичную воде сетку водородных связей и способен неограниченно смешиваться с ней.

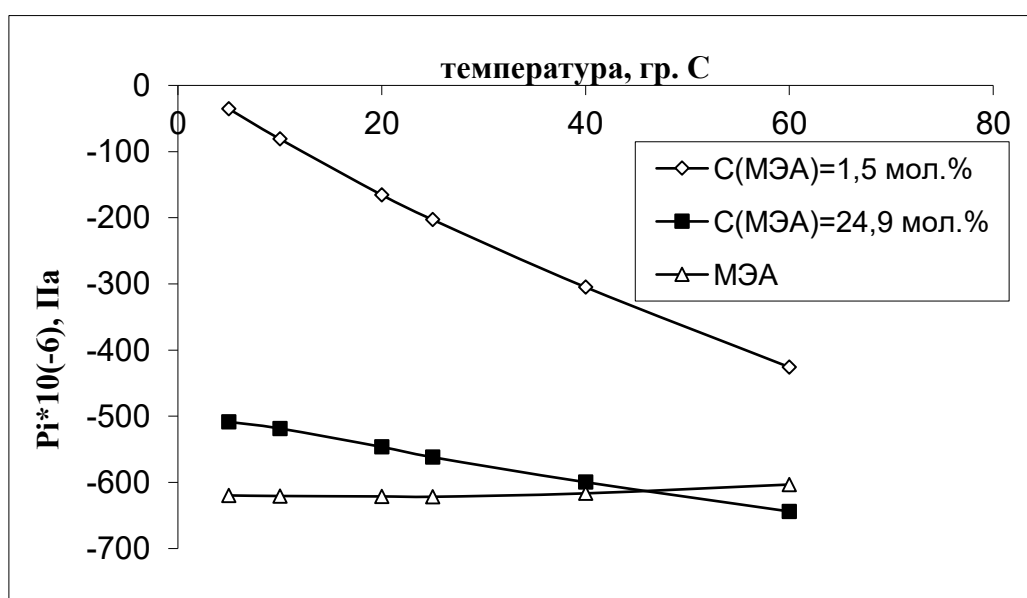


Рисунок 2.13 – Политерма внутреннего давления МЭА и его водных растворов в диапазоне температур 5-60 °С

Тем не менее, известные значения внутреннего давления жидкостей при различных температурах, еще не дают достаточной информации о свойствах жидкости, необходимо найти способ определить количественно силы притяжения и отталкивания, а также факторы, влияющие на их величины.

**Функция Морзе для моделирования политерма внутреннего давления воды.** Для моделирования внутреннего давления воды  $P_i = f(T)$  была выбрана функция Морзе [135] имеющая следующий вид:

$$P_{iM} = D \cdot \{ \exp[-2\alpha_M(t - t_m)] - 2 \exp[-\alpha_M(t - t_m)] \} \quad (2.15)$$

где  $t$  – температура по шкале Цельсия;  $t_m$  – температура при которой политерма  $P_{iM}$  имеет минимум;  $D$  – глубина ямы политермы  $P_{iM}$ ;  $\alpha_M$  – подгоночный параметр. Функция Морзе (2.15) трехпараметрическая.

Если бы данные расчета  $P_i$  воды позволили однозначно определить величины  $D$  и  $t_m$ , то функция (2.15) содержала бы всего один параметр -  $\alpha$ . Но данные этих таблиц позволяют указать только:

- интервал температур, которому принадлежит  $t_m$ ; а именно  $t_m \in (160-250) \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- интервал величин  $D$ , которому принадлежит глубина ямы политермы  $P_i$  воды; а именно  $D \in (710-750) \cdot 10^6 \text{ Па}$ .

По этим причинам функцию (2.15) следует рассматривать как трехпараметрическую.

Сформулируем задачу для поиска параметров функции (2.14): по данным термодинамического расчета (см. рисунок 2.14) найти  $t_m$ ,  $\alpha$  и  $D$ , если  $t_m \in (160-250) \text{ }^\circ\text{C}$ . Эту же задачу можно сформулировать иначе: по данным табл. 1 найти  $t_m$ ,  $\alpha$  и  $D$ , если  $D \in (710-750) \cdot 10^6 \text{ Па}$ . Для поиска  $t_m$ ,  $\alpha$  и  $D$  составим систему из трех уравнений функции (2.15), написанных для трех выбранных реперных температур:  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$ . Реперные температуры выберем из интервала (0-100)  $^\circ\text{C}$ , т.к. в этом температурном интервале погрешность расчета  $P_i(t)$  воды наименьшая из общего исследуемого интервала (0-370)  $^\circ\text{C}$ . Система уравнений будет иметь наиболее простой и удобный для решения вид при



следующих реперных температурах:  $t_1= 0$  °С,  $t_2= 4$  °С и  $t_3= 100$  °С. В этом случае

$$\left. \begin{aligned} P_{iM}(t_1) &= 36.6 \cdot 10^6 \text{ Па} \\ P_{iM}(t_2) &= 0 \text{ Па} \\ P_{iM}(t_3) &= -571 \cdot 10^6 \text{ Па} \end{aligned} \right\}, \quad (2.16)$$

а система уравнений запишется так:

$$\left\{ \begin{aligned} P_{iM}(t_1) &= D \cdot \{\exp(2\alpha \cdot t_m) - 2 \exp(\alpha \cdot t_m)\} \\ 0 &= \exp[-2\alpha(4 - t_m)] - 2 \exp[-\alpha(4 - t_m)] \\ P_{iM}(t_3) &= D \cdot \{\exp[-2\alpha \cdot (100 - t_m)] - 2 \exp[-\alpha \cdot (100 - t_m)]\} \end{aligned} \right\} \quad (2.17)$$

Решая (2.17) с учетом (2.16), найдем:

$$t_m = 243.6^\circ \text{C}; \quad \alpha = 0.002893; \quad D = 777.1 \cdot 10^6 \text{ Па} \quad (2.18)$$

В решении (2.17) системы уравнений (2.16) обращает на себя внимание следующее. Сравним найденную глубину ямы политермы  $P_i$  воды  $D = 777.1 \cdot 10^6 \text{ Па}$  с ее ожидаемым значением  $D \in (710-750) \cdot 10^6 \text{ Па}$ . Видно, что  $777,1 \cdot 10^6 \text{ Па}$  не соответствует интервалу  $(710-750) \cdot 10^6 \text{ Па}$ . Однако если учесть максимальную погрешность расчета  $P_i$ , по (2) в интервале  $(160-250)$  °С, а она достигает 5%, то можно утверждать, что найденная по функции (2.15) глубина ямы  $P_i(t)$  воды соответствует ее ожидаемой величине.

В таблице 2.6 приведены результаты расчета  $P_i$  по функции Морзе (2.15) и величины относительных отклонений  $P_{iM}$  от  $P_i$ :

$$\varepsilon_M = ((P_{iM} - P_i)/P_i) \cdot 100\%, \quad (2.19)$$

где  $P_i$  – термодинамический расчет внутреннего давления воды (табл. 1) по данным [16, 41, 312]. Видно, что значения  $\varepsilon_M$  увеличиваются с ростом температуры и при 260 °С  $\varepsilon_M$  достигает 10%. Значит функция (4) является неплохой моделью  $P_i(T)$ , но только при  $t < 260$  °С. Для получения более адекватной модели политермы  $P_i$  воды и в более широком диапазоне температур построим модифицированную функцию Морзе для  $P_i$ .

Таблица 2.6 - Внутреннее давление воды, рассчитанное по функции Морзе (2.15) и относительное отклонение  $\varepsilon_M$  (2.19).

t, °C	$P_{iM} \cdot 10^{-6}$ , Па	$\varepsilon_M$ , %	t, °C	$P_{iM} \cdot 10^{-6}$ , Па	$\varepsilon_M$ , %
0	36,65	-0,1	140	-682,19	-1,5
5	-8,91	1,4	150	-701,94	-0,9
10	-52,52	-1,0	160	-718,92	-0,7
15	-94,27	-1,5	170	-733,34	-0,9
20	-134,20	-1,7	180	-745,39	-0,9
25	-172,38	-2,0	190	-755,24	-1,5
30	-208,87	-1,9	200	-763,06	-2,6
35	-243,73	-1,6	210	-769,00	-3,1
40	-277,00	-1,5	220	-773,22	-3,4
45	-308,75	-1,6	230	-775,85	-5,0
50	-339,02	-1,2	240	-777,01	-6,0
55	-367,87	-1,1	250	-776,84	-7,7
60	-395,35	-0,9	260	-775,43	-10,1
65	-421,49	-0,8	270	-772,90	-12,8
70	-446,35	-0,8	280	-769,34	-16,6
75	-469,98	-0,4	290	-764,84	-20,4
80	-492,40	-0,3	300	-759,49	-25,3
85	-513,68	-0,3	310	-753,36	-31,5
90	-533,84	-0,2	320	-746,54	-38,2
95	-552,92	0,0	330	-739,09	-46,9
100	-570,97	0,0	340	-731,07	-54,2
110	-604,10	-2,9	350	-722,55	-75,8
120	-633,51	-1,9	360	-713,58	-110,5
130	-659,46	-1,1	370	-704,21	-179,4

Анализ представленных результатов показывает, что расхождения между расчетом величины внутреннего давления термодинамическим способом и моделированием с помощью функции Морзе укладывается в 2% в диапазоне температур 0-200 °C.

Функция Морзе (2.15) позволяет выделить составляющие внутреннего давления – давление притяжения и давление отталкивания. Выделим слагаемые давления  $P_{iMm}$ , т.е. его давление отталкивания ( $P_{iMm}^{om}$ ) и давление притяжения ( $P_{iMm}^{np}$ ):

$$P_{iMm}^{om} = f_k \cdot P_{iM}^{om} = f_k \cdot D \cdot \exp[-2\alpha(t - t_m)] \quad (2.20)$$

$$P_{iMm}^{np} = f_k \cdot P_{iM}^{np} = -2f_k \cdot D \cdot \exp[-\alpha(t - t_m)] \quad (2.21)$$

Воспользовавшись уравнениями (2.20) и (2.21) проведено вычисление составляющих функции Морзе давление притяжения ( $P_{inрМ}$ ) и давление притяжения ( $P_{inрМ}$ ) (см. рисунок 2.14)

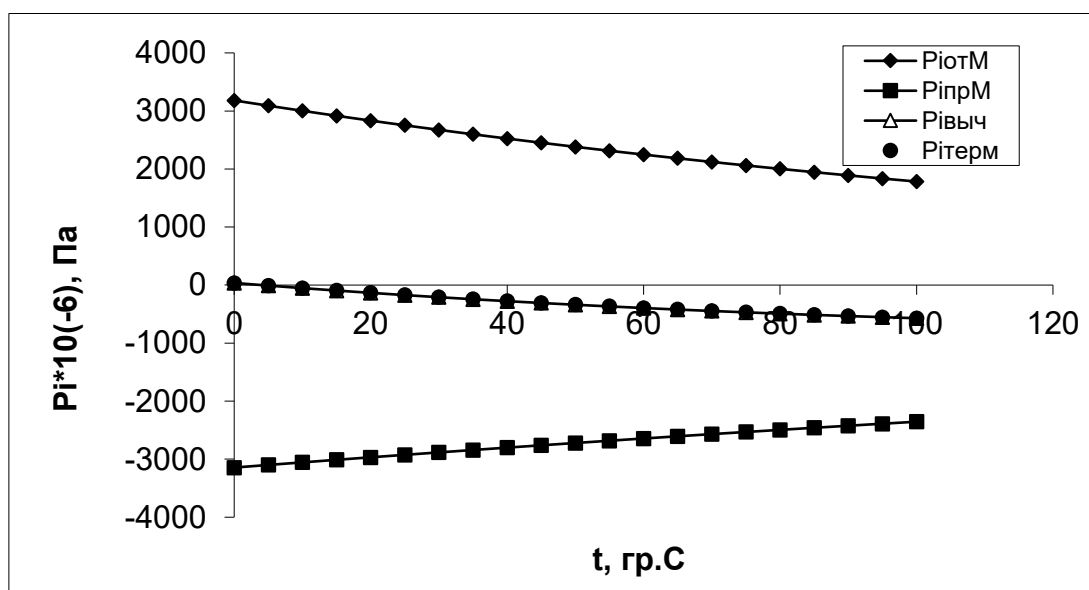


Рисунок 2.14 - Составляющие внутреннего давления воды.

**Функция Бакингема для моделирования политерм внутреннего давления растворов.** Для моделирования температурных зависимостей внутреннего давления *индивидуальных жидкостей с различной ассоциацией молекул за счет водородных связей средней прочности* предложены [325,326] две физически реалистичные функции (функция Морзе и функция Ридберга). Успех в моделировании функцией Морзе и функцией Ридберга политерм  $P_i$  воды ( $H_2O$ ), *n*-спиртов, *диолов, моноэтаноламина* вселял надежду и на успех в моделировании этими же функциями политерм  $P_i$  бинарных водных растворов МЭА. Однако, моделирование политерм  $P_i$  исследуемых растворов этими функциями оказалось неудовлетворительным. Функция Бакингема, в данном случае, оказалась более адекватной.

Функцию Бакингема для моделирования политерм  $P_i$  жидкофазных систем сформируем аналогично (по математической структуре) потенциалу Бакингема (exp-6) [135].

$$P_{iB}(T) = \frac{D}{1 - (6/\alpha_B)} \cdot \left\{ \frac{6}{\alpha_B} \cdot \exp \left[ \alpha_B \cdot \left( \frac{T_m - T}{T_m} \right) \right] - \left( \frac{T_m}{T} \right)^6 \right\} \quad (2.22)$$

Это трансцендентная функция с параметрами:  $D$  – глубина ямы политермы  $P_i(T)$ ;  $T_m$  – температура (по термодинамической шкале), при которой политерма  $P_i(T)$  имеет минимум;  $\alpha_B$  – характеризует крутизну ветви экспоненциального давления отталкивания.

Выделим из функции (2.22) составляющие внутреннего давления:

$$\text{- давление отталкивания, т.е. } P_{i,B}^{om} = \frac{6D}{\alpha_B - 6} \cdot \exp \left[ \alpha_B \cdot \left( \frac{T_m - T}{T_m} \right) \right], \quad (2.23)$$

$$\text{- давление притяжения, т.е. } P_{i,B}^{np} = - \frac{\alpha_B \cdot D}{\alpha_B - 6} \cdot \left( \frac{T_m}{T} \right)^6. \quad (2.24)$$

Напомним, что

$$P_{i,B} = P_{i,B}^{om} + P_{i,B}^{np}, \quad (2.25)$$

причем по физическим соображениям [316,327]:

$$P_{i,B}^{om} > 0; \quad P_{i,B}^{np} < 0. \quad (2.26)$$

Из (2.23) и (2.24) с учетом неравенств (2.26) следует, что параметр  $\alpha_B$  функции (2.27)

$$\alpha_B > 6 \quad (2.27)$$

Известно [135], что функция Бакингема при малых значениях аргумента имеет максимум, а при стремлении аргумента к нулю, стремится к  $(-\infty)$ . Это локальное несоответствие формы графиков функции Бакингема и политерм  $P_i$  жидкостей. Локальное несоответствие будем рассматривать как локальный дефект функции (2.22). Частотность реализации локального дефекта будет высока, если в качестве шкалы температуры использовать шкалу Цельсия, т.к. температурный интервал многих исследований  $P_i(t)$  жидкофазных систем включает в себя как область вблизи  $t=0$  °C, так и саму температуру 0 °C. Избежать попадания значений функции Бакингема в область локального дефекта можно, *выбрав такое начало отсчета шкалы температур*, при котором в исследуемом температурном интервале аргументам функции (2.22) будут соответствовать значения функции  $P_{i,B}$  вне области локальных несоответствий функций  $P_i$  и  $P_{i,B}$ . Это мы и сделали при формировании

функции (2.22), выбрав для отсчета температуры абсолютную термодинамическую шкалу температур.

Найденные нами параметры функции Бакингема (2.22) для растворов  $H_2O+MЭА$  приведены в табл. 2.7 и 2.8. Результаты расчета  $P_{iB}$  исследуемых растворов приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.7 - Параметры функции Бакингема водных растворов моноэтаноламина; X – концентрация моноэтаноламина в растворе

X, мол.%	$t_m, ^\circ C$	$T_m, K$	$\alpha_B$	$D \cdot 10^{-6}, Pa$
1,5	79,5	352,65	8,187	412,2
2,9	82,8	355,95	8,105	459,9
5,7	81,1	354,25	8,045	487,5
9,3	79,9	353,15	7,963	535,5
14,7	79	353,15	7,850	600,7
19,5	61,4	334,55	7,797	596,5
24,9	68	341,15	7,702	654,4
39,3	55,9	329,05	7,567	681,9
54,1	54	327,15	7,500	680,7
68,7	51,2	324,35	7,460	665,1
MЭА	39	312,15	7,279	622,2

Анализ представленной в таблице 2.8 информации показывает, что функция Бакингема прекрасно (в пределах 3%) моделирует внутреннее давление MЭА и его водных растворов начиная с концентрации 5,7 мол.%. Более низкие концентрации описываются плохо величина относительного отклонения превышает 8%.

Таблица 2.8 - Внутреннее давление водных растворов МЭА, рассчитанные по функции Бакингема (2.22), и относительное отклонение  $\varepsilon$

X, мол. %		Температура					
		5 °C	10 °C	20 °C	25 °C	40 °C	60 °C
1,5	$P_{iB} \cdot 10^{-6}$ , Па	-32,7	-81,7	-175,3	-217,4	-318,1	-392,4
	$\varepsilon$ , %	8,0	-0,9	-5,9	-7,1	-4,3	7,9
2,8	$P_{iB} \cdot 10^{-6}$ , Па	-65,2	-106,9	-194,9	-237,2	-344,4	-430,9
	$\varepsilon$ , %	8,2	3,2	-4,0	-5,4	-5,9	2,2
5,7	$P_{iB} \cdot 10^{-6}$ , Па	-130,9	-165,6	-243,5	-282,1	-381,9	-462,6
	$\varepsilon$ , %	2,4	2,2	-1,8	-2,9	-2,7	2,5
9,3	$P_{iB} \cdot 10^{-6}$ , Па	-218,8	-243,3	-307,9	-342,3	-435,3	-512,8
	$\varepsilon$ , %	0,5	3,0	0,2	-1,4	-3,1	0,6
14,7	$P_{iB} \cdot 10^{-6}$ , Па	-356,5	-361,8	-401,1	-427,5	-507,4	-579,7
	$\varepsilon$ , %	-1,7	1,9	2,2	1,1	-2,4	-1,3
19,5	$P_{iB} \cdot 10^{-6}$ , Па	-421,4	-442,6	-490,7	-513,9	-568,5	-596,4
	$\varepsilon_B$ , %	2,4	1,5	-1,6	-2,5	-2,6	2,4
24,8	$P_{iB} \cdot 10^{-6}$ , Па	-514,3	-513,5	-537,4	-555,5	-609,6	-650,9
	$\varepsilon$ , %	-1,1	1,0	1,6	1,2	-1,7	-1,1
39,3	$P_{iB} \cdot 10^{-6}$ , Па	-608,6	-607,9	-624,5	-636,5	-668,8	-681,1
	$\varepsilon$ , %	-1,2	1,1	1,8	0,9	-1,5	-1,2
54,1	$P_{iB} \cdot 10^{-6}$ , Па	-637,3	-630,6	-638,0	-646,6	-671,6	-679,0
	$\varepsilon$ , %	-1,25629	1,0	1,8	1,0	-1,3	-1,3
67,8	$P_{iB} \cdot 10^{-6}$ , Па	-634,7	-627,7	-632,9	-640,0	-659,7	-661,7
	$\varepsilon$ , %	-1,0	0,7	1,5	0,9	-1,4	-0,7
МЭА	$P_{iB} \cdot 10^{-6}$ , Па	-623,873	-616,6	-615,5	-617,7	-622,2	-607,2
	$\varepsilon$ , %	-0,7	0,6	0,9	0,6	-0,9	-0,7

Функция Бакингема (2.22), также, как и функция Морзе (2.15) позволяет выделить составляющие внутреннего давления (2.23, 2.24).

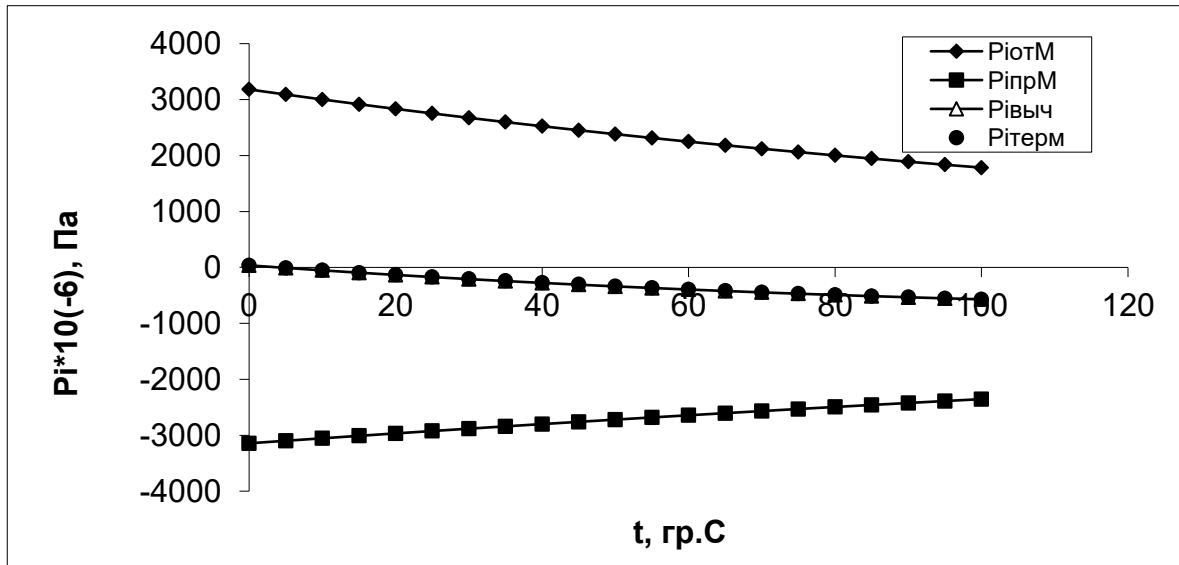


Рисунок 2.15 – Политермы внутреннего давления МЭА и его водных растворов

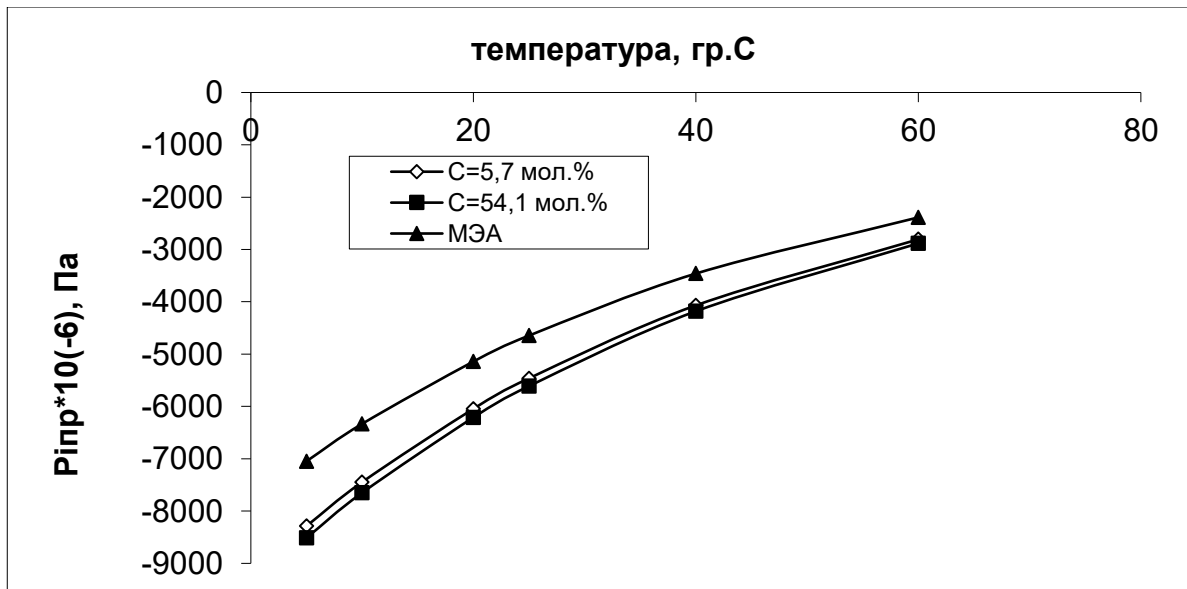


Рисунок 2.16 – Давление отталкивания МЭА и его водных растворов

Анализ данных, представленных на рисунках показывает, качественную однородность строения МЭА и его водных растворов, но количественно МЭА и по силе притяжения, и по силе отталкивания отличается от своих водных растворов с концентрацией (5,7 и 54,1 мол.%). К тому же, температура кипения МЭА составляет 171,3 °С, а давление насыщенных паров при нормальном атмосферном давлении (101 кПа) составляет 66,67 Па. Таким образом по закону Коновалова [257] паровая фаза такого раствора будет обогащаться

водой, а не МЭА, что приведет к повышению огнетушащих свойств воды путем создания водного раствора (см. п. 4.6).

**Образование водных растворов.** Наличие пространственной сетки водородных связей обуславливает образование водой растворов различной природы. “Подобное растворяется в подобном”, тем не менее, данное выражение не про воду, т.к. она способна растворять в себе и то, что неподобно ей. По отношению к воде все вещества делятся на две группы – гидрофильные и гидрофобные. Гидрофильными веществами называют вещество то же что и вода природы – полярные (спирты, амины, кислоты, соли и т.п.). Они растворяются в воде с образованием истинных растворов. Гидрофобными называют вещества не растворяющиеся и даже не смешивающиеся с водой (углеводороды, гидрофобные полимеры и т.п.). Тем не менее, в природе не существует веществ абсолютно нерастворимых в воде, а строение воды позволяет ей растворять в себе нерастворимое.

По природе растворы бывают гомогенные (истинные) и гетерогенные (коллоидные) [278]. Гомогенные (истинные) растворы образуются веществами, имеющими контакт между собой на молекулярном уровне, т.е. растворенное вещество представлено на молекулярном уровне – в виде отдельных молекул, окруженных молекулами растворителя. В таких растворах отсутствует граница между растворенным веществом и растворителем. Гетерогенными растворами называют системы, в которых растворенное вещество находится в объеме растворителя в виде отдельных зон – капель. Эти зоны (капли) могут иметь значительный размер и тогда не гомогенность будет видна визуально – раствор теряет прозрачность (велика доля рассеянного света). Отдельным классом гетерогенных растворов являются микрогетерогенные растворы – “капли” растворенного вещества в них настолько малы, что не рассеивают настолько, что это может быть видно невооруженным глазом, т.е. объем раствора остается прозрачным.

Разные вещества по-разному растворимы в воде. В настоящее время созданы специальные справочники [65, 187,188], в которых в качестве одного



из важных показателей физических свойств вещества является его растворимость в воде. Растворимость величина конечная, тем не менее, вода способна создавать ненасыщенные, насыщенные и пересыщенные растворы. Содержание последних в воде выше возможностей воды по растворяющей способности. Многие пересыщенные растворы теряют свою прозрачность, т.к. превращаются из гомогенных в гетерогенные – коллоидные, т.к. в них начинает происходить формирование объемов с высокой концентрацией растворенного вещества и низким содержанием растворителя.

Водные растворы бывают стабильными (в определенном диапазоне условий), бывают метастабильными и нестабильными (лабильными). Стабильность и нестабильность водных растворов никак не связана с тем истинными они являются или коллоидными. Есть случаи нестабильных истинных растворов и стабильных коллоидных. Пространственная сетка водородных связей способна образовать ажурную структуру с пустотами, в которых могут “прятаться” гидрофобные фрагменты молекул, молекулы целиком, а также их ансамбли. На этом свойстве воды основана моющая активность природных и синтетических моющих средств, основу которых составляют поверхностно активные вещества (ПАВ). Стабильность и нестабильность водных растворов зависит от многих причин, состава, температуры, наличия химического взаимодействия между растворенным веществом и растворителем и т.п.

Преимущества никогда не реализуются без недостатков. Сильные водородные связи обуславливают и высокое поверхностное натяжение воды ( $72 \cdot 10^{-3}$  Н/м) и ее растворов, а в связи с этим низкая эффективность смачивания различных поверхностей. Дело в том, что живая клетка состоит из воды на 86%. Для того чтобы она осуществляла свои физиологические функции и была единым целым клеточная стенка не должна быть растворима в воде. В животных клетках стенки построены из жиров и липидов, а растительные – из целлюлозы (клетчатки). Именно это свойство строительных материалов

клетки позволяет им функционировать как отдельная структурная единица, так и в составе живых тканей, и на уровне всего организма.

**Химические свойства воды.** Вода представляет собой соединение водорода и кислорода, где на каждый атом кислорода приходится два атома водорода. При классификации веществ вода относится к классу неорганических оксидов. Оксиды проявляют химические свойства при взаимодействии с другими классами органических и неорганических соединений. Чаще всего вода взаимодействует с другими веществами и такое взаимодействие называется гидролизом [21, 186]. Гидролизу могут подвергаться многие сложные вещества органического и неорганического происхождения. К гидролизуемым органическим веществам относятся простые и сложные эфиры, органические соли, а неорганическим – соли слабых кислот и оснований. В работах [10,66,243,269] отмечено, что при высокой влажности древесины, перерабатываемой пиролизом, выход простых и сложных эфиров снижается. Причиной этому является их взаимодействие с водяным паром в реторте под действием высокой температуры. Кроме этого, вода способна взаимодействовать с углеродом (каменный или древесный уголь) с образованием угарного газа и водорода. Этот процесс используют в химической промышленности для получения синтез-газа ( $\text{CO}+\text{H}_2$ ) [53], который в дальнейшем идет на производство метанола. Тем не менее, данный процесс проводят при высоких температурах (450-500 °С) и давлении (300 атм). Понятно, что при ЛП такой процесс может протекать чисто теоретически. С другими компонентами ЛГМ, продуктами и полупродуктами их пиролиза вода в химическое взаимодействие не вступает.

**Расширение огнетушащих возможностей воды для тушения лесных пожаров.** Лесной пожар необходимо тушить – для этого, применяются ОТС, которые прекращают взаимодействие ЛГМ и воздухом. Чаще всего, таким огнетушащим средством является вода, обладающая необходимым набором физико-химических свойств, делающих ее пригодной в качестве

огнетушащего вещества. Вода применяется для тушения лесных и степных пожаров как при тушении наземными, так и авиационными средствами.

Несмотря на то, что Российская Федерация не относится к засушливым регионам планеты, в теплое время года может наблюдаться значительный недостаток воды пригодной для применения в ходе тушения лесных пожаров. В теплое время вода становится ценным ресурсом, т.к. взять ее в лесной или степной местности просто не откуда, из-за пересыхания небольших рек и ручьев, понижения уровня воды в водохранилищах (небольших озерах, прудах, заводях и т.п.) и т.п. Поэтому на передний план выдвигаются задачи поиска и доставки воды к месту тушения, пожара, а также задача сокращения расхода воды при тушении природного пожара, как следует понимать обе эти задачи взаимосвязаны между собой. Первая задача решается чисто технически и находится в ведении органов местного самоуправления, хотя на практике, это приводит к отвлечению части сил и средств тушения пожара на доставку воды к месту тушения, что приводит к растягиванию по времени проводимых операций, снижает эффективность тушения пожаров и ведет к возникновению значительного материального и финансового ущерба лесному и сельскому хозяйству. А вот вторая задача носит научно-технический характер, а поиск способов и приемов снижения расхода огнетушащего средства при тушении лесного пожара является целью данной работы.

С точки зрения физики пожар является самопроизвольным процессом выделения теплоты запасенного в ГВ. С точки зрения химии – пожар есть химическая реакция взаимодействия ГА и Ох, при этом ГВ – окисляется, а Ох – восстанавливается. При тушении ЛП вода реализует три принципа пожаротушения: (1) прекращает подачу ГВ и Ох в зону горения (изоляция); (2) исключает источник зажигания (охлаждение); (3) в отдельных случаях исключает химическое взаимодействие между ГВ и Ох (вступает в химическое взаимодействие с ГВ или Ох). При тушении ЛП реализуются только первые два, т.к. она химически инертна к ЛГМ, продуктам и полупродуктам их сгорания.

Тем не менее, вода не являлась бы средой для возникновения и развития жизни на п. Земля если бы не обладала целым набором уникальных свойств. Так, например, вода способна оставаться жидкой при температурах как ниже точки замерзания, так и выше точки кипения. Это состояние воды называется сверхкритическим. Из-за высокого поверхностного натяжения (72 мН/м) вода стремится образовать крупные капли [208], т.е. изолировать себя от окружающей среды. Последнее явление определяется измерением угла смачивания различных поверхностей, который у воды достаточно высок, т.е. вода формирует капли шарообразной формы. Из-за действия силы тяжести проявление этого свойства воды можно наблюдать только на очень мелких каплях.

Тушение пожара компактной струей допускается при высокой пожарной нагрузке – значительном тепловыделении из зоны горения. Такие пожары наблюдаются только на техногенных объектах, где сконцентрированы большие запасы ГВ. Лесные пожары имеют значительно меньшую пожарную нагрузку, поэтому тушение компактной струей не дает должного эффекта - наблюдается перерасход воды. Для борьбы с этим эффектом на воду можно оказать определенные физические воздействия, а также использовать свойства образуемых ими водных растворов.

***Физическое воздействие на воду.*** Разрушить компактную струю и получить капли малого размера можно двумя путями. Первый путь заключается в ударе струи воды, движущейся с определенной скоростью, о барьер или ее прокачке через отверстие малого диаметра или узкую щель [63]. Второй путь – превращение воды в водяной пар с последующим его охлаждением и конденсацией на различных поверхностях [200,201,208,225-228]. Таким способом расширяют возможности воды там, где применение жидкой воды является низкоэффективным. Например, при тушении техногенных пожаров в настоящее время применяют пожарные стволы с функцией распыления [211], водяной пар применяется в качестве ОТС там, где

нельзя использовать воду, а именно при тушении горения нефти и нефтепродуктов.

*Использование физических свойств водных растворов.* Хорошо известно, что водные растворы обладают физическими свойствами отличными от свойств присущих воде. Например, отмечено, что морская вода остается жидкой при отрицательных температурах (-4...-5 °С). Более концентрированные (крепкие) растворы кристаллизуются при еще более низких температурах. Применяемый при эксплуатации антифриз – раствор этиленгликоля в воде кристаллизуется при температуре -40 °С, что позволяет эксплуатировать автомобили и тракторы в зимних условиях. Те же растворы проявляют более высокую температуру кипения.

Объяснение вышеуказанному существует следующее: как объем, так и поверхность водного раствора содержит в себе частицы растворенного вещества со свойствами отличными от свойств частиц растворителя. Таким образом, частицы растворенного вещества замещают частицы растворителя понижая давление его пара, что приводит к повышению температуры кипения, для компенсации недостатка давления. При кристаллизации происходит аналогичное явление. Присутствие растворенного вещества не позволяет растворителю осуществить фазовый переход и сформировать твердое тело [257].

Изменение физических свойств растворов находит четкое объяснение в первом законе Ф.М. Рауля (1887 г.) – “Парциальное давление насыщенного пара компонента ( $P_i$ ) раствора прямо пропорционально его мольной доле в растворе, причём коэффициент пропорциональности равен давлению насыщенного пара над чистым компонентом”

$$P_i = P_i^0 \cdot X_i, \quad (2.28)$$

где  $P_i^0$  - давление насыщенного пара чистого компонента, Па;  $X_i$  – мольная доля компонента в смеси.

Для бинарного раствора, состоящего из компонентов А и В (компонент А считаем растворителем), удобнее использовать другую формулировку:

“Относительное понижение парциального давления пара растворителя над раствором не зависит от природы растворённого вещества и равно его мольной доле в растворе”[257].

Первый закон Рауля выполняется только для идеальных растворов, компоненты которых очень близки по физическим и химическим свойствам (оптические изомеры, гомологи и т.п.), и образование которых не сопровождается изменением объёма и выделением либо поглощением теплоты. Из-за этого силы межмолекулярного взаимодействия между однородными и разнородными частицами примерно одинаковы, и образование раствора обусловлено лишь энтропийным фактором. Увеличение температуры кипения свидетельствует об увеличении в большую сторону теплоты испарения и теплоемкости раствора по сравнению с чистым растворителем.

Еще одно свойство растворов описывает первый закон Д.П. Коновалова (1881 г.) [257]: “Насыщенный пар по сравнению с равновесным раствором обогащен компонентом, добавление которого в системе повышает общее давление пара”. Другими словами, паровая фаза обогащена более легколетучим компонентом. Закон справедлив только для идеальных растворов без химического взаимодействия компонентов в нем.

## **2.8 Потенциал повышения эффективности предотвращения лесного низового пожара и его тушения с применением воды и водных растворов**

Эффективность противопожарных мероприятий оценивается по соотношению затрат к полученному ущербу. Экономической стороне организации и проведения мероприятий по предотвращению и тушению ЛП посвящен раздел 5 диссертационной работы. Данный параграф посвящен технологическим и техническим сторонам вопроса совершенствования противопожарных мероприятий с применением воды и водных растворов для предотвращения и тушения ЛП.

*Снижение времени реагирования на ЛП.* Используемые тактические приемы при тушении ЛП необходимо организовывать. По меткому выражению, имеющемуся в русском языке, правильная организация лесного пожаротушения обеспечивает успех на уровне не менее 50%. Это утверждение одинаково справедливо как для техногенных пожаров, так и для ЛП.

Пожар развивается с некоторой скоростью, определяемой типом ГВ, их массой на единице площади поверхности, доступом кислорода, наличием поддува и т.п. Понятно, что чем меньше времени уйдет на развитие пожара, тем меньше усилий будет предпринято пожарными для его тушения. Если не вступят действия факторы осуществляющие самотушение пожара, то рост пожара будет прямо пропорционален времени прошедшему с момента его начала. У техногенных пожаров и ЛНП есть важное отличие в величине пожарной нагрузки, в пользу первых. Техногенные пожары в отличие от ЛП более компактны, в то время как ЛНП предоставлен сам себе и свободно распространяется по слою ЛГМ под действием внешних условий. Следует также отметить, что площадь ЛНП весьма условное понятие, скорее этот термин можно применить к горельнику и выражать им ущерб, полученный от лесного пожара. Любая плоская фигура с отличной от нуля площадью обладает периметром. Каждый ЛНП растет и распространяется в определенных условиях поэтому отдельные участки его перемещаются в пространстве с разной скоростью. Стоит предположить, что способствовать распространению низового пожара будут два фактора: (1) запас природного горючего вещества на единице площади почвенного покрова, (2) равномерность распределения природных горючих материалов на поверхности почвенного покрова. Оба фактора обязательно имеют нижний и верхний пределы, так отсутствие ГВ на поверхности почвы должно прекратить распространение ЛНП. По-видимому, есть и верхний предел данного фактора – слишком большая масса горючих веществ на малой площади, обязательно должна привести к снижению скорости распространения кромки пожара. В этом случае, интенсивность пожара должна возрасти, а она обратно

пропорциональна скорости распространения ЛНП. Участок с избыточной массой ЛГМ низовой пожар «обойдет», оставляя в своем тылу очаг горения, который выгорая не сможет продолжить движение из-за того, что окружающие данный участок ЛГМ уже сгорели.

Второй фактор, отвечает за скорость распространения кромки низового пожара по территории природного ландшафта, т.к. чем более равномерно распределены горючие материалы по территории, тем равномернее и ровнее распространяется кромка низового пожара. В этом случае, на кромке будут отсутствовать ярковыраженные “пальцы” или “языки” – участки кромки низового пожара, двигающиеся с большей скоростью, чем общая средняя скорость движения кромки (рисунок 2.17) [339].

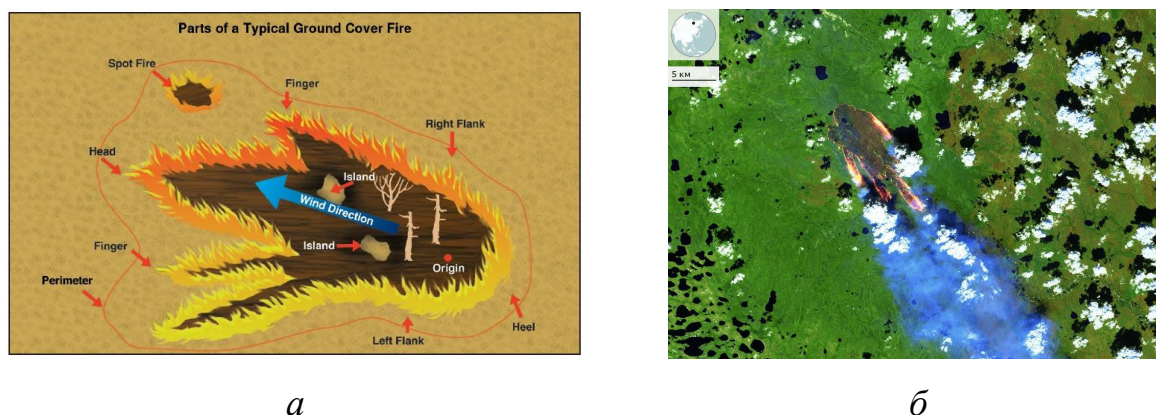


Рисунок 2.17 - Форма кромки низового пожара *a* - (схема),  
*б* – космоснимок низового пожара

Все участки ландшафта заполненные ЛГМ не могут выгорать с одинаковой скоростью, поэтому обязательно будет присутствовать разная изрезанность кромки ЛНП. В литературе [38, 176, 177, 102, 295] изрезанность принято выражать степенями: минимальной, средней и максимальной. Наилучшую взаимосвязь длины кромки ЛНП ( $l_{лнп}$ , м) с площадью дает степенная функция вида:

$$l_{лнп} = a \cdot S_{лнп}^b \quad (2.29)$$

где  $S_{лнп}$  – площадь ЛНП, га;  $a$  и  $b$  – коэффициенты уравнения, значения которых, а также значения коэффициентов корреляции представлены в таблице 2.9.



Таблица 2.9 - Значения коэффициентов степенной функции, связывающей длину кромки

Длина кромки ЛНП	a	b	R <sup>2</sup>
Минимальная	321,12	0,5230	0,9978
Средняя	466,00	0,5286	0,9970
Максимальная	618,40	0,5296	0,9977

Из-за низкой пожарной нагрузки (массы ЛГМ на единице площади леса/ЛК) горение осуществляется в довольно узкой зоне 0,5-2 м, ширина которой определяется как суперпозиция от соотношения скорости горения ЛГМ и скорости распространения ЛНП. В связи с этим важным отличием ЛНП от техногенного пожара является значительная длина кромки, тушение которой лесным пожарным и предстоит осуществить. Чем больше пройдет времени с момент возникновения ЛНП чем большую длину кромки придется тушить. Примерные скорости распространения ЛНП представлены в [210,253,295].

Главным фактором в тушении пожара является время. Время тушения пожара  $t_{mn}$  (в минутах) складывается из следующих составляющих [43]:

$$t_{mn} = t_{св} + t_{лок} + t_{лик}, \quad (2.30)$$

где  $t_{св}$  – время свободного развития пожара, мин;  $t_{лок}$  – время локализации (остановки развития и распространения) пожара, мин;  $t_{лик}$  – время ликвидации (полного прекращения самопроизвольного взаимодействий ГВ и Ох) пожара, мин.

В свою очередь время свободного развития пожара (в минутах) вычисляется из

$$t_{св} = t_{обн} + t_{сооб} + t_{сб} + t_{сл} + t_{бр}, \quad (2.31)$$

где  $t_{обн}$  – время от момента возникновения пожара до момента его обнаружения, мин;  $t_{сооб}$  – время от момента обнаружения пожара до сообщения в пожарную часть, мин;  $t_{сб}$  – время сбора и выезда подразделения по тревоге, мин;  $t_{сл}$  – время следования подразделения к месту вызова, мин;  $t_{бр}$  – время развертывания подразделения, мин.

Понятно, что чем меньше времени будет затрачено на осуществление каждого этапа, тем быстрее лесные пожарные ликвидируют ЛП. Для тушения ЛП необходимо, во-первых, его обнаружить – методы обнаружения изложены в п. 3.5. Во-вторых, группировку сил и средств необходимо собрать, а для этого необходимо хорошо знать, чем располагают лесоуправляющие организации, органы местного самоуправления и подразделения ГПС региона. В-третьих, группировку необходимо доставить к месту тушения пожара, провести развертывание и приступить к тушению ЛНП.

Руководитель тушения лесного пожара обязан руководить группировкой и управлять действиями лесных пожарных, связанных с перемещением группировки с одного участка тушения на другой, а также внимательно следить за изменением обстановки при лесном пожаре, для обеспечения безопасности людей и техники. Следует следить также за временем тушения, т.к. производительность труда людей, выражающаяся в сокращении скорости тушения ЛНП, измеряемой в м/ч, падает с течением времени [281]. Люди элементарно устают! Причем падение производительности происходит тем быстрее, чем более тяжелые условия складываются в месте проведения работ. Для компенсации снижения производительности необходимо либо осуществлять ротацию подразделений, либо осуществлять сочетание режимов труда и отдыха лесных пожарных.

Кроме перечисленного, если тушение ЛНП осуществляется с расходом ОТС, то необходимо осуществлять их доставку к месту тушения пожара. К примеру, применение пожарной автоцистерны (АЦ) требует наличия в ней воды, а также топлива для ДВС, мощность которого расходуется на привод пожарного насоса (ПН). При израсходовании воды или топлива АЦЛ становится бесполезной и для продолжения работ требуется ее дозаправка. Расход воды через ПН обычно осуществляется быстрее, чем расход топлива. Простой подсчет показывает при применении АЦ-40 с емкостью цистерны 1,6 м<sup>3</sup>, при расходе воды через один ствол Б (с расходом 3,5 л/с) объема цистерны хватит на 400 секунд работы ПН, что составляет

6,5 мин. Это без учета объема воды в самом ПН и в рукаве(ах). При подаче в зону горения двух стволов время тушения составит 200 секунд (3,5 мин). При кратном увеличении емкости главной цистерны будет расти и время подачи воды в зону горения. После израсходования запаса воды расчет АЦ должен свернуть работы по тушению ЛНП и выдвинуться к месту пополнения запаса воды – пожарному источнику. Понятно, что такое использование АЦ при тушении пожара будет эффективным только в двух случаях, при малой длине кромки ЛНП и при подвозе воды к месту тушения ЛП и пополнении ее запасов на месте тушения. Первый случай реализуется при быстром реагировании на ЛП. Второй реализуется при грамотной организации снабжения водой группировки тушения ЛП. В Саратовской области, последний раз, серьезная обстановка с ЛП складывалась в 2010 году, когда на тушение ЛП были брошены все имеющиеся силы и средства. При этом победить огненную стихию удалось только при организации подвоза воды к месту тушения пожара с применением коммунального оборудования – водовозок с объемом цистерны 10-20 м<sup>3</sup>, что показало эффективность второго варианта. Доставка воды к месту тушения ЛП с помощью АЦЛ показала свою полную неэффективность.

Применение мотопомп для тушения ЛП вообще возможно только вблизи от источника воды, т.к. насосом низкого давления невозможно обеспечить необходимый напор воды на выходе из длинного рукава. Для обеспечения дальности подачи воды часто применяют приме эстафетой передачи воды мотопомпами с заполнением промежуточных (буферных) емкостей [295], но его главным недостатком является невозможность применять для тушения ЛП все имеющиеся мотопомпы, что значительно снижает производительность. Применять для этих целей УПВД нецелесообразно из-за малого расхода воды установками высокого давления.

***Снижение расхода воды на тушение кромки ЛНП.*** Для выявления возможностей по повышению произвольности лесного пожаротушения необходимо определить критерии эффективности огнетушащих средств,

подающих воду в зону горения. В п. 2.7 (таблица 2.5) была проведена сравнительная оценка расходов воды при применении различных средств пожаротушения. Было показано, что наиболее «расточительными» в расходе воды оказались лесопожарные автоцистерны, а наиболее экономными – лесопожарные воздуходувки и установки высокого давления. Для повышения снижения расхода воды необходимо применять технологические приемы и техническое оборудование с наименьшими потерями воды при ее доставке к месту подачи в зону горения, а также обладающие минимальным расходом. Тем не менее, необходимо определить баланс между максимальным и минимальным расходом, т.к. при подаче воды в зону горения ниже некоторого предела, эффективность тушения снизится настолько, что скорость распространения ЛП будет выше скорости его тушения. В этом случае потушить ЛП будет просто невозможно.

***Равномерность подачи ОЗС на обрабатываемую территорию и ОТС в зону горения.*** Еще одним способом сокращения расхода воды на тушение ЛП является обеспечение равномерности подачи воды в зону горения. Решение о количественных характеристиках расходования ОТС при тушении ЛП принимается лесными пожарными непосредственно на месте тушения, однако равномерность тепловыделения при пожаре предполагает и равномерность подачи ОТС в зону горения. Процесс лесного пожаротушения можно, в некоторой степени, автоматизировать как это предложено в [203]. Здесь на помощь приходят достижения в мелиорации, а именно, в способе орошения культурных растений – дождевании. Разработана теоретическая база, созданы различные конструкции оросителей (дождевателей): круговые, секторные, с дефлектором, без него и т.п. При определенных условиях (напоре и расходе воды) ороситель формирует облако капель нужного размера и распыляет их на определенное пространство. Если закрепить на штангу, в виде полой трубы несколько таких оросителей [203], то появится возможность тушить кромку ЛП, осуществлять проливку уже потушенной кромки ЛП или обрабатывать горючий напочвенный покров на участке леса/ландшафта ОЗС.

## ***Выводы к Разделу 2***

1. Установлено, что наиболее возгораемыми являются высокоуглеродсодержащие материалы: целлюлоза и лигнин, в составе древесных и травянистых растений. Для обеспечения горения таких материалов необходим подвод тепла к ним для образования газообразных и летучих веществ. Выяснено, что факторы, способствующие и препятствующие горению, управляются законами термодинамики и химической кинетики.

2. Проведен анализ эффективности тушения лесных пожаров с использованием воды в качестве ОТС. Другие приемы тушения имеют эффективность в 10-30 раз меньше. На основании термодинамического анализа процессов выделения и поглощения энергии пожара, определена роль теплоносителя - воды в тушении пожара. Теоретически и экспериментально доказано, что для тушения пожара необходимо поглотить около 1/12 части тепла, выделяемого при пожаре.

3. Вода позволяет модифицировать ее физические и химические свойства для повышения ее огнетушащих свойств. При этом предлагается произвести формирование струи тонкораспыленной воды или переохлажденного водяного пара с размером капель 10-50 мкм и 5-10 мкм, соответственно. Химическая модификация воды предполагает получение водных растворов, применимых в пожаротушении: - свойства водных растворов, такие как температура кипения, давление насыщенного пара растворителя возрастают; - растворенные вещества обладают собственной огнетушащей способностью.

4. Использование модифицированной воды позволяет снизить ее расход при тушении лесных пожаров, что дает возможность дополнительного запаса ОТС.

### **3 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЛЕСАХ И ЛЕСНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ**

#### **3.1 Географические и климатические особенности территорий наиболее благоприятных для возникновения и распространения лесных пожаров**

Лесные пожары происходят в различных климатических зонах и географических ландшафтах [75], т.к. леса растут и развиваются там, где это обусловлено экологически. Лесной массив (ЛМ) – представляет собой биогеоценоз, в котором взаимодействия живых организмов между собой и, с абиогенными факторами окружающей среды: солнечным излучением, температурой и относительной влажностью воздуха, скоростью и направлением ветра, влажностью и составом почвы, отвечают некоторому состоянию равновесия [256].

От наличия источников воды близких к поверхности зависит будет ли пригодна данная территория к росту и размножению древесных растений. Отсутствие влаги приводит к высушиванию почвенного покрова, что влечет за собой деградацию, разрушение, выветривание территорий. Формируется аридный тип климата, а тип грунта в данном случае вторичен – пустыни бывают песчаные, глинистые, каменистые, т.е. грунты в них устойчивы к внешним воздействиям. Следует отметить, что пустыни тоже не однородны, в них встречаются места неглубокого расположения грунтовых вод, а также существует определенная череда сухих сезонов и сезонов дождей.

Многое в росте растений зависит от качества воды: пресная она или соленая и какова концентрация солей? Растения не могут расти на чистой воде, в ней обязательно должны присутствовать в определенных концентрациях неорганические соли: фосфаты, нитраты, соединения калия, т.е. те элементы, которые требуются для роста и размножения - строительства клеток. Тем не менее, живые организмы приспосабливается, ко всякому. При постоянном

наличии воды даже в аридном климате формируются лесные массивы – оазисы, а при наличии сезонов дождей преобладающими видами на такой территории будут однолетние травянистые растения и растения способные запасать влагу на длительный период.

Есть территории, на которых выживают только травянистые растения и кустарники. В России такие территории называют степи, в Северной Америке – прерии, Южной Америке – пампасы, в Австралии и Африке – саванна. Эти территории характеризуются континентальным типом климата – холодная зима и жаркое засушливое лето. В таких условиях древовидным растениям выживать очень сложно, поэтому преобладающими видами на таких территориях являются травянистые растения и низкорослые кустарники. Интересно, отметить, что по своему устройству степи похожи на тундры в приполярных областях. Субарктический и арктический климаты формируют, «аналогичные» условия, при которых выживают только мхи, лишайники, травянистые растения и низкорослые древовидные растения. Это обусловлено тем, что в тундрах в теплый период года не наблюдается недостатка влаги, но наблюдается недостаток солнечного света и тепла. Долгая холодная зима формирует снежный покров, который выступает в качестве теплоизоляционного слоя и все что находится под ним способно пережить условия суровых зим.

Избыток влаги присутствует также на заболоченных территориях. Известно, что избыток также вредит, как и недостаток, но различные породы древовидных растений способны заселять такие территории. Конечно, на болотах, невозможно вырастить строевой лес, но с целью получения биомассы и запасаания углерода с экологической точки зрения данное мероприятие оправдано, тем более и пятый класс пожарной опасности леса по породному составу не является препятствием для ЛП [51].

Есть территории, на которых лесные массивы все-таки способны сформироваться, в этом случае достаточное количество влаги на территорию поступает как с атмосферными осадками, так и грунтовыми водами. Такая

местность называется лесостепь. Жаркое засушливое лето и нестабильная обстановка с атмосферной влагой приводит к тому, что в отдельные годы наблюдается возникновение лесных пожаров. Особенности таких территорий заключаются в том, что после утраты леса/ЛК [90] восстановить ее становится практически невозможно, т.к. в ходе пожара повреждается еще и почвенный покров [91], не имеющий на данных территориях достаточную мощность, а засушливая погода и сухие ветры осуществляют ветровую эрозию. Проблемы с лесовосстановлением характерны не только для лесостепных и степных зон, но и для лесных [35,134], но в степных зонах является особенно актуальной. Примером таких «экстремальных» территорий является Поволжье, где на территориях Пензенской, Саратовской и Волгоградской областей лесостепная зона при продвижении к югу, юго-востоку превращается в степную, что является свидетельством ухудшения условий для произрастания древовидных растений, а степные пожары приводят к возникновению ЛП. Борьба с лесными пожарами на таких территориях является важной задачей [39], т.к. на лесные массивы возложены защитные функции для обеспечения ведения сельского хозяйства [49].

*Географические особенности лесостепной и степной зон.* Ярким примером территорий, сочетающей в себе два типа климата (умеренно континентальный и континентальный), а также две зоны – лесостепную и степную являются Пензенская, Ульяновская, Самарская, Саратовская и Волгоградская области. Расположенные в юго-восточной части Восточно-Европейской (Русской) равнины на территории, занимающей промежуточное положение между Средним и Нижним Поволжьем. Самарская, Саратовская и Волгоградская области с восточной стороны граничат с Республикой Казахстан, климат которой имеет континентальный характер местами аридный, а по своему характеру – типичная степная зона с полупустынными и пустынными территориями. Административные границы исследуемых территорий находятся в трех ландшафтных зонах: лесостепной, степной и



полупустынной. Характерные особенности рельефа области - равнинность и четко выраженная ступенчатость.

По территории лесостепной и степной зон Европейской части РФ расположены русла сотен рек, относящиеся к трем бассейнам: Волжскому, Донскому и бассейну Камыш-Самарских озер. Основной запас поверхностных водных ресурсов Ульяновской, Самарской и Саратовской областей приходится на р. Волгу, представляющей в настоящее время каскад крупных водохранилищ на которой расположены наиболее крупные водохранилища: Саратовское (плотина в г. Балаково, объем при НПУ – 12,87 км<sup>3</sup>) и Волгоградское (объем при НПУ – 31,45 км<sup>3</sup>). Пензенская область не имеет выхода к р. Волга, но по ее территории протекает крупный ее приток - р. Сура, По территории Волгоградской области протекает р. Дон, поэтому часть малых рек являются ее притоками. Несмотря на достаточный запас воды в исследуемых регионах, находящихся в реках и водохранилищах, распределена вода крайне неравномерно, что вызывает определенные трудности при организации противопожарного обеспечения. Особенно трудной обстоит ситуация в Левобережной части р. Волга, где присутствуют признаки засушливого климата [219]. Для примера, представлены водные ресурсы, формирующиеся в пределах Саратовской области (как границы лесостепной и степной зон), распределяются неравномерно: 65,8% речного стока приходится на бассейн р. Волги; 28,7% - р. Дона, 5,5%- бассейн Камыш-Самарских озер. Обобщенные показатели водоаккумулирующей способности озер и прудов области представлены в таблице 3.1 [33].

За последние три года из-за незначительного паводка и жаркой летней погоды в Левобережье Саратовской области пересыхают большинство прудов и водохранилищ. В общем, равнинный рельеф исследуемых территорий благоприятствует ведению сельского хозяйства и лесного хозяйства, лесоразведению, тем более, согласно международным соглашениям Российская Федерация обязана выполнять мероприятия по повышению фиксации атмосферного углерода, а лесостепная и степная зоны подходят для

этого лучше. Тем более, ведение сельского хозяйства в степных зонах немислимо без агролесомелиоративных мероприятий.

Таблица 3.1 - Показатели водоаккумулирующей способности ландшафтных районов Саратовской области

Ландшафтный район	Площадь района, км <sup>2</sup>	Аккумулированный объём воды, км <sup>3</sup>
Западный	12607	0,287
Центральный правобережный	22953	0,178
Северный правобережный	12317	0,101
Южный правобережный	9688	0,138
Центральный левобережный	13863	0,273
Северный левобережный	18763	0,343
Юго-восточный левобережный	21691	0,31
Итого Саратовская область	100200	1,630

**Климатические условия района исследований.** Протекающая по территории Саратовской области р. Волга делит территорию области на две части – Правобережье и Левобережье. По руслу р. Волга проходит граница климатических зон: Правобережье обладает признаками умеренно-континентального климата, а Левобережье – континентального. Такие климатические условия приводят к тому, что в зимний период устанавливается холодная погода (-30 ... -20 °С), а в летний – жаркая (+30 ... +40 °С). Умеренный характер континентального климата, господствующий на территории Пензенской, Ульяновской, Самарской и части Саратовской областей определяет переменчивый характер погоды. Фактически погода здесь зависит от направления ветра. Если ветер северный или северо-восточный, то в регионы приходит прохлада летом или холод зимой и наоборот. В зимнее время южные и юго-западные ветры приносят тепло и осадки в виде дождя даже в зимний период времени в январе, феврале и начале марта.

Многолетние наблюдения показывают, что относительная влажность воздуха в Правобережье и Левобережье р. Волга не падает ниже 50% даже в самые жаркие месяцы года июль, август и первую половину сентября. Тем не

менее, такие условия приводят к иссушению почвы, снижению прироста древесных растений, снижению урожайности гибели природных и сельскохозяйственных растений. Ситуацию в некоторой степени спасают близкое расположение грунтовых вод, а создание лесонасаждений на них приводит к смягчению климата, увеличению влажности воздуха из-за процессов транспирации и испарению влаги с поверхности листьев древесных растений. Лесные полосы способствуют снего- и влагозадержанию и улучшению условий для ведения сельского хозяйства.

В Саратовской области умеренно-континентальный климат обуславливает условия, при котором сумма активных температур воздуха выше  $10^{\circ}$  и составляет от  $24^{\circ}$  на севере и северо-западе до  $31^{\circ}$  на юго-востоке области. Продолжительность теплого (безморозного) периода составляет 130-165 дней. Из-за влияния направления ветра в регионе могут наблюдаться поздние весенние заморозки (первая декада июня) и самые ранние осенние заморозки (вторая-третья декада сентября). Среднегодовое количество осадков составляет от 310 до 500 мм по области. Из них в период вегетации выпадает 25-30 процентов осадков от общего количества. По данным за 2019 год 405мм осадков выпадает в год, из них 151мм выпадает в пожароопасный сезон. По уровню увлажненности на территории Саратовской области выделяются зоны с различными показателями гидротермических коэффициентов (ГТК):

- слабо засушливая с ГТК теплого периода – более 0,9;
- засушливая с ГТК теплого периода – 0,9-0,65;
- очень засушливая с ГТК теплого периода – 0,65-0,5;
- сухая с ГТК теплого периода – менее 0,5.

Данные климатические характеристики отражены в таблице 3.2, там же дана климатическая характеристика микрозон Саратовской области.

За период (2008-2020 годов) произошло некоторое потепление климата области и увеличение его засушливости в безморозный период, хотя год на год не приходится. В последние 10 лет наблюдается холодная погода в мае и

жаркая погода в сентябре. Тенденция увеличения годовой температуры воздуха продолжает сохраняться, что оказывает влияние на даты перехода температур через +5 °С и +10 °С, которые сдвинулись в более ранний период на 1-2 дня весной и в более поздний период на 1-2 дня осенью, увеличив таким образом продолжительность безморозного периода на 2-4 дня. Увеличение засушливости климата области приводит к неравномерному распределению осадков в течение года. Наблюдается увеличение доли осадков, выпадающих в холодный период года и снижение количества осадков, выпадающих в теплый период года. В весенний период часто наблюдаются резкие отклонения температурных показателей от среднемноголетних, выражающиеся в резком переходе среднесуточных температур воздуха за короткое время.

Таблица 3.2 - Климатическая характеристика микрозон Саратовской области

Показатели	Микрозона						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Годовая температура воздуха, °С	4,3-5,2	3,7-4,7	3,5-3,8	4,3-5,3	4,7-5,3	5,0-5,2	4,1-6,0
Дата перехода температуры через +5 °С	15.04	14.04	16.04	15.04	15.04	15.04	15.04
	15.10	17.10	15.10	18.10	17.10	17.10	18.10
Дата перехода температуры через +10 °С	27.04	30.04	28.04	26.04	27.04	24.04	24.04
	09.09	28.09	30.09	28.09	29.09	02.10	02.10
Продолжительность безморозного периода (дни)	140-	134-	127-	140-	145-	140-	145-
	150	165	158	162	155	150	155
Средние даты заморозков последнего первого	08.05	10.05	14.05	11.05	05.05	05.05	05.05
	23.09	22.04	21.09	23.09	30.09	30.09	25.09
Годовая сумма осадков, мм	470-500	450-480	480-500	420-450	360-380	340-360	300-360
ГТК	0,9-1,0	1,0	0,9	0,8-0,9	0,6-0,7	0,6	0,4-0,6

Природно-климатические условия в целом благоприятны для произрастания лесной растительности, но резкие отклонения погодных условий в отдельные годы от средних показателей особенно сильно сказываются на молодняках и лесных культурах. Сам климат способствует

развитию ЛП, а изменения климата еще больше способствует негативному влиянию, приводящее к увеличению числа и ущерба от ЛП.

### **3.2 Состояние лесных массивов в лесостепной и степной зонах и их предрасположенность к пожару**

Пожароопасный органический углерод запасен в лесах в виде живой и неживой (детрита) материи. Необходимо помнить, что лес/ЛК – это биоценоз, в котором осуществляется взаимодействие живых организмов между собой. Лес/ЛК обладает двумя или тремя ярусами. Под верхним ярусом, населенным самыми солнцелюбивыми растениями, располагаются средний и нижний ярусы, населенные подростом, кустарником, травянистыми растениями и т.п. Все они претерпевают вегетационные циклы, сопровождающие рост и развитие. Растительные организмы бывают однолетними и многолетними [146]. Вегетационный период однолетних растений длится одно сезон - лето, отсюда и происхождение этого названия. Многолетние растения имеют несколько вегетационных периодов. По окончании вегетационного периода однолетнее растение полностью отмирает. У многолетнего растения к концу вегетационного периода отмирает либо только наземная часть растения, либо только отдельные фрагменты наземной части. Лиственные растения более лабильны, т.к. вынуждены сбрасывать свою листву перед наступлением холодного сезона. Хвойные растения в этом отношении более стабильны, т.к. хвоя исполняет свои функции в течение 3-5 лет и сбрасывается растением постепенно [146].

В лесостепной и степной зонах Поволжья эксплуатирует леса, лесные культуры (ЛК), защитные лесные полосы (ЗЛП) различного назначения. Лесов в Саратовской области очень мало, к ним можно отнести реликтовые хвойные леса Хвалынского района, входящие в настоящее время в Национальный парк «Хвалынский». У них нет четко выраженной структуры, породного состава, возраста, т.е. засеяние территории семенами растений происходит

естественным путем, а далее в свои права вступает процесс сукцессии. В таких лесах трудно выделить преобладающую породу, размеры и возраст древовидных растений могут различаться на десятки лет.

Большая часть лесных угодий представлены лесными культурами, которые несут экологическую, защитную, рекреационную функции, а также функцию озеленения территории. Определенную роль в лесном и сельском хозяйствах регионов играют лесные полосы – лесные культуры, высаженные в виде лент, как правило вдоль (или по периметру) каких-либо природных или техногенных объектов и выполняющие различное функциональное назначение, чаще всего различные защитные функции от неблагоприятных природных и антропогенных факторов. Обустройство защитных полос имеет многократное научное подтверждение [78, 148, 94, 95, 236]. Они улучшают гидрологический режим территории и микроклимат, предотвращают развитие эрозии и дефляции, способствуют снего- и влагозадержанию, защиты от шума, способствуют осушению почвы. Лесные полосы играют важную роль в выполнении природоохранной, средообразующей, почвозащитной и рекреационной функций и т.п.

Следует иметь в виду, что далеко не всякая территория пригодна для высадки древовидных растений. Выполняемая ЛК/ЗЛП функция накладывает на применяемый для его создания породный состав растительных организмов определенные требования. Главным ограничением на создание ЛК/ЗЛН является вопрос мелиорации земель, т.е. каким образом будущие древовидные растения будут получать влагу? В этом случае существуют два варианта. Первый - растения будут существовать за счет атмосферной влаги и запасов талой воды после зимнего периода, поэтому для создания таких объектов используются наиболее устойчивые и быстрорастущие древовидные растения: береза повислая (бородавчатая), тополь, вяз, осина, ольха и т.п. Ценность таких растений заключается в них самих (их росте и развитии), а не в древесине ими формируемой, поэтому наличие малоценной древесины, в какой-то мере, спасает эти объекты от незаконных рубок. Наиболее пригодны

для этого места располагающиеся в непосредственной близости к уже существующим ЛМ, которые являются своеобразной опорой для вновь формируемого леса/лесополосы [175]. Высадка древовидных растений в таких местах обычно связана либо с лесовосстановлением либо с формированием ЗЛН. Для выполнения ими возложенных на них функций требуется закладка ЛК/ЗЛН плотной структуры. Например, плотные лесные культуры хорошо сопротивляются воздействию ветра ослабляют его в межполосном пространстве, что уменьшает потери влаги на испарение. В результате растения более продуктивно используют почвенную влагу, регулируется температура воздуха и почвы.

Во втором случае, влагу будет доставлять растениям рядом расположенный водоем (река, ручей, пруд, болото мелиоративный канал и т.п.) или наземный/подземный водопровод из-за наличия неизбежных утечек воды из него. Для реализации первого случая требуются засухоустойчивые породы древовидных растений (дуб, береза, акация и пр.), во втором случае влаголюбивые растения (ива, осина и пр.).

Следующее требование к породам для ЛК/ЗЛП это скорость роста. Чаще всего для их создания используются средне и быстрорастущие породы растений (тополь, вяз), которые за короткий срок 5-7 лет смогут начать выполнять возложенную на нее функцию. К примеру, экологические (киотские) ЛК высаживаются быстрорастущими породами деревьев с длительным сроком жизненного цикла – не менее 100 лет. В свою очередь, озеленение населенных мест осуществляется скорее исходя из эстетических и эксплуатационных соображений, чем из экологических, т.к. снабжение растительных организмов водой можно осуществить из городского водопровода. Тем не менее, и здесь скорость роста играет важную роль, так, например, территория г. Саратова засаживается тополем, вязом, каштаном.

Отдельным видом ЗЛН являются противопожарные ЗЛП [236]. На их возлагается задача остановки (или задержки) распространения ЛНП. Такие защитные барьеры имеют особое устройство. Ширина их составляет от 20 до

30 м, а для Западной Сибири как минимум 150 м, формируются они из лиственных растений (к примеру, береза повислая) средней полноты. Лиственные растения более влажные и, тем самым, менее горючие. Территория таких ЗЛП должны быть очищена от пожароопасного подлеска, подроста хвойных пород деревьев, сухостоя, кустарников, валежника, где также производится обрубка веток, сучьев по высоте до 2 м. Вызывает сомнение, что такое устройство ЗЛП действительно позволит остановить распространение ЛНП, но замедлить его – вполне возможно.

Действительно, ЛП безразличен к происхождению лесного массива, естественный он или искусственный. Ежегодно на территории области происходят десятки лесных пожаров, большая часть которых классифицируются как низовые, различной интенсивности. Таким образом вопрос о прогнозировании их возникновения, развития и возможного ущерба является актуальным.

По Саратовской области проходит граница лесостепной и степной зон, что свидетельствует об отсутствии благоприятных условий для роста и развития лесов. Кроме этого, по территории области протекает крупнейшая река Европейской части Российской Федерации – Волга. По руслу реки проходит еще одна климатическая граница, разделяющая регион на Правобережье и Левобережье. Правобережная часть характеризуется климатом близким умеренному континентальному, а Левобережье – уже имеет отношение к континентальному. В Правобережье выпадает большее количество осадков, чем в Левобережье, что обуславливает большую влажность почвы и воздуха по сравнению с Левобережьем.

Лесные угодья, к примеру, в Саратовской области представлены лесами и лесными культурами с возрастом от 35 до 100 лет. Реликтовых лесов, растущих и развивающихся под действием стихийных сил природы в Саратовской области не так много, а в Волгоградской области они отсутствуют вовсе. Любой лес или лесная культура, подвергается антропогенному воздействию, ведущему в том числе и к реализации



противопожарных мер [94,236,237, 283]. Определенную роль в этом играет лесовосстановление, а также реализация мероприятий по борьбе с парниковыми газами и потеплением климата (киотские леса).

*Лесные массивы и лесополосы Правобережной части Саратовской области.* Все перечисленное показывает, что условия для роста и развития ЛМ наиболее благоприятны именно в Правобережной части. Именно там представлены наиболее крупные ЛМ и существует больший процент облесения территории, по сравнению с Левобережьем.

Эта часть Саратовской области представлена как лесами, так и ЛК, которые существуют в виде лесопарковых зон, экологических лесов, ЗЛН и т.п. (см. рисунок 3.1-3.4). Леса/ЛК хорошо произрастают в поймах рек, например, р. Медведица (см. рисунок 3.4).

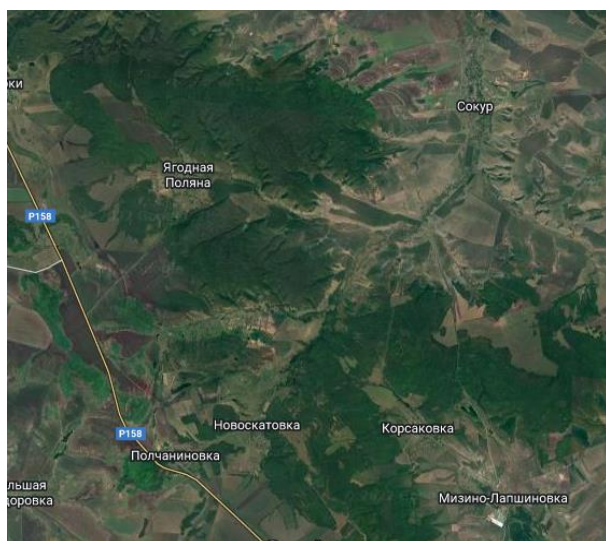


Рисунок 3.1 - Лесной массив в 30 км к северо-западу от г. Саратов

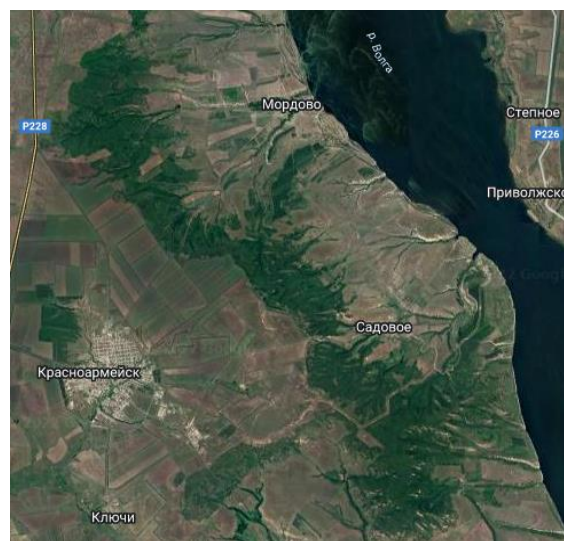


Рисунок 3.2 - Лесной массив в 7 км к северо-востоку от г. Красноармейск



Рисунок 3.3 - ЗЛН в 10 км к северу от г. Калининск

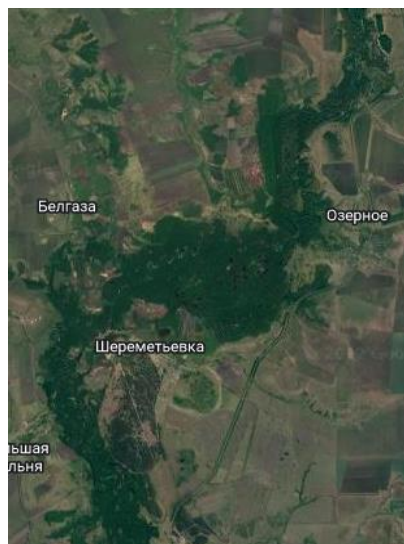


Рисунок 3.4 - Пойменная ЛК (р. Медведица) в 7 км к юго-западу от г. Аткарск

Анализ структуры лесов/ЛК показывает, что они имеют большую длину периметра, т.е. имеют вытянутую и изрезанную форму. Более внимательное рассмотрение ЛМ показывает наличие в нем многочисленных линейных структур (см. рисунок 3.5-3.6) и прогалины в ЛМ.



Рисунок 3.5 – Участки лесовосстановления в ЛМ



Рисунок 3.6 - Прогалины участки в ЛМ

Все перечисленное свидетельствует о многочисленных результатах вмешательства человека в рост и развитие ЛМ и проведенных мероприятий по обустройству ЛМ, а также неблагоприятных условиях для роста и развития лесов/ЛК. Такое устройство ЛМ показывает, что влияние ветра на распространение ЛНП в них будет велико, т.к. ветер лучше всего воздействует на кромку ЛНП на лесной опушке, лесных полянах вдоль лесных полос.

В ЛМ наблюдается разнородный состав складывающихся его пород, что выдает его искусственное происхождение. Чаще всего ЛК обустроена полосами в которых лиственные растения перемежаются с хвойными. Леса/ЛК имеют серьезную степень захламленности: бурелом, валеж, лесной опад. Последний формирует ровный сплошной напочвенный покров рыхлого строения, доступный для горения.

*Лесные массивы и лесополосы Левобережной части Саратовской области.* В данной части региона присутствуют исключительно ЛК и ЗЛП. Крупные лесные массивы отсутствуют даже в рамках регионального масштаба. Немногочисленные примеры таких ЛК представлены на рисунках 3.7-3.10.



Рисунок 3.7 - Лесной массив, расположенный в 1,1 км к северо-западу от г. Маркс Саратовской области



Рисунок 3.8 - Лесной массив, расположенный в 7,5 км к западу от г. Маркс Саратовской области

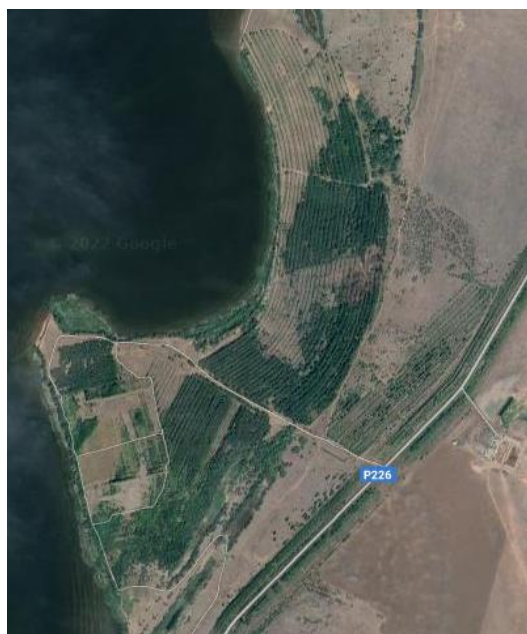


Рисунок 3.9 - ЛК на берегу р. Волга в 3 км на юг от н.п. Кочетное



Рисунок 3.10 - Пойменные ЛК около н.п. Большой Кушум, в пойме реки Большой Иртыш

Анализ показывает ярковыраженную линейную структуру – выдающую лесную культуру – искусственный ЛМ, выполняющий важную функцию. Для Левобережья - это агролесомелиоративная функция, в это случае ЗЛП предназначены для снегозадержания, увлажнения воздуха и защиты от суховея (см. рисунок 3.11).

При обустройстве ЗЛП в Левобережье наблюдается некоторый парадокс. Хвойные породы деревьев являются эволюционно более древними. Их древесина более проста в устройстве и более сухая. При этом, в засушливой

части Саратовской области лесные культуры с хвойными породами представлены в исчезающе малом количестве, в основном в местах с повышенной почвенной влажностью.



Рисунок 3.11 - Агроремомелиоративные ЗПП в Левобережной части Саратовской области

**Описание растительности района исследований.** Наилучшим местом для проведения исследований растительности является граница лесостепной и степной зон, которая находится на территории Саратовской области, где произрастает более 30 древесных и столько же кустарниковых пород:

- целевыми породами являются – дуб черешчатый (*Quercus robur L.*), сосна обыкновенная (*Pinus silvestris L.*), тополь белый (*Populus alba*), тополь черный (*Populus nigra*), ольха черная (*Alnus glutinosa (L.) Gaerth*), ветла (*Salix alba*), береза бородавчатая (*Betula verrucosa Ehrh.*);

- сопутствующими породами являются – рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia L.*), осина (*Populus tremula L.*), клен остролистный (*Acer platanoides L.*), липа мелколистная (*Tilia cordata Mill.*), груша лесная (*Pirus communis L.*), яблоня лесная (*Malus silvestris (L.) Mill*), ива козья (*Salix carea*), черемуха (*Padus racemosa (Lam.) Gilib*);

- кустарниковыми породами являются – жимолость татарская (*Lonicera tatarica L.*), бузина красная (*Sambucus racemosa L.*), калина обыкновенная (*Viburnum opulus L.*) облепиха крушиновая (*Hippophae rhamnoides*), терн

(*Prunus spinosa L.*), лещина обыкновенная (*Corylus avellana*), смородина черная (*Ribes nigrum*), шиповник (*Rosa canina L.*), вишня степная (*Cerasus fruticosa (Pall.) G.Woron*), боярышник колючий (*Crataegus ehyacantha L.*), бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosa Scor.*), крушина ломкая (*Frangula alnus Mill.*).

В лесном фонде хвойные породы произрастают на площади 79.1 тыс. га, на твердолиственные приходится 328 тыс. га, на мягколиственные – 161.4 тыс. га. Основной лесобразующей породой области является дуб, который произрастает на площади 251.6 тыс. га. Площадь насаждений сосны составляет 78.1 тыс. га, осины – 41.1 тыс. га, березы – 32.9 тыс. га, липы – 33.1 тыс. га и ивы – 29.5 тыс. га, данные отражены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Породная структура лесов на примере Саратовской области

Породы	Государственный лесной реестр на 1 января 2018 года			
	Площадь, тыс. га	доля к общей площади, %	Запас, млн м <sup>3</sup>	доля к общему запасу, %
<b>Хвойные:</b>				
Сосна	78,1	13,7	5,91	10,0
Лиственница	1,0	0,17	0,12	0,20
<b>Итого хвойных:</b>	<b>79,1</b>	<b>13,91</b>	<b>6,03</b>	<b>10,2</b>
<b>Твердолиственные:</b>				
Дуб высокоствольный	31,4	5,5	3,87	6,55
Дуб низкоствольный	220,2	38,7	25,55	43,24
<b>Итого дуба:</b>	<b>251,6</b>	<b>44,2</b>	<b>29,42</b>	<b>49,79</b>
Ясень	23,7	4,16	1,0	1,69
Клен	14,9	2,62	0,79	1,33
Вяз	36,6	6,43	1,81	3,06
Акация белая	1,2	0,21	0,04	0,06
<b>Итого</b>	<b>328</b>	<b>57,69</b>	<b>33,06</b>	<b>55,95</b>
Породы	Государственный лесной реестр на 1 января 2018 года			
	Площадь,	доля к общей	Запас, млн м <sup>3</sup>	доля к общему
<b>Мягколиственные:</b>				
Береза	32,9	5,78	3,24	5,48
Осина	41,1	7,23	5,25	8,88
Ольха черная	8,4	1,48	1,02	1,72
Липа	33,1	5,82	5,55	9,39
Тополь	16,4	2,88	2,34	3,96
Ива древовидная	29,5	5,19	2,5	4,23
<b>Итого</b>	<b>161,4</b>	<b>28,39</b>	<b>19,99</b>	<b>33,8</b>
<b>Итого основных пород:</b>	<b>568,5</b>	<b>100</b>	<b>59,08</b>	<b>100</b>

Из общей площади хвойных насаждений в Саратовской области (79,1 тыс. га) – 66,9 тыс. га (84,4 %) приходится на долю молодняков и 24,3% площади приходится на средневозрастные насаждения. Из общей площади твердолиственных насаждений на территории области – 328 тыс. га, на низкоствольные приходится 293,2 тыс. га или 89,4 %. Площадь низкоствольных дубовых насаждений в области составляет 220,2 тыс. га или 87,5 %. Средневозрастные низкоствольные дубовые насаждения являются преобладающей группой возраста, на ее долю приходится 47,9 % всей площади низкоствольных дубовых насаждений. Приспевающие, спелые и перестойные насаждения занимают 46,9 % площади дубовых низкоствольных насаждений.

Одной из задач лесного хозяйства области является формирование лесных насаждений, которые при существующих экономических условиях и особенностях лесного хозяйства следует выращивать в данных лесорастительных условиях с целью получения максимального хозяйственного эффекта.

Такие лесные насаждения являются оптимальными хозяйственно-целесообразными, целевыми, отвечающие следующим требованиям:

- состав и структура насаждений обеспечивает более полное использование потенциального плодородия почв;
- древесные породы, составляющие насаждения, являются хозяйственно-ценными и устойчивыми против неблагоприятных факторов среды;
- строение и сортиментная структура древостоев ориентированы на получение продукции, в большей степени удовлетворяющей местные потребности;
- породный состав и строение насаждений обеспечивают проявление ими в максимальной степени природоформирующих, природоохранных, защитных и других полезных свойств леса.

*Шкала природной пожарной опасности Саратовской области по породному составу.* Учитывая особенности лесов и ЛК региона была создана собственная шкала оценки пожарной опасности в лесах по породному составу  
таблица 3.4 [132].

Таблица 3.4. Шкала оценки лесных участков по степени возникновения в них пожаров в лесах Саратовской области (принята Саратовским управлением лесами 1993 г.)

Класс пожарной опасности	Объекты загорания (характерные типы леса и типы вырубок, другие категории насаждения и безлесных пространств)	Наиболее вероятные виды пожаров, условия и продолжительность периода их возможного возникновения и распространения
1	2	3
1a	Культуры сосны до 20-летнего возраста	В течение всего пожароопасного сезона возможны как низовые, так и верховые пожары на участках с наличием хвойного древостоя
I	Сосновые насаждения свыше 20-ти летнего возраста: порослевые вырубки дубрав до 20 лет, мягколиственных насаждений до 10 лет. Непокрытые лесом площади (прогалины, поляны)	
II	С1-крутосклонная боромятликовая дубрава, производный от дубравы липняка боромятликовый крутосклонный  С0-1 Остепненная дубрава	В течение всего пожароопасного сезона возможны низовые пожары
III	С1-2 боромятликовая, узкомятликовая, орляковая дубрава, производный от дубравы липняка боромятликовый Д1 - Полевокленовая дубрава Д2-3 - Волосисто-осоковая дубрава Д2-3 - Осинник волосисто-осоковый	Низовые пожары в течение всего пожароопасного сезона, а особенно в летний и осенний пожарные максимумы
	(производный от дубравы волосисто-осоковой), производный - липняк волосисто-осоковый производный - березняк волосистоосоковый Д1 - Кленово-ландышевая дубрава с терном Д2-3 - Березняк крутосклонный ложно-боромятликовый (производный от дубравы тальвежной снытевой) С1-2 - Березняк боромятликовый (производный от дубравы боромятликовой)	



1	2	3
IV	Д1-2 Снытевая, кленово-ландышевая дубрава, дубо-осинник ландышевый ДЗ - Вязо-дубняк кленово-ежевичный, ежевичный-крапивный ДЗ Осинник снытевый (производный) березняк снытевый (производный) Д1-2 - Осинник кленово-ландышевый с малиной Выгона, ремизы, сады, питомники, сенокосы, биополяны, ландшафтные поляны, каменистые россыпи, газопроводы, усадьбы, пески, поселки, крутосклоны	Низовые пожары в летний пожарный максимум
V	С3 -Пойменная осокоревая судубрава С4 - Пойменная ветло-осокоревая судубрава С5 - Ольховая судубрава Д4 - Пойменная ивово-кустарниковая дубово-ясеневая дубрава ДЗ - Пойменная дубово-вязовая дубрава Д5 - Приручьевая ольховая дубрава Пашня в ГЛФ, болота, реки, старицы, пруды, овраги, прочие земли, огороды, просеки, дороги, карьеры, п/п разрывы, прогоны для скота, границы окружные	Возникновение пожара возможно при особо неблагоприятных условиях (длительная засуха)

Примечание: пожарная опасность устанавливается на класс выше

- а) для лесных участков, примыкающих к дорогам общего пользования, железным дорогам или расположенных в непосредственной близости от огнедействующих предприятий;
- б) для участков леса (площадью не более 100 га) расположенных среди земель сельскохозяйственного пользования;
- в) при захламленности лесного выдела более 30 м<sup>3</sup> на 1 га.

Анализ природной пожарной опасности лесов и ЛК по породному составу показывает, что несмотря на низкий процент облесения территории региона (6,5%), ЛМ формируют пять классов пожарной опасности, что в совокупности с условиями погоды дают высокую пожарную опасность в регионе.

Потенциальная (природная) пожарная опасность и фактическая горимость лесов зависят от многих факторов: породного состава и состояния насаждений, типа условий их произрастания, развития транспортной сети, посещаемости лесов населением, противопожарного обустройства территории и многих других.

Наиболее опасные в пожарном отношении участки леса (I и II классы) занимают 20,1 % площади. Средневзвешенный показатель степени пожарной опасности лесов составляет 2,9. Распределение лесов на примере Саратовской области по классам пожарной опасности представлено в таблице 3.5 и на карте-схеме распределения лесов по классам пожарной опасности.

Таблица 3.5. Распределение лесов на примере Саратовской области по классам пожарной опасности (на 1 января 2018 года).

Классы пожарной опасности	Площадь, тыс. га	Процент данного класса к общей площади лесов, %
I	97,53	13,5
II	47,906	6,7
III	453,233	62,8
IV	89,072	12,3
V	34,112	4,7

Наиболее пожароопасные насаждения имеют Базарно-Карабулакское, Черкасское, Вольское, Лысогорское и Петровское лесничества (I класс пожарной опасности).

### **3.3 Влияние региональных условий на развитие лесных низовых пожаров в лесостепной и степной зонах**

Возникнув однажды ЛП, начинает свой рост и развитие, которые выражаются в его распространении в ЛМ под действием стихийных сил природы. ЛНП распространяются по слою ЛГМ в устойчивом и беглом вариантах. В зависимости от вида горящего материала лесной пожар может быть верховым и низовым. Верховой пожар выжигает кроны деревьев, как бы перескакивая с кроны на крону. Низовые пожары распространяются по нижнему ярусу леса и выжигают ЛГМ находящиеся у подножий деревьев: лесную подстилку, лесной опад, травяной надпочвенный покров, кустарники, подрост и т.п. В зависимости от степени выжигания ЛГМ низовые пожары бывают беглыми и устойчивыми: при беглом низовом пожаре горит верхняя

часть напочвенного покрова, подрост и подлесок. Такой пожар распространяется с довольно быстро (скорость более 0.5 м/мин), обходя места с повышенной влажностью, поэтому часть площади остается незатронутой огнем. Устойчивый пожар более медленный, так как развивается при низкой скорости ветра, но приводит к выгоранию всего объема ЛГМ на поверхности почвы и, нередко к повреждению самого почвенного покрова [44, 92, 100, 103, 276]. Для прогнозирования ЛП применяются различные математические модели [26, 27, 45, 302]. Проблема заключается в том, что включенные в модель скорость распространения ЛНП должна отвечать действительности, и быть адекватна условиям, складывающимся на территории объекта моделирования.

***Оценка динамики ЛНП в лесах на примере Саратовской области.*** Для выявления влияния внешних факторов на скорость распространения лесного пожара был применен следующий прием. Дело в том, что время и место возникновения лесного пожара устанавливается весьма приблизительно при расследовании причин возникновения пожара уже после его тушения. Использовать такие сведения для выявления динамики лесного пожара не представляется возможным из-за низкой точности исходных данных и неизвестного времени начала пожара. Тем не менее, есть возможность вычислить среднюю скорость распространения пожара исходя из сведений о времени обнаружения пожара ( $t_{on}$ ), площади пожара на момент обнаружения ( $S_n$ ) и времени локализации пожара, и площади пожара при завершении тушения ( $S_k$ ).

Для формулировки математической модели расчета динамики лесного низового пожара (ЛНП) применили следующие предпосылки и допущения: (1) условиях распространения ЛНП остаются неизменными как во время его свободного развития, так и во время тушения; (2) при ЛНП тушению подвергается не его площадь, а кромка лесного пожара; (3) развитие ЛНП не прекращается при начале его тушения (обратное может наблюдаться только при очень малых значениях площади ЛНП, в этом случае лесные пожарные

могут атаковать пожар по всей длине его кромки); (4) на момент начала тушения пожара длина потушенной кромки равна нулю, т.е.  $l_m=0$ ; (5) к моменту локализации пожара длина потушенной кромки равна общей длине кромки низового пожара,  $l_m=l_k$ ; (6) зная время начала и завершения тушения пожара, а также соответствующие им показатели площади и длины кромки можно определить только средние показатели скорости, а коэффициент при аргументе свидетельствует о скорости развития (тушения) кромки пожара (м/мин).

Используя все перечисленное, можно заключить, что при начале тушения кромки ЛНП ее прирост снижается ровно настолько насколько прирастает длина потушенной кромки. Это очевидно, т.к. потушенный участок кромки ЛНП уже не в состоянии участвовать в передаче пламени на следующие участки местности заполненные ЛГМ.

Приведем один из лесных низовых пожаров в качестве примера иллюстрации возможностей предложенной математической модели. 27 августа 2018 года в Саратовском районе (расположенном вблизи областного центра – г. Саратов) в лесном насаждении с преобладанием сосны по причине неосторожного обращения с огнем возник ЛНП. Пожар был обнаружен около 7.00 утра, его площадь, по предварительной оценке, составила 0,5 га. Пожар был охарактеризован как низовой, средней интенсивности. Погодные условия на момент обнаружения составили: ветер – около 1 м/с, КППО=24420. В 7.10 утра пожарные приступили к его тушению, а в 7.50 пожар был локализован (остановлен его рост и распространение). На момент локализации пожара его площадь составила 0,7 га. Пересчитав площади ЛНП в длину его кромки с учетом заявленной интенсивности (средняя) [295] получим  $l_n=323$  м, а  $l_k=386$  м. Для удобства вычисления время выразим в минутах от начала суток, т.е. 7.00 утра соответствует 420 мин и т.д.

Для наглядности нанесем полученные значения на графическую диаграмму и соединим точки, составляющие один процесс (развития пожара и

его тушения) прямыми линиями (см. Рисунок 1), для которых вычислим параметры уравнений.

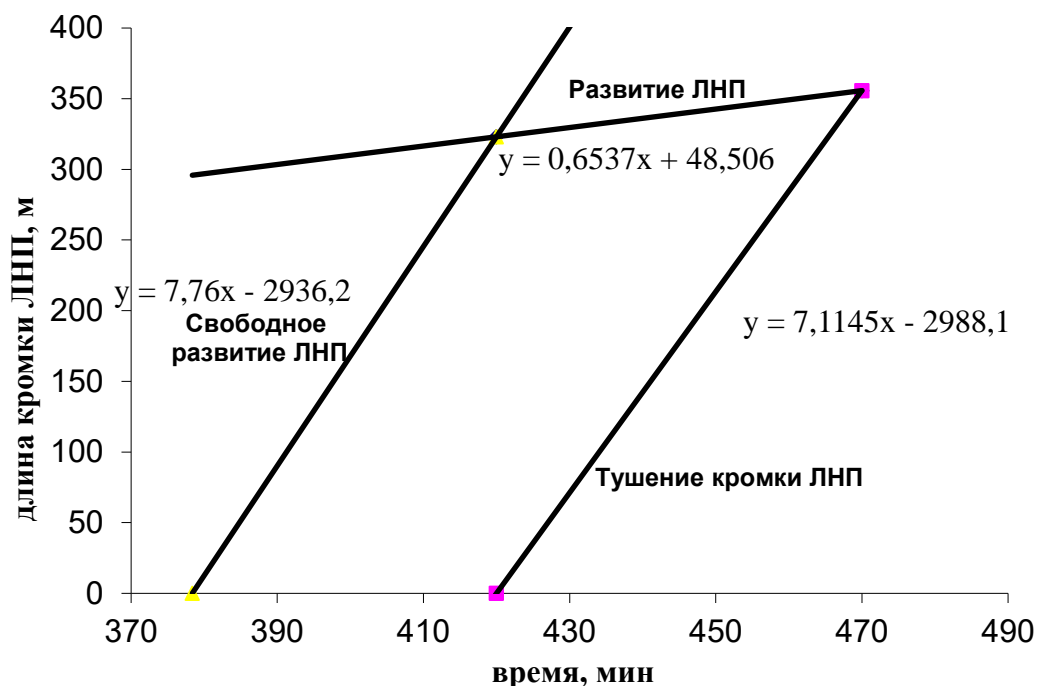


Рисунок 3.6 - Графическая зависимость развития ЛНП (ряд 1) и его тушения (ряд 2)

Использование линейных зависимостей при оценке динамики развития и тушения лесных пожаров является общепринятой практикой [210,253,295], что позволяет по известным начальным и конечным точкам вычислить скорость развития и тушения (см. рисунок 3.6). Полученные линейные уравнения вида  $y=ax+b$ , содержат важную составляющую – коэффициент  $a$  физический смысл которого, заключается в сопоставлении прироста длины кромки ЛНП к единице времени (часу, минуте и т.п.). В свою очередь величина коэффициента  $b$  особого значения не имеет, т.к. выражает невозможные величины длины кромки низового пожара, т.е. имеет отрицательные значения.

Таким образом, учитывая модельные представления необходимо сложить между собой скорость развития пожара  $a_1=V_{pn}$  и  $a_2=V_{mn}$  и получить скорость свободного развития ЛП (до начала его тушения)

$$V_{cpr} = V_{pn} + V_{mn}. \quad (3.1)$$

Анализируя, полученные применением метода наименьших квадратов уравнения можно определить, что средняя скорость прироста кромки (развития) ЛНП составляет  $V_{pn}=0,65$  м/мин, в то время как, аналогичный параметр для тушения составляет  $V_{mn}=7,11$  м/мин. Таким образом, в среднем, течении одной минуты тушения кромки ЛНП он успевает прирастать только на 1,26 м, а пожарные успевают тушить 7,72 м кромки. Спустя 50 минут длина кромки ЛНП сравнялась с длиной кромки, потушенной лесными пожарными, т.е. пожар был локализован. Исходя из этого можно заключить, что скорость развития ЛНП в отсутствие его тушения составила бы  $0,65+7,11=7,76$  м/мин. Таким образом, начальная скорость развития пожара (прирост длины кромки ЛНП) при данных условиях составит около 7,76 м/мин. Используя полученное значение можно вычислить время возникновения пожара  $323/7,76 = 42$  мин. Таким образом, ЛНП начался около 6.15-6.20 утра 27.08.2018. Если версия причины – неосторожное обращение с огнем верна, значит пожар начался из-за непотушенной сигареты или спички, выброшенной человеком в сосновом бору.

Динамика ЛНП выявлялась только на основании данных, полученных для лесных территорий с преобладанием сосны и дуба. Это сделано для того, чтобы появилась возможность сравнить скорости распространения ЛНП в аналогичных лесных массивах на территории других регионов Российской Федерации. Полученные значения динамики ЛНП были сопоставлены с данными о погоде и величиной коэффициента пожарной опасности (КППО) и данными о типе пожара и типе леса. Полученные результаты представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 - Сведения о динамике ЛНП и погодных условиях на примере Балашовского, Красноармейского и Саратовского районов Саратовской области в период 2015-2018 гг. [123]

Дата (район)	Преобладающая порода	Вид лесного пожара	$v_{лп}$ , м/мин	$v_{в}$ , м/с	КППО	Класс пожарной опасности по условиям погоды
1	2	3	4	5	6	7
Хвойные леса (сосна)						
29.04.2015(Б)	С(37)	НСЛИ, НСрИ	7,3	2,8	3120	3
10.05.2018(Б)	С(48)	Н	9,9	5,5	5666	4
11.06.2018(Б)	С(50)	Н	5,3	1,4	7902	4
12.06.2018(Б)	С(80)	НСрИ	10,8	2,1	8315	4
13.06.2018(Б)	С(80)	НВыИ	8,4	2,1	8394	4
26.08.2015(К)	С(35)	НВ	4,7	2,1 (15)	12713	5
19.09.2015(С)	С	НСрИ	4,6	4,0 (20)	15771	5
11.04.2016(Б)	С(50-60)	НСрИ	15,0	3,8	1526	3
23.08.2017(Б)	С	НВыИ	1,1	2,7 (10)	15196	5
07.09.2018(Б)	С(40)	НСрИ	12,9	2,0	26068	5
16.09.2018(Б)	С30	НСрИ	8,2	2,8	31337	5
27.08.2018(С)	С35	НСрИ	7,8	1	24420	5
Лиственные леса (дуб)						
02.07.2015(К)	Д76	НСрИ	16,0	3,3 (15)	7000	4
02.07.2015(К)	Д96	НСрИ	43,2	3,3 (15)	7000	4
07.08.2015(К)	Д65-96	НСЛИ	3,1	2,3	12382	5
09.08.2015(К)	Д40	НСрИ	14,3	8	13264	5
09.08.2015(К)	Д40	НСрИ	7,1	8	13264	5
13.08.2015(К)	Д90	НСрИ	6,4	8 (20)	15478	5
14.08.2015(К)	Д90	НСрИ	18,4	6 (20)	16737	5
14.08.2015(К)	Д70	НСрИ	14,3	6 (20)	16737	5
14.08.2015(К)	Д80	НСрИ	26,5	6 (20)	16737	5

1	2	3	4	5	6	7
15.08.2015(К)	Д82	НСрИ	26,2	4 (20)	14993	5
15.08.2015(К)	Д60	НСрИ	61,1	4 (20)	14993	5
15.08.2015(К)	Д60	НСрИ	16,6	4 (20)	14993	5
14.10.2015(К)	Д50-70	НСЛИ,НБ	4,7	6	132	1
19.09.2015(С)	Д	НСрИ	16,2	4 (20)	15484	5
19.09.2015(С)	Д	НСрИ	16,5	4 (20)	15484	5
22.09.2015(С)	Д	НВыИ	18,8	2 (8)	17961	5
23.09.2015(С)	Д60	НВыИ	5,1	2	18833	5
24.08.2016(К)	Д88-98	НСиИ	1,2	3 (20)	17477	5
26.08.2016(К)	Д80	НСрИ	2,6	2 (10)	18390	5
21.09.2017(С)	Д70	Н	12,8	2 (15)	12985	5
30.04.2018(С)	Д40	Н	110,6	3	587	2
14.08.2018(К)	Д80	НСрИ	1,1	2 (10)	7877	4
11.09.2018(К)	Д80-100	НВыИ	23,8	3 (15)	22592	5
03.09.2018(С)	Д60	НСрИ	6,1	2	28425	5

Примечание: Н – низовой ЛП; НБ – низовой беглый, НВ – низовой, верховой, НСЛИ – низовой слабой интенсивности НСрИ - низовой средней интенсивности, НСиИ - низовой сильной интенсивности; КППО – комплексный показатель пожарной опасности, рассчитанный по влажности напочвенного покрова; Д(возраст) - дуб, С(возраст) – сосна

Анализ представленных данных показывает, во-первых, неравномерность возникновения лесных пожаров в исследуемых районах, как по месту, так и по времени их возникновения. При современном лесоустройстве и профилактических мероприятиях возникновение лесного пожара является скорее исключением, чем правилом. Тем не менее, удивительным является то, что в исследуемый период наблюдается рост числа лесных пожаров, а также прослеживаются возрастающее число случаев намеренных поджогов лесных массивов. Во-вторых, лесные пожары в Балашовском районе происходят как в первый (апрель-май), так и во второй (июнь-сентябрь) пожароопасные периоды (ПОП). При этом лесные пожары в Красноармейском и Саратовском районах происходят в основном во второй пожароопасный период (июнь-сентябрь).



Это не удивительно, т.к. хвойные растения являются (или считаются) эволюционно более древними, то устройство их тканей является более простым, а также их древесина и хвоя меньше содержит влаги и при прочих равных условиях быстрее высыхает, древесина и хвоя хвойных растений содержат большое количество эфирных масел, являющихся легко воспламеняющимися горючими веществами. Лиственные леса населяют более влажные территории, поэтому в первую половину пожароопасного сезона ЛГМ еще не готовы к формированию ЛНП необходимой интенсивности. Лиственные леса предпочитают более влажные местообитания, в первой половине пожароопасного сезона здесь ещё не складываются условия для возникновения низовых пожаров средней и высокой интенсивности. Этот «барьер» для указанных лесных территорий снимается только во второй половине пожароопасного сезона. Пожары в октябре на территории исследуемых районов наблюдаются крайне редко и связаны с локальным установлением засушливых условий в осенний период.

Анализ представленных в таблице 3.7 результатов показывает, что однозначную картину влияния внешних условий на динамику ЛНП выявить трудно, тем не менее, в среднем, в сосновых лесах скорость распространения ЛНП выше, чем в лесных массивах, с преобладанием дуба. Наблюдаемые единичные случаи нарушения данной тенденции просто являются суперпозицией условий, в которых развивается и распространяется ЛНП. Это подтверждается тем, что дубовые лесонасаждения преобладают в Красноармейском и Саратовском районах, а пожары в них наблюдаются во второй половине пожароопасного сезона. Высокую скорость распространения ЛНП можно объяснить устройством слоя ЛГМ в лиственных лесах, который более рыхлый и менее компактный в сравнении со слоем опавшей хвои. Кроме этого, нижний ярус дубовых лесов более населен травянистыми растениями, что увеличивает массу ЛГМ на единице площади лесной поверхности, а при установлении засушливой погоды сгорание травянистых растений происходит в том же режиме, что и горение детрита.

В целом скорость ветра приводит к увеличению скорости развития ЛНП при сравнимых величинах КППО. Известно, что влияние ветра на развитие ЛНП как раз и наблюдается исключительно на границе лесного массива (опушке). Дело в том, что лесные массивы в Саратовской области обладают особым устройством, т.е. не имеют большой протяженности и обладают значительным периметром. Погодные условия, формирующиеся в Саратовской области, нередко приводят к тому, что наблюдается локальное усиление ветра до 15-20 м/с. Тем не менее это, не всегда переводит лесной пожар из низового режима в верховой. В указанный период в исследуемых районах наблюдалось всего несколько таких случаев.

Комплексный показатель пожарной опасности, определенный по влажности напочвенного покрова, оказывает большее влияние на скорость распространения ЛНП. При низких значениях КППО, даже с увеличением скорости ветра динамика ЛНП снижается. Рост скорости развития ЛНП с увеличением КППО наблюдается как в лиственных, так и в хвойных лесах, что закономерно, т.к. более сухие ЛГМ горят с выделением большего количества тепла, что способствует поджогу все новых и новых порций ЛГМ. Таким образом, можно провести сравнение классов пожарной опасности лесов севера и юга Европейской части Российской Федерации по породному составу и погодным условиям (таблица 3.8).

Таблица 3.8 - Сравнение классов пожарной опасности лесов севера и юга Европейской части Российской Федерации

Тип Европейской части РФ	Класс ПО по породному составу	Класс ПО по условиям погоды
Лесная зона	I-V	II-IV
Лесостепная и степная зоны	I-III	I-V

Данные, представленные в таблице 3.8. показывают, что леса севера имеют пять классов пожарной опасности против трех классов, представленных в Саратовской области. В противоположность этому погодные условия

Саратовской области способствуют возникновению ЛП при пяти классах пожарной опасности в то время, как на севере Европейской части РФ ЛП происходят только при II-IV классах.

Возникнув однажды ЛП, начинает развиваться и распространяться. Под развитием ЛП понимается возможный рост его интенсивности по мере вовлечения в горение все новых и новых порций ЛГМ. Под распространением ЛП понимается движение его фронта, флангов и тыла (для ЛНП - кромки) по территории ЛМ, а также другого объекта природного ландшафта или по слою ЛГМ в случае ЛНП. Развитие и распространение ЛП некоторым образом взаимосвязаны, тем не менее, как развитие, так и распространение имеют предельные значения, преодолеть которые не позволяют природные условия. Для планирования мероприятий по предупреждению и тушению ЛП необходимо знать примерные величины скоростей их развития, при определенных погодных условиях и значениях КППО. Такие значения представлены в справочниках [210,253,295], однако, эти значения определены для таких типов лесов, которые не характерны ни для Поволжья, ни для юга Европейской части Российской Федерации. Поэтому необходимо проведение исследования для выявления скоростей распространения ЛП на территории лесостепной и степной зонах Саратовской области.

В качестве объектов исследования были выбраны наиболее богатые лесными массивами районы Саратовской области: Балашовский, Красноармейский и Саратовский, расположенные на наиболее богатой лесами Правобережной части (на правом берегу р. Волга).

Так как, лесные массивы в Саратовской области преимущественно имеют искусственное происхождение, то исследуемые территории заселены такими типами древовидных растений, для которых наиболее благоприятны условия произрастания. В исследуемых лесных массивах Красноармейского района преобладает дуб черешчатый, в лесах Балашовского и Саратовского районов – сосна обыкновенная. Для проведения сравнительных исследований были выбраны аналогичные типы лесных массивов: сосняки и дубняки,

которые формируют аналогичные напочвенные покровы – лесные горючие материалы (ЛГМ). Кроме этого, в некоторой мере, совпадает влияние погодных условий на тип лесного низового пожара: устойчивый и беглый. Беглые пожары в регионе происходят весной – в первую половину пожароопасного периода (апрель-май), а устойчивые низовые пожары происходят во второй половине (июль-сентябрь).

Согласно справочным данным [295], развитие лесного пожара (скорость распространения кромки лесного пожара) при II классе пожарной опасности леса и II классе пожарной опасности по условиям погоды в сосняках по фронту, флагу и тылу составляет 20-60, 10 и 5 м/ч, соответственно, а при III классе пожарной опасности по условиям погоды аналогичные параметры составляют 20-140, 10-30 и 10-15 м/ч. В лиственных лесах, заселенных дубами скорость распространения кромки лесного пожара составляет при II классе пожарной опасности леса и II классе пожарной опасности по условиям погоды в сосняках по фронту, флагу и тылу составляет 20-60, 10 и 5 м/ч, соответственно, а при III классе пожарной опасности по условиям погоды аналогичные параметры составляют 20-140, 10-30 и 10-15 м/ч. При этом минимальные скорости распространения пожара наблюдаются при скоростях ветра до 2 м/с, а максимальные при скорости выше 4-6 м/с.

Для выявления динамики распространения лесного низового пожара в лиственных и хвойных лесах были выбраны примеры лесных пожаров произошедшие Балашовском, Красноармейском и Саратовском районах Саратовской области в период 2015-2018 гг. К факторам, наиболее серьезно влияющим на распространение лесных пожаров, относятся скорость ветра и соотношение температуры и влажности ЛГМ – выраженные в комплексном показателе пожарной опасности.

Анализ представленной в таблице 3.7 информации показывает, что абсолютное большинство лесных пожаров относятся к низовому типу, средней интенсивности как в лиственных лесах (дуб, 40-100 лет), так и в хвойных лесах (сосна, 35-80 лет). Согласно [38] лесные низовые пожары (ЛНП) по своей

интенсивности различаются на: слабый (скорость не превышает 1 м/мин, высота до 0,5 м); средний (скорость от 1 м/мин до 3 м/мин, высота до 1,5 м); сильный (скорость более 3 м/мин, высота больше 1,5 м). Однако отдельные ЛНП классифицируемые как высокоинтенсивные имеют скорость распространения ниже, чем пожары средней и слабой интенсивности. Тем не менее, анализ погодных условий показывает, что интенсивность пожара определяется работниками лесного хозяйства весьма приблизительно.

Отмечается, что распространение ЛНП в хвойных лесных массивах с преобладающей породой – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris L., 1753*) наблюдается при III, IV и V классах пожарной опасности, в то время как для лиственных лесов с преобладающей породой – дуб черешчатый (*Quercus robur L., 1753*) пожары распространяются преимущественно при IV и V классах. Отдельные примеры возникновения ЛНП при более низких классах пожарной опасности в лиственных лесах общую картину существенно не изменяют. Для сравнения согласно справочнику [295] пожары в хвойных и лиственных лесах реализуются при II-IV классах пожарной опасности.

Природные и погодные условия складывающиеся на севере Европейской части Российской Федерации, согласно [295] позволяют развиваться ЛНП в лесных массивах заселенных соснами со скоростью 45-85 м/ч при II классе пожарной опасности по условиям погоды, в при III, IV классах скорость распространения находится в пределах 50-220 метров кромки ЛНП в час. Сравнимые величины дает прогноз на развитие пожара в лиственных лесах, заселенных дубом 55-85 м/ч при II классе и 85-220 м/ч при III,IV классах.

Была проведена оценка скорости распространения ЛНП в хвойных (*Pinus sylvestris L., 1753*) и лиственных (*Quercus robur L., 1753*) лесах. Результаты такой оценки представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 - Результаты оценки скоростей распространения ЛНП на примере сосновых (*Pinus sylvestris* L., 1753) и дубовых (*Quercus robur* L., 1753) лесных массивов Саратовской области Балашовского, Красноармейского и Саратовского районов

Класс ПО УП	Преобладающая порода	Класс ПО типов леса	$V_{лп}$ , м/ч
III	Сосна	I	4-900
IV	Сосна	I	320-650
V	Сосна	I	70-780
IV	Дуб	II,III	70-2600
V	Дуб	II,III	70-3700

Анализ полученных результатов показывает, что динамика ЛНП в Саратовской области в хвойных и лиственных лесах находится в более широком диапазоне, чем это характерно для лесов севера Европейской части России. В регионе скорость развития ЛНП в хвойных лесах (сосна) 2-4 раза выше, чем указано в [295], а в лиственных лесах (дуб) это превышение может достигать 12 раз (2600 против 220). Интересно отметить, что в сосновых лесах класс пожарной опасности по условиям погоды не оказывает серьезного влияния на скорость распространения пожара, т.к. средним диапазоном скоростей является 100-700 м/ч. В лиственных лесах различие в динамике ЛНП наблюдается более отчетливо. Так для V класса скорость распространения кромки возрастает до 3500 м/ч, когда как для IV скорость составляет 2500 м/ч. Нижний предел наблюдаемых скоростей, по-видимому, находится в пределах 70-100 м/ч.

Проанализировав все вышеперечисленное, можно заключить, что скорости развития ЛНП в Саратовской области должны прогнозироваться согласно следующим исходным данным (см. таблицу 3.10).

Таблица 3.10 - Примерные показатели развития и распространения ЛНП в лесах/ЛК Саратовской области различных типов леса в зависимости от классов пожарной опасности по условиям погоды

Типы лесов (Класс ПО)	Вид пожара (Класс ПО УП)	Скорость распространения тактических элементов (в числителе - пределы, в знаменателе – средняя скорость), м/ч			Примечание
		фронт	фланги	тыл	
Сосняки (I)	Низовой (I-II)	10...1400 750	100...250 175	50...100 75	Минимальные скорости распро- странения низовых пожаров при ветре до 1 м/с, максимальные - при ветре от 6 м/с и более
	Низовой (III-V)	300...3000 1800	100...250 175	50...100 75	
Дубняки (II и III)	Низовой (I-II)	75...150 120	75...100 90	25...75 60	Минимальные скорости распро- странения низовых пожаров при ветре до 1 м/с, максимальные - при ветре от 6 м/с и более
	Низовой (III-V)	150...600 375	100...200 150	5...75 60	

Используя данные, представленные в таблице 3.10 можно рассчитать скорость развития ЛНП в природных и погодных условиях Саратовской области при проведении прогнозирования лесопожарной обстановки.

### **3.4 Противопожарные мероприятия в лесах, лесных культурах и их эффективность**

Мероприятия по предотвращению ЛП нельзя рассматривать отдельно от анализа причин их возникновения, а препятствование распространению ЛП отдельно от факторов их распространения. Таким образом невозможно ни организовать мероприятия по противодействию ЛП ни повысить их эффективность, если не знать откуда пожар появляется и куда будет

распространяться. Эффективность мероприятий оценивается в стоимостных величинах из соотношения затрат на реализацию защитного мероприятия к возможным затратам на компенсацию ущерба. Выразить эффективность мероприятий можно и в вероятностных величинах по снижению вероятности возникновения ЛП до величин менее одного ЛП в год и менее, а также ущерба от ЛП не превышающего годовой бюджет запланированный на лесовосстановление.

***Ограничение доступа и деятельности в лесах/ЛК.*** Наиболее эффективным способом борьбы с лесными пожарами является недопущения воздействия источников тепла на ЛГМ. В 97% случаев ими являются неосторожное обращение с огнем, потеря контроля за горением при проведении огневых работ в целях лесохозяйственной и сельскохозяйственной деятельности, умышленные поджоги и т.п. К реализации этого мероприятия подходят следующим образом. Основным опорным параметром оценки лесопожарной обстановки является комплексный показатель пожарной опасности – КППО (по Нестерову) [218]. При достижении значений КППО критических значений, условиям в лесах присваивают определенный класс с I по V и согласно им реализуют набор противопожарных мероприятий. Анализ литературы показывает [210,253,295], что лесные пожары возникают начиная со II класса лесопожарной обстановки. В лесостепной и степной зоне испарение влаги с почвы более интенсивное, поэтому пожары могут возникнуть и при I классе пожарной опасности. Тенденцией последних 10 лет является введение особого противопожарного режима в регионах уже с середины апреля. В Саратовской области он введен с 21 апреля 2022. Информация из СМИ показывает, что в Сибири в апреле 2022 года также начались лесные пожары. После схода снежного покрова ЛГМ находятся под воздействием солнечной радиации и довольно быстро (10 дней) высыхают и способны гореть самостоятельно [145].

***Противопожарное обустройство лесов/ЛК.*** Подготовка лесного массива осуществляется исходя из предположения, что пожар в нем все-таки



возникнет. Поэтому для уменьшения ущерба ЛМ делят на участки, окруженные противопожарными разрывами и минерализованными полосами. Размеры подобных противопожарных преград должны надежно предотвращать переброску пламени с одного участка ЛМ на другой. Для этого, противопожарные разрывы строят шириной не менее 20 м, минерализованные полосы строят шириной от 1 до 9 м [217]. Финансирование лесной отрасли осуществляется в недостаточном объеме, поэтому не в полном объеме выполняются противопожарные мероприятия в лесах/ЛМ. Поэтому, лесные пожары наносят в последние годы значительный ущерб. Кроме этого, существуют документальные свидетельства, что минерализованные полосы с наиболее часто используемой шириной 1,4 м не является преградой для ЛНП [50].

Отдельным видом противопожарных преград является противопожарные лесные полосы. Их применяют для снижения пожарной опасности хвойных лесов. Полосы засаживают лиственными породами деревьев (береза повислая) и занимаются очисткой территории от ЛГМ: лесного опада, валежа, кустарника, подроста.

***Очистка леса от ЛГМ.*** Во всех лесных массивах постоянно происходят процессы, приводящие к накоплению ЛГМ. Для препятствования этому процессу необходимо проводить очистку территорий от него. Из леса необходимо удалять и сжигать сухостой, бурелом, валеж, подрост, кустарник, проводить рубки ухода, санитарные рубки и т.п. Борьба с захламленностью леса является важной составляющей противопожарной защиты, но не смотря на прилагаемые усилия, скорость накопления ЛГМ в лесах все же превышает скорость очистки лесов от них.

***Обустройство противопожарных водоемов.*** Для обеспечения мероприятий по тушению пожара необходимо предусматривать пополнение запасов воды, расходуемой на тушение. Для этого в низинах, оврагах - куда осуществляется поверхностный сток воды обустраивают плотины, постепенно происходит формирование водоема. Требований к противопожарным

водоемам три: наличие достаточного количества воды даже при засушливых условиях, наличие оборудованного подъезда к воде для ее закачки в АЦЛ и наличие проезда к водоему для доставки средств.

### **3.5 Тушение и локализации лесных низовых пожаров в лесах, лесных культурах лесостепной и степной зонах**

Последним этапом защиты лесов от пожаров является тушение их очагов. Тушение лесного пожара ничем не отличается от других опасных видов работ, осуществляемых человеком. Это комплексное мероприятие, выполняемое преимущественно ручными средствами, но допускающим, в отдельных случаях, механизацию процессов: (валки деревьев и подачи огнетушащих составов в зону горения. Последние могут быть поданы с помощью насоса или сброшены с самолета или вертолета. Тушение низового пожара наиболее эффективно с применением наземных пожарных сервисов, в то время как непосредственное воздействие огнетушащими средствами на зону горения при верховом пожаре возможно только сбросом воды с воздушного судна (пожарного самолета или вертолета).

Анализ информации о лесных пожарах в России за последние 10 лет показывает, что их абсолютное большинство относится к низовым пожарам, разной интенсивности. В принципе, любой пожар начинается как низовой, который позже при определенных условиях превращается в верховой. Саратовская область относится к регионам с длительным пожароопасным сезоном (6-7 месяцев). Большая часть обнаруженных лесных пожаров относятся к низовым, а их тушение осуществляется силами лесхозов, лесничеств, волонтеров и сотрудников Противопожарной службы МЧС России. Эффективность тушения лесных пожаров заключается в способности группировки сил и средств, привлеченных к тушению ЛП, ликвидировать их в разумные сроки [297].

### *Эффективность тушения лесных пожаров в Саратовской области.*

Согласно Лесному кодексу [266] тушение лесных пожаров осуществляется силами и средствами организации, осуществляющими эксплуатацию леса - лесхоза. При недостаточности сил и средств их привлекают из лесничеств, населенных пунктов/КФХ, а также запрашивают помощь штатных сил и средств МЧС. Эффективность применения сил и средств при тушении лесных пожаров определяется скоростью тушения кромки низового пожара. Эффективность в данном случае подразумевает достаточность привлеченных к тушению пожара сил и средств, которые способны в разумное время осуществить тушение. Тушение лесного пожара та же работа, требующая затрат человеческих, временных, материальных и финансовых ресурсов. Каждый задействованный элемент сил и средств обладает своей производительностью по тушению определенной длины кромки низового пожара (м/ч). Эффективность применения сил и средств зависит от возможностей группировки потушить пожар в сложившихся условиях за разумное время. Обратной стороной привлечения сил и средств к тушению пожара является их избыточная их численность. В этом случае часть сил и средств простаивает, т.к. для нее нет места применения.

Для выявления взаимосвязи количественных характеристик группировок сил и средств на скорость тушения и время тушения были собраны и обработаны протоколы тушения лесных пожаров за 2015-2018 годы. Обработке подверглись пожары (36 ед.), произошедшие в лесах Правобережной части Саратовской области (Балашовский, Красноармейский и Саратовский районы): 12 пожаров произошли в хвойных (сосна обыкновенная) лесах и 24 пожара – в лиственных (дуб черешчатый) лесах пород деревьев. Возраст деревьев варьировался от 35 до 100 лет. Все пожары относились к низовым, различной интенсивности. Более половины (22 ед. или 62%) пожаров возникли днем, 10 пожаров (28%) обнаружены в утренние часы, 2 пожара (5%) обнаружены в вечернее время и 2 пожара (5%) обнаружены ночью. Такое распределение явно показывает искусственное

происхождение пожара: неосторожное обращение с огнем или поджоги. В большинстве случаев (75%) лесные пожары были потушены сотрудниками лесхозов и лесничеств, в 16% случаев потребовалось привлечение волонтеров (местных жителей и фермеров) и в 9% случаев требовалась дополнительная помощь штатных сотрудников Противопожарной службы МЧС России по Саратовской области. Краткая информация о лесных пожарах, а также силах, привлеченных для их тушения представлена в таблице 3.11.

Таблица 3.11 - Данные о лесных пожарах, а также привлеченных силах и средствах к их тушению за 2015-2018 годы на примере районов Правобережья Саратовской области

Дата	Тип леса	Вид пожара	Время тушения, мин / Скорость тушения, м/мин	ЛХ	ЛН	Волонтеры	МЧС
1	2	3	4	5	6	7	8
Преобладающая порода - <i>Pinus sylvestris</i> L., 1753							
29.04.2015(Б)	С(37)	НСЛИ, НСрИ	150 / 2,35	6	-	-	20
10.05.2018(Б)	С(48)	Н	60 / 5,92	5	5	-	-
11.06.2018(Б)	С(50)	Н	75 / 4,71	6	2	-	-
12.06.2018(Б)	С(80)	НСрИ	60 / 5,93	7	2	10	-
13.06.2018(Б)	С(80)	НВыИ	100 / 3,64	6	2	-	-
26.08.2015(К)	С(35)	НВ	365 / 0,97	10	-	-	6
19.09.2015(С)	С	НСрИ	65 / 5,47	5	-	-	-
11.04.2016(Б)	С(50-60)	НСрИ	30 / 11,86	3	-	-	-
23.08.2017(Б)	С	НВыИ	415 / 0,86	12	-	-	-
07.09.2018(Б)	С(40)	НСрИ	50 / 7,11	10	2	-	-
16.09.2018(Б)	С30	НСрИ	76 / 4,68	6	3	-	-
27.08.2018(С)	С35	НСрИ	40 / 8,89	8	-	-	-
Преобладающая порода - <i>Quercus robur</i> L., 1753							
02.07.2015(К)	Д76	НСрИ	150 / 2,37	7	-	-	7
02.07.2015(К)	Д96	НСрИ	60 / 5,93	7	-	-	-
07.08.2015(К)	Д65-96	НСЛИ	90 / 3,95	9	2	-	3
09.08.2015(К)	Д40	НСрИ	150 / 2,37	9	-	10	6
09.08.2015(К)	Д40	НСрИ	280 / 1,27	9	-	10	6
13.08.2015(К)	Д90	НСрИ	470 / 0,75	15	-	11	-
14.08.2015(К)	Д90	НСрИ	180 / 1,97	15	-	-	-
14.08.2015(К)	Д70	НСрИ	250 / 1,42	15	-	-	-
14.08.2015(К)	Д80	НСрИ	150 / 2,37	6	-	6	3
15.08.2015(К)	Д82	НСрИ	160 / 2,22	12	-	7	-
15.08.2015(К)	Д60	НСрИ	300 / 1,19	9	3	-	-
15.08.2015(К)	Д60	НСрИ	210 / 1,69	12	-	-	-
14.10.2015(К)	Д50-70	НСЛИ,НВ	248 / 1,43	13	-	2	-
19.09.2015(С)	Д	НСрИ	115 / 3,09	5	-	-	-
19.09.2015(С)	Д	НСрИ	300 / 3,95	5	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8
22.09.2015(С)	Д	НВыИ	85 / 4,19	5	5	42	-
23.09.2015(С)	Д60	НВыИ	310 / 1,15	4	4	28	-
24.08.2016(К)	Д88-98	НСиИ	410 / 0,87	12	-	20	-
26.08.2016(К)	Д80	НСрИ	365 / 0,97	10	-	10	-
21.09.2017(С)	Д70	Н	90 / 3,95	10	10	-	-
30.04.2018(С)	Д40	Н	15 / 23,72	5	-	-	-
14.08.2018(К)	Д80	НСрИ	180 / 1,97	6	3	6	-
11.09.2018(К)	Д80-100	НВыИ	35 / 0,81	20	4	7	-
03.09.2018(С)	Д60	НСрИ	130 / 2,74	8	2	-	-

Примечание: Н – низовой ЛП; НБ – низовой беглый, НВ – низовой, верховой, НСЛИ – низовой слабой интенсивности НСрИ - низовой средней интенсивности, НВыИ - низовой высокой интенсивности; Д - дуб, С – сосна.

Анализ полученной информации о тушении низовых пожаров в хвойных и лиственных лесах показывает следующее распределение пожаров по скоростям тушения: 1-3 м/мин (20 пожаров - 55%), 3-10 м/мин (14 пожаров - 38%) и >11 м/мин (2 пожара – 7 %). При этом скорость тушения кромки низовых пожаров в хвойных лесах в среднем 4,0 м/мин, а в лиственных – 2,28 м/мин, что, возможно, связано с наличием подроста (кустарников) в лиственных лесах, затрудняющих перемещение лесных пожарных, снижая качество тушения кромки низового пожара. При обработке данных о тушении пожара обнаружены некоторые «курьезы», так, например, тушение пожара произошедшего 30.04.2018 в Саратовском районе (см. таблицу 3.11) было организовано таким образом, что силами 5 пожарных удалость локализовать низовой пожар со скоростью тушения кромки – 23 м/мин. Причем данное значение скорости тушения является единственным и резко отличается даже от ближайшего значения – 12 м/мин зафиксированного при ЛП в Балашовском районе Саратовской области, произошедшем 11 апреля 2016 г. Это свидетельствует не о мастерстве пожарных, а скорее об ошибке, допущенной при оформлении протокола тушения пожара. Абсолютное большинство (55%) пожаров было потушено со скоростью до 3 м/мин, что является вполне реальным, если учесть тот факт, что лесные массивы в Правобережной части Саратовской области располагаются на склонах холмов, лиственные деревья населяют более влажные низины и овраги, в лесах особенно лиственных

довольно много кустарников, подроста, бурелома, валежа, опада затрудняющих перемещение людей и техники к кромке ЛНП и вдоль нее.

Одним из критериев создания группировки сил и средств тушения ЛП является эффективность ее действий. Для оценки численности людей и техники, которые будут задействованы в тушении лесного пожара создаются специальные справочники [210,253,295], в которых указываются примерные скорости тушения с применением сил и средств. Такие данные обычно получают на основании статистической обработки данных о привлечении сил и средств к тушению лесного пожара за длительный период времени 10-20 лет. Тем не менее, тушение лесных пожаров будет в значительной степени зависеть от условий возникновения и развития ЛП, а также от типа ЛМ и характера местности. Для выявления эффективности действий лесных пожарных при тушении ЛНП была проанализирована информация, представленная в протоколах обнаружения и тушения ЛП за 2015-2018 гг, определено время тушения кромки ЛНП, рассчитаны скорости тушения, а также с помощью [210,253,295] оценена производительность группировки, привлеченной к тушению лесных пожаров. Краткая информация о лесных пожарах, а также силах, привлеченных для их тушения представлена в таблице 3.12.

Таблица 3.12 - Данные о лесных пожарах в Саратовской области за 2015-2018 годы, а также реальная и расчетная производительности группировок сил и средств, привлеченных к тушению

Дата	Тип леса	Вид пожара	Данные протоколов тушения ЛП		Производительность группировки тушения ЛП	
			$t_{\text{тлп}}$ , МИН	$V^{\text{П}}_{\text{тлп}}$ , М/МИН	$V^{\text{Р}}_{\text{тлп}}$ , М/МИН	$V^{\text{П}}_{\text{тлп}} / V^{\text{Р}}_{\text{тлп}}$
1	2	3	4	5	6	7
Преобладающая порода - <i>Pinus sylvestris</i> L., 1753						
29.04.2015(Б)	С(37)	НСлИ, НСрИ	150	2,35 <sup>МЧС</sup>	53,00	24,7
10.05.2018(Б)	С(48)	Н	60	5,92	5,00	0,8

1	2	3	4	5	6	7
11.06.2018(Б)	С(50)	Н	75	4,71	19,67	4,2
12.06.2018(Б)	С(80)	НСрИ	60	5,93	16,33	2,8
13.06.2018(Б)	С(80)	НВыИ	100	3,64	10,83	3,0
26.08.2015(К)	С(35)	НВ	365	0,97 <sup>МЧС</sup>	35,83	36,9
19.09.2015(С)	С	НСрИ	65	5,47	14,33	2,6
11.04.2016(Б)	С(50-60)	НСрИ	30	11,86	11,33	1,0
23.08.2017(Б)	С	НВыИ	415	0,86	4,50	5,2
07.09.2018(Б)	С(40)	НСрИ	50	7,11	13,33	1,9
16.09.2018(Б)	С30	НСрИ	76	4,68	11,33	2,4
27.08.2018(С)	С35	НСрИ	40	8,89	11,33	1,3
Преобладающая порода - <i>Quercus robur L., 1753</i>						
02.07.2015(К)	Д76	НСрИ	150	2,37 <sup>МЧС</sup>	28,50	12,0
02.07.2015(К)	Д96	НСрИ	60	5,93	28,50	4,8
07.08.2015(К)	Д65-96	НСЛИ	90	3,95 <sup>МЧС</sup>	20,67	5,2
09.08.2015(К)	Д40	НСрИ	150	2,37 <sup>МЧС</sup>	39,33	16,6
09.08.2015(К)	Д40	НСрИ	280	1,27 <sup>МЧС</sup>	39,33	31,0
13.08.2015(К)	Д90	НСрИ	470	0,75 <sup>МЧС</sup>	65,50	87,3
14.08.2015(К)	Д90	НСрИ	180	1,97	35,00	17,8
14.08.2015(К)	Д70	НСрИ	250	1,42	35,00	24,6
14.08.2015(К)	Д80	НСрИ	150	2,37 <sup>МЧС</sup>	31,67	13,4
15.08.2015(К)	Д82	НСрИ	160	2,22	32,17	14,5
15.08.2015(К)	Д60	НСрИ	300	1,19	26,67	22,4
15.08.2015(К)	Д60	НСрИ	210	1,69	20,33	12,0
14.10.2015(К)	Д50-70	НСЛИ, НВ	248	1,43	21,67	15,2
19.09.2015(С)	Д	НСрИ	115	3,09	14,33	4,6
19.09.2015(С)	Д	НСрИ	300	3,95	14,33	3,6
22.09.2015(С)	Д	НВыИ	85	4,19	65,00	15,5
23.09.2015(С)	Д60	НВыИ	310	1,15	29,17	25,4
24.08.2016(К)	Д88-98	НСИИ	410	0,87	55,50	63,8
26.08.2016(К)	Д80	НСрИ	365	0,97	46,67	48,1

1	2	3	4	5	6	7
21.09.2017(С)	Д70	Н	90	3,95	18,33	4,6
30.04.2018(С)	Д40	Н	15	23,72	2,50	0,1
14.08.2018(К)	Д80	НСрИ	180	1,97	21,17	10,7
11.09.2018(К)	Д80-100	НВыИ	35	0,81	37,50	46,3
03.09.2018(С)	Д60	НСрИ	130	2,74	12,33	4,5

Примечание: Н – низовой ЛП; НБ – низовой беглый, НВ – низовой, верховой, НСЛИ – низовой слабой интенсивности НСрИ - низовой средней интенсивности, НВыИ - низовой высокой интенсивности; индекс МЧС – означает привлечение к тушению пожаров сил МЧС России.

Анализ представленных результатов показывает, что скорость тушения лесных пожаров в хвойных лесах выше, чем в лиственных. Оценка средней скорости тушения показала, что в хвойных лесах она составляет 8,9 м/мин, тогда как в лиственных лесах - 3,8 м/мин, т.е. в два раза медленнее. Это обусловлено более сложными условиями тушения пожаров в лиственных лесах. Возможно, связано с наличием подроста (кустарников) в лиственных лесах, затрудняющих перемещение лесных пожарных, снижая производительность тушения кромки низового пожара. Рыхлое строение лесного напочвенного покрова снижает скорость тушения и довольно часто позволяет зонам горения (участкам тления) сохраняться в объеме лесных горючих материалов. Эти зоны по прошествии непродолжительного времени вновь способны сформировать кромку низового пожара. Для борьбы с этим явлением требуется проведение операций окарауливания и дотушивания, отвлекающие часть сил и средств и, тем самым, снижающие эффективность действий лесных пожаров.

Тем не менее, сравнение реальной производительности группировки лесных пожарных с расчетной показывает наличие серьезных отклонений. Так скорость тушения в хвойных лесах Правобережной части Саратовской области приблизительно 7,2 раза ниже расчетной, а в лиственных лесах эта разница составляет в среднем 21 раз. Интересно отметить (см. таблица 1), что привлечение штатных сил и средств Государственной противопожарной



службы МЧС России к тушению лесных пожаров не ведет к принципиальному ускорению работ по пожаротушению в лесных массивах. Объяснение этому может быть несколько: (1) существуют серьезные изъяны при составлении протокола тушения лесного пожара; (2) часть сил и средств, привлеченных к тушению пожара, не задействуются в тушении и находятся в резерве; (3) условия тушения лесных пожаров далеки от тех, что заложены в данные для расчета.

Рассмотрим каждую причину в отдельности. Вполне возможно, протоколы тушения лесных пожаров содержат ошибки, но тогда наблюдались бы расхождения между всеми реальными и расчетными результатами. Тем не менее, анализ результатов (таблица 3.12) показывают наличие несколько довольно точных совпадений для тушения низовых пожаров в хвойных лесах Балашовского (10.05.2018(Б), 11.04.2016(Б)) и Саратовского (27.08.2018(С)) районов с преимущественной породой – сосна обыкновенная, где соотношение указанных параметров близко к единице. Интересно отметить, что такое совпадение наблюдается только в случае тушения пожаров в хвойных лесах. Таким образом, информация об ошибочности сведений, вносимых в протокол, не подтверждается. Вторая причина, объясняющая расхождение реальных и расчетных данных, должна подтверждаться отсутствием зависимости скорости тушения от численности группировки, однако, данные, представленные в таблице 3.12, показывают, что увеличение численности группировки приводит к увеличению скорости тушения пожара и снижению времени тушения. Таким образом, избыточность привлечения сил и средств к тушению лесных пожаров в Саратовской области не подтверждается. Таким образом, наиболее реальной причиной расхождения реальной и расчетной скоростей тушения лесных пожаров является сложный характер местности и устройство лесных массивов, затрудняющих доступ людей и техники к месту тушения ЛНП и, тем самым, замедляющих действие лесных пожарных.

Для того, чтобы выяснить влияет ли численность группировки сил и средств на эффективность тушения лесного низового пожара, данные, приведенные в таблице 3.11, были переведены в графическую форму. Для удобства наиболее важные параметры тушения такие как время тушения и скорость тушения были представлены отдельно на рисунках 3.9 и 3.10.

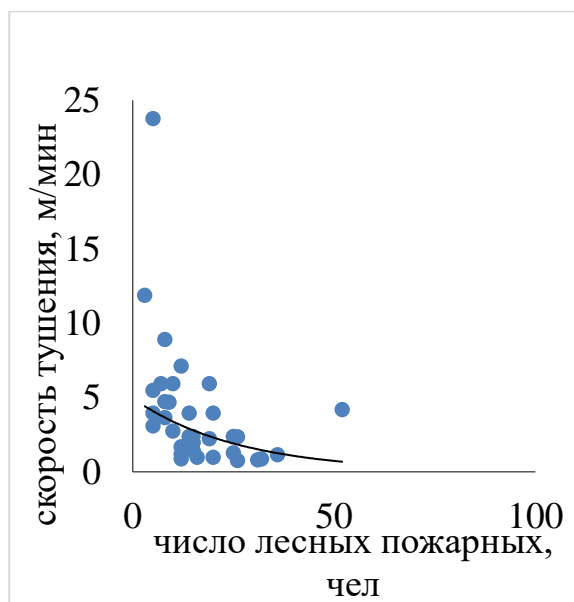


Рисунок 3.9 - Зависимость времени тушения пожара от численности пожарных

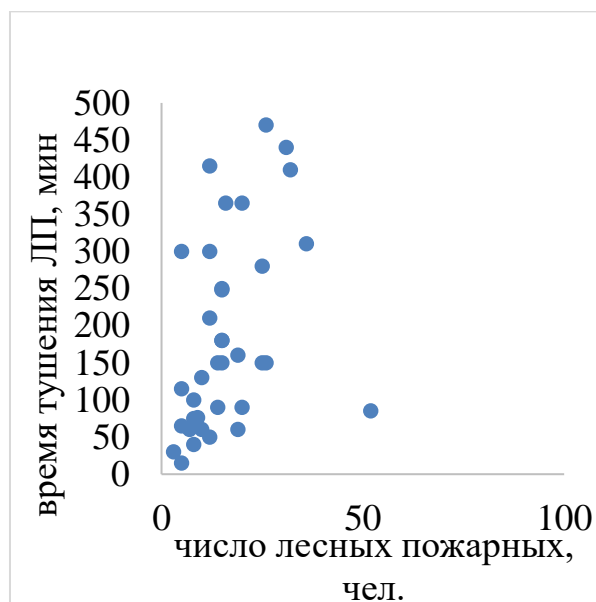


Рисунок 3.10 - Зависимость скорости тушения пожара от численности пожарных

Интуитивно понятно, что время тушения и скорость тушения низового пожара связаны между собой. Однако, связь эта может быть не однозначна, т.к. испытывает на себе воздействие еще двух параметров: площади пожара, а точнее длины его кромки и численности группировки лесных пожарных. Первый из перечисленных параметров зависит времени свободного развития пожара, а также от условий его распространения, которые могут как ускорять, так и замедлять развитие лесного пожара. Кроме этого, говорят, что на пожаре «лишних рук не бывает», тем не менее эффективность управления группировкой должна снижаться при увеличении ее численности. При небольших, но интенсивных пожарах большую группировку просто нечем занять и часть сил и средств неизбежно будут простаивать в резерве. Такое

управление силами и средствами не приведет к повышению эффективности тушения пожара, а скорее наоборот снизит его.

Представленные на рисунках 3.9 и 3.10 графические зависимости времени тушения и скорости тушения низовых пожаров показывают облачный характер зависимости интересующих нас параметров. Это свидетельствует о сложности характера тушения даже низового пожара, где многое зависит и от мастерства пожарных, и от своевременности принятых мер. Полученные данные (рисунки 3.9 и 3.10) имеют скорее облачный характер, из которых нет возможности сделать однозначный вывод о наличии признаков избыточности привлечения сил и средств к тушению лесных пожаров в Саратовской области не подтверждается. Наиболее реальной причиной расхождения реальной и расчетной скоростей тушения лесных пожаров является сложный характер местности и устройство лесных массивов, затрудняющих доступ людей и техники к месту тушения ЛНП и, тем самым, замедляющих действие лесных пожарных. Таким образом, на основании статистического анализа были вычислены значения скоростей тушения кромки ЛНП механизированными и ручными средствами в условиях хвойных и лиственных лесов Саратовской области (см. таблицу 3.13).

Таблица 3.13 - Набор огнетушащих средств и скорость тушения кромки пожара различными средствами пожаротушения (на одну машину или одного рабочего при ручных работах) в условиях хвойных и лиственных лесов Саратовской области, м/ч

Наименование средств тушения	Наименование работ	Интенсивность пожара		
		высокая	средняя	низкая
1	2	3	4	5
Лесопожарная автоцистерна АЦ-30(66)-146 АЦ-30(66)-11 мод. 184А АПЛ-10(88)-221	Тушение кромки пожара водой при расстоянии от водоисточника до 1 км	20...40	40...60	60...100
Мотопомпы МЛ П-0,2 ПЛВ-2/1,2	Тушение водой	30	50	75

1	2	3	4	5
Лесной огнетушитель РЛО-6 РЛО-М	Тушение кромки пожара водой при подноске воды на расстояние до 100 м а) при низовом устойчивом пожаре б) при низовом беглом пожаре	2...4	4...80	8...15
		3...5	5...10	10...20
Лопаты	Засыпка кромки пожара грунтом из прикопок	1,5...3	2...4	4...7
Подручные средства (пучки ветвей и др.)	Захлестывание пламени на кромке пожара а) при низовом устойчивом пожаре б) при низовом беглом пожаре	1...2	2...5	5...12
		1...3	3...6	6...22

*Примечание.* Различия в производительности труда при одной и той же интенсивности пожара могут быть обусловлены не одинаковыми условиями (трудностью) тушения (захлапленность участка, запас и вид горючего материала, рельеф и т.п.).

Именно эти параметры необходимо использовать для расчета группировки сил и средств необходимой для привлечения к тушению ЛНП в лиственных и хвойных лесах Саратовской области.

### 3.6 Определение потребности в огнетушащих средствах на основе воды

Потребность в огнетушащих средствах (воде) проявляется вовремя тушения ЛП и, фактически, определяется массой воды, затраченной на полное прекращение взаимодействия ГВ(ЛГМ) и Ох с учетом всех технологических потерь. Под последними понимаются расходы воды на заполнение паразитных объемов насосов, рукавов, не сливаемых объемов цистерн и пр. Сюда же можно отнести неизрасходованную массу воды, доставленную к месту тушения пожара.

В реальности трудно определить какое количество воды необходимо израсходовать во время тушения ЛП, поэтому при проведении мероприятий по противопожарному обустройству территорий осуществляют строительство водоемов, содержащих избыточное количество (объем) воды, чем это

необходимо для тушения ЛП. Это делается исходя из предположения о развитии ситуации по худшему сценарию, который предполагает засушливые условия погоды расход воды в водоеме на инфильтрацию, питание растений, произрастающих вдоль водоема и испарение влаги в атмосферу. С учетом всего перечисленного в водоеме должно быть воды больше, чем требуется для тушения наиболее сильных ЛП.

Тем не менее, для правильной организации процесса тушения необходимо доставить к месту тушения ЛП столько воды – сколько для этого нужно и не тратить время, средства и силы на доставку лишнего. В этом и заключается эффективность обеспечения мероприятий по тушению ЛП.

Для того, чтобы определить объем(массу) воды необходимую для тушения ЛНП нужно знать величины всего двух параметров:

- длина кромки ЛНП;
- расход воды на тушение с применяемым оборудованием.

В этом случае, для расчета необходимого объема воды воспользуемся следующим уравнением:

$$V_{\text{воды}} = V_n + q_{mn} \cdot l_k \quad (3.2)$$

где  $V_n$  – объем воды, потерянный в ходе реализации технологического процесса, л,  $q_{mn}$  – расход воды на тушение кромки ЛНП,  $\text{дм}^3/\text{м}$ ;  $l_k$  – длина кромки ЛНП, м.

Простота уравнения (3.2) обманчива, т.к. наиболее точно, можно учесть объемы потерянной воды зная величины паразитных объемов применяемого оборудования. Остальные же параметры либо имеют весьма приблизительное значение – расход воды на тушение 1 м кромки ЛНП ( $q_{mn}$ ), либо изменяются во времени под действием внешних условий – длина кромки ЛНП ( $l_k$ ). Сюда следует добавить и то, что контроль окончания тушения ЛП осуществляет оператор и делает это он визуально и на основании своего предыдущего опыта, зная «коварство» ЛП, способного вновь возникнуть по прошествии некоторого времени из-за сохранения зоны беспламенного горения в объеме ЛГМ в результате некачественной проливки кромки и ликвидации не всех

очагов горения в лесу. Дело в том, что при сильном задымлении трудно определить место расположения источника дыма, поэтому подают воду туда куда считают нужным в данный момент времени.

Разберем подробнее численные составляющие, входящие в уравнение (3.2). Паразитные объемы пожарного оборудования различаются между собой и чем выше мощность и расходные характеристики применяемого оборудования, тем они выше объемы. Паразитный объем ( $V_n$ ) складывается из трех составляющих:

$$V_n = V_n + V_{nn} + V_p \quad (3.3)$$

где  $V_n$  - не сливаемый с цистерны остаток [69], л;  $V_{nn}$  - объем пожарного насоса, л;  $V_p$  - объем пожарных рукавов [70], л.

Емкость любой формы для хранения жидкостей имеет некоторый объем выкачать из которого попавшую туда жидкость применяемая для этого технология не позволяет [69]. Как правило для хранения жидкостей используются цилиндрические вертикально и горизонтально расположенные цистерны, не сливаемые остатки характерны как для одних, так и для других типов цистерн. Объем жидкости невозможный для слива определяется как объемом самой цистерны и ее формой, так и типом жидкости (ее вязкостью, поверхностным натяжением, адгезией к материалам стенок цистерны, положением цистерны в пространстве и т.п.). В случае пожарных автомобилей общего назначения, которые можно применять при тушении ЛНП для хранения воды применяются цилиндрические горизонтально расположенные цистерны объемом от 1,6 до 8 м<sup>3</sup>. Согласно [69], требованием к форме пожарной цистерны является наличие не сливаемого объема не более 1% от общего объема, таким образом, для перечисленных выше цистерн они составят от 16 до 80 дм<sup>3</sup>. Здесь нужно учесть, что требования эти будут выполняться только при установке пожарного автомобиля на ровной горизонтальной площадке, что чрезвычайно редко бывает в ЛМ особенно в холмистой Правобережной части Саратовской области. Поэтому, смело

можно увеличивать значение не сливаемого объема цистерны в 5-7 раз, от 80 до 560 дм<sup>3</sup>.

Найти информацию об объеме всех патрубков и самого наиболее распространенного пожарного насоса ПН-40 в литературе не удалось, но примерные габаритные размеры указывают, что их объем не должен превышать 15 дм<sup>3</sup>. Объем пожарного рукава зависит от его длины и диаметра. Как правило, при тушении ЛНП применяют стволы Б, которые присоединяют к пожарному рукаву диаметром 51 мм, длина которого составляет 20 м, а объем составляет 40 л [70]. Таких рукавов в укладке пожарной автоцистерны 10 шт, общая длина 200 м, а общий объем – 400 дм<sup>3</sup>. Объемом пожарного ствола, который не превышает 1 дм<sup>3</sup> можно пренебречь. Таким образом, сложив все составляющие можно рассчитать общий паразитный объем системы подачи воды, который может составлять от 495 до 975 дм<sup>3</sup>, что составляет от 6 до 61% запасов воды в пожарных автоцистернах различных объемов. 60% воды истраченных на заполнение технологического оборудования это очень много и применение такой техники при тушении ЛНП вряд ли будет эффективным. Наименьшие паразитные объемы будут иметь ручные средства водного пожаротушения – ранцевые лесные огнетушители (РЛО), различных типов. В них объем рукава и гидропульта не превышает 0,5 дм<sup>3</sup> или 2,5-3% от всего объема.

Расход воды на тушение единицы длины кромки ЛНП был обсужден в п. 2.9. Данные о расходах можно получить из справочников [210,253,295], а, кроме этого, проводились собственные исследования по выявлению расхода воды на тушение кромки ЛНП. Отмечено, что в экспериментальных условиях Левобережья Саратовской области на 1 м кромки расходуется 0,2-0,25 дм<sup>3</sup> воды при использовании РЛО РП-18 «Ермак», в то время как по [295] расход воды при использовании аналогичного оборудования составил 0,5-0,6 дм<sup>3</sup>/м. Двукратное различие можно объяснить различиями в типе ЛГМ и их массе накопленных на единице площади объекта природного ландшафта.

Длина кромки ЛНП ( $l_k$ ) изменяется с течением времени. Рост и развитие ЛНП осуществляется с течением времени под действием внешних условий. В п. 2.3. обсуждались вопросы влияния различных факторов на распространение ЛНП, среди которых наиболее важным являлись скорость ветра ( $K_в$ ), положительный уклон местности ( $K_м$ ) и время ( $t_{лнп}$ ), прошедшее с момента возникновения ЛП. Влияние ветра и местности можно учесть в виде коэффициентов ускоряющих ( $K_в > 1$ ) или замедляющих ( $K_в < 1$ ) скорость развития ЛНП. Таким образом, уравнение связывающее длину кромки с перечисленными параметрами должно выглядеть так:

$$l_k = K_в \cdot K_м \cdot v_{лнп} \cdot t_{лнп} \quad (3.4)$$

где  $v_{лнп}$  – скорость ЛНП, м/мин.

Нужно учесть, что параметр времени развития ЛНП тоже является комплексным (см. п. 2.3), т.к. складывается как минимум из двух составляющих – времени свободного развития ЛНП ( $t_{срп}$ ) и времени развития ЛНП при его тушении ( $t_{рп}$ ). Разница между ними в том, что первый параметр определяет время прошедшее от момента возникновения ЛНП до начала его тушения, а второй параметр – время, прошедшее от начала тушения до полного его завершения и выражается следующим уравнением:

$$t_{лнп} = t_{срп} + t_{рп}. \quad (3.5)$$

Время свободного развития ЛНП ( $t_{срп}$ ) складывается из двух составляющих, времени обнаружения пожара ( $t_{он}$ ) и времени доставки сил и средств к месту тушения ЛНП ( $t_д$ ). Если первый параметр имеет простое и объективное значение, то второй является комплексным, т.к. зависит от дальности доставки сил и средств ( $S_д$ ) и средней скорости движения ( $v_д$ ). Таким образом, уравнение для расчета времени доставки ( $t_д$ ) выглядит следующим:

$$t_д = S_д / v_д \quad (3.6)$$

Учтем уравнения 3.4-3.6 в уравнении 3.3, получим:

$$V_{воды} = (V_n + V_{пн} + V_p) + (q_{пн} \cdot K_в \cdot K_м \cdot v_{срп} \cdot (t_{он} + S_д / v_д) + q_{пн} (v_{рп} t_{рп})), \quad (3.7)$$



где  $v_{pn}$  – средняя скорость развития ЛП в хвойных или лиственных лесах региона, м/мин;  $t_{pn}$  – среднее время тушения ЛП в хвойных или лиственных лесах региона, мин.

Представленное уравнение учитывает полное количество воды необходимое для тушения ЛНП с учетом всех потерь воды, а также условий распространения ЛНП.

Уравнение (3.24) является многопараметрическим и отражает сложную зависимость объема воды, требуемого для тушения ЛНП как отражение многомерного пространства, объединяющего условия развития и тушения ЛНП. Для табличного или графического представления зависимости необходимого количества воды необходимо выбрать не более 4-х параметров, играющих наиболее важную роль в развитии и тушении ЛНП.

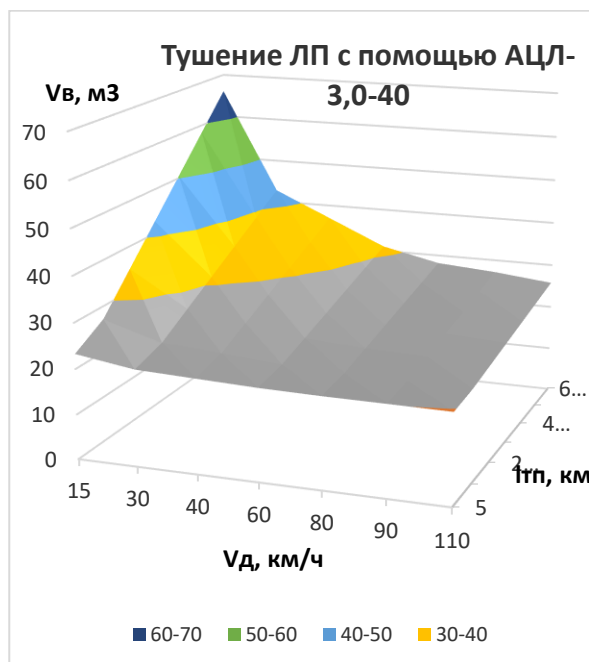


Рисунок 3.11 - Запас воды необходимый для тушения ЛНП с помощью АЦЛ-3,0-40:

$V_n = 80$  л;  $V_{пн} = 15$  дм<sup>3</sup>;  $V_p = 200$  л;  
 $q_{тп} = 24,3$  дм<sup>3</sup>/м;  $v_{срп} = 8$  м/мин;  
 $K_B = 1$ ;  $K_M = 1$ ;  $t_{оп} = 60$  мин;  
 $v_{рп} = 1,8$  м/мин  $t_{тп} = 170$  мин

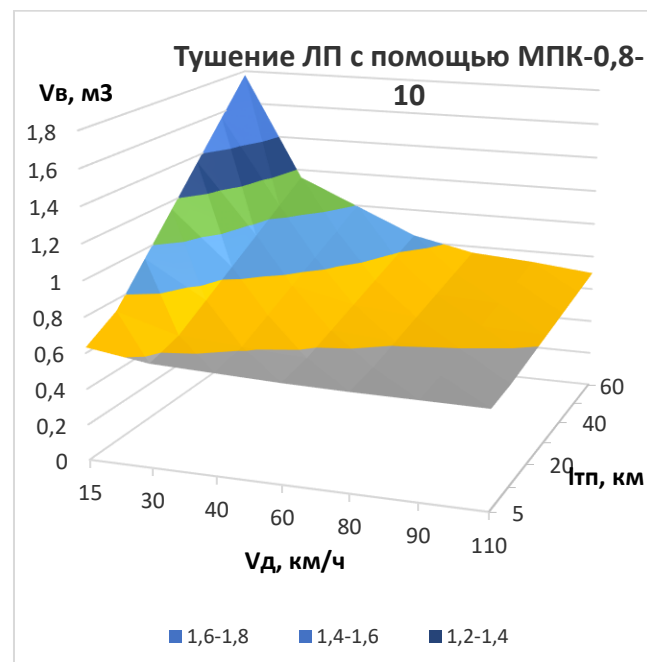


Рисунок 3.12 - Запас воды необходимый для тушения ЛНП с помощью МПК-0,8-10:

$V_n = 15$  л;  $V_{пн} = 2$  дм<sup>3</sup>;  $V_p = 0,1$  л;  
 $q_{тп} = 0,65$  дм<sup>3</sup>/м;  $K_B = 1$ ;  $K_M = 1$ ;  
 $t_{оп} = 60$  мин;  $v_{срп} = 8$  м/мин;  
 $v_{рп} = 1,8$  м/мин;  $t_{тп} = 170$  мин

Представленные диаграммы показывают, что на тушение ЛНП при прочих равных условиях с применением АЦЛ-3,0-40 потребуется воды практически в 30 раз больше, чем с использованием МПК-0,9 (УАЗ-39094), т.е. 65 м<sup>3</sup>, против 1,8 м<sup>3</sup>. Такая огромная разница возникла из-за особенностей применяемой техники, которая допускает значительные потери воды при ее подаче в зону тушения лесного пожара. Поэтому, с точки зрения эффективности использования воды целесообразнее для тушения ЛНП использовать мобильные пожарные комплексы на базе легковых автомобилей, а для расширения их возможностей использовать дополнительную возможность размещения воды в легковом прицепе. Таким образом, МПК превращается в легковой автопоезд, конструкционные и технические характеристики, а также эксплуатационные свойства которого в некоторой степени отличаются от характеристик и свойств самого транспортного средства.

### **3.7 Технические средства локализации и тушения лесных низовых пожаров**

В тушении ЛП участвуют силы и средства. Под *силами тушения* понимают лесных пожарных, сотрудников лесничеств и лесхозов, волонтеров (фермеров, местных жителей и т.д.), а также сотрудников Государственной противопожарной службы МЧС России. Под *средствами тушения* пожара понимают всю совокупность оборудования и техники пригодных для тушения пожара, а также доставки к месту тушения ОТС.

Понятно, что силы и средства при тушении ЛП действуют совместно [106,107], точнее, силы применяют средства для тушения ЛП. Тем не менее, запас ОТС (воды) при тушении ЛП ограничен и нужно организовывать его постоянный подвоз. В п. 1.7, было показано, что наилучшим средством тушения ЛП является вода и водные растворы. Причем высокую эффективность показывают как подача воды в зону горения с помощью

насоса, так и с помощью ручного гидропульта (РЛО). Применение технологий лесного пожаротушения без расходования ОТС также существуют – это применение противопожарных хлопушек или подручных средств (пучков ветвей), но они показывают во много раз более низкую эффективность, а кроме этого, приводят к повторному возникновению очагов пламенного горения.

Подача воды на кромку ЛНП имеет и обратную сторону, т.к. важным элементом подачи воды является насос с моторизованным приводом, имеющим определенную надежность и моторесурс. Кроме этого, для функционирования мотопривода необходимы бензин (дизельное топливо), а также моторное масло, запасы которых также необходимо пополнять. В случае израсходования топлива или выхода из строя насоса лесным пожарным придется переходить к тушению с использованием ручных средств. При сохранении запаса воды в этом случае можно воспользоваться РЛО, а в противном случае перейти к тушению с применением подручных средств, грабель, лопат, противопожарных хлопушек.

Учитывая вышеперечисленные преимущества и недостатки, необходимо найти ответ на вопрос, что эффективнее везти на тушение ЛНП большой запас воды и надеяться на надежность механизированных систем или лучше перевозить людей и компенсировать снижение их производительности количеством привлеченных сил. Ответ на этот вопрос будет сложен и неоднозначен.

*Доставка сил и средств к месту тушения лесного пожара.* Доставку воды к месту тушения ЛНП можно осуществлять на лесопожарных автомобилях (ЛПА), созданных на базе грузовых автомобилей, а можно на мобильных пожарных комплексах (МПК), созданных на базе легковых автомобилей. Грузовики являются более грузоподъемными, поэтому АЦЛ могут доставлять к месту тушения ЛНП до 6 м<sup>3</sup> воды, но следует помнить, что они оснащены мощными насосами серии ПН и предназначены для тушения техногенных пожаров. Применение пожарных автоцистерн для тушения ЛНП мера скорее вынужденная поэтому проще и экономически целесообразнее

приспособить уже имеющуюся в производстве технику. Производство специальной лесопожарной техники не носит массового характера и это обуславливает ее высокую цену и доступность только для богатых лесами регионов.

Одним из способов снижения времени свободного развития ЛП является снижение времени на доставку людей и техники к месту тушения ЛП. Для реализации этого резерва необходимо два условия: короткое расстояние от места старта до места тушения пожара и высокая скорость движения. Первая возможность осуществима только в случае применения передвижного пожарного поста, размещенного заранее на пожароопасном участке (см. п. ...). Вторая возможность реализуется при организации движения колонны сил и средств к месту тушения ЛП с более высокой скоростью. Скорость движения определяется возможностью сохранять приемлемый уровень безопасности. Дело в том, что по дорогам с твердым асфальтовым (асфальтобетонным) покрытием современные грузовые и легковые автомобили способны поддерживать одинаковые скорости до 120-140 км. Совсем другая картина складывается если движение осуществляется по дорогам с местного значения или лесохозяйственным дорогам, не имеющим твердого покрытия и часто построенных с нарушениями требований дорожного строительства. В этом случае, для обеспечения безопасности необходимо при ухудшении состояния дорожного полотна снижать скорость движения. Дело в том, что при движении по дорожному полотну, автомобиль претерпевает раскачку кузова. Раскачка кузова осуществляется относительно его центра тяжести. Чем больше неровностей присутствует на дорожном полотне, тем больше раскачка кузова автомобиля. К тому же, раскачке кузова способствует высокое расположение центра тяжести автомобиля. В этом случае, легковые автомобили находятся в выигрыше.

Доставка людей и грузов к месту тушения ЛП можно осуществить как грузовыми, так и легковым ТС. По скорости движения по дорогам с твердым

покрытием современные грузовые и легковые ТС не различимы. Тем не менее, грузовые ТС обладают перед легковыми следующими преимуществами:

- большая грузоподъемность;
- большая пассажироместимость.

Грузовые ТС обладают перед легковыми следующими недостатками:

- большая стоимость приобретения, обслуживания и ремонта;
- большой расход топлива;
- высокие требования к лицам, допущенным к управлению;
- высокое расположение центра тяжести.

Как видно из представленных доводов, у грузовых ТС преимуществ меньше, чем недостатков. В этом случае, необходимо установить, сможет ли грузоподъемность и пассажироместимость компенсировать остальные недостатки. Для этого необходимо сравнить, эффективности применения лесопожарных автомобилей в грузовом и легковом вариантах для тушения кромки ЛНП. В таблице 3.14 приведены данные оценки эффективности тушения кромки ЛНП (скорость тушения, время тушения, расход воды на тушение единицы длины кромки ЛНП). Эти данные получены исходя из пересчета объема возимого запаса воды, через скорость тушения кромки ЛНП и расход пожарного ствола (гидропульта).

Таблица 3.14. Сравнительная характеристика эффективности тушения ЛНП с помощью пожарных автомобилей на грузовом (АЦЛ) и легковом (МПК) шасси

ЛПТ	Шасси	Экипаж, чел	Объем цистерны, м <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>	Тип насоса/расход*, дм <sup>3</sup> /м	Длина кромки ЛНП**, м / время тушения, ч
АЦЛ-1,6	ГАЗ-33081	6	1,6/1600	ПН / 24,3	66 / 0,16
АЦЛ-3,2	ГАЗ-3308	3	3,2/3200	ПН / 24,3	130 / 0,32
МПК-0,8	УАЗ-39094	4	0,8/800	УПВД / 0,65	1230 / 4,5
МПК-0,9	УАЗ-330365	2	0,9/900	УПВД / 0,65	1380 / 5,0
Автопоезд МПК-0,9 и МПК-0,5	УАЗ-330365	2	1,6/1600	УПВД / 0,65	2460 / 8,9

\* расход (дм<sup>3</sup>/м) через пожарный ствол или гидропульт (см. п. 2.6);

\*\* длина кромки ЛНП которую возможно потушить (без учета потерь).

Результаты расчетов показывают, что грузовые ЛПА уступают легковым по параметрам тушения. Так, например, запасов воды возимых АЦЛ-3,0-40, без учета потерь, хватает на тушение 130 м кромки ЛНП, а подача воды в зону горения будет осуществляться в течение 20 мин. Если сравнить эти значения с теми, что получены для МПК-0,9 то видно, что меньший запас воды позволяет потушить большую длину кромки ЛНП, примерно в 10 раз.

*Что нужнее на пожаре – силы или средства?* В п. 3.1 были рассмотрены возможности по доставке сил и средств и было показано, что для сокращения времени доставки к месту тушения пожара необходимо использовать легковые транспортные средства. Но транспортные средства можно использовать по-разному, например, в грузовом, грузопассажирском и пассажирском вариантах. Были взяты за основу шасси УАЗ (2206, 39094, 330365) с равной величиной грузоподъемности (1100 кг). При этом, кузов автомобиля УАЗ-2206 вмещает в себя 8 человек (согласно требованиям к транспортным средствам категории В). В этом случае, лесных пожарных можно снабдить только ручными средствами пожаротушения: лопатами и граблями и скорость их тушения составить 30 м/ч [295]. Грузопассажирский вариант МПК-0,8 предполагает экипаж в составе 4 человек и запас воды 0,8 м<sup>3</sup>. При этом два лесных пожарных будут задействованы на обеспечение работы УПВД, а еще двое будут осуществлять тушение ручными средствами (лопатами, граблями). И, наконец, грузовой вариант МПК-0,9 будет осуществлять тушение с применением только УПВД. Технические характеристики МПК и данные о скоростях тушения, времени тушения и расходах воды на тушение представлены в таблице 3.15.

Анализ представленных в таблице 3.15 результатов показывает, что наиболее эффективно при тушении ЛНП использовать легковые автопоезда (МПК+АП), т.к. запаса воды в них хватает чтобы потушить кромку ЛНП в 2,5 раза большую по сравнению с группировкой, состоящей из 7 лесных пожарных, оснащенных ручными средствами тушения (лопаты и грабли).

Менее эффективно использовать грузопассажирский МПК-0,8 с экипажем - 4 лесных пожарных. Он позволяет повысить эффективность тушения в 1,5 раза по сравнению с пассажирским вариантом (7 человек с ручными инструментами).

Таблица 3.15 - Сравнительная характеристика эффективности применения сил и средств тушения ЛНП

ЛПТ	Шасси	Экипаж, чел	Объем цистерны, м <sup>3</sup> /дм <sup>3</sup>	Тип насоса/расход*, дм <sup>3</sup> /м	Длина кромки ЛНП**, м/ время тушения, ч
ПТ	УАЗ-2206	7	-	-	1050 / 5,0
ГПТ и МПК-0,5	УАЗ-2206	7	0,5/500	УПВД / 0,65	1013 / 2,7
МПК-0,8	УАЗ-39094	4	0,8/800	УПВД / 0,65	1500 / 4,5
МПК-0,9	УАЗ-330365	2	0,9/900	УПВД / 0,65	1380 / 5,0
Автопоезд МПК-0,9 и МПК-0,5	УАЗ-330365	2	1,6/1600	УПВД / 0,65	2460 / 8,9

\* расход (дм<sup>3</sup>/м) через пожарный ствол или гидропульт (см. п. 3.6);

\*\* длина кромки ЛНП которую возможно потушить (без учета потерь).

### ***Тактика применения МПК для тушения лесных и степных пожаров.***

Применение МПК при тушении лесного пожара практически не отличается от применения АЦ, т.к. все принципиальные решения и алгоритм использования остался неизменным, т.к. разрабатываемый МПК, фактически является полным аналогом пожарной автоцистерны.

Тактика тушения пожара - это выбор методов, способов и средств тушения пожара в зависимости от характеристики участков, охваченных пожаром, и условий, существующих в момент тушения.

Различают два метода тушения - прямой и косвенный (упреждающий) [210,253]. Прямой метод применяется в том случае, когда есть возможность непосредственно потушить кромку пожара или создать у кромки заградительную полосу.

Метод упреждения (косвенный метод) применяется, когда линия остановки огня выбирается на некотором расстоянии от кромки пожара.

Применение этого метода обусловлено рядом причин: необходимостью отдалить пожарных от кромки пожара из-за его интенсивности; выбором лучшего места для создания заградительной или опорной полосы; возможностью сокращения длины полосы и уменьшения времени на ее создание; использование имеющихся естественных и искусственных преград и т.п.

Тушение лесного пожара разделяется на следующие последовательно осуществляемые стадии:

- остановку распространения кромки пожара;
- локализацию пожара;
- дотушивание очагов горения, оставшихся внутри пожарища;
- окарауливание.

Наиболее сложными и трудоемкими являются остановка и локализация пожара. Надежная локализация пожара представляет собой решающую фазу работ по его тушению.

Распространение пожара останавливают, воздействуя непосредственно на его горящую кромку, в начальный момент развития пожара, пока его периметр не велик. Это дает возможность выиграть время и сосредоточить затем силы и средства на более трудоемких работах по его локализации - прокладке заградительных полос и канав и на необходимой дополнительной обработке периферии пожара с тем, чтобы исключить возможность возобновления его распространения.

Захлестывание, засыпка грунтом или заливка (особенно с помощью лесных ранцевых огнетушителей или лесопожарных воздуходувок) кромки пожара водой или растворами химикатов в большинстве случаев обеспечивает лишь временную остановку распространения кромки пожара, причем горение кромки часто через некоторое время возобновляется и пожар продолжает распространяться. Поэтому локализованными следует считать только те пожары, вокруг которых проложены заградительные минерализованные полосы или канавы, надежно преграждающие пути дальнейшего



распространения горения, либо когда у руководителя тушения имеется полная уверенность, что применявшиеся другие способы локализации пожаров также надежно исключают возможность их возобновления.

Дотушивание пожара заключается в ликвидации очагов тления, оставшихся на пройденной пожаром площади после его локализации. Окарауливание пожара состоит в непрерывном или периодическом осмотре пройденной пожаром площади с целью предотвратить возобновление пожара от скрытых очагов, не выявленных при дотушивании.

*Особенности тушения низовых пожаров под пологом леса.* При тушении слабых весенних низовых пожаров, если имеется достаточное количество рабочих, пожар оцепляется кругом, а при недостаточном - одна бригада оснащенная МПК (Комплект №1 на 4 или 7 человек) сдерживает и тушит фронт пожара; а две другие, оснащенные МПК (Комплект №2) [120,121] начиная с тыла, охватывают пожар с флангов, продвигаясь по мере тушения к фронту. Остановка распространения пожара может производиться захлестыванием огня на кромке ветвями или засыпкой его грунтом либо обработкой кромки химикатами из лесных огнетушителей.

Работы могут вестись двумя бригадами (Комплект №1 или №2) [120,121], которые движутся с тыла по флангам к фронту пожара, постепенно сжимая его с боков и сводя на "клин". При этом движение рабочих в каждой бригаде осуществляется в следующем порядке: рабочий, работающий сзади, окончив работу на своем участке, становится впереди бригады, следующий на расстоянии 15-20 м от первого и т.д.

Для надежной локализации пожара (если это будет необходимо) одновременно с работой по остановке его распространения (а при недостатке рабочих - после остановки) вдоль кромки расчищается ручными инструментами (мотыгой, лопатой и т.д.) до минерального слоя максимально спрямленная полоса либо прокладывается в таком же порядке узкая канава. Выполнить эти работы могут бригады оснащенные МПК (Комплект №1 и №2, рассчитанный на 7 человек). При возможности минерализованная полоса

прокладывается с помощью взрывчатых материалов либо почвообрабатывающими орудиями.

При тушении пожаров средней интенсивности, распространяющихся по напочвенному покрову со скоростью 1-3 м/мин, рекомендуется сначала произвести остановку кромки пожара захлестыванием или засыпкой грунтом применяя оборудование МПК (Комплект №1).

В случае низового пожара высокой интенсивности, распространяющегося со скоростью более 3 м/мин, с высоким пламенем на фронте, следует принять меры к остановке его распространения путем пуска отжига против фронта от опорной полосы. На флангах и в тылу остановка производится обработкой кромки водой из лесных огнетушителей, либо грунтом путем охвата с тыла.

Окружение таких пожаров после их остановки заградительной минерализованной полосой является обязательным, причем полоса прокладывается ручными орудиями либо механизированным способом.

При сильных низовых пожарах, действующих под пологом леса в участках со скоплениями хвойного подроста или горючего подлеска, а также в захламленных участках, т.е. в условиях, когда имеется большая опасность перехода низового огня в верховой, способы остановки распространения горения ручными орудиями и ранцевой аппаратурой, описанные выше, неприемлемы вследствие большой высоты пламени. В этом случае МПК (вне зависимости от комплекта) используется только как вспомогательный. Для тушения таких пожаров следует применять воду из баков автоцистерн, либо других агрегатов водного пожаротушения, или из имеющихся вблизи пожара водоисточников, а также производить отжиг от опорной полосы, проложенной не ближе 80-100 м от фронта и охватывающей затем фланги и тыл. При этом, в случаях пожаров на участках с хвойным подростом и подлеском, должна быть применена мелкораспыленная вода, а при горении древесного хлама - мощные сосредоточенные струи.

Прокладка заградительной минерализованной полосы вокруг пожара после его остановки обязательна, за исключением случаев, когда подачей воды из имеющихся вблизи водоисточников обеспечивалось полное тушение пожара, или когда опорная линия для пуска отжига состояла из надежных преград распространению горения. Для этого применяется МПК (Комплект №1 на 7 человек).

*Особенности тушения пожаров на не покрытых лесом площадях.* На участках с несомкнувшимися хвойными молодняками или с зарослями высокогоримых кустарников, на вырубках, особенно захламленных, на участках с погибшими насаждениями (гари, шелкопрядники, ветровальники и т.п.) пожары могут распространяться с большой скоростью, причем вследствие разбрасывания ветром горящих частиц впереди фронта пожара нередко возникают пятнистые загорания, что резко ускоряет распространение горения по площади.

Останавливать такие пожары следует пуском отжига, причем, учитывая большую скорость их распространения, следует отступить перед фронтом пожара для пуска отжига возможно дальше с таким расчетом, чтобы успеть выжечь полосу шириной не менее 100 м. В качестве опорных полос рекомендуется использовать уже имеющиеся барьеры (дороги различного назначения, волока, усы, реки и т.д.), а где их нет - необходимо прокладывать минерализованные полосы землеройной или почвообрабатывающей техникой. Отжиг позволяет провести любой МПК (вне зависимости от комплектации)

Большое внимание при тушении таких пожаров следует уделять организации наблюдения за территорией позади отжига в целях своевременного обнаружения и ликвидации возникающих очагов загорания от перелетающих искр, горящих углей, веточек и т.п. Отжиг рекомендуется проводить в вечерние часы, с последующим обязательным окарауливанием локализованной кромки пожара в течение всей ночи и далее. МПК специально

предназначен для патрулирования, при этом может оказаться полезным и для операции окарауливания.

На лугах, пастбищах и степных участках весной и осенью обычно возникают беглые низовые пожары, которые при ветреной погоде могут распространяться со скоростью более 5-8 км/ч. МПК являются наиболее эффективным средством тушения таких пожаров. Весьма высокий эффект при тушении кромки огня таких пожаров достигается также при использовании воздуходувок, особенно на участках с травяным напочвенным покровом.

*Тушение пятнистых пожаров.* Пятнистые пожары обычно образуются из основного верхового (а нередко и сильного низового) пожара вследствие разлета горящих частиц от его фронта.

Поэтому при сильных низовых и слабых верховых пожарах ширину выжигаемой полосы при локализации пожара отжигом следует увеличивать примерно на 100 м, а при верховых пожарах средней силы - на 200 м против обычно рекомендуемой. Здесь МПК пригодится только как вспомогательное средство.

При штормовом ветре (более 15 м/с) скорость распространения пятнистых пожаров может достигать даже нескольких десятков км/ч, главным образом, за счет возникновения (нередко на расстоянии до 1 км от действующих пожаров) многочисленных новых загораний. В результате создается большая опасность попадания в кольцо огня групп рабочих, занятых тушением, а также расположенных в лесу населенных пунктов, промышленных объектов, строений и т.п.

Практически борьба с пятнистыми пожарами днем может заключаться лишь в сдерживании его флангов с помощью средств водного пожаротушения и отжигов. Остановка фронта днем, как правило, невозможна, причем эта работа будет сопряжена с большой опасностью для жизни рабочих.

*Особенности тушения пожаров на каменистых и скелетных почвах.* На участках с каменистыми и скелетными почвами тушение пожаров во многих случаях связано с ликвидацией горения среди валунов, трещин и каменистых

россыпей, пространства и пустоты которых обычно заполнены органической массой растительности.

Основным техническим приемом тушения здесь является обработка кромки водой со смачивателями из лесных огнетушителей, входящих в МПК (Комплект №2) [120]. Более эффективное тушение обеспечивается сильной струей с помощью мотопомп МПК (Комплект №1). Вода к кромке пожара подается из местных водоисточников по рукавным линиям с помощью промежуточной емкости или доставляется вертолетом на внешней подвеске в мягких емкостях.

*Особенности тушения крупных пожаров.* Крупными считаются пожары, распространившиеся на значительных площадях, для тушения которых сил и средств самих лесхозов и авиаотделений недостаточно, в связи с чем в помощь им привлекаются население, силы и средства местных предприятий, организаций и учреждений, а при необходимости - невоенизированные формирования гражданской обороны и воинские подразделения. В этом случае МПК будет более полезен в населенных пунктах, где требуется проведение профилактических мероприятий, а также на этапе окарауливания территории, пройденной пожаром.

При тушении крупных пожаров прежде всего должны быть правильно организованы управление и руководство значительным числом людей, действием отрядов, команд (бригад), обеспечены согласованность и связь между отрядами.

Периметр крупного пожара рекомендуется разделять по имеющимся на местности рубежам (ручьи, реки, болота, широкие дороги) на отдельные сектора и участки с таким расчетом, чтобы прорыв пожара на одном из участков не вызвал необходимости изменения плана тушения и перегруппировки сил и средств на соседних участках.

При тушении крупных пожаров необходимо максимально использовать уже имеющиеся в лесу рубежи и преграды, которые возможно доработать с помощью ручных инструментов, входящих в комплект любого МПК.

Необходимо учитывать также различную горимость окружающих пожар участков, оперативно маневрировать силами и средствами, сосредоточивая их в первую очередь на умело выбранных "ключевых позициях", отрезая огню путь к наиболее опасным в пожарном отношении участкам и ценным насаждениям.

Если пожар действует днем в благоприятных для его распространения метеорологических условиях, а рабочих и средств пожаротушения недостаточно, следует перенести тушение на вечер. Попытки остановить распространение пожара днем в таких условиях, как правило, не имеют успеха и приводят к изматыванию людей, тогда как вечером появляется реальная возможность вести успешную борьбу с пожаром имеющимися силами и средствами. Дневное время лучше использовать на подготовительные работы: рекогносцировку, составление плана борьбы, подвоз средств пожаротушения, питьевой воды и т.п.

Днем при неблагоприятных для работы условиях вести борьбу с пожаром необходимо только на тех участках, где огонь может нанести большой ущерб (хвойные молодняки, лесные культуры и др.), здесь и пригодится МПК, т.к. проехать в молодой лес может только автомобиль/автопоезд малых размеров.

### **3.8 Резервы возможностей локализации и тушения лесных пожаров**

Тушение ЛП - это сложное организационно-техническое мероприятие, эффективность которого зависит от множества факторов, в первую очередь от грамотного управления силами и средствами тушения пожара [47, 58, 61, 143] и эффективного взаимодействия всех участников тушения [60, 106, 107].

Грамотное управление действиями лесных пожарных предполагает обязательный разрыв цепи передачи открытого пламени с одного участка покрытого ЛГМ на другой. Для этого используют главным образом два способа тушения пожара: (1) с расходом огнетушащих средств и (2) без их

расхода. Первый способ предполагает наличие расходуемого огнетушащего средства (состава), к примеру, воды и водных растворов [210,253,295], песка, грунта [22, 52], огнетушащего порошка [50,109]. Второй способ предполагает применение ручных средств для сбивания пламени – противопожарных хлопушек. Тушение лесных пожаров вручную как при использовании огнетушащих средств, так и без них является очень тяжелым и трудоемким видом деятельности [281], который предполагает высокие затраты чел/час на единицу длины кромки лесного низового пожара. В [210,253,295] представлены средние значения трудоемкости процессов тушения пожара при использовании различных огнетушащих средств и приемов пожаротушения.

Как было обсуждено ранее (см. п. 2.5), тушение ЛП с расходом ОТС является более эффективным по сравнению с приемами тушения без расходования ОТС (см. п. 2.3 таблица 2.5). Главным недостатком такого тушения является необходимость постоянного пополнения запасов ОТС, точнее воды и добавок к ней (смачивателей). Очевидным решением данного вопроса является переход к тушению без расхода ОТС с применением ручных инструментов лопат, грабель, противопожарных хлопушек и подручных средств. В качестве ОТС можно использовать грунт, но не каждый грунт пригоден для использования в качестве ОТС. Для этого наилучшим образом подходят сыпучие грунты типа песков и супесей, которые встречаются не везде. В лиственных лесах свободные площади занимает подрост и кустарник, в почве близ поверхности могут располагаться корни деревьев, почва может быть каменистой и т.п. Все перечисленное затрудняет использование ручного инструмента для разработки грунта, а механизированный инструмент будут преследовать постоянные поломки привода или режущего грунт орудия. Такие изменения закономерно приведут к снижению производительности при тушении ЛНП (см таблицу 3.16).

Анализируя представленную (в таблица 3.16-3.18) информацию, можно сделать вывод, что трудозатраты при тушении низового пожара снижаются при использовании воды в качестве ОТС, причем примерно от 2 до 25 раз.

Таблица 3.16 - Снижение скорости тушения ЛНП при применении ручных средств без расходования ОТС в сравнении с лесопожарной АЦ, м/ч

Наименование средств тушения	Наименование работ	Интенсивность пожара		
		высокая	средняя	низкая
1	2	3	4	5
Лесопожарная автоцистерна АЦ-30(66)-146 АЦ-30(66)-11 мод. 184А АПЛ-10(88)-221	То же	1	1	1
1	2	3	4	5
Лопаты	Засыпка кромки пожара грунтом из прикопок	13	7,5...10	15
Подручные средства (пучки ветвей и др.)	Захлестывание пламени на кромке пожара			
	а) при низовом устойчивом пожаре	20	12...20	8...12
	б) при низовом беглом	13	10...13	5...10

Таблица 3.17 - Снижение скорости тушения ЛНП при применении ручных средств без расходования ОТС в сравнении с мотопомпой, м/ч

Наименование средств тушения	Наименование работ	Интенсивность пожара		
		высокая	средняя	низкая
Мотопомпы МЛ П-0,2 ПЛВ-2/1,2 МЛН-25/0,25	Тушение водой	1	1	1
Лопаты	Засыпка кромки пожара грунтом из прикопок	6...10	12...25	12...20
Подручные средства (пучки ветвей и др.)	Захлестывание пламени на кромке пожара			
	а) при низовом устойчивом пожаре	15...30	10...25	7...15
	б) при низовом беглом	10...20	8...16	4...12



Таблица 3.18 - Снижение скорости тушения ЛНП при применении ручных средств тушения без расходования ОТС в сравнении с применением РЛО, м/ч

Наименование средств тушения	Наименование работ	Интенсивность пожара		
		высокая	средняя	низкая
Лесной огнетушитель РЛО-6 РЛО-М	Тушение кромки пожара водой при подноске воды на расстояние до 100 м			
	а) при низовом устойчивом пожаре	1	1	1
	б) при низовом беглом пожаре	1	1	1
Лопаты	Засыпка кромки пожара грунтом из прикопок	1,5...2	2	2
Подручные средства (пучки ветвей и др.)	Захлестывание пламени на кромке пожара	2	1,5...2	1,5...2
	а) при низовом устойчивом пожаре	2...2,5	1,5...2	1...1,5

***Пожарный пост для обеспечения лесного пожаротушения.***

Достижения в области обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения на техногенных объектах можно перенести на лесное хозяйство. Так для обеспечения действий по лесному пожаротушению. В системе противопожарной защиты объектов существует такое понятие как *пожарный пост* - место на территории объекта или в здании, где личный состав пожарной охраны или специально назначенное лицо выполняет обязанности по контролю за соблюдением гражданами или работниками объекта противопожарного режима. Пожарные посты создаются для размещения средств тушения возгораний в непосредственной близости от потенциальных очагов пожара. Пожарные посты могут быть отдельными, стационарными, мобильными и передвижными, последние два могут найти применение в лесном хозяйстве. Для обустройства места хранения оборудования для пожаротушения и запаса ОТС может быть создан ППП [215]. Для обеспечения сохранности противопожарных инструментов, оборудования, запасов ОТС и экипировки лесных пожарных такой пожарный пост необходимо оборудовать в грузовом контейнере (5 или 10 тонн), отличающему прочностью и мощными

системами запираания. В законсервированном состоянии ППП заперт на замок и опломбирован. Для обеспечения сохранности ППП может быть оснащен маяком системы ГЛОНАСС, сообщающим в штаб-квартиру лесхоза его местоположение и информацию о попытках его взлома. Стационарные пожарные посты можно оборудовать в населенных пунктах, а передвижные в лесной местности, там, где по прогнозу будет складываться наибольшая пожарная опасность. При изменении обстановки ППП может быть перемещен на другой участок, а по окончании пожароопасного сезона храниться на территории лесоэксплуатирующего предприятия. Перемещение ППП осуществляется с помощью подъемного крана и грузового автомобиля подходящей грузоподъемности. По согласованию с собственниками и арендаторами участков сельхоз угодий или лесных массивов ППП могут устанавливаться в непосредственной близости от мест проведения сельскохозяйственных или лесохозяйственных работ для обеспечения экстренного пожаротушения. Раз в несколько дней патрульные службы лесхоза или лесничества должны осматривать ППП на предмет целостности запирающих систем с заполнением специального журнала осмотра. При обнаружении признаков взлома или их попыток, принимаются меры по его охране или перемещению в более безопасное место.

Для обеспечения пожаротушения ППП включает в себя следующие элементы для обеспечения работы группировки лесных пожарных в количестве 20 человек. Емкость, применяемая в модуль-контейнере занимает объем 3 м<sup>3</sup>. Емкость занимает нижнюю часть контейнера для снижения центра тяжести и ее габаритные размеры: длина емкости равна 1950 мм, ширина емкости равна 2515 мм, высота 610 мм. Список комплекта оборудования, которым должен быть оснащен модуль-контейнер следующий (на 20 человек): Емкость с водой с системой слива и налива 3 м<sup>3</sup>УПВД «Ермак», Удлинитель для УПВД «Ермак» 100 м Смачиватель, Лопата Грабли хлопушка противопожарная Топор-мотыга Цепная пила с мотоприводом Ранцевый лесной огнетушитель РП-18 «Ермак» Веревка пожарная спасательная 30 м

Аптечка Комплект одежды лесных пожарных (куртка, брюки, шлем, перчатки)  
Средства индивидуальной защиты (респиратор) Канистра с топливом 20 л  
емкость 20 дм<sup>3</sup> (пустая).

Применение модуль-контейнера позволит снизить время реагирования на пожар, а также нагрузку на систему обеспечения действий лесных пожарных при тушении, что позволит снизить затраты на охрану лесов от пожаров. Если смонтировать передвижной пожарный пост на грузовом шасси, то его можно превратить его мобильный пожарный пост, который может быть оперативно переброшен на опасный участок. МПП может выполнять при этом и функции лесопожарной автоцистерны класса АЦ-3,0-10.

***Потенциальная применимость средств пожаротушения и способов их транспортировки в условиях степной и лесной местности.***  
Применимость техники и оборудования для решения поставленных задач заключается в эффективности решения ими этих задач. Так применимость диктует определенные требования к машинам и оборудованию для тушения пожаров в лесах и степях [122,196].

***Проходимость.*** Через лесную и степную местность проложены дороги местного значения, которые зачастую построены с нарушением строительных норм и правил и, как правило, не имеют твердого и ровного покрытия, обладают продольными и поперечными уклонами, не отвечающими нормам дорожного строительства. Движение по таким дорогам могут осуществлять ТС, обладающие повышенными свойствами по проходимости, в которых реализованы полноприводные трансмиссии или оснащены гусеничными движителями.

***Грузоподъемность.*** Лесная и степная местности относятся, довольно часто, к засушливым территориям и при возникновении лесного пожара, взять воду просто негде. Ее приходится доставлять из отдаленных районов и для того, чтобы сэкономить время и материальные ресурсы за одну поездку нужно привезти как можно большее количество воды. Поэтому для этих целей

приветствуется использование вместительных автоцистерн и поливомоечных машин (6-8 т).

*Универсальность.* Борьба с лесными пожарами – сезонный процесс, совпадающий по времени с теплым временем года. Такой период длится в различных частях нашей страны от 4 до 7 месяцев. Тем не менее, половину года (а для некоторых регионов и больше) составляет относительно пожаробезопасный сезон, в течение которого пожарная техника может простаивать. Поэтому в целях экономии финансовых средств необходимо отдавать предпочтение той технике, которая либо может быть использована для проведения других видов работ: тушения бытовых и промышленных пожаров, сельскохозяйственных работ и т.п., либо сконструирована по модульной схеме с возможностью быстрой замены оборудования для решения различных задач.

При разработке МПК, в первую очередь нужно решить какой вид транспортного средства будет использоваться в качестве платформы. По-видимому, по хорошо известным причинам, осуществлять разработку МПК на базе объектов железнодорожного и авиационного транспорта не целесообразно, таким образом, остается только автотракторная техника.

Бурная автомобилизация России последних 15 лет показала, что обеспечение богатого выбора автотранспортных средств далеко не всегда обеспечивает удовлетворение потребностей человека в средствах передвижения. Автомобили, применяемые в хозяйственной деятельности человека, по своей грузоподъемности делятся на две группы: легковые и грузовые. Кроме этого, транспортные средства (ТС) по возможности двигаться самостоятельно можно подразделить на активные и пассивные. Активные транспортные средства оснащены собственной силовой установкой, способной привести в движение ТС – это главным образом грузовые и легковые автомобили. К пассивным ТС относятся автомобильные прицепы (АП), способные двигаться только в составе автопоезда [112]. Хотя в настоящее время разработаны активные АП или полуприцепы, т.е. имеющие

активный привод колес (гидравлический или электрический), однако, они никогда не применяются в качестве самостоятельного ТС, а только в составе автопоезда.

Таким образом, комбинируя вышеперечисленные признаки, выявляются четыре возможных варианта для размещения противопожарного оборудования и создания МПК:

- 1) Грузовое ТС;
- 2) Легковое ТС;
- 3) Грузовой АП;
- 4) Легковой АП.

Рассмотрим приведенные варианты на предмет мобильности. В понятие «мобильность» вложена возможность движения ТС с максимальной скоростью вне зависимости от дорожной обстановки. При ликвидации лесных пожаров важна быстрота реагирования пожарных команд, которое напрямую связана с минимальным временем в пути от базы размещения к месту начала пожара.

Современные легковые и грузовые автомобили способны развивать высокие скорости (более 100 км/ч) по шоссе, однако при съезде на дорогу с грунтовым покрытием скорость движения падает, при этом у грузовых автомобилей разница в скоростях больше, чем для легковых. Это связано с высоким расположением центра тяжести грузового автомобиля и повышением вероятности его опрокидывания при преодолении дорожных препятствий [19].

Легковой автомобиль обладает своими недостатками перед грузовым. Так малая грузоподъемность (не более 1,5 тонн), а для большинства легковых ТС грузоподъемность вообще составляет менее 1 тонны, не позволяет взять на борт большой запас противопожарного оборудования и огнетушащих веществ.

Грузовой автомобиль обладает значительными габаритами, что снижает его маневренные возможности в ограниченном пространстве лесной местности. Этому недостатка лишены легковые ТС.

К преимуществам, АП перед ТС, стоит отнести их сходную грузоподъемность, при меньшем собственном весе и меньшей стоимости. Однако грузовые АП имеют высоту центра тяжести сходную с грузовыми ТС и способны к опрокидыванию возможно даже больше, чем грузовые ТС.

Анализируя преимущества и недостатки различных ТС и АП было установлено, что понятию мобильность более соответствуют легковые ТС и АП, а МПК на основе легковых автомобилей займут свое законное место в реестре противопожарной техники для ликвидации лесных и степных пожаров. Этому способствует возможность применения легкой специальной техники в патрулировании территории лесов в пожароопасный период времени. Осуществлять эту операцию на грузовом автомобиле не эффективно, т.к. он обладает большим расходом топлива. Применение легковых автомобилей решает, в какой-то мере задачу повышения маневренности и проходимости, однако малая грузоподъемность легкового автомобиля не позволяет взять с собой большой запас воды. Выходов из ситуации два: (1) уменьшить пассажироместимость автомобиля с четырех до двух человек и, тем самым, повысить массу перевозимого огнетушащего вещества; (2) перевозить дополнительный запас воды в автомобильном прицепе.

Таким образом, наметились направления проведения исследований и уменьшился круг перспективных платформ для создания МПК. Наиболее подходящей платформой с технической и экономической точек зрения является легковой АП.

Повышение мобильности действий добровольных и ведомственных пожарных команд видится в возможности реализации размещения основного или вспомогательного противопожарного оборудования, а также запаса огнетушащих веществ на АП. Неоспоримым преимуществом данного предложения является гибкость комплекса противопожарного оборудования, из-за возможности перераспределения полезной массы между ТС и АП. При, казалось бы, простоте реализации такого подхода в нем кроется серьезная

задача, которая в полной мере не решена до сих пор. Рассмотрим подходы к ее решению, начав с исследования конструкции легкового АП и выявление возможности его модернизации в угоду повышения эксплуатационных свойств будущего МПК.

***Грузоподъемность легкового автомобильного прицепа.*** Основным параметром легкового автомобильного прицепа является его грузоподъемность [24]. Согласно Правилам Дорожного Движения [19] все ТС делятся на несколько классов: легковые, грузовые и пассажирские. По снаряженной массе ТС подразделяются на: легковые – масса не более 3500 кг; грузовые – масса более 3500 кг. По пассажировместимости ТС делятся на автомобили (не более 8-ми посадочных мест, включая водительское) и автобусы (более 8-ми посадочных мест). Исходя из вышеперечисленных различий формируются категории допуска к управлению ТС (А, В, С, D, E), а также организационное и техническое обеспечение безопасности дорожного движения.

***Исследование геометрической проходимости легкового автопоезда.*** Лесные и проселочные дороги не обладают твердым покрытием, а также довольно часто построены (проложены) с нарушением требований к проезжей части: поперечные и продольные уклоны могут не соответствовать нормативам, на дорожном полотне может присутствовать глубокая колея, дорога может быть проложена вдоль или поперек оврага, дорожное полотно может состоять из рыхлого грунта, например, песка и пр. Все перечисленное может негативным образом сказаться на и проходимости и маневренных возможностях автопоезда и заставляет искать технические решения для улучшения проходимости автопоезда [29,112].

Проходимость автопоезда – это его способность преодолевать препятствия. К наиболее важным характеристикам проходимости относятся максимальный угол подъема, а также радиусы продольной и поперечной проходимости. Определенные требования накладывает распределение массы автопоезда и фактическое расположение центра тяжести.

Для того чтобы успешно буксировать АП по дороге без твердого покрытия необходимо, чтобы АП создавал наименьшее сопротивление движению, которое при прочих равных условиях зависит от деформации движителя (колеса/шины), а также деформации грунта на дорожном полотне. Эти величины взаимосвязаны между собой [22] и улучшение одного параметра ухудшает другой. Так деформацию движителя можно снизить путем увеличения рабочего давления в шине, которая закономерно приобретает форму более близкую к «кругу», но при этом происходит снижение площади пятна контакта движителя и дорожного полотна, что приводит к повышенной деформации грунта и образованию колеи, на формирование которой расходуется часть энергии двигателя ТС. Наоборот, снижение давления в шине увеличивает пятно контакта, снижает деформацию грунта, но увеличивает потери энергии на качение движителя. Таким образом, снизить сопротивление движению удастся только комплексно повысив давление в шине и обеспечив малую величину деформации грунта.

Из работ [33,34] известно, что колесное ТС при своем движении осуществляет уплотнение грунта. Так наибольшая величина уплотнения наблюдается под воздействием колес передней оси ТС, т.к. они воздействуют на грунт первыми, а также потому что большинство автомобилей и колесных тракторов обладают передним расположением двигателя и большей нагрузкой на переднюю ось. Вторая и последующие оси оказывают значительно меньшее (10-15%) деформирующее действие в области образовавшейся колеи. Таким образом, для обеспечения меньшей деформации грунта под осью АП крайне необходимо, чтобы колея АП совпадала с колеей ТС, а само ТС имело бы не менее 2-х осей. Межколесное расстояние у легковых ТС и легковых АП практически совпадают [18], поэтому в этом случае отсутствует необходимость в реализации каких-либо дополнительных технических решений для выравнивания межколесного расстояния у ТС и АП. Однако, если в качестве тягача приходится использовать грузовое ТС или трактор колея ТС и АП может не совпадать, что приведет к повышенному сопротивлению



движению. Грузовые ТС и колесные тракторы в большинстве своем обладают большим межколесным расстоянием [18] по сравнению с легковыми автомобилями, поэтому необходимо применять меры по расширению колеи АП.

Другим способом снижения воздействия движителя на грунт является увеличение ширины колеса и, тем самым, увеличение площади контакта колеса и дорожного полотна. Подвески абсолютного большинства легковых АП созданы на базе ступиц автомобиля ВАЗ 2108 либо ступиц автомобиля ВАЗ-21213 или ГАЗ 24 и предполагают установку колес от автомобилей ВАЗ или ГАЗ. Рассмотрим пример, когда установлена подвеска от автомобиля ВАЗ 2108. Для легковых автомобилей ВАЗ 2108 выпускают колеса различной ширины, например – самое узкое колесо с посадочным диаметром 13 дюймов имеет ширину 155 мм, а самое широкое колесо - 205 мм (модель 205/60R13). На ступицу АП можно присоединить колесный обод диаметром 15 дюймов и установить на него колесо размерностью 235/75R15.

Подвижность автопоезда зависит не только от силы сцепления движителя и грунта, но и от его способности преодолевать различные препятствия бугры, канавы/овраги, поперечные наклоны дорожного полотна. Кроме этого, маневренные возможности ТС тем выше, чем меньшим радиусом поворота обладает автомобиль. Подвижность и маневренность - это характеристики, зависящие от конструктивных особенностей самого ТС, АП и тягово-сцепного устройства.

Параметрами, отвечающими за проходимость автопоезда, являются радиус продольной и поперечной проходимости (рисунки 3.20 и 3.21). Радиус поперечной проходимости для ТС это известные табличные величины. Для АП данный параметр рассчитать не сложно используя методику [37].

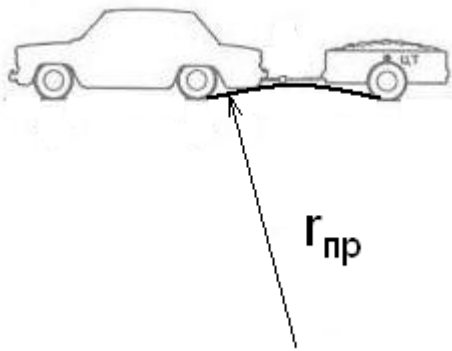


Рисунок 3.20 - Радиус продольной проходимости автопоезда

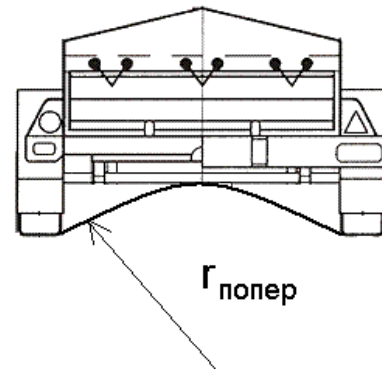


Рисунок 3.21 - Радиус поперечной проходимости автопоезда

Другими словами, на указанные параметры в основном оказывают влияние межколесные расстояния и чем они меньше, тем меньшего радиуса бугры способны преодолевать ТС и/или автопоезд при том же размере колесных движителей. Интересно отметить то, что на радиус поперечной проходимости влияет только конструкция подвески АП, в то время как на радиус продольной проходимости влияет главным образом длина дышла прицепа. Меняя длину дышла, можно добиться необходимых параметров по продольной проходимости.

Рассмотрим необходимые технические решения для получения удовлетворительных характеристик подвижности и маневренности. Зависимость здесь довольно проста: чем меньше база и, соответственно, продольный радиус проходимости, тем круче будет тот бугор, который может переехать автопоезд без риска зацепиться за грунт неподвижными элементами. Для уменьшения радиуса продольной проходимости необходимо уменьшать колесную базу автопоезда, т.е. расстояние между задней осью ТС и осью АП. Осуществить это можно двумя путями либо уменьшив длину дышла АП и, тем самым, уменьшить расстояние между осями, либо увеличив дорожный просвет ТС и АП. Увеличение дорожного просвета ведет к увеличению высоты центра тяжести автопоезда, что напрямую влияет на его поперечную устойчивость, угол бокового скольжения АП и максимальную безопасную скорость движения. Движение по дороге с некоторой предельной

величиной поперечного наклона может привести к боковому соскальзыванию или даже опрокидыванию АП.

Решить эту задачу можно только введя дополнительные ограничения, такие как: ТС – УАЗ-2206; АП присоединен непосредственно к раме ТС Шаровой шарнир ТСУ обеспечивает углы поворота большие, чем габариты ТС и АП Высоты рам ТС и АП одинаковы Максимальный преодолимый уклон для УАЗ-2207 составляет 30 гр. (58%).

Применяя выражение (4.18-4.19) определим величины радиусов продольной проходимости для АП с разными длинами дышла (таблица 3.22).

Таблица 3.22. Радиусы продольной проходимости легкового автопоезда от длины дышла

№	Длина дышла, мм	Радиус продольной проходимости, м
1	440	1,7
2	700	2,0
3	1162	2,5
4	1395	2,9
5	1802	3,5

Из представленных в таблице результатов видно, что чем короче дышло, тем бугор меньшего радиуса оказывается преодолим для автопоезда.

Другой стороной геометрической проходимости являются углы въезда и съезда, которые определяются величинами переднего и заднего свесов ТС и АП. Эти величины не так критичны для автопоезда, т.к. тягово-сцепное устройство представляет собой подвижный шарнир, осуществляющий изгиб конструкции.

Дорога, не обладающая твердым покрытием, в обязательном порядке обладает колейностью, т.е. результатом деформации грунта движущимися по нему автомобилями (рисунок 3.13) с последующим сохранением формы. Колейность, как правило, образуется наиболее интенсивно в периоды дождливой погоды сменяющихся сухой погодой. При большом количестве осадков грунт размягчается и переходит в пластическое состояние, которое

позволяет ему выдавливаться из-под пятна контакта автомобильного колеса. А сухая погода способствует затвердеванию грунта и формированию колеи. Колея опасна тем, что при движении по ней автомобиль может задеть грунт неподвижными элементами кузова с последующей деформацией или поломкой.



Рисунок 3.13 - Колея на дороге местного значения

Противостоять действию колеи возможно разными способами: организационными и техническими. К организационным мероприятиям относится обеспечение движения автомобиля таким образом, чтобы колеса двигались по вершинам бугров, что не всегда возможно. К техническим мероприятиям относятся увеличение дорожного просвета, которого можно добиться увеличением диаметра колеса (см. таблицу 3.23), применением специальных надставок, а также изменением формы балки подвески.

Другим параметром, отвечающим за проходимость автопоезда, является радиус поперечной проходимости, выражающийся в радиусе окружности, проходящей через низшую точку оси автомобиля и касательной к колесам, расположенным на данной оси. Радиус должен расти с увеличением межколесного расстояния и уменьшением величины дорожного просвета (таблица 3.23).

Таблица 3.23 - Зависимость величины дорожного просвета от конструктивных особенностей подвески легкового АП

Типоразмер колеса	Диаметр колеса, мм	Дорожный просвет, мм	Дорожный просвет + 50, мм	Дорожный просвет + 100, мм
155/80R13	547	249	299	<b>349</b>
175/70R13	575	263	313	<b>363</b>
185/65R14	596	273	323	373
195/60R14	589	270	320	370
205/70R15	693	322	<b>372</b>	422
215/75R15	703	327	377	427
225/75R15	718	334	384	434
235/75R15	733	<b>342</b>	392	442

Изменить радиусы продольной и поперечной проходимости можно изменяя длину дышла, изменяя радиусы применяемых колес, изменяя форму балки подвески АП. Балка подвески легкового прицепа представляет собой прямой стержень круглого (или квадратного) сечения, с торцов которого закреплены ступицы колес (рисунок 3.23). Балка подвески осуществляет кинематическую взаимосвязь между колесами и, тем самым, разгружая раму ТС от дополнительных паразитных нагрузок.

*Исследование маневренных возможностей легкового автопоезда.*

Управляемость ТС характеризуется его способностью к изменению направления своего движения. Любое ТС должно быть приспособлено для преодоления поворотов на дороге/магистрале. Чем меньшим радиусом поворота обладает автомобиль, тем легче им управлять в сложных условиях.

ТС обладает таким параметром, как минимальный радиус поворота, т.е. окружность какого радиуса, опишет его внешнее переднее колесо при максимальном повороте рулевого колеса в ту или другую сторону. При этом наблюдается явление смещения задней оси внутрь поворота (рисунок 3.24).

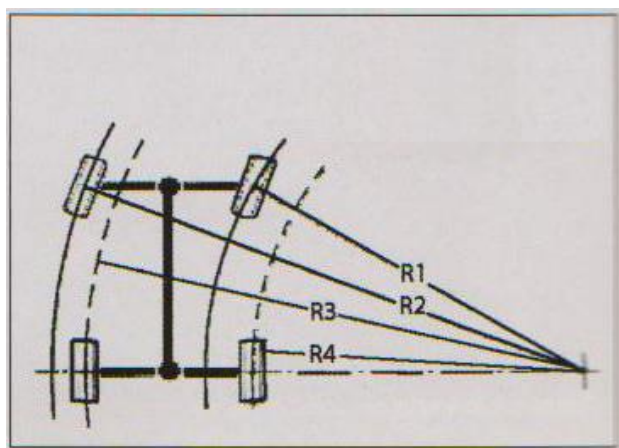


Рисунок 3.24 - Траектории движения колес передней и задней осей ТС в повороте. Чертеж составлен на примере автомобиля УАЗ-469

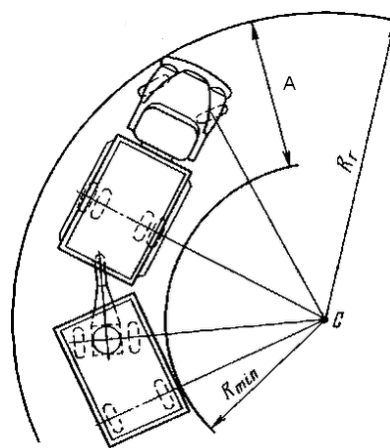


Рисунок 3.25 - Схема движения автопоезда в повороте

Аналогичное явление наблюдается для автопоездов, при повороте АП смещается внутрь, делая радиус разворота еще меньше (рисунок 3.25).

Радиус разворота автопоезда не может быть меньше, чем у отдельного ТС. Несмотря на то, что радиус поворота АП в составе автопоезда меньше, чем у самого ТС из-за большей длины автопоезда необходимо закладывать больший радиус на его поворот.

Маневренные возможности автопоезда в лесной местности является важным техническим параметром подвижности, т.к. в лесу радиусы поворота малы и ограничены пространствами между деревьями. Для легкового ТС многолетнее древовидное растение является непреодолимым препятствием.

Маневренные возможности автопоезда выражаются в радиусе поворота и чем меньше этот радиус, тем лучше маневрирует автомобиль. Радиус поворота автопоезда всегда больше радиуса поворота индивидуального ТС в силу того, что длина автопоезда больше длины ТС [112]. Однако следует учесть, что между ТС и АП существует шарнирное сочленение дающая автопоезду дополнительную степень свободы и способную влиять на радиус его поворота. Так, увеличивая длину дышла АП, можно добиться снижения радиуса поворота, за счет обеспечения большего поперечного угла и, в противоположность, уменьшая длину дышла необходимо закладывать на

поворот большой радиус, т.к. существует возможность соприкосновения между собой неподвижных элементов кузовов ТС и АП.

Таким образом, длина дышла АП одновременно определяет как подвижность, так и маневренные возможности автопоезда. Поэтому необходимо найти оптимальное значение длины, обеспечивающей одновременно удовлетворительные характеристики по геометрической проходимости и радиусу разворота автопоезда.

В маневренных возможностях автомобиля длина дышла АП определяет три различных параметра – максимальный подъем, преодолеваемый автомобилем, угол поворота и радиус продольной проходимости автопоезда. Тем не менее, трудно определить оптимальную взаимосвязь между этими параметрами изменение длины дышла меняет их в определенном отношении, улучшая одни (максимальный подъем, преодолеваемый автомобилем и угол поворота) и ухудшая другой (радиус продольной проходимости) параметр. Для решения данной задачи нужна некоторая точка отсчета. Такой точкой отсчета был выбран максимальный подъем, преодолеваемый автомобилем. Дело в том, что максимальный подъем преодолимый для ТС, непреодолим для автопоезда, но в тоже время задает максимальный угол поворота при минимальном радиусе продольной проходимости автопоезда.

Применяя указанный алгоритм расчета есть возможность определить минимальную длину дышла необходимую для обеспечения въезда автопоезда в уклон с  $30^\circ$  при различных высотах кузова АП. При этом высота кузова ТС (тягача) оставляем неизменной. Результаты расчетов представлены в таблице 3.26.

Таблица 3.26 - Взаимосвязь длины дышла, от угла въезда и высоты кузова АП

№	Высота кузова АП, мм	Длина дышла, мм
1	380	440
2	600	700
3	1000	1162
4	1200	1395
5	1550	1802

Длина дышла АП также отвечает за обеспечение угла поворота АП относительно ТС [101, 172]. Это необходимо для обеспечения повышенных маневренных возможностей автопоезда, уменьшения угла его поворота и, в конечном итоге, сужение динамического коридора автопоезда, который крайне необходим для движения в стесненном пространстве, которое может из себя представлять лесная местность. Угол поворота ограничивается соприкосновением неподвижных частей ТС и АП, что неминуемо приведет к повреждению одного или другого.

Как было показано ранее в данном параграфе длина дышла АП определяет еще один параметр геометрический угол въезда, который в свою очередь зависит от вертикальных габаритов ТС и АП. В таблице 3.27 определены длины дышла в зависимости от высоты кузова АП. Для расчета угла поворота возьмем, в качестве опорных, полученные величины. Применяя выражение (3.20) получим результаты, представленные в таблице 3.27.

Таблица 3.27 - Взаимосвязь угла поворота АП относительно ТС, от длины дышла АП

№	Длина дышла*, мм	Угол поворота, гр.
1	440	34
2	700	57
3	1162	>90
4	1395	>90
5	1802	>90

\*Данные по длине дышла взяты из таблицы 3.26

Из представленной таблицы видно, что даже самая малая предполагаемая длина дышла АП (440 мм) обеспечивает угол поворота в 34° (рисунок 3.15), что значительно превышает угол поворота самого тягача (для УАЗ-2206 угол поворота составляет 30°).



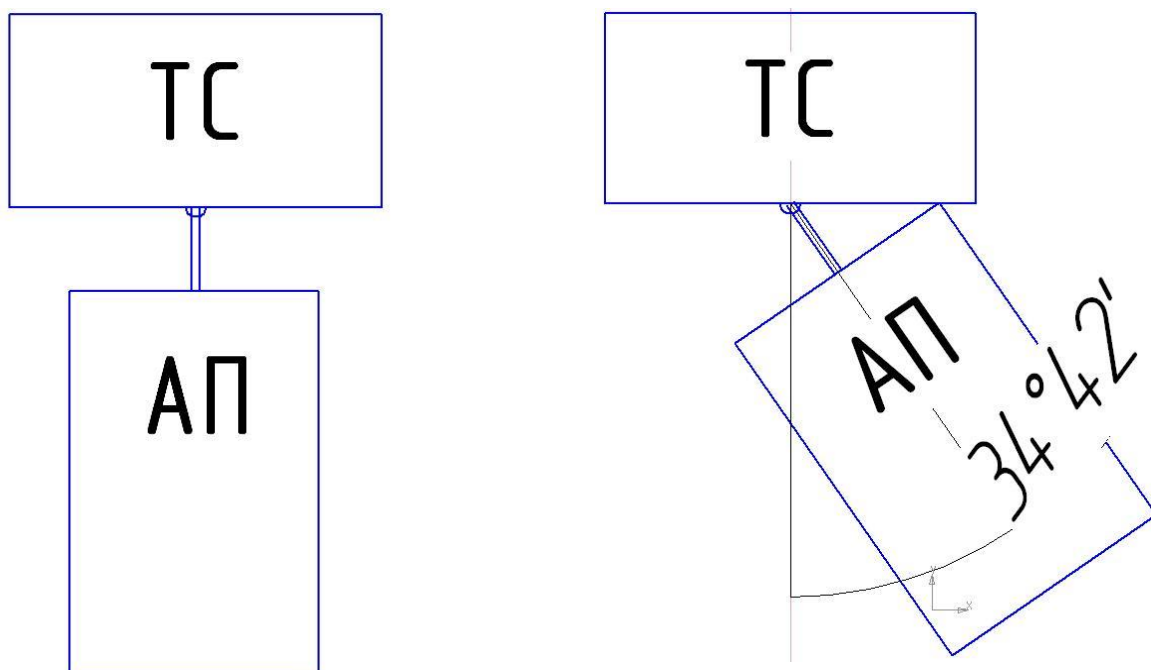


Рисунок 3.15 - Геометрические возможности поворота для ТС и АП с длиной дышла 440 мм

При длине дышла легкового АП 700 мм, угол поворота АП относительно ТС равен  $57^\circ$  (рисунок 3.16)

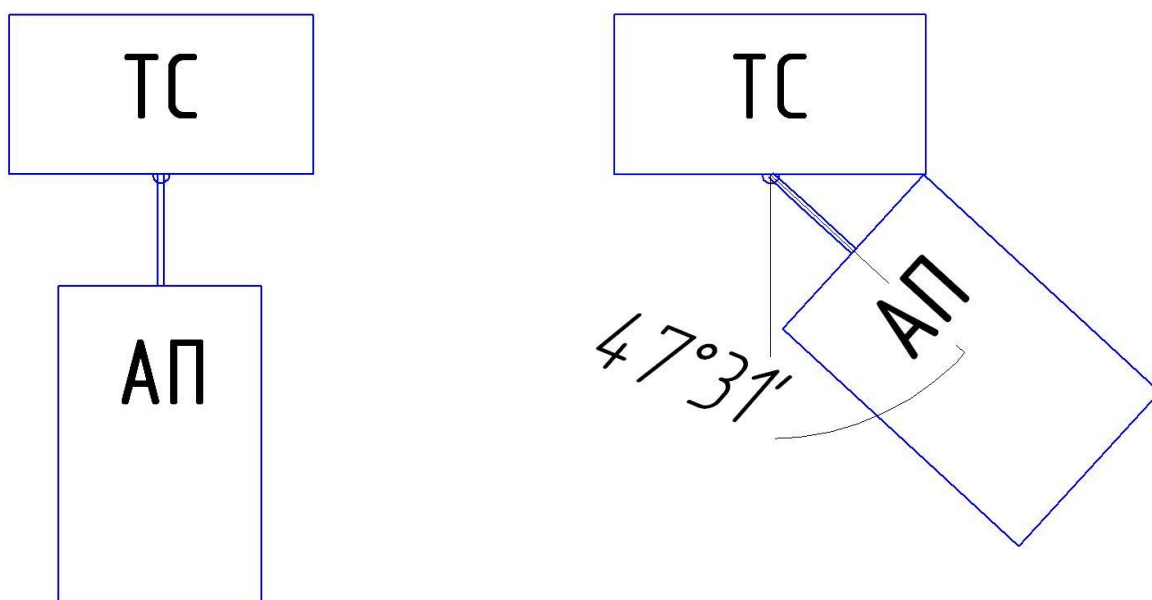


Рисунок 3.16 - Геометрические возможности поворота для ТС и АП с длиной дышла 700 мм

При длине дышла легкового АП 1162 мм и более, угол поворота АП относительно ТС равен  $90^\circ$  (рисунок 3.17)

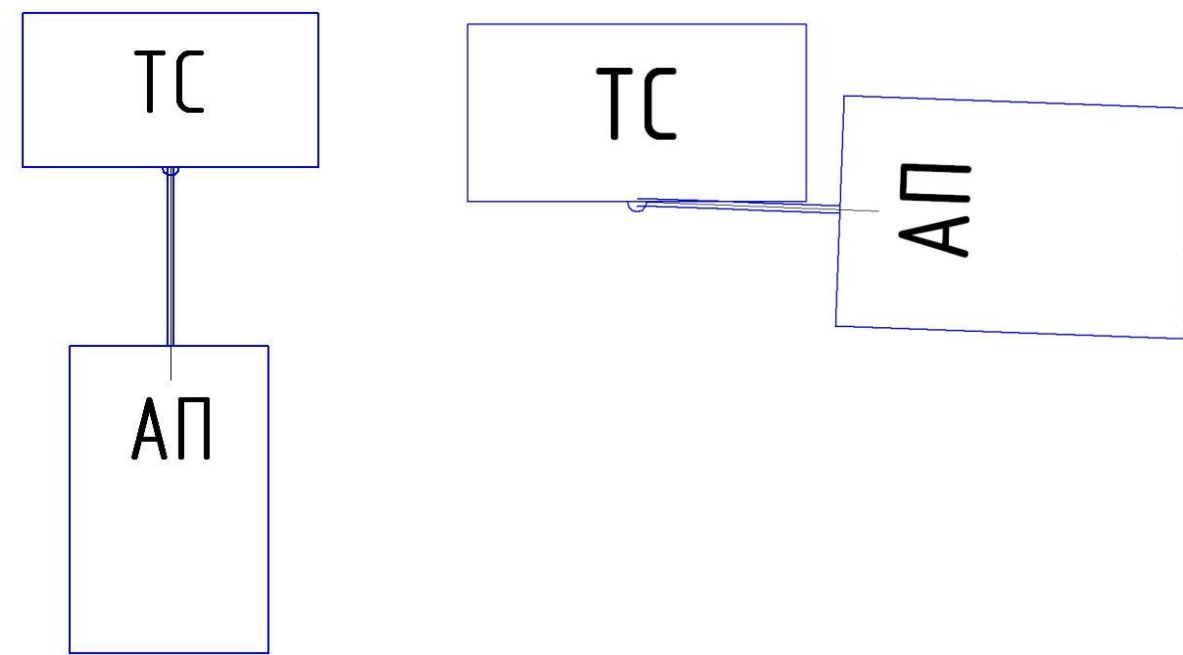


Рисунок 3.17 - Геометрические возможности поворота для ТС и АП с длиной дышла 1162 мм

Увеличивать длину дышла более 1162 мм нецелесообразно, т.к. растет радиус продольной проходимости легкового автопоезда.

**Динамический коридор легкового автопоезда.** Другим важным параметром автопоезда является динамический коридор автопоезда - ширина полосы дороги (проезжей части), необходимой для его безопасного движения с заданной скоростью [20,101,167,172,265,301]. Величины динамических коридоров, рассчитанные для легкового автопоезда представлены в таблице 3.28.

Таблица 3.28 - Величина динамического коридора в зависимости от длины дышла легкового автомобильного прицепа

№	Длина дышла, мм	Динамический коридор легкового автопоезда, м
1	440	4.91
2	700	4.92
3	1162	4.97
4	1395	4.99
5	1802	5.02

Из представленных в таблице данных видно, что ширина динамического коридора слабо зависит от длины дышла АП, однако с увеличением длины ширина динамического коридора растет, а чем больше динамический коридор, тем более маневренным является автопоезд.

***Мобильный комплекс пожаротушения на базе легкового автопоезда.***

Для реализации на практике создания мобильных высокопроходимых средств патрулирования лесной территорий и тушения ЛП был создан МКП [203]. Предлагаемое средство представляет собой легковой автопоезд, состоящий из квадроцикла, используемого в качестве ТС, к которому посредством ТСУ присоединен одноосный АП (рисунок 3.19). Предлагаемый МКП предназначен для управления 1-2 чел., обладает малыми размерами и достаточной маневренностью, что делает его пригодным для применения его в труднодоступных местах. Предлагаемый МКП дешев в приобретении, эксплуатации и обслуживании, экономичен в расходе топлива. С помощью МКП возможно эффективное проведение профилактики и тушение ЛП с помощью строительства заградительной полосы и нанесения на нее участок полосы воды или ОЗС (ОТС).

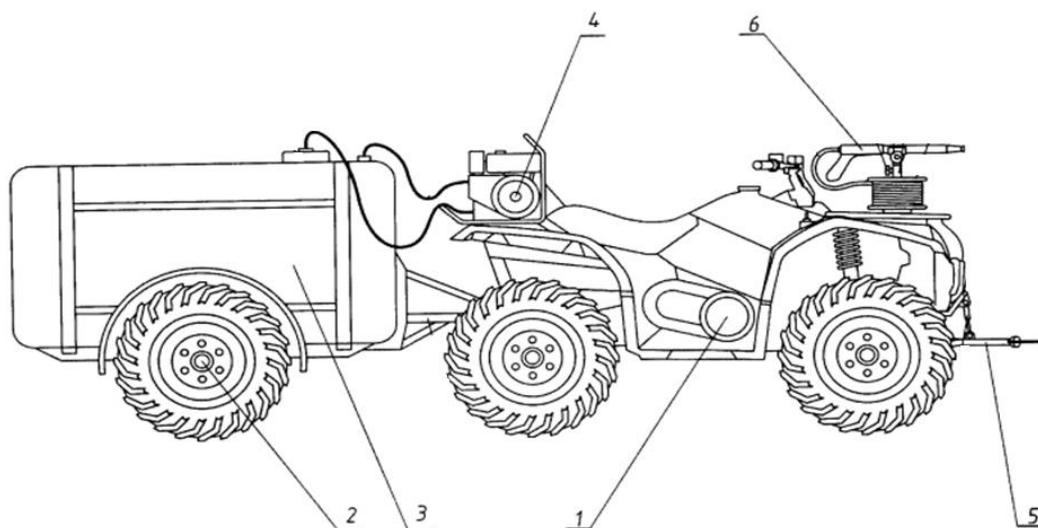


Рисунок 3.19 - Мобильный комплекс пожаротушения

Предлагаемый предназначен для доставки одного или двух лесных пожарных, запаса воды и установки пожарной высокого давления к месту тушения пожара. Комплекс обладает малыми размерами и достаточной

маневренностью, что делает его пригодным для применения его в труднодоступных местах. Использование предлагаемого комплекса позволит осуществлять тушение лесных пожаров в условиях значительного удаления или отсутствия открытых источников воды в районе очага возгорания. Предлагаемый мобильный комплекс пожаротушения дешев в приобретении, эксплуатации и обслуживании, экономичен в расходе топлива.

Мобильный пожарный комплекс состоит из транспортного средства (квадроцикла) 1 и прицепа 2, в котором размещена емкость 3. Установка пожарная высокого давления 5 установлена на квадроцикле над его задней осью, для сокращения длины всасывающего трубопровода, а рукава высокого давления подают воду к боковым пожарным стволам 5 и ручному пожарному стволу (гидропульту) 6, применяемым для тушения как отдельных очагов низовых пожаров, так и кромки на расстоянии не более 15-20 м от комплекса.

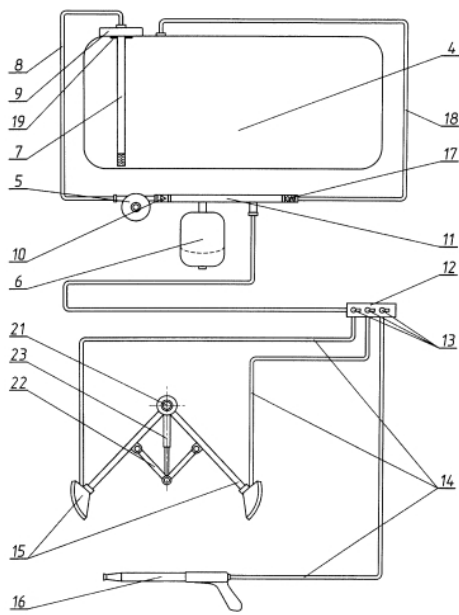


Рисунок 3.20 - Схема соединения трубопроводов МКП [203]

Работает комплекс следующим образом – тушение с помощью МКП осуществляют два человека. Перед выездом для тушения ЛП или для патрулирования территории емкость заполняется водой. Проверяется наличие расходных материалов (бензин и моторное масло) для ТС и УПВД. При обнаружении очага возгорания лесные пожарные сообщают о наличии ЛП месте его обнаружения, параметрах, состоянии погодных условий, затем проводят развертывание установок пожаротушения и приступают к тушению

ЛНП. Данный МКП может осуществлять тушение в двух вариантах с помощью ручного гидропульта, закрепленного на рулевом приспособлении ТС (6 рисунок 3.19) или с помощью штанг, закрепленных на раме ТС (5 рисунок 3.19). Последнее устройство предназначено для проливки кромки низового пожара или строительства заградительной полосы непосредственно перед кромкой низового пожара.

***Автоматизация процесса тушения ЛНП и защита лесопожарной техники.*** Тушение ЛП является тяжелым трудом, особенно при воздействии на людей высокой температуры и дыма [281]. Наиболее тяжелый труд в тушении ЛП это перенос пожарных рукавов, по мере тушения фронта (кромки) из которых наиболее тяжелыми являются стандартные рукава пожарных автоцистерн АЦ. Такие рукава имеют внутренний диаметр 51 мм и масса заполненной водой секции длиной 20 м составляет более 40 кг. Согласно правилам безопасности АЦЛ запрещено устанавливать ближе 100 м от фронта (кромки) ЛП, поэтому пожарным приходится вручную переносить 5 секций общим весом 200 кг вдоль фронта (кромки).

Для снижения трудозатрат при тушении ЛНП в условиях лесостепной и степной зон есть возможность двигаться на грузовом автомобиле вдоль кромки ЛНП и проводить тушение кромки стволами-распылителями, расположенными на подвесе впереди машины. Но для этого необходимо как-то обойти нормы безопасности при организации лесного пожаротушения. Для движения вдоль кромки ЛНМ или даже по ней необходимо обеспечить невозможность пожара в самом автомобиле, а также возгорания отдельных его частей – колес, топливного и масляного баков и т.п. Проще всего это организовать созданием водяной завесы под АЦЛ и вокруг нее.

Для реализации такой возможности АЦЛ должна быть оснащена двумя трубопроводами, один должен питать стволы распылители, предназначенные для тушения, а второй – подавать воду в оросители, создающие водяную завесу, которая защищает АЦЛ от пожара. Открытым остается вопрос: сколько

воды нужно подавать через стволы-оросители и на создание водяной завесы в единицу времени для обеспечения пожаротушения и защиты АЦЛ?

Для обеспечения безопасности АЦЛ требуется спроектировать следующее оборудование: трубопроводы верхнего контура для защиты боковых корпусов машины (включая кабину); трубопровод нижнего контура, служащий в том числе для орошения площади при движении машины; манометр для определения давления в системе; тройник соединительный (используется для разводки труб); кран запорный для трубопроводов; насос для подачи воды; оросители (рисунок 3.21).

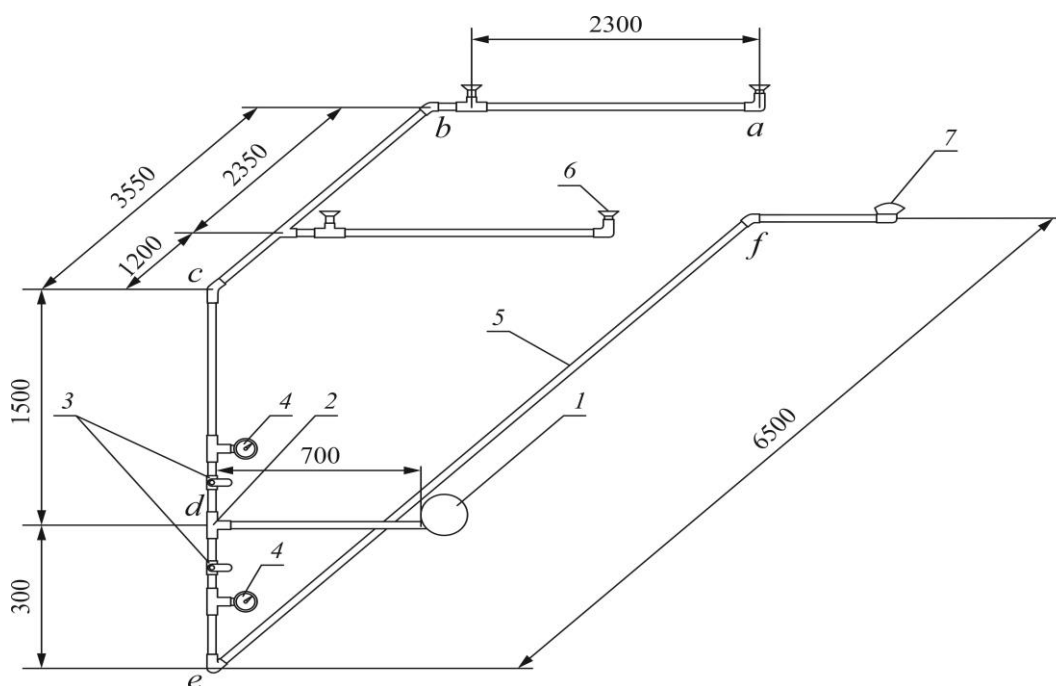


Рисунок 3.21 - Принципиальная схема водяной завесы автомобиля АЦ 3.0-40:

1 - насосный агрегат; 2 - тройник; 3 - кран шаровой; 4 - манометр; 5 - трубопровод; 6-ороситель дефлекторный круговой; 7-ороситель дефлекторный секторный.

Система дополнительно может быть снабжена пожарными тепловыми извещателями, при срабатывании которых происходит запуск водяной завесы в автоматическом режиме.

В ручном режиме для запуска водяной завесы необходимо включить насос и запитать водой один или несколько контуров водяной завесы для работы оросителей. Излишки воды будут поступать обратно в бак через перепускной клапан. Нижний контур также можно использовать для

выполнения поливомоечных работ, что расширяет сферу использования предлагаемого оборудования.

Данную завесу можно также использовать для орошения зоны стоянки машины перед работой на пожаре, для выезда из охваченного огнем участка пожара, а также для охлаждения технологического оборудования машины.

**Радиус захвата и средняя мгновенная интенсивность водяной завесы при использовании дефлекторных оросителей.** В результате лабораторных исследований дефлекторных оросителей кругового действия установлено, что радиус захвата орошения зависит в основном от диаметра сопла, напора перед оросителем и от высоты его установки над поверхностью земли (рисунок 3.22, таблица 3.28).

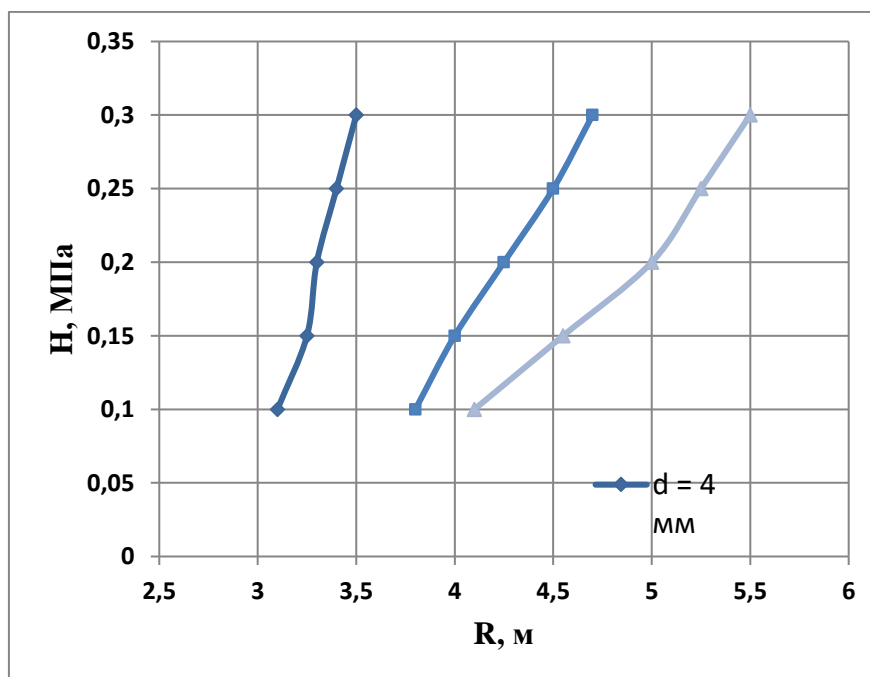


Рисунок 3.22 - Радиус захвата R дефлекторного оросителя в зависимости от диаметра сопла D и напора перед оросителем H, при высоте установки 3,0 м.

Максимальный радиус захвата дефлекторного оросителя при изменении диаметра сопла от 4 до 6 мм при напоре 0,3 МПа составляет 3,2...5,5 м. Обработкой экспериментальных данных получено уравнение для определения радиуса захвата R оросителя, установленного на высоте 3,0 м от поверхности земли:

$$R = H / (0,21 + H / D \cdot 1,091), \quad (4.8)$$

где  $H$  – напор, м вод. ст.;  $D$  – диаметр сопла, мм.

Коэффициент парной корреляции данного уравнения равен 0,87.

При снижении высоты установки дефлекторных оросителей, радиус захвата уменьшается. Уравнение для определения коэффициента уменьшения от высоты установки дефлекторной насадки имеет вид:

$$K = 0,86 + 0,06 h , \quad (4.9)$$

где  $h$  – высота установки дефлекторного оросителя, м, ( $0,6 < h < 3,0$ ).

Таблица 3.28 - Радиус захвата ( $R$ ) и мгновенная интенсивность орошения ( $\rho$ ) при использовании оросителя в зависимости от диаметра сопла ( $D$ ) и напора перед насадкой ( $H$ )

$D$ , мм	$H$ , МПа	$q$ , л/с	$R$ , м	$\rho$ , мм/мин
4	0,1	0,153	3,2	0,285
4	0,15	0,187	3,22	0,344
4	0,2	0,216	3,25	0,390
4	0,25	0,242	3,27	0,432
4	0,3	0,265	3,3	0,465
5	0,1	0,239	3,8	0,316
5	0,15	0,293	4,0	0,349
5	0,2	0,338	4,2	0,365
5	0,25	0,378	4,45	0,366
5	0,3	0,414	4,7	0,358
6	0,1	0,344	4,1	0,391
6	0,15	0,422	4,8	0,350
6	0,2	0,487	5,0	0,372
6	0,25	0,545	5,25	0,376
6	0,3	0,597	5,5	0,377

Средняя мгновенная интенсивность на площади орошения дефлекторного оросителя с соплом 4...6 мм находится в пределах 0,28...0,46 мм/мин (таблица 3.28).

*Определение площади водяной завесы в зависимости от параметров оросителей кругового действия.* Исходя из размеров пожарной машины марки ГАЗ (6,55x2,36 м), схемы расстановки оросителей, характеристик оросителей, определим площадь водяной завесы (рисунок 3.23).



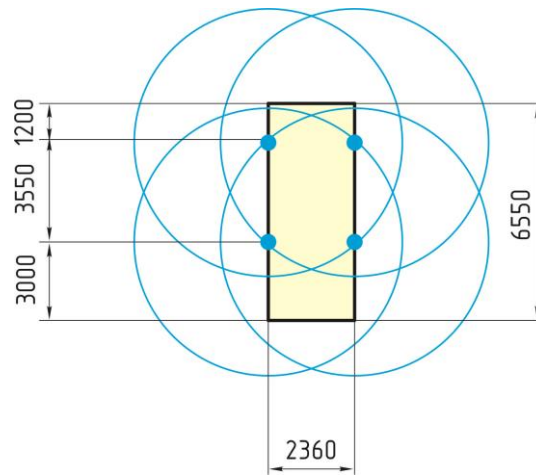


Рисунок 3.23 - Площадь водяной завесы вокруг пожарной машины

При использовании кругового оросителя:  $D=4$  мм при рабочем напоре  $H = 0,2$  МПа радиус захвата составит 3,2 м, а площадь водяной завесы будет равна –  $9 \times 10 = 90$  м<sup>2</sup>. Изменение площади завесы в пределах 75-150 м<sup>2</sup> в зависимости от диаметра сопла ( $D$ ) и рабочего напора показано на рисунке 3.24.

Исследования показали, что оросители кругового действия диаметром сопла 4...6 мм обеспечивают устойчивое перекрытие оросителей и образуют сплошную водяную завесу в некоторых участках с двойным перекрытием.

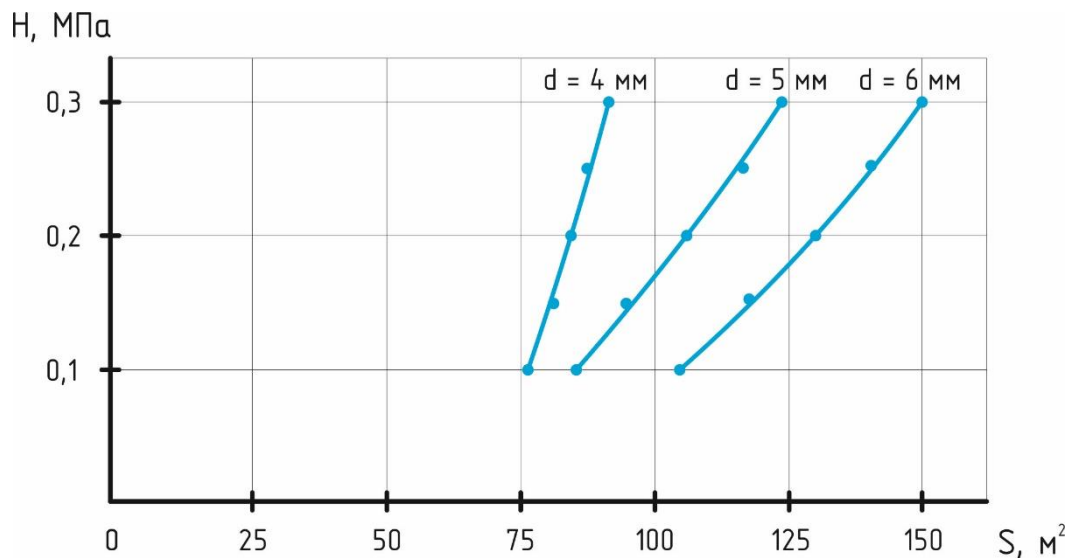


Рисунок 3.24 - Площадь водяной завесы в зависимости от диаметра сопла ( $D$ ) и рабочего напора ( $H$ )

*Распределение интенсивности вдоль радиуса захвата водяной завесы оросителями кругового действия.* Распределение нормированного слоя дождя ( $h_i/h_{cp}$ ) вдоль радиуса захвата оросителя в зависимости от диаметра и напора приведены в таблице 3.29 и представлены на рисунках 3.25 и 3.26. С увеличением напора распределение слоя дождя вдоль радиуса захвата становится более равномерным (рисунок 3.25) [185].

Таблица 3.29 - Нормированное распределение слоя капель вдоль радиуса захвата дождем оросителя и расчетные значения коэффициентов  $\gamma$  и  $\eta$  бета-распределения

$X/R$	$h_i/h$							
	Д = 6 мм			Д = 4 мм			Д = 5 мм	
	Н=0,08 МПа	Н=0,14 МПа	Н=0,32 МПа	Н=0,07 МПа	Н=0,19 МПа	Н=0,28 МПа	Н=0,06 МПа	Н=0,12 МПа
0,05	0,12	0,20	0,30	0,10	0,95	0,55	0,22	0,36
0,15	0,38	0,60	1,05	0,45	0,91	0,86	0,36	0,48
0,25	0,66	0,90	1,54	0,80	1,11	1,24	0,58	0,74
0,35	0,93	1,15	1,81	1,15	1,39	1,65	0,96	1,15
0,45	1,25	1,30	1,76	1,50	1,52	1,70	1,60	1,55
0,55	1,74	1,48	1,60	1,60	1,54	1,71	2,14	1,80
0,65	2,19	1,40	1,36	1,06	1,39	1,64	2,20	2,20
0,75	1,60	1,35	1,10	1,40	1,0	1,0	1,85	1,90
0,85	0,91	0,75	0,60	0,50	0,50	0,40	1,10	0,95
0,95	0,20	0,20	0,10	0,20	0,04	0,02	0,10	0,10
$\gamma$	2,817	2,190	2,020	2,970	1,635	1,640	3,0	1,870
$\eta$	2,040	2,0	2,370	2,710	2,050	1,950	2,220	1,569
$X_{50}$	0,636	0,544	0,428	0,535	0,377	0,403	0,606	0,605

По нормированным данным распределения слоя воды водяной завесы, используя формулы 3.8 и 3.9, определяем значения  $\gamma$  и  $\eta$  (таблица 3.29, рисунок 3.27). При небольшом напоре  $H = 0,06...0,10$  МПа и при отношении  $H/D=0,01...0,016$  МПа/мм струя слабо распадается на капли и, основная масса воды, выпадает в конце радиуса захвата орошения. Значения параметров изменяются в следующих пределах:  $\gamma = 3,0...4,0$  и  $\eta = 1,8...2,0$ .

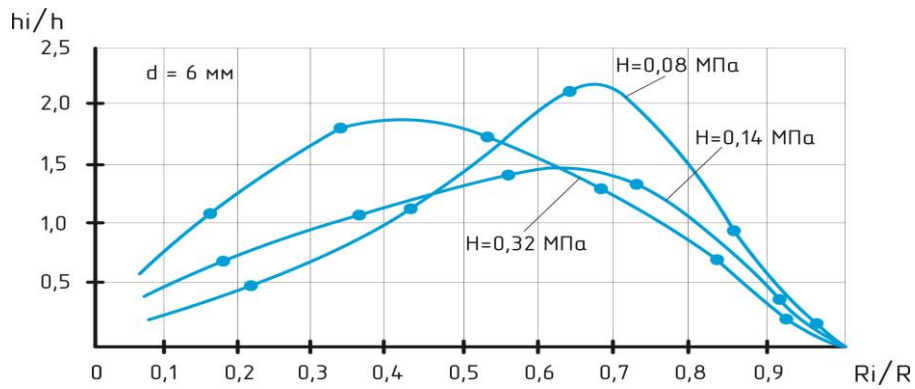


Рисунок 3.25 - Распределение нормированного слоя воды вдоль относительного радиуса орошения оросителя кругового действия  $D$  6 мм

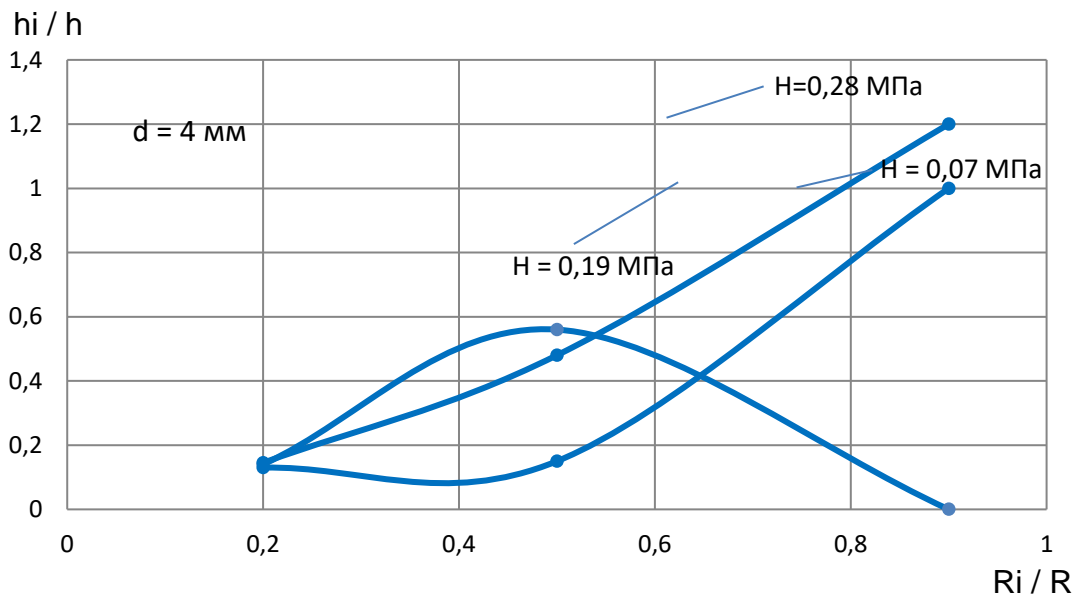


Рисунок 3.26 - Распределение нормированного слоя воды вдоль относительного радиуса оросителя кругового действия  $D = 4$  мм.

При большом напоре  $H = 0,15...0,50$  МПа и при  $H/D = 0,025...0,080$  МПа/мм, струя распадается на мелкие капли и более равномерно распределяется вдоль радиуса захвата оросителя. Значения параметров  $\gamma = 2,0...2,5$  и  $\eta = 2,5...2,7$ . Лучшую равномерность орошения круговые оросители имеют при  $H = 0,10...0,25$  МПа и  $H/D = 0,015...0,025$  МПа/мм.

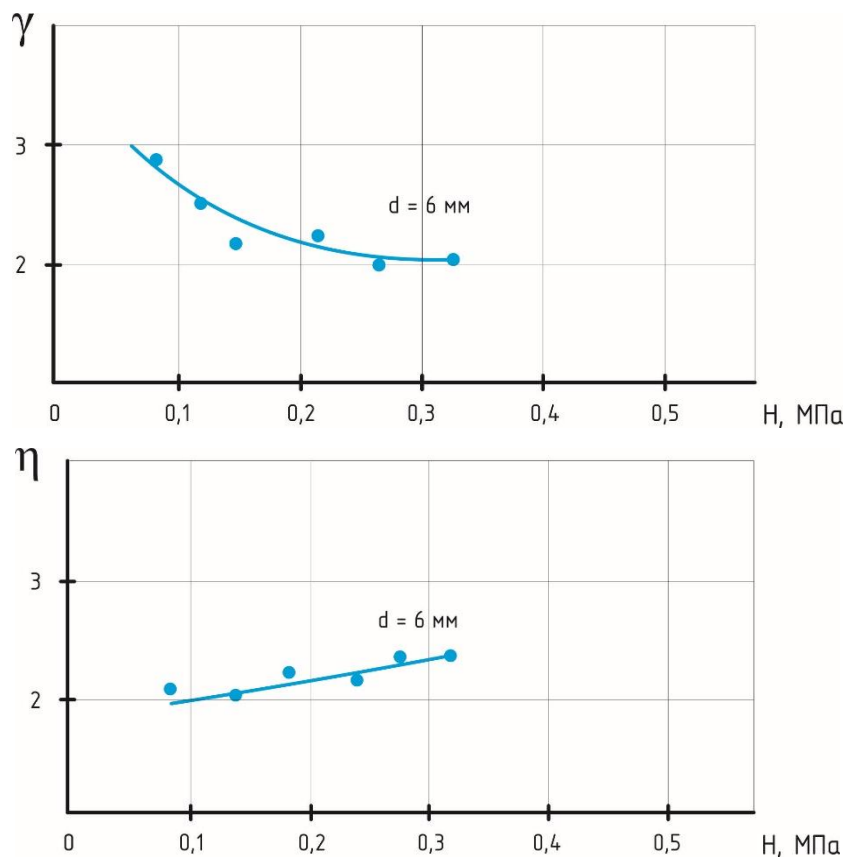


Рисунок 3.27 - Изменение параметров  $\gamma$  и  $\eta$  бета-распределения в зависимости от диаметра сопла и напора на выходе струи

Используя параметры  $\gamma$  и  $\eta$ , а также известные математические уравнения связи от диаметра и напора для дефлекторных оросителей по программе RINT (ФГБНУ ВолжНИИГиМ, г. Энгельс) можно произвести расчет распределения слоя дождя вокруг машины [99]. Расчеты показывают, что над пожарной машиной и вокруг нее образуется устойчивая водяная завеса с двойным перекрытием оросителе и с максимальной интенсивностью орошения в зоне А и Б, которые расположены по бокам, в передней и задней части АЦЛ (рисунок 3.28).

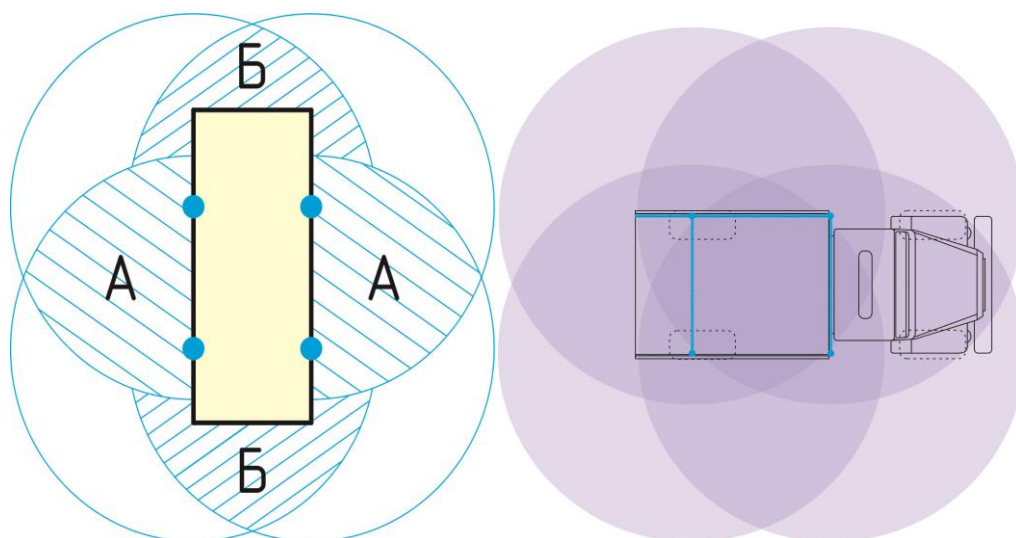


Рисунок 3.28 - Наложение слоя дождя вокруг машины пожарной

Таблица 3.29 - Коэффициенты  $\gamma$  и  $\eta$  бета-распределения и относительный радиус  $(X_i/R)_{50}$ , в зависимости от конструктивных и технологических параметров дефлекторных оросителей кругового действия

$D$ , мм	$H$ , МПа	$H/D$ , МПа/мм	Коэффициенты		$(X_i/R)_P$	$(X_i/R)_{50}$
			$\gamma$	$\eta$		
6	0,08	0,013	2,81	2,04	0,580	0,605
6	0,14	0,023	2,19	2,0	0,520	0,580
6	0,326	0,054	2,02	2,37	0,460	0,510
5	0,075	0,009	2,97	2,71	0,520	0,60
5	0,195	0,024	1,64	2,04	0,440	0,50
5	0,285	0,036	1,64	1,95	0,450	0,520
4	0,060	0,006	2,99	2,22	0,560	0,60
4	0,12	0,120	1,87	1,56	0,540	0,60
4	0,18	0,180	2,12	2,06	0,508	0,570

Примечание:  $D$  – диаметр сопла;  $H$  – напор;  $H/D$  – отношение напора к диаметру сопла.

Таким образом, исследования показывают, что применение дефлекторных оросителей кругового действия формирует сплошную водяную завесу с максимальной интенсивностью возле АЦЛ, которая постепенно уменьшается к краям завесы. Кроме того, возле машины будут образовываться дополнительные водяные потоки, которые стекают с металлических частей

АЦЛ, общая площадь которой равна 15,45 м<sup>2</sup>, а использованный объем воды из четырех оросителей составляет 0,88 л/с или 52,8 дм<sup>3</sup>/м.

*Крупность капель при использовании оросителей кругового действия.*  
Значения среднего диаметра капель дефлекторных оросителей вдоль радиуса захвата насадки в зависимости от диаметра сопла и напора приведены в таблице 3.30 и показаны на (рисунках 3.29, 3.30), определяются уравнением:

$$d_{min} = 0,274 \cdot H^{0,5397} \cdot D^{-1,07}. \quad (3.10)$$

Таблица 4.30 - Средний диаметр капель дождя  $d_{cp}$  вдоль радиуса орошения дефлекторной насадкой кругового действия в зависимости от диаметра  $D$  и давления  $P$

$D$ , мм	$P$ , МПа	$R_i/R$	$d_{cp}$ , мм	$D$ , мм	$P$ , МПа	$R_i/R$	$d_{cp}$ , мм
4	0,075	0,2	0,14	5	0,2	0,5	0,58
4	0,075	0,5	0,56	5	0,2	0,9	1,3
4	0,075	0,9	1,6	5	0,28	0,2	0,14
4	0,2	0,2	0,145	5	0,28	0,5	0,55
4	0,2	0,5	0,48	5	0,28	0,9	1,1
4	0,2	0,9	1,2	6	0,08	0,180	0,13
4	0,3	0,2	0,13	6	0,08	0,440	0,45
4	0,3	0,5	0,15	6	0,08	0,890	1,72
4	0,3	0,9	1,0	6	0,14	0,180	0,15
5	0,1	0,5	0,60	6	0,14	0,450	0,44
5	0,1	0,9	1,65	6	0,14	0,810	1,20
5	0,1	0,2	0,14	6	0,326	0,50	0,34
5	0,2	0,2	0,145	6	0,326	0,830	1,10

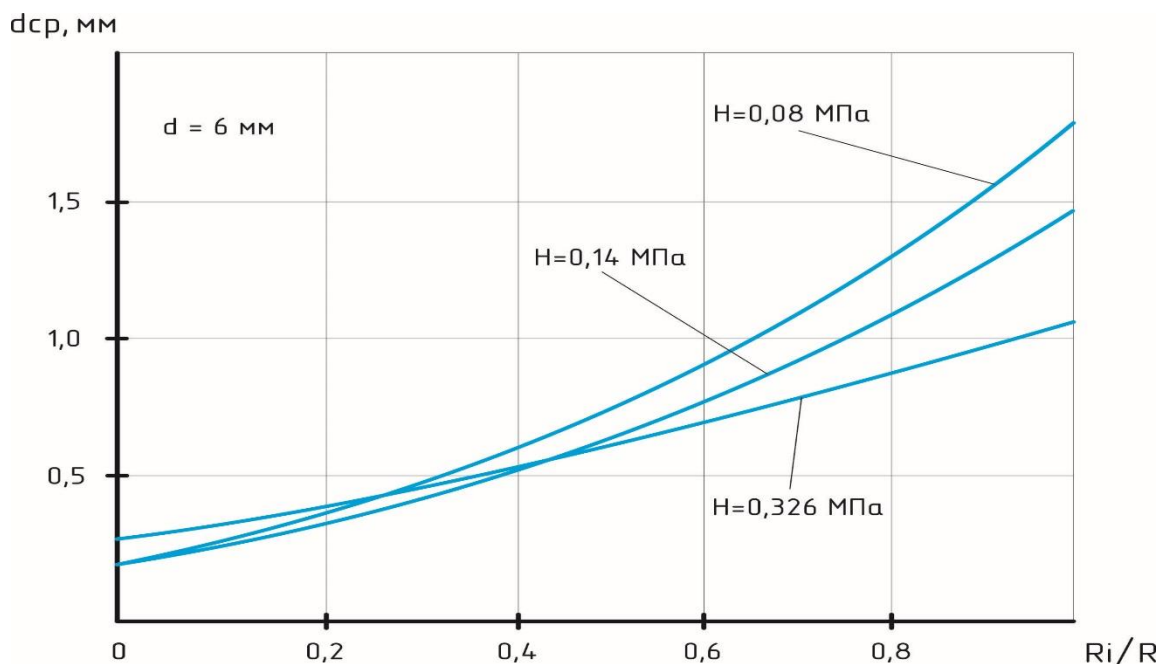


Рисунок 3.29 - Изменение среднего диаметра капель вдоль радиуса захвата оросителем, диаметра сопла  $D = 6$  мм в зависимости от давления

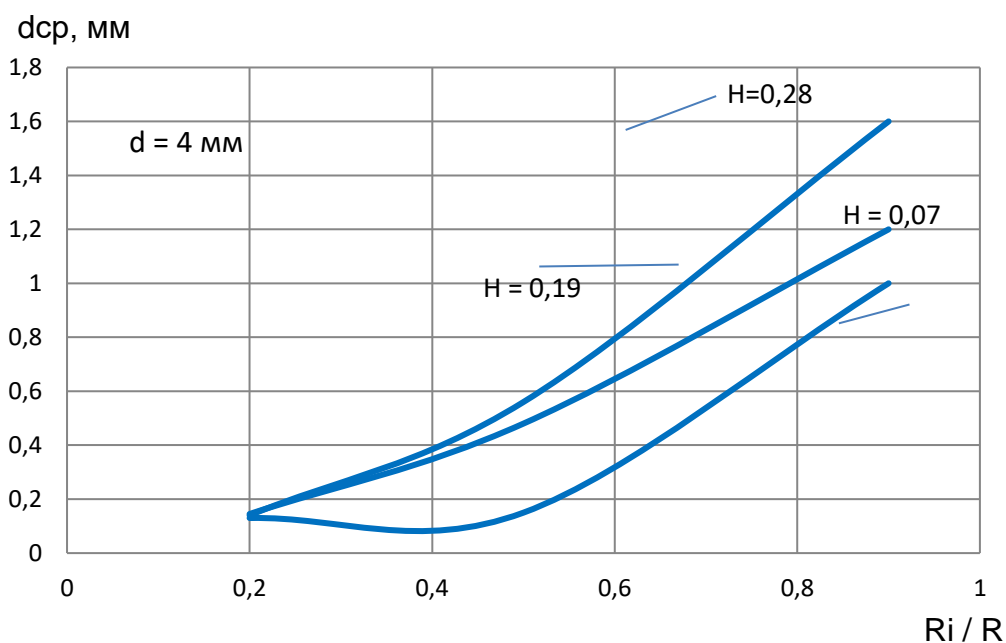


Рисунок 3.30 - Изменение среднего диаметра капель вдоль радиуса захвата оросителем, диаметра сопла  $D = 4$  мм в зависимости от напора  $H$

Средний диаметр капель дождя оросителей увеличивается с увеличением относительного радиуса полета капель  $R_i/R$ , с уменьшением напора перед насадкой. Математическим расчетом (приложение О) установлено, что минимальный диаметр капель в начале радиуса захвата

круговым оросителем (рисунок 3.29, 3.30) зависит от диаметра и напора. Зная распределение интенсивности и крупность капель на площади орошения определяем долю капель различных размеров в облаке водяной завесы.

Зная средний диаметр капель, среднюю и мгновенную интенсивность орошения водяной завесы и ее высоту, а также метеорологические параметры окружающей среды (температура воздуха -  $T$ , относительная влажность воздуха -  $\varphi$ , скорость ветра -  $V_B$ ) можно определить потери воды на испарение и снос ( $E_{uc}$ ) (таблица 4.6). Для этого используем известную зависимость [137], которая после преобразования имеет вид:

$$E = 1,55 \frac{(h - 0,5)^{0,4} \cdot (n + 1)^{0,08}}{d_k^{0,6} \cdot \rho_c^{0,25} \cdot \rho_m^{0,1}} \cdot \left[ T \left( 1 - \frac{\varphi}{100} \right) \cdot (V + 1) \right]^{0,5} \cdot K_\alpha. \quad (3.11)$$

где  $h$  – высота подъема капель дождя над поверхностью, м;  $n$  – частота работы оросителя, об/мин;  $d_k$  – средний диаметр капель, мм;  $\rho_c$ ,  $\rho_m$  – средняя и мгновенная интенсивность капель, мм/мин;  $T$  – температура воздуха, град.;  $\varphi$  – относительная влажность воздуха, %;  $V_\epsilon$  – скорость ветра, м/с.

Таким образом, при создании водяной завесы вокруг пожарной машины потери воды на испарение и снос в зависимости от метеорологических условий будут составлять от 10 до 30 % (см. таблицу 3.31).

Таблица 3.31 - Потери воды на испарение и снос в зависимости от метеорологических условий возле пожарной машины

Т, град	$\varphi$ , %	V, м/с	Ф	h, м	$\rho_c$ , мм/мин	$\rho_m$ , мм/мин	d, мм	Еис, %
30	30	3	84	3	0,586	0,39	0,45	8,7
40	20	4	160	3	0,586	0,39	0,45	15,5
60	16	5	302	3	0,586	0,39	0,45	23,6

Для определения времени орошения и создания водяной завесы определим время на охлаждения АЦЛ. Исходные метеорологические параметры при близком расположении у горящего объекта (лес, посадка, дом и др.): температура может составить 40-70 °С; относительная влажность



снижается до 16-30%, скорость ветра может быть в пределах  $V_в = 1-20 \text{ м/с}$ .  
Подача воды на АЦЛ площадью  $15,45 \text{ м}^2$  порядка  $52,8 \text{ дм}^3/\text{м}$  или  $0,88 \text{ л/с}$ , а с учетом коэффициента  $K = 0,05$ .

Расчеты, проведенные по литературным источникам [183] показывают, что время снижения температур с  $50^\circ$  до  $30^\circ$  с учетом потерь воды на испарение и снос ( $E$ ) составит:  $t = (V_{\text{воды}} - E) / S \text{ с} = 90 - 180 \text{ сек}$ . Для подачи сигнала на включение водяной завесы на пожарной машине предусматривается установка датчика температуры.

***Распределение слоя дождя впереди движущейся пожарной машины.***

Исходя из габаритных размеров пожарной машины на середине переднего бампера смонтирован секторный ороситель для тушения и пролива зоны по которой движется АЦЛ (рисунок 3.31). Зная значения эюры распределения был рассчитан слой дождя от оросителя таблица 3.32.

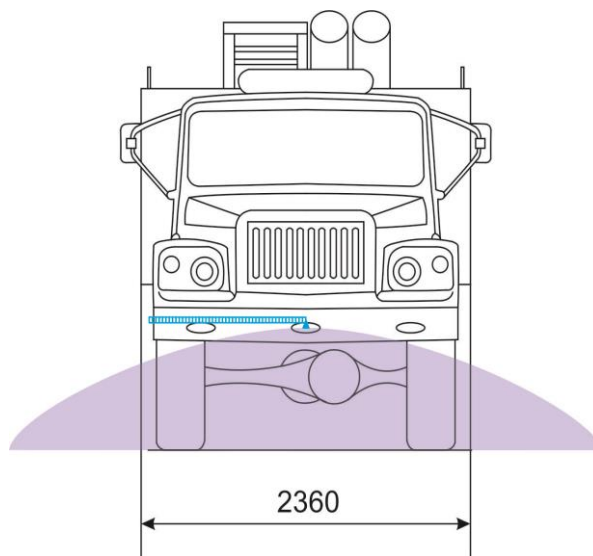


Рисунок 3.31 - Секторный ороситель впереди пожарной машины

Таблица 3.32 - Нормированное распределение слоя капель вдоль радиуса захвата дождем секторного оросителя и расчетные значения коэффициентов  $\gamma$  и  $\eta$  бета-распределения

$X_i/R$	$h_i/h$							
	Д = 4 мм			Д = 5 мм			Д = 6 мм	
	Н=0,08 МПа	Н=0,20 МПа	Н=0,32 МПа	Н=0,07 МПа	Н=0,20 МПа	Н=0,28 МПа	Н=0,06 МПа	Н=0,20 МПа
0,05	0,11	0,20	0,30	0,30	0,95	0,55	0,22	0,36
0,15	0,18	0,50	1,05	0,45	0,91	0,86	0,34	0,48
0,25	0,36	0,90	1,54	0,80	1,11	1,24	0,58	0,74
0,35	0,43	1,15	1,81	1,15	1,39	1,65	0,96	1,15
0,45	1,35	1,30	1,76	1,50	1,52	1,60	1,60	1,55
0,55	1,64	1,48	1,60	1,60	1,54	1,71	2,14	1,80
0,65	2,11	1,40	1,36	1,06	1,39	1,64	2,20	2,20
0,75	1,50	1,35	1,10	1,40	1,0	1,0	1,85	1,90
0,85	0,61	0,75	0,60	0,50	0,50	0,40	1,10	0,95
0,95	0,20	0,20	0,10	0,20	0,04	0,02	0,10	0,10
$\gamma$	1,816	2,190	2,020	2,970	1,635	1,640	3,0	1,870
$\eta$	1,040	2,0	2,370	2,610	2,050	1,950	2,220	1,569
$X_{50}$	0,636	0,544	0,428	0,535	0,377	0,403	0,606	0,605

Исходные данные для расчета диаметр сопла оросителя  $D = 4$  мм; рабочий напор  $H = 0,20$  МПа; скорость движения пожарной машины - 8 км/час; расход воды секторного оросителя - 0,22 л/с; высота установки секторной насадки от поверхности земли - 1 м; радиус захвата оросителем -  $R_3=6$  м;  $\rho_c$  - средняя интенсивность дождя секторного оросителя 0,5 мм/мин.

Слой дождя после прохода АЦЛ определяем скоростью ее движения:

$$H = \rho_c \cdot t = 0,5 \cdot 0,045 = 0,022 \text{ мм}; \quad (3.11)$$

$$t = R_3/V_c = 6/133 = 0,045 \text{ мин}, \quad (3.12)$$

где  $H$  - слой дождя после прохода АЦЛ;  $\rho_c$  - средняя интенсивность дождя секторного оросителя 0,5 мм/мин;  $t$ -время орошения мин; где  $R_3$  - радиус захвата оросителем м;  $V_c$  - скорость движения АЦЛ, км/ч.

Слой дождя секторного оросителя после прохода пожарного автомобиля при скорости 8 км/час составит – 22  $\text{дм}^3/\text{м}^2$ . Расчеты показывают, что слой

дождя от секторного оросителя постепенно уменьшается до нуля к краям зоны орошения. При изменении скорости движения АЦЛ объем капель воды, подаваемый на дорогу и под колеса будет изменяться.

*Гидравлический расчет оборудования.* Гидравлический расчет насадок в сети имеет своей целью: определение расхода воды (интенсивности орошения или удельного расхода, у диктующих оросителей); сравнения удельного расхода, а также определение необходимого давления (напора) у водопитателей.

Гидравлические потери по длине трубопровода верхнего контура оборудования можно определить по формуле:

$$P_{\Delta} = L \cdot I, \quad (3.13)$$

где  $L$  – длина участка трубопровода:  $a, b, c, d$ , м;  $I$  – потери давления на единицу длины трубопровода, или гидравлический уклон:

$$I = A \cdot Q^2; \quad (3.14)$$

где:  $Q$  – расход воды в трубопроводе, л/с;  $A$  – удельное сопротивление, зависящее от диаметра и шероховатости стенок,  $с^2/л^6$ .

Расход воды ( $g_n$ ) дефлекторной насадки согласно формулы равен:

$$g_n = \frac{D^2 \cdot \sqrt{H}}{315} = \frac{4^2 \cdot \sqrt{20}}{315} = 0,22 \text{ л/с}. \quad (3.15)$$

где  $g_n$  – расход воды дефлекторной насадки, л/с;  $D$  – диаметр насадки,  $D=4\text{мм}$ ;  $H$  – оптимальный рабочий напор,  $H=20\text{ м}$ .

Суммарный расход воды в трубопроводе верхнего пояса при подаче воды на четыре насадки:

$$Q_c = 4 \cdot g_n = 4 \cdot 0,22 = 0,88 \text{ л/с}. \quad (3.16)$$

Длина трубопровода до диктующей крайней насадки  $L = 2,3 + 3,5 + 1,5 + 0,7 = 8 \text{ м}$ .

Гидравлические потери по длине трубопровода до диктующей насадки, равна сумме потерь на каждом участке:  $a, b, c, d$ .

$$P_{\Delta} = P_{\Delta_{ab}} + P_{\Delta_{bc}}; \quad (3.17)$$

На участке  $L_{ab}$ , длина трубопровода равна 2,3 м.

$$P\Delta_{ab}; L_{ab}=2,3\text{м}; Q_{ab}=0,22 \text{ л/с};$$

$$I_{ab} = A \cdot Q_{ab}^2 = 1,15 \cdot 0,22^2 = 0,055 .$$

Принимаем значение  $A = 1,15$ , таким образом потери напора на участке  $L_{ab}$ , равны  $P\Delta_{ab} = I \cdot L_{ab} = 0,055 \cdot 2,3 = 0,128\text{м}$ .

На участке  $L_{bc}$ , длина трубопровода  $L_{bc} = 3,55\text{м}$ ;

Расход воды при работе двух насадок равен:

$$Q_{ab} = 0,22 \cdot 2 = 0,44 \text{ л/с};$$

$I_{bc} = A \cdot Q_{bc}^2 = 1,15 \cdot 0,44^2 = 0,222$ . Потери напора на участке  $L_{bc}$ , равны  $P\Delta_{bc} = I \cdot L_{bc} = 0,222 \cdot 3,55 = 0,79\text{м}$ .

На участке  $L_{cd}$  длина трубопровода  $L_{cd} = 1,5\text{м}$ .

Расход воды при работе четырёх насадок равен:

$$Q_{cd} = 0,22 \cdot 4 = 0,88 \text{ л/с};$$

$$I_{cd} = A \cdot Q_{cd}^2 = 1,15 \cdot 0,88^2 = 0,89; \quad P\Delta_{cd} = I \cdot L_{cd} = 0,89 \cdot 1,5 = 1,33\text{м}.$$

Общие потери по всем участкам:

$$P_{\Delta a, b, c, d} = P\Delta_{ab} + P\Delta_{bc} + P\Delta_{cd} = 0,128 + 0,79 + 1,3 = 2,25\text{м}.$$

Принимаем для трубы  $D_y = 20 \text{ мм}$ ;  $A_{cp} = 1,15 \text{ с}^2/\text{л}^6$ ;

Потери на геодезический подъем  $Z = 1,5\text{м}$  (из схемы монтажа трубопровода на пожарной машине).

Потери давления на местное сопротивление (в поворотах трубопровода и переходах) принимаем  $P_m = 0,1$   $P_{\Delta a, b, c, d} = 0,2 \text{ м}$ . Чтобы обеспечить перед дефлекторном оросителем кругового действия был свободный рабочий напор  $P_o = 20 \text{ м}$ , с учетом потерь по длине  $P_{\Delta}$ , геодезических потерь  $Z$  и потерь давления на местное сопротивление  $P_m - P_{об}$  должен быть равен:

$$P_{об} = P_o + P_{\Delta} + Z + P_m = 20 + 2,25 + 1,5 + 0,2 = 23,9 \text{ м},$$

где  $P_m$  — потери давления на местное сопротивление в узле управления (сигнальном клапане, задвижках, затворах), м;  $P_o$  — давление у «диктующего» оросителя, м;  $Z$  — геометрическая высота «диктующего» оросителя над осью насоса, м.

**Гидравлический расчет нижнего пояса водяной завесы.** Расход воды секторной насадки:

$$g_H = \frac{D^2 \cdot \sqrt{H}}{315} = \frac{4^2 \cdot \sqrt{20}}{315} = 0,22 \text{ л/с}, \quad (3.18)$$

где  $g_H$ —расход воды секторной насадки, л/с;  $D$ — диаметр насадки,  $D=4$  мм,  $H$ —оптимальный рабочий напор;  $H=20$  м.

Длина трубопровода до диктующей секторной насадки

$$L_{def} = 0,7 + 0,3 + 6,5 = 7,5 \text{ м},$$

где  $L_{def}$  — длина трубопровода, м;

Гидравлические потери давления  $P\Delta$  в трубопроводе:

$$P\Delta = I \cdot L, \quad (3.19)$$

$$I = A \cdot Q_2^2 = 1,15 \cdot 0,22^2 = 0,055 \text{ м}, \quad (3.20)$$

где  $A$  — удельное сопротивление, зависящее от диаметра и шероховатости стенок,  $\text{с}^2/\text{л}^6$ ;  $Q$  —расход воды насадки, л/с; потери напора на участке  $L_{def}$  равны  $P\Delta_{def} = 0,055 \cdot 7,5 = 0,41 \text{ м}$ .

Чтобы обеспечить перед секторной насадкой рабочий напор  $P_o = 20$  м, с учетом потерь по длине трубопровода  $P\Delta_{def}$ , геодезических потерь  $Z$  и местных потерь  $P_m - P_{об}$  будет равна:

$$P_{об} = P_o + P\Delta_{def} - Z + P_m = 20 + 0,41 - 0,3 + 0,04 = 20,14 \text{ м}.$$

Сравнив гидравлические характеристики системы защиты пожарного автомобиля с тактико-техническими характеристиками пожарного насоса, установленного на АЦ 3,0-40 (33086), делаем вывод, что работа данной системы возможна, т.к.:

- Необходимый напор на насосе для работы системы составляет 24-25 м., что существенно ниже максимального 100 м.;
- Необходимый расход воды для работы системы составляет 1.2 л/с, что существенно ниже максимального 40 л/с.;
- Запас огнетушащих веществ обеспечивает нормативное время охлаждения.

Учитывая конструктивные особенности коробки отбора мощности, установленной на АЦ 3,0-40 (33086), которая исключает возможность подачи огнетушащих веществ при движении автомобиля, для обеспечения водозащиты целесообразно устанавливать дополнительный насос.

По полученным данным напора и расхода воды подбираем насос марки Кама95НПС14-1,1-2/70 из таблицы 3.33.

Таблица 3.33 - Общие параметры насоса Кама95НПС14-1,1-2/70

Тип	погружной скважинный
Максимальный напор	70 м
Пропускная способность	5 куб. м/час
Напряжение сети	220/230 В
Потребляемая мощность	1100 Вт
Конструкция	
Механизм насоса	центробежный
Объем гидробака	95 л
Установка насоса	вертикальная
Особенности	
Доп. информация	блок управления

### ***Выводы к Разделу 3***

1. Определены территории с географическими и климатическими особенностями, где лесные пожары имеют самые серьезные последствия для народного хозяйства. Леса на территории лесостепной и степной зон Поволжья имеют I-IV классы пожарной опасности, а лесные пожары могут возникать при I классе по условиям погоды, что имеет определенные особенности развития лесных пожаров.

2. Для оценки скорости перемещения ЛНП предложена математическая модель, которая показывает, что распространение лесных низовых пожаров в хвойных лесах происходит в 2-4 раза быстрее, чем в лиственных.

3. Установлено, что ранее предлагаемые меры противопожарной защиты лесов в современных условиях недостаточны, что вызывает необходимость совершенствования их эффективности.

4. Справочные показатели эффективности тушения лесных пожаров для лесной зоны не применимы к лесостепной и степной зонам. Определено, что фактическая скорость тушения ЛНП в 7-21 раз меньше справочных, причем в хвойных лесах отклонение может составить 5-10 раз.

5. Для эффективного тушения ЛНП предлагаются мобильные комплексы пожаротушения на базе легковых автопоездов, позволяющие быстро достигнуть места пожара и экономно расходовать ОТС.

## **4 АПРОБАЦИЯ И ВНЕДРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ СИСТЕМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЛЕСАХ И ЛЕСНОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ**

### **4.1 Влияние погодных условий на возникновение лесных низовых и ландшафтных пожаров, а также прогнозирование лесопожарной обстановки**

Лесопожарная обстановка складывается из двух составляющих: породного состава лесов/ЛК и погодных условий [218]. Растительная формация леса (хвойный, лиственный, преобладающая порода) является более стабильной по сравнению с погодными условиями. В связи с этим, первоочередным мероприятием является ранжирование лесов/ЛК по классам пожарной опасности. В лесостепной зоне хорошо произрастают хвойные породы деревьев (сосна и ель), а в степной зоне растут преимущественно лиственные деревья (дуб, клен, вяз и т.п.). На примере степной зоны Саратовской области видно (см. п. 3.3), что согласно классификации леса/ЛК делятся на пять классов пожарной опасности, но лесов/ЛК относящихся к V классу всего 5%, поэтому наиболее распространены I-IV классы. Леса/ЛК с преимущественными хвойными породами присваивают I и II классы пожарной опасности, а с преимущественно лиственными присваивают III-IV классы.

Погодные условия более лабильны, так даже в степной зоне Поволжья в пожароопасный сезон может сформироваться прохладная и дождливая погода, которая просто не позволит развиваться ландшафтным и лесным пожарам. Всего по классификации существует пять классов лесопожарной обстановки, причем по мере увеличения класса лесопожарная опасность возрастает. Классы пожарной опасности определяются по методике, предложенной В.Г. Нестеровым [295], которая связывает температуру воздуха и его влажность (через точку росы), а также предполагает, что отсутствие



атмосферных осадков ведет к снижению влажности воздуха и ЛГМ. Шкала В.Г. Нестерова является единой (генерализированной) для всей территории страны.

Территория Российской Федерации весьма разнообразна по своим природным и климатическим условиям, поэтому применение КППО в качестве показателя имеет свои ограничения - она не позволяет учитывать особенности возникновения и распространения лесных пожаров, обусловленных рельефом местности, породным составом и строением насаждений, фазами вегетации растительности в конкретном регионе и в конкретный период года. Особенности природно-экономических условий отдельных регионов определяют специфику горимости лесов и формирования пожароопасного сезона в них. За время применения комплексного показателя пожарной опасности - КППО (по В.Г. Нестерову) накопились доказательства его неадекватности реальным условиям [46,263,298]. Это обусловлено сложным процессом смачивания и сушки ЛГМ их взаимодействия с почвенной и атмосферной влагой. Так, например, КППО невозможно рассчитывать при отрицательных температурах воздуха, тем не менее, в этих условиях наиболее интенсивно конденсируется атмосферная влага. Отсутствие атмосферных осадков далеко не всегда приводит к снижению влажности воздуха и почвы. Например, в условиях морского климата относительная влажность воздуха никогда не снижается ниже 80%, даже при солнечной погоде. Мертвая органическая материя, составляющая ЛГМ, высыхает неравномерно, т.к. расположена слоями на поверхности почвы. Верхние слои находятся под большим влиянием атмосферной влаги, а также на нее в большей мере взаимодействует солнечное излучение, особенно это должно проявляться после схода снежного покрова и до появления листьев на деревьях, как правило 2-3 недели. Нижние слои, наоборот, находятся во взаимодействии с почвой, получают влагу от нее, совершенно не испытывая воздействия солнечной радиации. В этом случае, ЛНП распространяется по уже высушенному слою ЛГМ, а готовность такого слоя к горению может

наблюдаться даже при I классе, ЛП при котором должны отсутствовать. Кроме этого, дождь дождю рознь бывают короткие сильные дожди, а бывают слабые затяжные дожди, но в количественном отношении они могут быть равны. В первом случае наблюдается сильный поверхностный сток и влажность ЛГМ повысится незначительно, а во втором случае скорость увлажнения ЛГМ приведет к снижению их пожарной опасности. С другой стороны, на заболоченных территориях высыхание и увлажнение напочвенных горючих материалов зависит не от атмосферных осадков, а от уровня грунтовых вод, снижение которого ниже отметки 30-60 см является критическим и сигнализирует о чрезвычайной пожарной опасности [102,250]. Между уровнями грунтовых вод в январе и июне существует тесная связь (коэффициент корреляции 0,6-0,9). Учет этой взаимосвязи позволяет обеспечить заблаговременное прогнозирование высокой пожарной опасности предстоящего пожароопасного сезона.

В середине лета формируется разная степень пожарной опасности в сосняках лишайниковом и разнотравном. В сосняке разнотравном весной после таяния снега и в середине лета даже при одинаковой величине комплексного показателя вероятность возникновения пожаров неодинакова. Другими словами, использование единой шкалы может привести к необъективной оценке пожарной опасности. Для сглаживания вероятных ошибок на основании анализа фактической горимости лесов за последние 10-15 лет рассчитываются поправочные коэффициенты для шкалы В.Г. Нестерова или составляются местные шкалы пожарной опасности.

Для подтверждения или опровержения возможностей шкалы Нестерова для лесостепной и степной зон на примере Саратовской области были проведены исследования состояния ЛГМ в лиственных лесах/ЛК с преобладающей породой дуб черешчатый (*Quercus robur L., 1753*) [145]. Исследования заключались в анализе влажности образцов ЛГМ отобранных в течение 10 дней после схода снежного покрова с 10 по 19 апреля 2021 г., а также сопоставления их с данными погоды, полученными измерением *in situ*

температуры воздуха, относительной влажности воздуха и освещенности. По данным погоды, полученной из официального источника, вычислялся коэффициент Нестерова (КППО). Показатели погоды, микроклимата представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Показатели микроклимата в дубовых лесах (2021 г)

Дата	Температура воздуха (в 13 часов), t <sup>0</sup>		Относительная влажность воздуха, %		Скорость ветра, м/сек		Освещённость, тыс. лк		Величина КППО за 1 день	Величина на КППО суммарная
	на открытом месте	под пологом	на открытом месте	под пологом	на открытом месте	под пологом	на открытом месте	под пологом		
10.04.	6	6	87	88	6	4	26	20	19,8	19,8
11.04.	12	12	77	77	4	2	28	22	45,6	65,4
12.04.	18	18	52	53	7	5	28	23	148	213,4
13.04.	20	20	38	38	7	5	27	22	200	413,4
14.04.	20	20	43	44	7	5	27	22	186	599,4
15.04.	19	19	43	44	5	3	28	23	134,7	734,1
16.04.	20	19	30	31	2	1	29	23	232	966,1
17.04.	22	21	30	33	7	5	20	15	253,8	1219,9
18.04.	18	18	40	43	5	3	29	24	185,6	1405,5
19.04.	13	13	40	43	7	4	29	25	109,9	1515,4

Можно отметить, что из-за отсутствия листвы температура воздуха, влажность воздуха, освещённость на открытом пространстве и под пологом дубовых древостоев отличались незначительно. Под пологом температура воздуха ниже на 1-2 градуса; влажность выше на 2-3%; освещённость ниже на 5-6 тыс. люксов (то есть составляла 82-83% от освещённости открытого места).

Расчет величины комплексного показателя пожарной опасности по условиям погоды показал, что 1, 2 и 3 день был 1 класс пожарной опасности по условиям погоды; 4,5,6 и 7 день - 2 класс пожарной опасности по условиям погоды; в следующие дни КППО соответствовал 3-му классу. Таким образом, за 7-8 дней после схода снежного покрова класс пожарной опасности повысился до третьего.

Для выявления действительного состояния ЛГМ на исследуемых участках были определены изменения влажности образцов ЛГМ (прошлогодней опавшей листвы и других растительных остатков). Полученные данные представлены на рисунке 4.1.

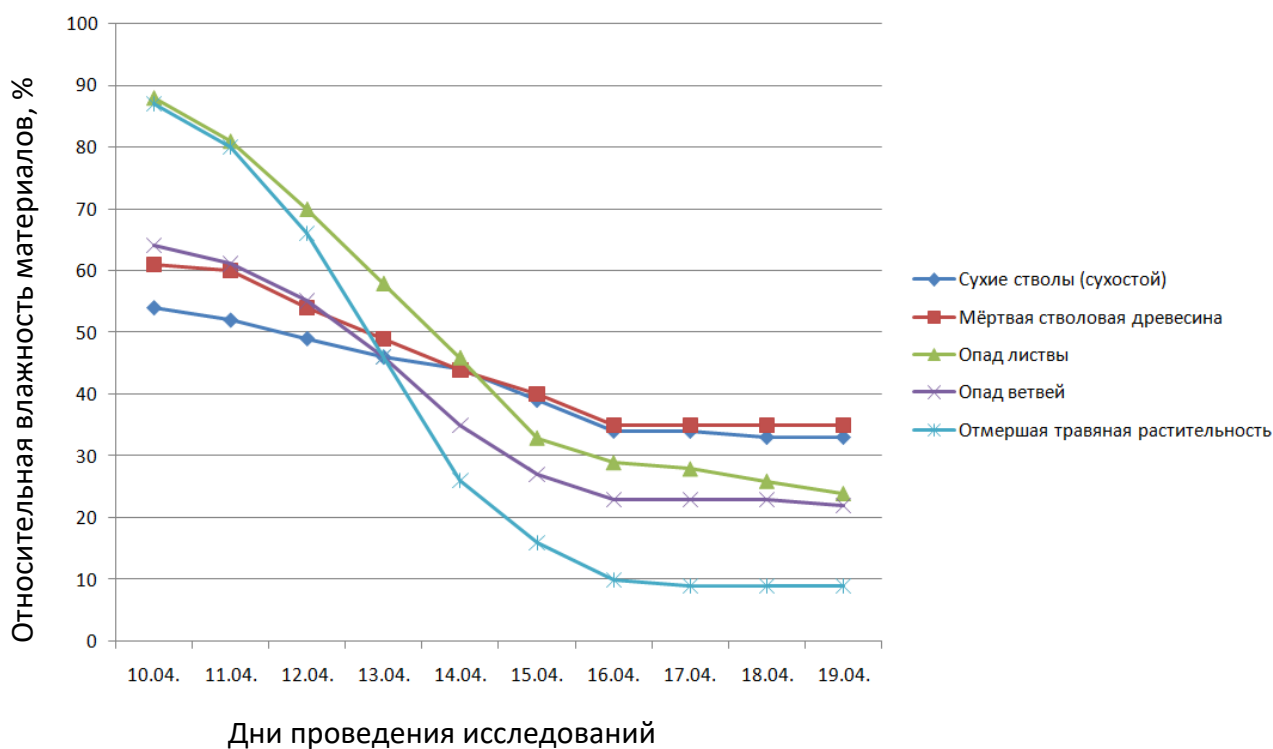


Рисунок 4.1 - Динамика изменения влажности лесных горючих материалов в дубовых лесах

Наиболее интенсивно теряла влагу отмершая травяная растительность – через 5 дней влажность материалов опустилась с 87% до уровня менее 30% и далее через 8 дней стабилизировалась на уровне 9...8% - общее снижение влажности в абсолютном выражении почти 80%. Опад листвы также интенсивно терял влагу, но более равномерно. На седьмой день влажность стала менее 30%, то есть общее снижение 60%. Опад ветвей (учитывались ветви диаметром 1-3 см) равномерно теряет влажность с отметки 67% до уровня 23-22%. Мёртвая стволовая древесина имела после схода снегового покрова несколько меньшую влажность, в сравнении с лесной подстилкой и отмершей травяной растительностью. Темпы снижения влажности также меньше – за 10 дней влажность снизилась на 26%. Наименьшие показатели

влажности на начало пожароопасного периода отмечаются для сухостойной древесины – 54%, за 10 дней влажность снизилась на 20%. Можно отметить более равномерное снижение влажности для мёртвой стволовой древесины и сухостоя, в сравнении с опадом листвы и отмершим травостоем.

Для выявления зависимости между темпами снижения влажности и показателями микроклимата определялась корреляционная зависимость между этими параметрами с помощью программы *Excel* (программный пакет *Microsoft Office*) (см. таблицу 4.2).

Таблица 4.2 - Коэффициент корреляции между показателями микроклимата и влажностью ЛГМ в лиственных лесах – преобладающая порода дуб черешчатый

Влажность лесных горючих материалов	Температура воздуха (в 13 часов), t <sup>0</sup>	Относительная влажность воздуха, %	Скорость ветра, м/сек	Освещённость, тыс. лк	Величина КППО
Сухие стволы (сухостой)	0,52	-0,46	-0,12	0,53	-0,36
Мёртвая стволовая древесина	<b>0,63</b>	-0,50	-0,27	<b>0,83</b>	-0,42
Опад листвы	0,32	-0,22	0,49	0,10	-0,45
Опад ветвей	<b>0,68</b>	<b>-0,65</b>	<b>0,62</b>	0,42	-0,28
Отмершая травяная растительность	0,37	-0,31	0,41	0,35	-0,38

Из таблицы 4.2 видно, что наибольшие значения коэффициента корреляции между темпами снижения влажности и показателями микроклимата отмечаются для температуры воздуха, освещённости и относительной влажности воздуха. Коэффициенты корреляции между темпами снижения влажности и скоростью ветра характеризуют зависимость как среднюю.

Некоторую противоположность лиственным лесам, которые на зимний период сбрасывают свою листву, в хвойных лесах должны формироваться несколько иные микроклиматические условия. Хвойные леса представлены

преимущественно сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris L., 1753*). Показатели погоды, микроклимата на участках леса с преобладающей породой – сосна обыкновенная представлены в таблице 4.3 [145,222].

Таблица 4.3 - Показатели микроклимата в сосновых лесах

Дата	Температура воздуха (в 13 часов), t <sup>0</sup>		Относительная влажность воздуха, %		Скорость ветра, м/сек		Освещённость, тыс. лк		Величина КПП О за 1 день	Величина на КПО суммарная
	на открытом месте	под пологом	на открытом месте	под пологом	на открытом месте	под пологом	на открытом месте	под пологом		
10.04.	6	5	87	88	6	1	26	3	19,8	19,8
11.04.	12	11	77	78	4	0	28	3	45,6	65,4
12.04.	18	16	52	55	7	2	28	4	148	213,4
13.04.	20	18	38	45	7	5	27	5	200	413,4
14.04.	20	19	43	45	7	2	27	4	186	599,4
15.04.	19	19	43	48	5	1	28	4	134,7	734,1
16.04.	20	19	30	38	2	0	29	5	232	966,1
17.04.	22	21	30	38	7	1	20	2	253,8	1219,9
18.04.	18	18	40	46	5	1	29	5	185,6	1405,5
19.04.	13	13	40	48	7	1	29	5	109,9	1515,4

Можно отметить, что из-за наличия хвои на ветвях деревьев температура воздуха, влажность воздуха, освещённость на открытом пространстве и под пологом сосновых древостоев отличались значительно. Под пологом температура воздуха ниже на 2-3 градуса; влажность выше на 4-8%; освещённость ниже на 23-25 тыс. люксов (то есть составляла 12-18% от освещённости открытого места).

Как и в случае с лиственными лесами для выявления действительного состояния ЛГМ на исследуемых участках хвойного леса/ЛК были определены изменения влажности образцов ЛГМ (прошлогодней опавшей листвы и других растительных остатков). Полученные данные представлены на рисунке 4.2.

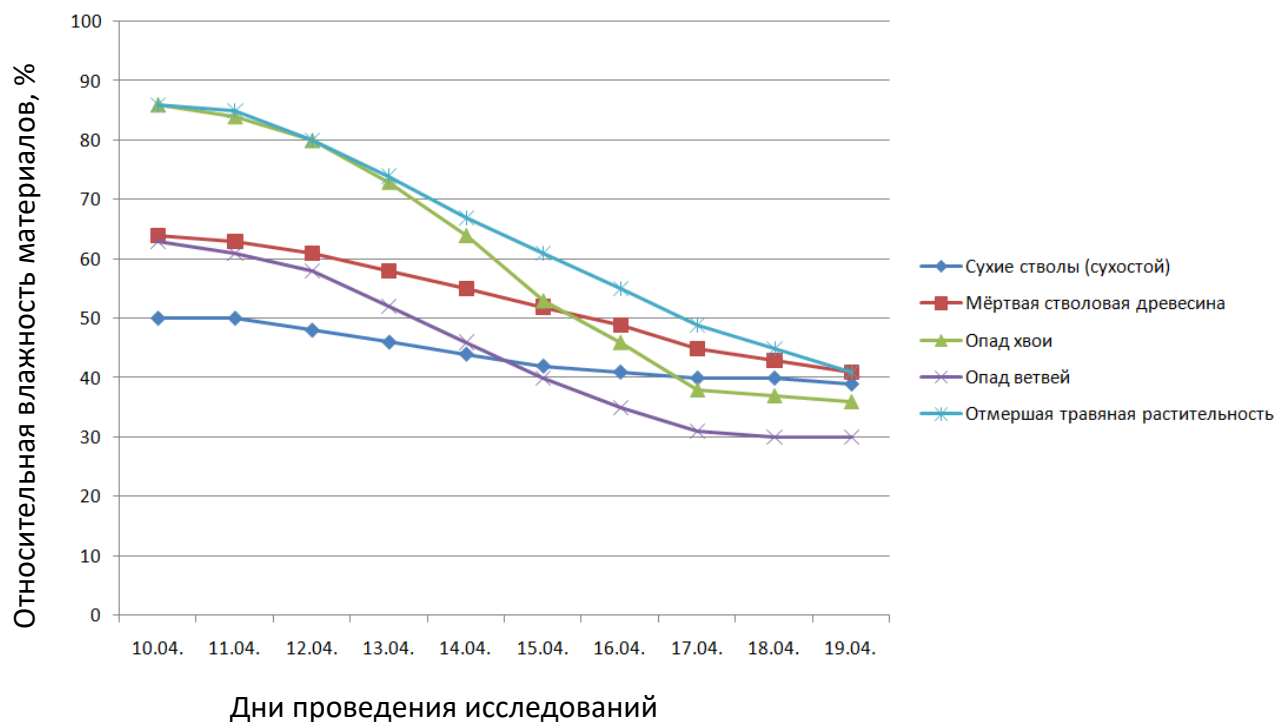


Рисунок 4.2 - Динамика изменения влажности ЛГМ в сосновых лесах

Резкого падения влажности ЛГМ в сосновых лесах не наблюдается. Наиболее интенсивно в этих условиях теряет влагу отмершая травяная растительность – через 10 дней влажность материалов опустилась с 86% до уровня 41% - общее снижение влажности в абсолютном выражении более 40%. Самую низкую влажность через 10 дней имел опад тонких ветвей – 30%. Сравнительно интенсивно терял влагу опад листвы – 85% до 36%. Мёртвая стволовая древесина имела после схода снегового покрова несколько меньшую влажность, в сравнении с опадом хвои и отмершей травяной растительностью. Темпы снижения влажности также меньше – за 10 дней влажность снизилась на 20%. Наименьшие показатели влажности на начало пожароопасного периода отмечаются для сухостойной древесины – 50%, за 10 дней влажность снизилась на 10%.

Можно отметить более равномерное снижение влажности для мёртвой стволовой древесины и сухостоя, в сравнении с опадом хвои и отмершим травостоем. Для выявления зависимости между темпами снижения влажности

и показателями микроклимата определялась корреляционная зависимость между этими параметрами с помощью программы *Excel* (пакет программ *Microsoft Office*) (таблица 4.4).

Таблица 4.4 - Коэффициент корреляции между показателями микроклимата и влажностью ЛГМ в хвойных лесах – преобладающая порода сосна обыкновенная

Влажность лесных горючих материалов	Температура воздуха (в 13 часов), t <sup>0</sup>	Относительная влажность воздуха, %	Скорость ветра, м/сек	Освещённость, тыс. лк	Величина КП
Сухие стволы (сухостой)	0,16	-0,08	0,07	0,46	-0,11
Мёртвая стволовая древесина	<b>0,67</b>	<b>-0,69</b>	-0,22	<b>0,61</b>	0,09
Опад хвои	0,33	-0,34	0,11	0,50	0,18
Опад ветвей	0,19	-0,17	0,25	0,35	0,02
Отмершая травяная растительность	<b>0,68</b>	<b>-0,63</b>	0,00	0,53	0,07

Из таблицы 4.4 видно, что наибольшие значения коэффициента корреляции между темпами снижения влажности и показателями микроклимата отмечаются для температуры воздуха, относительной влажности воздуха и освещённости. Показатели зависимости между темпами снижения влажности и скоростью ветра низкие.

Все представленное выше некоторым образом показывает о возможности возникновения ЛП и дает некоторые представления о дальнейшем развитии событий, но к прогнозированию лесопожарной обстановки это имеет только косвенное отношение, т.к. даже при самом высоком классе лесопожарной обстановки пожаров может и не быть. Главное требование к прогнозированию является определение места и времени возникновения лесного пожара. Понятно, что лесной пожар возникает только в лесу/ЛК, значит ЛМ – это и есть место возникновения ЛП. В то же время место возникновения пожара может быть довольно далеко от ЛМ и возникнуть



пожар может как ландшафтный и, только потом, превратится в ЛП. Места возникновения ландшафтных пожаров хорошо известны, т.к. 90% случаев пожаров наблюдается в местах соприкосновения природных и техногенных объектов [307, 309, 311]. Такое знание то же ясности не прибавляет, т.к. граница между техногенными объектами и природными ландшафтами имеет большую протяженность. С местом возникновения ЛП все ясно и проводить противопожарные мероприятия необходимо только в определенных местах, их протяженность и объем работы будут значительно меньше площади и протяженности самого ЛМ, то с временем возникновения пожара ситуация еще более сложная. На примере, Саратовской области видно, что длительность пожароопасного сезона 6-7 месяцев и ЛП могут возникнуть уже при I классе пожарной опасности (см. п. 3.4). Нет возможности держать группировку сил и средств тушения пожара в постоянной готовности в течение такого длительного промежутка времени.

Анализ литературы показывает, что не смотря на заявленные результаты по разработке подходов к прогнозированию ЛП, реальных подвижек в этом направлении нет. Исследователям не то, чтобы не удается связать условия возникновения пожаров с количественными характеристиками пожаров, такие попытки даже не предпринимаются. Это понятно, даже на уровне интуиции, при современных противопожарных мерах предпринимаемых в лесах/ЛК найти зависимость числа ЛП и ущерба от них с погодными условиями является не простой задачей. Тем не менее, есть работы [190], где удалось установить связь между влажностью и ЛП.

На примере лесостепной и степной зон Саратовской области предпринята попытка найти влияние погодных условий с числом ЛП за период 2014-2020 годы. Статистические данные погодных условий с 2014 по 2020 годы в Саратовской области представлены в таблице 4.5 [222, 319].

Таблица 4.5 - Статистические данные погодных условий с апреля по октябрь 2014 по 2020 годы

Год	Правобережная часть Саратовской области				Левобережная часть Саратовской области			
	средняя температура, °С	средняя влажность, %	сумма осадков, мм	средняя скорость ветра м/с	средняя температура, °С	средняя влажность, %	сумма осадков, мм	средняя скорость ветра м/с
2014	15,2	56,7	71,2	2,7	16,1	54,9	66,0	2,7
2015	15,7	58,7	97,3	3,2	16,8	54,6	80,5	3,2
2016	14,3	70,0	180,2	3,8	17,7	64,7	112,0	3,2
2017	14,5	66,9	158,2	2,7	18,9	62,3	103,6	2,8
2018	16,1	61,4	111,1	2,6	20,7	55,9	48,6	2,7
2019	15,8	62,0	89,6	2,4	19,8	59,6	63,9	2,5
2020	15,4	59,6	98,7	2,7	19,5	55,9	66,6	2,8

Анализ метеоданных за последние 5 лет показал, что влажность воздуха редко опускается ниже 50%, поэтому такое состояние погоды как *засуха*, характеризующееся низкой влажностью воздуха <25% и длительным отсутствием атмосферных осадков, не достигается. Лето в Саратовской области жаркое (в дневное время 30-35 °С в тени), но приведенные в таблице 4.5 значения средних температур 15-20 °С не должны вводить в заблуждение, т.к. усреднению подверглись температуры воздуха в дневное и ночное время с апреля по октябрь. Апрель, сентябрь и октябрь в Саратовской области довольно холодные, в ночное время в апреле температуры могут снизиться ниже нуля, а в сентябре-октябре до +5...+7 °С. Сравнивая показатели средней температуры, влажности, скорости ветра видно, что между ними нет серьезных различий. Некоторые различия наблюдаются только в сумме осадков, да и то в отдельные годы. Наибольшее различие в осадках наблюдалось 2016-2018 годах от 60 до 100% с преимуществом Правобережной части Саратовской области.

Были сопоставлены данные погодных условий (средней температуры и влажности воздуха, суммарного количества осадков и средней скорости ветра) и количества зафиксированных пожаров за 2018-2020 гг. в районах Правобережной и Левобережной частей Саратовской области [319]. С помощью программы *Excel* (входящий в пакет *Microsoft Office*) были произведены поиски математической взаимосвязи между погодными условиями с количеством пожаров в лесах (вычисление коэффициента корреляции Пирсона). Полученные данные представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Влияние погодных условий на количество ЛП в отдельных районах Саратовской области

Наименование части	Район исследования	Год	средняя температура	средняя относительная влажность	сумма осадков	средняя скорость ветра
Правобережная часть Саратовской области	Красноармейский	2018	0,00	<b>-0,76</b>	<b>-0,79</b>	-0,03
		2019	-0,44	-0,07	-0,15	0,13
		2020	0,12	-0,53	-0,33	0,21
	Балашовский	2018	0,29	-0,59	-0,27	0,11
		2019	0,31	<b>-0,67</b>	-0,59	-0,58
		2020	0,14	0,21	-0,27	-0,48
	Саратовский	2018	0,12	-0,53	-0,33	0,21
		2019	-0,44	-0,07	-0,15	0,13
		2020	-0,62	0,27	-0,58	-0,14
Левобережная часть Саратовской области	Краснокутский	2018	-0,23	0,16	-0,35	0,22
		2019	-	-	-	-
		2020	-	-	-	-
	Новоузенский	2018	-	-	-	-
		2019	-	-	-	-
		2020	-	-	-	-
	Марксовский	2018	<b>0,75</b>	-0,41	-0,07	-0,13
		2019	0,44	-0,25	<b>0,78</b>	-0,06
		2020	-0,62	-0,27	<b>-0,66</b>	0,17

Анализ данных, представленных в таблице 4.6, показывает, что в большинстве случаев взаимосвязи погодных условий с количеством лесных пожаров соответствуют низкие значения коэффициентов корреляции

(Пирсона). Прочерки в ячейках таблицы 4.6 для Краснокутского и Новоузенского районов говорят об отсутствии сведений о произошедших лесных пожарах за исследуемый период. Лишь, в отдельных случаях значения коэффициентов превышают 0,6. В абсолютном большинстве случаев взаимосвязь можно отыскать при сопоставлении числа пожаров со средней влажностью воздуха и суммой осадков (см. таблицу 4.6). Для выявления общей картины по формированию пожарной обстановки в лесах Саратовской области в таблице 4.7 представлены значения коэффициентов корреляции по усредненным данным, полученным из Правобережной и Левобережной частей Саратовской области [319].

Таблица 4.7 - Взаимосвязь количества пожаров с погодными условиями в Саратовской области

Наименование части	Год	средняя температура	средняя относительная влажность воздуха	сумма осадков	средняя скорость
Правобережная часть Саратовской области	2018	0,44	<b>-0,77</b>	-0,14	0,21
	2019	0,30	<b>-0,72</b>	-0,47	-0,61
	2020	-0,53	0,07	-0,68	-0,13
Левобережная часть Саратовской области	2018	0,58	-0,55	-0,13	-0,38
	2019	<b>0,72</b>	-0,59	0,38	<b>-0,74</b>
	2020	-0,43	-0,16	<b>-0,87</b>	-0,26

Анализ данных показал, что объединение данных по климатическим частям региона принципиально картину не изменил. Ни один из примененных параметров в сочетании с числом лесных пожаров не дает нужного значения коэффициента корреляции (Пирсона). Более сложную взаимосвязь температуры, влажности и суммарного количества осадков дают гидротермический коэффициент (ГТК) [111]. Результаты сопоставления вышеприведенных коэффициентов с числом пожаров представлены в таблице 4.8 [115, 319].

Таблица 4.8 - Взаимосвязь количества пожаров со значением ГТК в Саратовской области за период с 2014 по 2020 гг

Район исследований	Балашовский	Саратовский	Краснокутский	Марксовский
Значение корреляции	-0,39	-0,35	-0,68	-0,59

Из полученных результатов видно, что значения ГТК также не коррелируют с количеством пожаров, зафиксированных за указанный период в исследуемом районе. Объяснить полученные результаты можно следующим образом. Возникновение лесных пожаров зависит не только от факторов, способствующих им, но и от факторов им противодействующих. Лесной пожар возникает и распространяется, если плохо сработала противопожарная профилактика. Поэтому количество лесных пожаров зависит скорее от качества деятельности человека, а не от погоды - она вторична, т.к. только подготавливает территорию к пожару, но не приводит к их самопроизвольному возникновению. Проанализируем результаты графического представления значения ГТК с числом пожаров на рисунках 4.3-4.6.

Анализ результатов показывает фазовое смещение числа пожаров со значением ГТК, т.к. пик пожаров проявляется позже, чем ГТК показывает наличие «благоприятных» условий для возникновения и развития пожаров. Это свидетельствует о том, что особенность формирования и представления статистических данных о пожарах, привязанную к календарному периоду – месяцу, кварталу и т.п. не отвечает реальной действительности при формировании пожароопасной обстановки в лесах. Так в один и тот же месяц (июль 2018) может быть и большое количество осадков (286 мм) и наибольшее число пожаров (4 ед.) в Правобережной части Саратовской области. Это произошло потому, что засушливая погода начала формироваться еще в июне 2018 г (сумма осадков за месяц 21 мм), т.е. месяцем ранее. За июнь 2018 г. произошло 7 лесных пожаров, таким образом к началу дождливого периода

вторая половина июля 2018 г. общее количество лесных пожаров составило 11 ед.

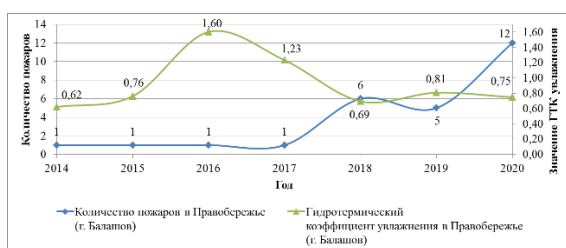


Рисунок 4.3 - Зависимость количества пожаров от ГТК (г. Балашов)



Рисунок 4.4 - Зависимость количества пожаров от ГТК (г. Красный Кут)



Рисунок 4.5 - Зависимость количества пожаров от ГТК (г. Саратов)



Рисунок 4.6 - Зависимость количества пожаров от ГТК (г. Маркс)

Климат и погодные условия только подготавливают ЛМ к пожару, который рано или поздно возникнет, несмотря на предпринимаемые профилактические меры. Если ЛП нельзя предотвратить, то необходимо предпринять меры для снижения ущерба от него, а также провести «изоляция» ЛМ от объектов технической инфраструктуры, являющиеся источниками пожаров. Такими «изоляторами» выступают противопожарные барьеры, способные реализоваться в разных формах, причем как естественные, так и искусственные. Противопожарные барьеры подразделяются на постоянные и временные. К постоянным относятся противопожарные разрывы, предназначенные для защиты от верховых ЛП. Для защиты от ЛНП применяются минерализованные полосы. Для расширения возможностей постоянных противопожарных барьеров строят временные барьеры – заградительные лесные полосы. Главным требованием к противопожарным барьерам является их непреодолимость для самих пожаров

и для поражающих факторов способных сформировать очаг(и) нового горения за барьером.

#### **4.2 Предотвращение и тушение лесных и степных пожаров путем совершенствования противопожарных барьеров**

Наличие противопожарных барьеров в ЛМ являются обязательным условием их защиты от пожаров. Использование барьеров обусловлено многолетним опытом показывающим, что применение только профилактических мероприятий не дает гарантий достаточного уровня защиты от возникновения ЛП. Противопожарные барьеры естественного или искусственного происхождения должны обладать одним очень важным свойством – непреодолимостью для пожара и его поражающих факторов. Согласно [266] все ЛМ на территории РФ должны быть подвергнуты защите с помощью обустройства противопожарных барьеров. Таковыми для верховых пожаров являются – противопожарные разрывы (шириной не менее 20 м), а для низовых пожаров – минерализованные полосы (шириной 1,4-9 м). Тем не менее, существуют многочисленные свидетельства недостаточности их задерживающей эффективности. Это неоднократно отмечалось при ЛП 2010 года, 2018, 2019 годов, и в Европейской части РФ, и Сибири. Авторы работ [78, 94] указывают, что для предотвращения распространения ЛНП необходимы минерализованные полосы шириной не менее 20 м, а противопожарные разрывы в пределах 50-70 м. Что позволяет ЛП и их поражающим факторам преодолевать такие расстояния? Для ответа на данный вопрос необходимо проанализировать, какие природные законы и механизмы позволяют поражающим факторам ЛП преодолевать барьер, обустроенный согласно действующей нормативно-технической документации [234].

*Модельное представление о переносе горящих частиц.*  
Распространение лесных пожаров происходит в строгом соответствии со складывающимися природными условиями. Если не учитывать причины

возникновения лесных пожаров, а с 90%-ной вероятностью, это намеренные или ненамеренные действия человека, то лесной пожар полностью определяется действиям законов природы. Наиболее опасными видами лесных пожаров являются верховые, т.к. они формируются в условиях сильного и, довольно часто, порывистого ветра. Следует отметить, что лесной пожар никогда не начинается как верховой, начало ему дает ЛНП, который при определенных условиях попадает на крону деревьев и дальше «перескакивая» с кроны на крону движется в направлении распространения ветра. Ветер, дующий в приземном слое атмосферы, обеспечивает подпор воздуха, поэтому при верховом пожаре развиваются высокие температуры и образуется конвекционная колонка – комбинация восходящих потоков смеси воздуха и продуктов сгорания с ламинарным и турбулентным течением [38].

При пожаре разные горючие материалы сгорают с разной скоростью, поэтому часть горючих материалов может быть увлечена восходящим потоком разогретых газов и перенесена по ветру на некоторое расстояние (существуют свидетельства, что перенос частиц может осуществляться до 1,5 км). Форма, масса и размеры горящих частиц во многом определяют на какой высоте они покинут конвективную колонку и на какое расстояние они могут быть перенесены ветром. Единственным условием переноса роя горящих частиц является то, что частицы должны подняться выше уровня растений на данном участке.

Горящие частицы, формируемые лесными горючими материалами (ЛГМ) из-за разной формы и массы сгорают с разной скоростью, поэтому горение взвешенных частиц продолжается в процессе переноса. Частицы малых размеров во время переноса сгорают полностью и упадут на поверхность ЛГМ уже в виде частиц остывшего пепла. Более крупные частицы будут продолжать гореть при падении на слой ЛГМ. Перенос роя горящих частиц ветром приводит к «засеянию» территории с ЛГМ. В этом случае, либо происходит формирование нового очага лесного пожара, либо «подготовка» (подсушивание) ЛГМ к приходу фронта лесного пожара.



Разработка защитных мероприятий в это случае немыслима без проведения мониторинга влияния погодных условий на формирование лесного пожара, а также его рост и развитие. Многие авторы [14, 38, 50, 140, 340] делали свои попытки ответить на вопрос о дальности переноса горящих частиц по воздуху. В работе [14] даже был предложен подход аналитического решения данной задачи. В работе [140] была разработана специализированная установка для формирования роя горящих частиц, в работе [340] исследование переноса осуществляли в специально сконструированной аэродинамической трубе. Тем не менее, все работы отвечают только на часть поставленных вопросов, но никак не обсуждают полученные результаты в совокупности.

Дальность перелета горящих фрагментов описывается следующим простым уравнением [38]:

$$L = H \cdot V_{\text{част}} / V_{\text{пад}}, \quad (4.1)$$

где  $H$  – высота выпадения горячей частицы из конвективного потока, м;  $V_{\text{част}}$  – скорость переноса частицы, м/с,  $V_{\text{пад}}$  – скорость падения горячей частицы, м/с.

Данное уравнение обладает достаточно простой формой, тем не менее, входящие в нее составляющие являются комплексными, возможность численно оценить которые представляет собой значительную трудность. К примеру, многие авторы [14, 38, 50, 140, 340] не смотря на заявленные сведения не дают прямого ответа о скорости переноса горящих частиц в вертикальном и горизонтальном направлении. Авторы работ [38] достоверно установили, что вертикальная скорость перемещения частицы не совпадает полностью со скоростью движения газового потока в конвективной колонке. Находясь в зоне действия гравитационного поля Земли испытывая на себе ее постоянное притяжение частица, как бы проскальзывает, в ВГП, т.е.  $V_{\text{част}} \neq V_{\text{вгп}}$ . Для того, чтобы частица преодолела действие силы тяжести подъемная сила должна быть выше, чем сила притяжения. Дело в том, что подъемная сила ВГП максимальна в положении тела, отвечающего наибольшему аэродинамическому сопротивлению. Однако, находясь во взвешенном

состоянии тело, подобно маятнику, пытается найти положение максимально низкого расположения своего центра тяжести. В то же время, тело пытается развернуться в направлении наименьшего аэродинамического сопротивления ВПП. Поиск состояния равновесия будет осуществляться до тех пор, пока, тело не упадет на землю или полностью не сгорит. Это приведет к постоянному вращению тела относительно некоторого центра.

Горящие частицы представляют собой твердые тела, которые обязаны иметь определенное аэродинамическое сопротивление газовому потоку. Авторы работ [38, 50] приводят данные, что из горящих частиц, переносимых ветром наиболее распространены частицы с формой цилиндра и шара. С аэродинамикой шара все понятно - его коэффициент аэродинамического сопротивления ( $C_x$ ) не меняется, от его положения и размеров, т.к. сфера – центрально-симметричная фигура. Совершенно другую картину имеет цилиндр, т.к. он имеет одновременно и плоскостную, и осевую симметрию. Дело осложняется тем, что все цилиндры по форме можно разделить на три группы, собственно, цилиндр, для которых  $h_{ц} > d_{ц}$ , изодиаметрический цилиндр  $h_{ц} = d_{ц}$  и диск, у которого  $h_{ц} < d_{ц}$ . Для таких тел наблюдается серьезное различие в аэродинамическом сопротивлении. Так, для цилиндра с соотношением сторон  $h_{ц}=2d_{ц}$ ,  $K_{ac}=0,82$ , для цилиндра  $h_{ц} = d_{ц}$   $K_{ac}=0,96$ , а для диска  $h_{ц} < d_{ц}$   $K_{ac}=1,15$  – в поперечном и  $0,1$  - в продольном направлениях [98].

О времени подъема горячей частицы на определенную высоту можно только догадываться, именно поэтому авторы работ [38, 50, 140] не прогнозируют высоту подъема горящих частиц, а начинают решение задачи с того момента, как происходит ее выпадение из конвекционного потока. Поэтому в случае моделирования можно приписать этой величине любое значение - 5, 10, 20 и более метров.

Для прогноза горизонтального переноса горячей частицы в работах [38,50] предложено математическое соотношение

$$L=V_{част} \cdot t_{над}, \quad (4.2)$$

где  $V_{\text{част}}$  – скорость переноса частицы, м/с,  $t_{\text{пад}}$  – скорость падения горячей частицы с некоторой высоты, с, которое определяется из соотношения [9]

$$t_{\text{пад}} = \sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad (4.3)$$

где  $h$  – высота падения частицы, м;  $g$  – ускорение свободного падения тела в гравитационном поле Земли, м/с<sup>2</sup>, ( $g=9,81$  м/с<sup>2</sup>). Анализ уравнения (4.3) показывает, что время падения частицы не зависит от ее массы, таким образом изменением массы горячей частицы также можно пренебречь.

Простота уравнения (2) очень обманчива, т.к. неизвестна горизонтальная скорость переноса частицы, а в работе [38,50] предложено, что  $V_{\text{част}}=V_{\text{ветра}}$ . Не совсем понятно, из каких соображений был сделан такой вывод, если тех же работах обсуждался вопрос о неравенстве вертикальной скорости перемещения горячей частицы и ВГП. Вполне возможно, что существует аналогичное проскальзывание частицы, но уже в потоке ветра и горизонтальная скорость частицы не будет равна скорости ветра. Для подтверждения были использованы данные о переносе горящих частиц, полученные в лабораторных и в полевых условиях из наблюдений за развитием лесных пожаров или моделированием переноса [38,50,140,340].

Проведены собственные исследования по влиянию потока воздуха на горизонтальный перенос объектов, имитирующих форму и массу горящих частиц. Исследуемые объекты создавались из писчей бумаги. Из нее вырезались фрагменты квадратной формы, которые взвешивались на аналитических весах (A&D, Япония) с точностью до 0.01 г. Полученные образцы плотно сворачивались и обжимались в небольших тисках так, чтобы их форма была как можно ближе к форме шара. Размеры частиц в поперечнике составили 5, 9 и 12 мм, соответственно. Воздушный поток создавали в закрытом помещении с помощью напольного бытового вентилятора с диаметром крыльчатки 380 мм, расположенной на высоте 1.45 м над уровнем пола. Скорость воздушного потока определяли прибором «Метеоскоп-М» (НТ-Защита, Россия). При максимальной скорости вращения крыльчатки

вентилятор был способен выдавать воздушный поток со скоростью 3.6 м/с. Для исключения внутренних мешающих влияний (отражения воздушного потока от стен, формирования турбуленции и т.п.) было выбрано большое помещение 12x9 м, а чтобы исключить внешние мешающие факторы, двери и окна в помещении на время эксперимента были закрыты. Для измерения дальности переноса частиц на полу в помещении была сформирована линейка, на которой были отмечены положения соответствующие скорости движения воздуха 3, 2 и 1 м/с, найденные прямым измерением скорости движения воздушной среды с помощью прибора «Метеоскоп-М».

Объект, имитирующий горящую частицу, сбрасывался вертикально в воздушный поток на отметке, соответствующей выбранной скорости ветра, попадал в поле действия воздушного потока и его траектория движения отклонялась от вертикальной. Когда объект падал на пол на линейке отмечалось место падения и, таким образом, измерялась величина дальности переноса. Эксперимент с каждым объектом повторялся двумя операторами не менее пяти раз каждый. Полученные данные, усреднялись, чтобы исключить случайные влияния на процесс измерения. Силу переноса определяли на основе законов классической физики и аэродинамики, а для объектов применяли коэффициенты аэродинамического сопротивления из [142,162, 244].

Адекватность модели горизонтального переноса горячей частицы заключается в поиске достоверного значения коэффициента  $K_n$ , связывающего скорость ветра и скорость переноса горячей частицы:

$$V_{\text{част}} = K_n \cdot V_{\text{ветра}}. \quad (4.4)$$

Данный коэффициент является безразмерным и может изменять свое значение от 0 до 1. Такой подход к формулировке требований адекватности модели исходит из предположения, что скорость переносимой частицы не может быть больше скорости ветра. Для того чтобы найти численное значение коэффициента переноса необходимо определить горизонтальную скорость частицы и соотнести ее со скоростью ветра.

Известно, что набегающий на тело поток воздуха обладает движущей силой, т.е. способен преодолевать силу трения покоя, и даже поднимать тела в воздух [142, 244]. Величина движущей силы (силы переноса) определяется уравнением:

$$F_{пер} = \frac{1}{2} C_x \cdot \rho \cdot S \cdot V^2, \quad (4.5)$$

где  $C_x$  – коэффициент аэродинамического сопротивления,  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $S$  – площадь поперечного сечения тела, м<sup>2</sup>,  $V$  – скорость ветра, м/с.

Все параметры уравнения (4.5) известны и поддаются точному измерению. Зная силу, действующую на тело, есть возможность определить его ускорение, воспользовавшись Вторым законом Ньютона ( $F=ma$ ), а от ускорения через интегрирование перейти к скорости горизонтального переноса тела. Сопоставив скорость переноса частицы со скоростью ветра можно определить численное значение коэффициента переноса ( $K_n$ ). В процессе моделирования можно задать любую форму, размеры и массу тела. Применив уравнение (1), зная время падения и скорость горизонтального переноса можно вычислить дальность переноса ( $L_{пер}$ ) частицы заданной формы, размеров и массы. В таблице 4.9 представлены результаты расчетов коэффициентов переноса для шарообразных тел диаметром от 5 до 12 мм.

Анализ данных, представленных в таблице 4.9, показывает, что большинство значений коэффициента переноса меньше единицы, тем не менее, часть величин превышает значение единицы. С точки зрения классической физики это невозможно, т.к. при движении тела в потоке с ростом его скорости уменьшается действие побуждающей силы, которая при равенстве  $V_{част}=V_{потока}$  становится равной нулю. Поэтому имеет смысл приравнять все значения коэффициентов переноса, превышающие единицу к единице.

Таблица 4.9 - Зависимость коэффициента переноса горящих частиц от высоты подъема и размера горячей частицы (шар)  $C_x=0,47$

$h_{пад}$ , м	$V_в$ , м/с	Значения коэффициентов переноса							
		$D=5$ мм	$D=6$ мм	$D=7$ мм	$D=8$ мм	$D=9$ мм	$D=10$ мм	$D=11$ мм	$D=12$ мм
5	1	0,159	0,133	0,114	0,100	0,089	0,080	0,072	0,066
	2	0,319	0,266	0,228	0,199	0,177	0,159	0,145	0,133
	3	0,478	0,399	0,342	0,299	0,266	0,239	0,217	0,199
	5	0,797	0,664	0,570	0,498	0,443	0,399	0,362	0,332
10	1	0,226	0,188	0,161	0,141	0,125	0,113	0,103	0,094
	2	0,451	0,376	0,322	0,282	0,251	0,226	0,205	0,188
	3	0,677	0,564	0,483	0,423	0,376	0,338	0,308	0,282
	5	<b>1,128</b>	0,940	0,805	0,705	0,626	0,564	0,513	0,470
15	1	0,276	0,230	0,197	0,173	0,153	0,138	0,126	0,115
	2	0,552	0,460	0,395	0,345	0,307	0,276	0,251	0,230
	3	0,829	0,691	0,592	0,518	0,460	0,414	0,377	0,345
	5	1,381	1,151	0,986	0,863	0,767	0,691	0,628	0,575
20	1	0,319	0,266	0,228	0,199	0,177	0,159	0,145	0,133
	2	0,638	0,532	0,456	0,399	0,354	0,319	0,290	0,266
	3	0,957	0,797	0,683	0,598	0,532	0,478	0,435	0,399
	5	<b>1,595</b>	<b>1,329</b>	<b>1,139</b>	0,997	0,886	0,797	0,725	0,664

Учитывая значения  $K_n$  и представления о движении частиц в потоке были рассчитаны дальности переноса горящих частиц в форме шара, выпавших из воздушного потока на высоте 5-20 м при скоростях ветра 1-5 м/с. Результаты расчетов представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 - Зависимость дальности перелета фрагментов горящего материала (шар) от высоты падения и размера горячей частицы – шар  $C_x=0,47$

$h_{пад}$ , м	$V_в$ , м/с	Дальность переноса, м							
		$D=5$ мм	$D=6$ мм	$D=7$ мм	$D=8$ мм	$D=9$ мм	$D=10$ мм	$D=11$ мм	$D=12$ мм
5	1	0,36	0,28	0,22	0,18	0,15	0,13	0,11	0,10
	2	1,44	1,10	0,87	0,71	0,59	0,50	0,44	0,39
	3	3,24	2,48	1,95	1,58	1,34	1,12	0,99	0,87
	5	7,21	5,50	4,35	3,52	2,97	2,50	2,20	1,93
10	1	1,02	0,78	0,61	0,50	0,42	0,35	0,31	0,27
	2	4,08	3,11	2,46	1,99	1,68	1,41	1,25	1,09
	3	9,18	7,00	5,53	4,49	3,78	3,18	2,80	2,46
	5	18,09	15,55	12,28	9,97	8,40	7,07	6,23	5,45
15	1	1,87	1,43	1,13	0,91	0,77	0,65	0,57	0,50
	2	7,50	5,71	4,51	3,66	3,09	2,60	2,29	2,00
	3	16,86	12,86	10,16	8,24	6,95	5,85	5,15	4,51
	5	27,13	24,82	22,57	18,31	15,43	13,00	11,44	10,02
20	1	2,88	2,20	1,74	1,41	1,19	1,00	0,88	0,77
	2	11,54	8,80	6,95	5,64	4,75	4,00	3,52	3,09
	3	25,96	19,79	15,64	12,68	10,69	9,00	7,93	6,94
	5	36,18	33,10	30,50	28,19	23,76	20,01	17,62	15,43

Анализ данных, представленных в таблице 4.10 показывает, что согласно модельным представлениям (см. уравнение 4.2) дальность переноса горящих частиц, имеющих форму шара, может составлять до 36 метров при падении с высоты 20 м и скорости ветра 5 м/с. Противопожарный барьер шириной 1,5 м преодолет частица диаметром 8 мм, падающая с высоты 5 м при скорости ветра 3 м/с. А если учесть, что большая часть подобных барьеров обустраиваются с шириной менее 1 м, то их защитные характеристики проявятся только в штиль.

Аналогичные исследования были проведены для частиц цилиндрической формы и имеющие форму диска. Результаты исследования представлены в таблицах 4.11-4.13. В работе [38,50] показано, что наилучшей способностью к переносу обладают цилиндрические частицы с соотношением сторон  $h_{ц}=4d_{ц}$ . Именно такая форма была принята для моделирования. Результаты оценки коэффициента переноса для цилиндра с соотношением сторон  $h_{ц}=4d_{ц}$ , представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 - Зависимость коэффициента переноса горящих частиц от высоты подъема и размера горячей частицы – цилиндр ( $h_{ц}=4d_{ц}$ )  $C_x=0,82$

$h_{пад}$ , м	$V_6$ , м/с	Значение коэффициентов переноса, м							
		$D=5$ мм	$D=6$ мм	$D=7$ мм	$D=8$ мм	$D=9$ мм	$D=10$ мм	$D=11$ мм	$D=12$ мм
5	1	0,046	0,039	0,033	0,029	0,026	0,023	0,021	0,019
	2	0,093	0,077	0,066	0,058	0,052	0,046	0,042	0,039
	3	0,139	0,116	0,099	0,087	0,077	0,070	0,063	0,058
	5	0,232	0,193	0,166	0,145	0,129	0,116	0,105	0,097
10	1	0,066	0,055	0,047	0,041	0,036	0,033	0,030	0,027
	2	0,131	0,109	0,094	0,082	0,073	0,066	0,060	0,055
	3	0,197	0,164	0,141	0,123	0,109	0,098	0,089	0,082
	5	0,328	0,273	0,234	0,205	0,182	0,164	0,149	0,137
15	1	0,080	0,067	0,057	0,050	0,045	0,040	0,037	0,033
	2	0,161	0,134	0,115	0,100	0,089	0,080	0,073	0,067
	3	0,241	0,201	0,172	0,151	0,134	0,120	0,110	0,100
	5	0,402	0,335	0,287	0,251	0,223	0,201	0,183	0,167
20	1	0,093	0,077	0,066	0,058	0,052	0,046	0,042	0,039
	2	0,185	0,155	0,132	0,116	0,103	0,093	0,084	0,077
	3	0,278	0,232	0,199	0,174	0,155	0,139	0,126	0,116
	5	0,464	0,386	0,331	0,290	0,258	0,232	0,211	0,193

Сравнивая результаты, полученные для переноса по ветру цилиндрических тел (таблица 4.11) с шарообразными (таблица 4.10) заметим, что значения коэффициентов переноса для цилиндров ниже, чем для шаров того же диаметра. Это объясняется тем, что масса цилиндра при сходном диаметре выше, чем у шара, т.к. при соотношении сторон  $h_{ц}=4d_{ц}$  его объем больше, что при равной плотности дает большую массу. Увеличение массы, ведет за собой необходимость увеличения силы переноса, что при той же скорости ветра и поперечном сечении цилиндра невозможно. При решении задачи использовалось свойство цилиндра поворачиваться в потоке к ветру подобно флюгеру, т.е. стороной наименьшего аэродинамического сопротивления. При этом, сила переноса будет одинакова, т.к. длина цилиндра не влияет на площадь его поперечного сечения. Все вышеперечисленное отразилось на оценке дальности перелета цилиндрических частиц ( $h_{ц}=4d_{ц}$ ), которые представлены в таблице 4.12.

Таблица 4.12 - Зависимость дальности перелета горящих частиц от высоты падения и размеров - цилиндр ( $h=4d$ )  $C_x=0,82$

$h_{над},$ м	$V_6, \text{ м/с}$	Дальность переноса, м							
		$d=5 \text{ мм}$	$D=6 \text{ мм}$	$D=7 \text{ мм}$	$D=8 \text{ мм}$	$D=9 \text{ мм}$	$D=10$ <i>мм</i>	$D=11$ <i>мм</i>	$D=12$ <i>мм</i>
5	1	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
	2	0,42	0,32	0,25	0,21	0,17	0,15	0,13	0,11
	3	0,94	0,72	0,57	0,46	0,39	0,33	0,29	0,25
	5	2,10	1,60	1,26	1,02	0,86	0,73	0,64	0,56
10	1	0,30	0,23	0,18	0,15	0,12	0,10	0,09	0,08
	2	1,19	0,90	0,71	0,58	0,49	0,41	0,36	0,32
	3	2,67	2,03	1,61	1,30	1,10	0,93	0,81	0,71
	5	5,93	4,52	3,57	2,90	2,44	2,06	1,81	1,59
15	1	0,54	0,42	0,33	0,27	0,22	0,19	0,17	0,15
	2	2,18	1,66	1,31	1,07	0,90	0,76	0,67	0,58
	3	4,90	3,74	2,95	2,40	2,02	1,70	1,50	1,31
	5	10,89	8,31	6,56	5,32	4,49	3,78	3,33	2,91
20	1	0,84	0,64	0,51	0,41	0,35	0,29	0,26	0,22
	2	3,36	2,56	2,02	1,64	1,38	1,16	1,02	0,90
	3	7,55	5,75	4,55	3,69	3,11	2,62	2,31	2,02
	5	16,78	12,79	10,10	8,20	6,91	5,82	5,12	4,49

Анализ данных, представленных в таблице 4.12 показывает, что согласно модельным представлениям (см. ур. 4.2) дальность переноса горящих



частиц, имеющих форму цилиндра ( $h_y=4d_y$ ), может составлять до 17 метров при падении с высоты 20 м и скорости ветра 5 м/с. Противопожарный барьер шириной 1,5 м преодолет частица диаметром 6 мм, падающая с высоты 5 м при скорости ветра 5 м/с. Частица такого размера согласно [38,50] способна гореть 3-4 мин, что свидетельствует о повышении вероятности переноса кромки лесного пожара через противопожарный барьер.

Еще один вариант возможен при трансформации цилиндра в диск ( $h_y < d_y$ ). Аэродинамика диска показывает, что его  $C_x = 1.15$  в поперечном направлении и 0,1 - в продольном [98]. При равном диаметре масса диска меньше, чем у цилиндра, а значит для переноса диска нужна будет меньшая по величине сила переноса. Для проведения исследований была выбрана форма диска  $h_d=0,5d_d$ . Полученные результаты представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.13. Зависимость коэффициента переноса горящих частиц от высоты подъема и размера горящей частицы – диск ( $h_d=0,5d_d$ ) при  $C_x = 1,15$

$h_{над}$ , м	$V_в$ , м/с	Значение коэффициентов переноса, м							
		$D=5$ мм	$D=6$ мм	$D=7$ мм	$D=8$ мм	$D=9$ мм	$D=10$ мм	$D=11$ мм	$D=12$ мм
5	1	0,520	0,434	0,372	0,325	0,289	0,260	0,236	0,217
	2	<b>1,041</b>	0,867	0,743	0,650	0,578	0,520	0,473	0,434
	3	<b>1,561</b>	<b>1,301</b>	<b>1,115</b>	0,975	0,867	0,780	0,709	0,650
	5	<b>2,601</b>	<b>2,168</b>	<b>1,858</b>	<b>1,626</b>	<b>1,445</b>	<b>1,301</b>	<b>1,182</b>	<b>1,084</b>
10	1	0,736	0,613	0,526	0,460	0,409	0,368	0,334	0,307
	2	<b>1,472</b>	<b>1,226</b>	<b>1,051</b>	0,920	0,818	0,736	0,669	0,613
	3	<b>2,207</b>	<b>1,839</b>	<b>1,577</b>	<b>1,380</b>	<b>1,226</b>	<b>1,104</b>	<b>1,003</b>	0,920
	5	<b>3,679</b>	<b>3,066</b>	<b>2,628</b>	<b>2,299</b>	<b>2,044</b>	<b>1,839</b>	<b>1,672</b>	<b>1,533</b>
15	1	0,901	0,751	0,644	0,563	0,501	0,451	0,410	0,375
	2	<b>1,802</b>	<b>1,502</b>	<b>1,287</b>	<b>1,126</b>	<b>1,001</b>	0,901	0,819	0,751
	3	<b>2,703</b>	<b>2,253</b>	<b>1,931</b>	<b>1,690</b>	<b>1,502</b>	<b>1,352</b>	<b>1,229</b>	<b>1,126</b>
	5	<b>4,506</b>	<b>3,755</b>	<b>3,218</b>	<b>2,816</b>	<b>2,503</b>	<b>2,253</b>	<b>2,048</b>	<b>1,877</b>
20	1	<b>1,041</b>	0,867	0,743	0,650	0,578	0,520	0,473	0,434
	2	<b>2,081</b>	<b>1,734</b>	<b>1,486</b>	<b>1,301</b>	<b>1,156</b>	<b>1,041</b>	0,946	0,867
	3	<b>3,122</b>	<b>2,601</b>	<b>2,230</b>	<b>1,951</b>	<b>1,734</b>	<b>1,561</b>	<b>1,419</b>	<b>1,301</b>
	5	<b>5,203</b>	<b>4,335</b>	<b>3,716</b>	<b>3,252</b>	<b>2,890</b>	<b>2,601</b>	<b>2,365</b>	<b>2,168</b>

Анализа данных, представленных в таблице 4.13, показывает, что при определенных условиях значение коэффициента переноса ( $K_n$ ) больше единицы. Это объясняется тем, что для расчета использовался  $C_x = 1,15$ , а масса диска, при том же диаметре, меньше, чем у цилиндра. Тем не менее, для диска наиболее устойчивым положением является горизонтальное при этом

значение  $C_x=0,1$ . Используя это значение были вычислены значения коэффициентов переноса, которые представлены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 - Зависимость коэффициента переноса горящих частиц от высоты подъема и размера горячей частицы – диск ( $h_0=0,5d_0$ ) при  $C_x=0,1$

$h_{над},$ м	$V_0, \text{ м/с}$	Значение коэффициентов переноса, м							
		$D=5$ мм	$D=6 \text{ мм}$	$D=7 \text{ мм}$	$D=8 \text{ мм}$	$D=9 \text{ мм}$	$D=10$ мм	$D=11$ мм	$D=12$ мм
5	1	0,045	0,038	0,032	0,028	0,025	0,023	0,021	0,019
	2	0,090	0,075	0,065	0,057	0,050	0,045	0,041	0,038
	3	0,136	0,113	0,097	0,085	0,075	0,068	0,062	0,057
	5	0,226	0,188	0,162	0,141	0,126	0,113	0,103	0,094
10	1	0,064	0,053	0,046	0,040	0,036	0,032	0,029	0,027
	2	0,128	0,107	0,091	0,080	0,071	0,064	0,058	0,053
	3	0,192	0,160	0,137	0,120	0,107	0,096	0,087	0,080
	5	0,320	0,267	0,228	0,200	0,178	0,160	0,145	0,133
15	1	0,078	0,065	0,056	0,049	0,044	0,039	0,036	0,033
	2	0,157	0,131	0,112	0,098	0,087	0,078	0,071	0,065
	3	0,235	0,196	0,168	0,147	0,131	0,118	0,107	0,098
	5	0,392	0,326	0,280	0,245	0,218	0,196	0,178	0,163
20	1	0,090	0,075	0,065	0,057	0,050	0,045	0,041	0,038
	2	0,181	0,151	0,129	0,113	0,101	0,090	0,082	0,075
	3	0,271	0,226	0,194	0,170	0,151	0,136	0,123	0,113
	5	0,452	0,377	0,323	0,283	0,251	0,226	0,206	0,188

Снижение величины  $C_x$  (см. таблицу 4.14) закономерно привело к снижению  $K_n$ , значения которого теперь не превышают 0,5. Какое именно значение примет  $C_x$  не известно, но известно, что тела способны вращаться в потоке воздуха и истина будет лежать где-то по середине. Однако, то, что диск хорошо переносится в пространстве, знали еще в Древней Греции, где бронзовые диски применялись в качестве оружия, их можно было метать на большие расстояния. Учитывая все это были рассчитаны значения дальности переноса горящих частиц в форме диска, а результаты представлены в таблица 4.15.

Таблица 4.15 - Зависимость дальности перелета горящих частиц от высоты падения и размеров - диск ( $h_0=0,5d_0$ )  $C_x=1,15$

$h_{пад},$ м	$V_0, \text{ м/с}$	Дальность переноса, м							
		$d=5$ мм	$D=6 \text{ мм}$	$D=7 \text{ мм}$	$D=8 \text{ мм}$	$D=9 \text{ мм}$	$D=10$ мм	$D=11$ мм	$D=12$ мм
5	1	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03
	2	0,41	0,31	0,25	0,20	0,17	0,14	0,13	0,11
	3	0,92	0,70	0,55	0,45	0,38	0,32	0,28	0,25
	5	2,04	1,56	1,23	1,00	0,84	0,71	0,63	0,55
10	1	0,29	0,22	0,17	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08
	2	1,16	0,88	0,70	0,57	0,48	0,40	0,35	0,31
	3	2,60	1,98	1,57	1,27	1,07	0,90	0,79	0,70
	5	5,79	4,41	3,48	2,83	2,38	2,01	1,77	1,55
15	1	0,53	0,41	0,32	0,26	0,22	0,18	0,16	0,14
	2	2,13	1,62	1,28	1,04	0,88	0,74	0,65	0,57
	3	4,78	3,65	2,88	2,34	1,97	1,66	1,46	1,28
	5	10,63	8,10	6,40	5,19	4,38	3,69	3,25	2,84
20	1	0,82	0,62	0,49	0,40	0,34	0,28	0,25	0,22
	2	3,27	2,50	1,97	1,60	1,35	1,13	1,00	0,88
	3	7,36	5,61	4,44	3,60	3,03	2,55	2,25	1,97
	5	16,37	12,48	9,86	8,00	6,74	5,68	5,00	4,38

Анализ данных, представленных в таблице 4.15, показывает, что дальность переноса дисков (с  $K_{ac}=0,1$ ) сравнима с дальностью переноса шарообразных частиц. Такие частицы способны преодолеть до 16 м пространства при скорости ветра 5 м/с падая с высоты 20 м (см. таблицу 4.15). Таким образом, противопожарный барьер шириной 1,5 м будет представлять надежную преграду лесному пожару только для частиц больших размеров и низкой скорости ветра.

Любые модельные представления нуждаются в экспериментальном подтверждении. Для этого были проведены собственные исследования, а также использованы экспериментальные данные, опубликованные в работах [140, 340]. Результаты расчета скорости переноса ( $V_n$ ) частиц и коэффициента переноса ( $K_n$ ) в зависимости от скорости воздушного потока, размеров тела и его массы представлены в таблице 4.16.

Таблица 4.16 - Результаты расчета горизонтальной скорости переноса шарообразных частиц ( $V_{\text{част}}$ ) и их коэффициента переноса ( $K_n$ )  $C_x=0,47$

$V_{\text{вн}}, \text{ м/с}$	$L_{\text{экс}}, \text{ м}$	$m_{\text{част}}, \text{ г}$	$S_{\text{част}}, \text{ мм}^2$	$F_n, \text{ Н}$	$a, \text{ м/с}^2$	$V_{\text{част}}, \text{ м/с}$	$L_{\text{расч}}, \text{ м}$	$K_n$
1	0,07	0,04	28,26	0,0000117	0,29	0,16	0,04	0,16
2	0,14	0,04	28,26	0,0000466	1,17	0,63	0,17	0,32
3	0,36	0,04	28,26	0,0001049	2,62	1,43	0,39	0,48
1	0,08	0,11	94,98	0,0000392	0,36	0,19	0,05	0,19
2	0,19	0,11	94,98	0,0001567	1,42	0,77	0,21	0,39
3	0,43	0,11	94,98	0,0003526	3,21	1,74	0,47	0,58
1	0,03	0,4	226,86	0,0000936	0,23	0,13	0,03	0,13
2	0,12	0,4	226,86	0,0003743	0,94	0,51	0,14	0,25
3	0,28	0,4	226,86	0,0008422	2,11	1,14	0,31	0,38

Анализ данных, представленных в таблице 4.16, позволяет определить хорошую сходимость экспериментальных данных с теоретическими расчетами, но только в пределах скоростей воздушного потока 1-3 м/с. Возможности экспериментальной установки не позволяют создать большую скорость воздушного потока. Отмечено, что значение коэффициента переноса  $K_n$  меняется в зависимости от скорости воздушного потока, причем с ростом скорости растет и значение коэффициента. Так, в случае  $V_{\text{вн}}=1$  м/с значение  $K_n$  находится в пределах 0.13-0.19, а в случае  $V_{\text{вн}}=3$  м/с значение  $K_n=0.38-0.48$ . Полученные экспериментальные данные сходятся с расчетными в пределах 10%. Так шарообразное тело, падающее с высоты 1,45 м, массой 0,04 г, с площадью поперечного сечения 28 мм<sup>2</sup>, при скорости ветра 3 м/с обязано переместиться в горизонтальном направлении 0,39 м, тогда как эксперимент показывает, что частица переместилась в среднем на 0,35...0,37 м, что составляет 89% от расчетного. Максимальную скорость переноса горящих частиц удалось экспериментально зафиксировать в работе [140], где при скорости потока воздуха 10 м/с, горящая частица переместилась на 4,3 метра. Расчет показывает, что ее скорость составила 9,91 м/с, что составляет 99% от

скорости воздушного потока ( $K_n=0,99$ ). Следует отметить, что при скоростях ветра более 10 м/с наблюдается формирование подъемной силы [142,244] препятствующей падению частиц на поверхность Земли. Именно поэтому при верховых пожарах дальность перелета горящих частиц может составить 1 ... 1,5 км.

Исследование промежуточных условий переноса 5 и 7 м/с, проведенное в работе [340] показало, что частицы дискообразной формы с диаметром 12 и 24 мм и толщиной 5 и 10 мм падающие с высоты 1,8 м способны преодолеть расстояние 0.6-2 м. Результаты расчетов скорости и дальности переноса частиц представлены в таблице 4.17.

Таблица 4.17. Результаты расчета горизонтальной скорости переноса дискообразных частиц ( $V_{част}$ ) и их коэффициента переноса ( $K_n$ ) при  $C_x=1,15$  (рассчитано по данным [340])

$V_{ен}, \text{ м/с}$	$m_{част}, \text{ Г}$	$S_{част}, \text{ мм}^2$	$F_n, \text{ Н}$	$a, \text{ м/с}^2$	$V_{част}, \text{ м/с}$	$L_{экс}, \text{ м}$	$L_{расч}, \text{ м}$	$K_n$
5	0.34	113,04	0,0019	5,57	3,37	1,30	1,02	0,67
7	0.34	113,04	0,0037	10,9	6,61	2,00	2,00	1,00
5	1.25	452,16	0,0076	6,06	3,67	1,00	1,11	0,94
7	1.25	452,16	0,0148	11,9	7,19	1,60	2,18	1,03
5	2.45	452,16	0,0076	3,09	1,87	0,60	0,57	0,37
7	2.45	452,16	0,0148	6,05	3,67	1,00	1,11	0,86

Анализ результатов, представленных в таблице 4.17, показывает, что для тел в форме диска расчеты дальности переноса довольно близко соответствуют экспериментальным значениям. Авторы работы не указывают как осуществлялся перенос диска вращался ли он в воздухе при переносе, но хорошо известно начальное положение диска при проведении эксперимента – диск располагался внутри аэродинамической трубы на полке плоской стороной вниз. В этом случае, его  $C_x=0,1$  и тогда расчетная дальность переноса таких тел составила 0,05-0,19 м, что значительно ниже, чем полученные экспериментальные данные 0,60-2,00 м. Тем не менее, при применении

максимального значения коэффициента переноса данные расчета и эксперимента совпадают, что свидетельствуют о возможности вращения диска в пространстве при его переносе ветром, и вполне вероятно, что при скоростях ветра больше 7 м/с для них величины коэффициента переноса будут близки к единице. Это объясняется хорошими свойствами диска к планированию, т.к. его форма напоминает форму крыла. Дальнейшее повышение скорости воздушного потока (более 10 м/с) формирует подъемную силу, способную долгое время удерживать частицы во взвешенном состоянии, что применяется при организации пневмопереноса сыпучих материалов [142,244]. Именно этим и объясняется перенос горящих частиц при сильных верховых пожарах на расстояние до 1,5 км.

Представленные выше результаты показывают, что горящие частицы ЛГМ, имеющие шарообразную и цилиндрическую форму, выпав из конвективного потока на высоте 20 м от уровня земли при скорости ветра 5 м/с способны переместиться от исходного места на расстояние в 36 м. Постоянные противопожарные барьеры – минерализованные полосы - не в состоянии сдержать их распространение, даже с учетом рекомендаций [78, 94] увеличить их ширину до 20 м. Строить минерализованные полосы шире 9-10 м путем почвообработки нецелесообразно, поэтому имеет смысл дополнительно строить заградительные полосы снижая способность к горению ЛГМ.

#### **4.3 Способы и средства снижения пожарной опасности лесных горючих материалов**

В п 4.2 показано, что для гарантированной остановки распространения верховых ЛП необходимы противопожарные разрывы шириной в несколько километров, а для ЛНП необходимо строить минерализованные полосы шириной не менее 30 м. Понятно, что реализовать на практике такие требования не представляется возможным, т.к. в ЛМ будет необходимо

проводить вырубку деревьев на значительных площадях, да и в этом случае трудно будет добиться необходимого уровня защиты. Тем более, невозможно будет провести данное мероприятие в случае тушения ЛП, когда для остановки фронта (кромки) необходимо построить противопожарный барьер. В этом случае необходимо воспользоваться приемом, снижающим пожарную опасность ЛГМ. В этом случае, ИЗ попадающий на эту территорию будет просто выгорать, не осуществляя создание нового очага горения. В работе [50] показано, что максимальное время горения частиц ЛГМ способных к переносу в конвективной колонке ЛП и далее ветром в горизонтальном направлении составляет 450 с (или 20 мин). В связи с этим, необходимо повысить огнестойкость ЛГМ до этого уровня. Таким образом, введено понятие *заградительной полосы*, которая в комплексе с другими видами противопожарных барьеров должна повысить эффективность защиты лесов/ЛК от возникновения и развития пожаров, а также для лесного пожаротушения.

Из представленного в п. 2.8 анализа видно, что принципиальной разницы между снижением пожарной опасности строительных материалов и ЛГМ нет. Тем не менее, к производству рекомендуются сложные многокомпонентные смеси, содержащие как ретарданты, так и пенообразователи. Такие смеси трудны в приготовлении и использовании, но, самое главное, производители не имеют доступа к компонентам из-за небольших объемов их оборота, особенно, для препаратов иностранного производства и высокой стоимости приобретения. В этом случае, необходимо искать другие компоненты ОЗС, доступные для широкого применения, а уже для них разрабатывать методики получения и технологии применения для создания заградительных полос.

В настоящее время большое значение в профилактике и ликвидации ЛП придается использованию эффективных ОЗС. Они используются для прокладки длительнодействующих профилактических огнезадерживающих полос на наиболее пожароопасных направлениях, тушения пожара, создания

заградительных огнегасящих полос непосредственно перед кромкой пожара, опорных полос для пуска отжига.

Несмотря на довольно многочисленный ряд исследований по анализу всего многообразия рекомендуемых огнетушащих химических составов для борьбы с лесными пожарами до настоящего времени, к сожалению, отсутствуют систематизация и критерии выбора антипиренов. При борьбе с лесными пожарами используются, в основном, многокомпонентные огнетушащие смеси или концентраты, в состав которых входят хорошо растворимые в воде антипирены. Являясь активными на момент тушения пожаров, такие огнегасящие составы не пригодны для превентивной защиты от огня (прокладка профилактических длительно действующих заградительных огнегасящих полос), так как их водные растворы не образуют прочных атмосфероустойчивых покрытий на напочвенных лесных горючих материалах. После испарения воды их защитный слой оказывается рыхлым, легко осыпается и под действием атмосферных осадков из него легко вымываются растворимые продукты [230]. Другой важной особенностью ОЗС является их стойкость к химически активным компонентам воздуха – кислороду, а также к солнечному излучению. Таким образом, для создания ОЗС необходимо подыскивать компоненты, удовлетворяющие противоречивым требованиям. С одной стороны они должны растворяться в воде, а с другой не смываться той же водой с поверхности ЛГМ, не должны изменять своего химического состава под действием кислорода и солнечного излучения и т.п. Этому критерию могут удовлетворять только труднорастворимые (малорастворимые) в воде неорганические вещества.

Проведены собственные исследования огнезащитной способности некоторых электролитов, в качестве которых были выбраны: сульфат алюминия, гидрогель магния, тетраборат натрия и хлорид натрия. Первые три вещества, согласно литературным данным обладают огнезащитным действием (см. п. 1.7), и применяются в промышленности для снижения пожарной опасности строительных материалов древесного происхождения. Четвертое



вещества (хлорид натрия) был выбран для оценки его возможной огнетушащей активности, т.к. является побочным компонентом гидролиза хлорида магния. Хлор, наряду с алюминием, магнием и бором, также является ингибитором горения, т.к. его соединения с углеродом способны подавлять горение [30,210]. Применение соединений алюминия, магния и бора в полевых условиях не должны обладать негативными экологическими последствиями, т.к. алюминий сходит в состав минерального скелета почвы – алюмосиликатов, магний входит в состав хлорофила – обязательного фотосинтезирующего компонента клеток (хлоропластов) зеленых растений, а бор наряду с кальцием участвует в укреплении клеточной стенки растительных организмов, хотя есть исследования [55], в которых утверждается, что противогололедные средства на основе хлоридов магния негативным образом воздействуют на почвенные микроорганизмы. Возможно, здесь играет роль синергетический эффект – одновременное влияние всех компонентов применяемого препарата.

Перед проведением испытания огнезащитного действия выбранных веществ были проведены испытания по исследованию необходимого взаимного расположения исследуемого образца (рейки, шпата) относительно источника зажигания [128,129,322]. Наиболее оптимальным представлялось расположение исследуемого образца непосредственно над источником зажигания за пределами зоны пламенного горения пропан-бутановой смеси. В этом случае, образец обогревается продуктами горения, а необходимый для горения кислород увлекается вместе с восходящим потоком горячих газов. Важным при проведении такого исследования является вопрос на каком расстоянии от зоны горения расположить исследуемый образец? Ответ на данный вопрос сложен, т.к. в нем пересекаются требования обеспечения условий близких к природным и требования по возможности обеспечения четкой фиксации момента возгорания и воспроизводимости полученных результатов. С точки зрения воспроизводимости результатов исследования, чем больше времени уйдет на проведение эксперимента, тем

точнее (при прочих равных условиях) можно получить результат. Однако, увеличение длительности эксперимента ведет к уменьшению числа экспериментов за один экспериментальный день, росту затрат на расходные материалы и т.п. Для определения оптимального времени на обогрев исследуемого образца была определена зависимость времени воспламенения образца от расстояния до зоны горения.

Для получения более достоверных данных, эксперимент провели не менее 5 раз. Для этого, экспериментальный образец закрепляли на штативе на расстоянии 7, 8, 9 и 10 см от источника воспламенения. Полученные усредненные экспериментальные данные 0,45 мин, 3,67 мин, 19,5 мин и более 20 минут соответственно определили минимальное расстояние экспериментального образца от источника возгорания, при котором испытуемый образец воспламенялся за время не более 5 минут и не менее 3 минут как 8 см.

Оптимальным временем проведения такого эксперимента, по нашему мнению, является 5 мин, т.к. позволяет довольно точно определить время воспламенения образца и получить хорошую воспроизводимость результатов для необработанных огнезащитными составами образцов. Максимальное же время воздействия источника зажигания на исследуемый образец было установлено в 20 минут. Это значение получено в ходе анализа литературных данных по длительности горения фрагментов растительных материалов способных переноситься по воздуху под действием ветра [50]. Таким образом, если в течение 20 мин исследуемый образец не воспламенился, то эксперимент можно считать завершенным, т.к. в течение этого времени материал горящего фрагмента (предполагаемого источника зажигания) полностью выгорит и перестанет существовать и представлять пожарную опасность. При таких условиях проведения эксперимента, лабораторное испытание позволяет выполнить от 3 до 18 экспериментов за один астрономический час, что является приемлемым.

В таблице 4.18 представлены результаты исследования огнезащитного действия выбранных веществ на образцы древесных (рейки 10×10 мм) и волокнистых материалов (льнопеньковый шпагат) [320].

Таблица 4.18 - Результаты исследования огнестойкости древесного и волокнистого растительных материалов при обработке различными типами антипиренов

С, г/дм <sup>3</sup>	Древесина				Волокнистый шпагат		
	n	t <sub>1</sub> , мин	n	t <sub>2</sub> , мин	n	t <sub>1</sub> , мин	t <sub>2</sub> , мин
Сульфат алюминия							
0	18	3.67	-	-	6	2.69	-
1.7	6	16.60	4	14.43	8	6.4	11.2
3.5	4	18.76	6	> 20	6	5.58	9.12
8.4	4	> 20	6	> 20	6	11.71	>20
Хлорид магния							
0	18	3.67	-	-	6	2.69	-
6.5	7	2.98	7	3.14	6	3.15	5.71
52.5	5	9.12	5	8.52	6	3.73	6.82
110.0	4	8.15	6	>20	6	9.22	>20
176.0	4	>20	3	>20	6	>20	>20
Хлорид натрия							
0	18	3.67	-	-	6	2.69	-
26.0	6	4.68	5	9.66	6	3.17	10.3
52.5	4	7.79	3	12.51	6	3.02	9.17
Тетраборат натрия							
0	18	3.67	-	-	6	2.69	-
13	4	>20	2	>20	6	15.70	>20

Время  $t_1$  и  $t_2$  – представляют собой среднее время (в серии экспериментов) воспламеняемости одно- и двукратно обработанных растворами огнезащитных составов образцов имитирующих растительные материалы. Одно и двукратная обработка предполагает выявить влияние кратности обработки в случае невозможности получения необходимой концентраций огнетушащих составов (из-за ограничения в растворимости). Параметр  $n$  характеризует число параллельных экспериментов.

Основываясь, на полученных экспериментальным путем данных, можно заключить следующее, что среди исследуемых образцов наибольшим огнезащитным действием обладают соединения алюминия и бора. Хлорид магния проявляет огнезащитные свойства, в условиях эксперимента, только

при очень высоких концентрациях 52-176 г/дм<sup>3</sup>. Большую (>176 г/дм<sup>3</sup>) концентрацию хлорида магния в лабораторных условиях получить не удалось. Хлорид натрия оказался не способным предотвратить возгорание образцов ни древесного, ни волокнистого материалов до концентрации раствора в 52.5 г/дм<sup>3</sup> и даже в случае применения двукратной обработки. Интересно отметить, что полученные нами данные согласуются с литературными, т.к. соединения алюминия и бора наиболее часто используются в качестве компонентов огнезащитных составов при изготовлении строительных материалов. Удивительным оказалось то, что в ходе испытаний не удалось выявить сколь-нибудь значительного огнезащитного действия гидрогеля магния при низких концентрациях. Высокие концентрации гидрогеля магния в значительной степени осложняют приготовление его растворов в полевых условиях, а также приведет к удорожанию процедуры обработки элементов природного ландшафта огнезащитными составами на его основе.

Повышение концентрации растворов огнезащитного средства в большинстве случаев приводит к увеличению времени сопротивления образцов воспламеняемости, как и кратность обработки образцов раствором. Оба эти параметра оказались аддитивно связаны между собой, что объясняется эффектом сложения масс огнезащитных составов, попавших на поверхность защищаемого материала, что напрямую свидетельствует о количественном переносе огнезащитного состава на исследуемый образец.

Анализ результатов обработки волокнистых материалов по сравнению с древесными выявил, в большинстве случаев, меньшее огнезащитное действие исследуемых огнезащитных составов на волокнистые материалы по сравнению с древесными. Исключение составляет только обработка образцов раствором тетрабората натрия с концентрацией 13 г/дм<sup>3</sup>, который оказался способен защитить в течение 20 минут образцы как древесных, так и волокнистых материалов.

Наблюдение за воздействием источника зажигания на обработанные и необработанные огнезащитными составами образцы показало обязательное

наличие стадии обугливания образца, но на образцах, обработанных раствором антипирена, обугливание и воспламенение начиналось несколько позже. Начиная с некоторого порога концентрации антипирена в растворе в течение 20 минут наблюдалось обугливание образцов древесных и волокнистых материалов, без последующего воспламенения.

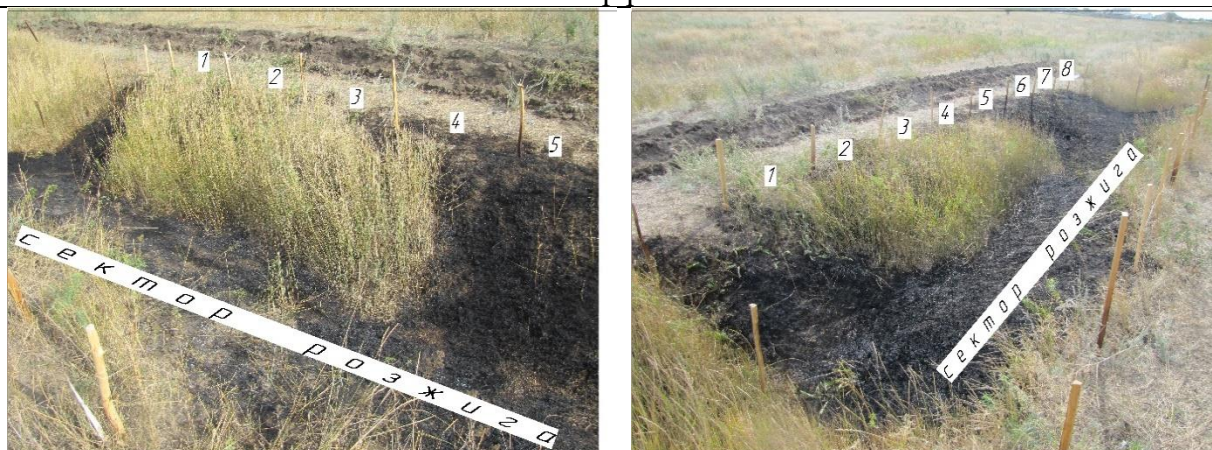
Для подтверждения результатов, полученных в лабораторно-практических условиях проведены полевые испытания огнезащитных свойств некоторых электролитов: сульфата алюминия и тетрабората натрия (*бура*), которые показали наибольшую эффективность в повышении огнестойкости образцов древесины и волокнистых материалов (см. таблицу 4.18). Также борная кислота сама по себе или в смеси с борнокислым натрием особенно эффективна для уменьшения горючести материалов, содержащих целлюлозу. Поэтому бура и борная кислота используются в качестве антипиренов для деревянных конструкций и целлюлозной теплоизоляции. [221]. Тем не менее, возможность использования соединения бора – тетрабората натрия - *буры* – в профилактике и тушении лесных пожаров не обсуждался.

Полевые исследования проводились следующим образом. Экспериментальные участки с ровным травяным покровом разбивались на секторы площадью 1 м<sup>2</sup>, которые отмечались кольшками, между которыми натягивались нити (см. рисунок 4.19). Обработку проводили с помощью садового опрыскивателя типа «Жук» [193] с расходом раствора из расчета 1 дм<sup>3</sup> раствора на 1 м<sup>2</sup> площади. Таким образом, концентрация водного раствора показывала количество ОЗС на единице площади почвы, покрытой травяным покровом. Для контроля выбирали два сектора, один из которых не подвергался никакой обработке, а другой подвергался опрыскиванию водопроводной водой из расчета 1 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>, т.е. вода на травяной покров попадала в том же количестве что и на другие экспериментальные секторы. Результаты исследования огнезащитных свойств представлены в таблице 4.19 и на рисунке 4.7.

Таблица 4.19 - Огнезащитное действие водных растворов гидрогеля алюминия и буры

ОЗС	Концентрация, г/дм <sup>3</sup>				
	3,5	7	14	21	28
ГА	-	-	-	+	+
	0 (вода)	14	21	42	56
Бура	-	-	-	-	-

Сектор 1 14 г/дм <sup>3</sup>	Сектор 2 21 г/дм <sup>3</sup>	Сектор 3 28 г/дм <sup>3</sup>	Сектор 4 вода	Сектор 5 (без обработки)	Сектор 6 7 г/дм <sup>3</sup>	Сектор 7 1,7 г/дм <sup>3</sup>	Сектор 8 3,5 г/дм <sup>3</sup>
↑ Сектор розжига ↑							



а

б

Рисунок 4.7 - Результаты исследования огнезадерживающих свойств экспериментальных секторов обработанных ГА – фото участка справа(а) и фото участка слева (б)

Представленные результаты показывают, что огнезащитным действием обладают только ГА с концентрацией более 21 г/дм<sup>3</sup>. Травяной покров на участках, обработанных растворами буры (см. рисунок 4.8), а также на контрольных участках сгорел полностью, что свидетельствует о наличии у ГА огнезащитных свойств.



Рисунок 4.8 - Результаты исследования огнепреграждающих свойств секторов, обработанных водными растворами *бурь* с концентрацией 14-56 г/дм<sup>3</sup>

Как видно из представленных результатов, экспериментальные секторы, обработанные водными растворами *бурь* в диапазоне концентраций 14-56 г/дм<sup>3</sup> не обладают достаточным огнепреграждающим действием, т.к. не смогли удержать фронт распространения низового пожара и травяной покров в экспериментальных секторах выгорел. Тем не менее, осмотр секторов после проведения эксперимента (рисунок 4.8) местами выявил наличие беглого характера распространения кромки низового пожара, по сравнению с сектором розжига и контрольными секторами, но какой-либо системности в огнестойкости травяного покрова от концентрации тетрабората натрия (*бурь*) в ходе полевых испытаний выявить не удалось.

Полученные результаты можно объяснить следующим. Известно, что травянистые растения, в данный период времени, находятся в крайнем состоянии высушенности. При этом поверхность их листовых пластинок и стеблей становятся гидрофобными и в недостаточной степени смачиваются водой и водными растворами. Из-за этого, по-видимому, большая часть водного раствора тетрабората натрия (*бурь*) просто стекает на расположенные на поверхности почвы отмершие растительные остатки, что и обуславливает наблюдаемый беглый характер низового пожара. Из-за этого эффекта наблюдаются повышенные расходы воды при тушении ЛП, для борьбы с этим явлением и применяются смачиватели [210,253,295].

#### **4.4 Применение заградительных полос для защиты лесов и лесных культур от лесных низовых и степных пожаров**

Искусственные противопожарные барьеры можно разделить на две группы: постоянного действия и временные. К первой категории относятся барьеры классического типа – противопожарные разрывы и минерализованные полосы. Ко второй категории относятся зоны отжига и заградительные полосы. Их применяют для остановки распространения фронта (кромки) ЛП в случае, когда защитных свойств уже имеющихся барьеров будет недостаточно, или строительство «классических» барьеров невозможно в связи с ограничением по времени.

Наиболее простым способом создания противопожарного барьера является отжиг территории [77,210,253,295]. Его проводят в виде встречного пала, сначала выбирают опорную полосу – чаще всего это техногенный объект – автомобильная или железнодорожная магистраль, отступают от него на встречу фронту ЛП и осуществляют поджог и повторяют так до создания полосы необходимой ширины. Оптимальное расстояние от опорной полосы до кромки пожара определено в работе [77]. Метод отжига прост, но опасен, особенно при высоких значениях пожарной опасности в лесах по условиям погоды и наличие порывистого ветра. Все это может привести к потере контроля над горением и возникновению нового пожара.

К не огневым методам строительства противопожарных барьеров относят строительство *заградительных полос* - это участки природного ландшафта, содержащие естественную или искусственную растительность, обладающие пониженной горючестью достигнутой путем ее обработки специальными огнезащитными средствами. Они имеют перспективу как при тушении верховых, так и низовых пожаров. Создаваться она может как в профилактических целях - для ограничения распространения и создания условий тушения возможных лесных пожаров, в случае невозможности (нецелесообразности) построения минерализованной полосы вокруг



пожароопасных объектов. Кроме этого, заградительная полоса может быть построена непосредственно перед кромкой надвигающегося ЛНП для повышения эффективности мероприятий по пожаротушению.

Для создания *заградительных полос* предлагается обработать поверхности природных горючих материалов специальными средствами – ОЗС (антипиренами, ретардантами и т.п.), модифицирующими свойства ГВ и превращающими их в негорючие или сгораемые вещества. Применяемые ОЗС чаще всего являются твердыми веществами неорганического происхождения реже относятся к жидким органическим веществам. Свое действие эти препараты производят на молекулярном уровне при нахождении в верхних слоях ЛГМ или на их поверхности.

Для строительства заградительных полос используют огнетушащие и огнезащитные составы на основе смачивателей и пенообразователей [78,85, 95, 148,156]. Принцип, который предлагается в этих работах одинаков. На основе пенообразователя (алкильсульфонаты, сульфонол, СДП-1, Файрэкс, АFFF и т.п.) и различных добавок, обладающих огнеподавляющим действием, создается пенный раствор, который затем с помощью вертолетного водосливного устройства (ВВСУ) сбрасывается на участок обработки. Такой раствор можно подавать и с помощью ручных или передвижных пеногенераторов и даже садовых леек наземными силами. При помощи авиации можно построить до 500 м такой полосы при ширине в 2-2,5 м. При применении ВВСУ пену можно сбрасывать даже на кромки деревьев для остановки распространения верхового пожара. В работе [85] показано, что в сосняках зеленомошных и вересковых возможно остановить распространение ЛНП заградительной полосой шириной 1 м.

Пространственное распределение вещества с его дисперсией на молекулярном уровне можно осуществить только распылением жидкого раствора. Это можно осуществить с помощью ручных или механизированных распылителей – опрыскивателей, аналогичных тем, которые используются для борьбы с вредителями и возбудителями болезней растений, уничтожения

сорняков [288]. Ручные распылители просты по конструкции и не требовательны в эксплуатации, дешевы и пр., но обладают низкой производительностью и качество распыления огнезащитного состава во многом зависит от человека. Механизированные опрыскиватели имеют более сложную конструкцию, функционируют с минимальным участием человека, обеспечивая при этом высокую равномерность распределения жидких растворов по площади защищаемого участка. В зависимости от технологий и параметров создаваемых огнезащитных полос используются различные опрыскиватели. К примеру, существует специализированное устройство УПП-1 (рисунок 4.9) предназначено и используется для прокладки опорных и заградительных полос из антипиренов и ретардантов (*ретарданты* – это вещества или смеси, замедляющие горение) при тушении пожаров в наземных условиях [95].

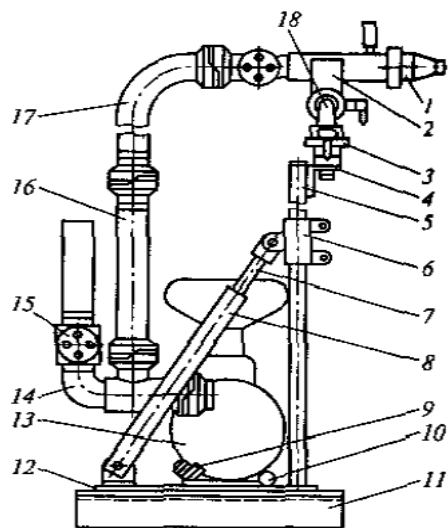


Рисунок 4.9 - Устройство для прокладки полос УПП-1.

1 – ствол-распылитель; 2 – державка; 3 – планка; 4 – траверса; 5 – стойка; 6 – кронштейн; 7 – винт; 8 – штанга; 9 – прижим; 10 – гнездо; 11 – угольник; 12 – площадка; 13 – малогабаритная мотопомпа; 14 – распределитель; 15 – вентиль; 16 – напорный рукав; 17 – разветвление; 18 – ухо

Устройство может агрегатироваться с лесопожарным трактором ТЛП-55 (ТЛП-100), пожарным вездеходом ВПЛ-149А, автоцистернами АЦ-30(66)-146 и АЦЛ-3(66)-147, бортовыми автомобилями грузоподъемностью 2-4 т, снабженными резервуарами для рабочих растворов. Скорость прокладки полос из ретардантов и антипиренов до 3,0 м/мин. Диапазон регулирования ширины прокладываемых полос 0,15-4,2 м. Устройство состоит из двух стволов-распылителей с комплектом насадок, распределителя, напорного

рукава, разветвления, узла изменения положения стволов-распылителей в горизонтальной и вертикальной плоскостях, площадки с гнездом для мотопомпы, элементов навешивания на агрегируемую машину, переходников [288].

Значительным недостатком данного устройства является то, что распыление огнезащитного раствора осуществляется единичным стволом-распылителем (1), что не обеспечивает равномерности внесения огнезащитного состава на ЛГМ и ведет к перерасходу рабочего раствора. Это недостатка лишен штанговый опрыскиватель, к примеру, ОПШ-24-3000 [288]. К преимуществам штанговых опрыскивателей можно отнести следующее: высокая производительность, равномерность распределения огнезащитного раствора по поверхности, регулировка вносимой дозы антипирена на единицу площади, регулируемая ширина захвата и т.п. [30,210]. Фактически все представленные сегодня коммерческие образцы штанговых опрыскивателей обладают захватом, превышающим требования предъявляемым к ширине минерализованной полосы обеспечивающим абсолютную защиту от преодоления ее низовым лесным пожаром [173]. Высокая скорость прокладки огнезащитной полосы обеспечивается согласованием режима движения (скорости движения) ОШ с расходом огнезащитного раствора. Равномерность распределения огнезащитного раствора обеспечивается устройством и параметрами форсунок-распылителей или насадок-дождевателей, действующих без участия человека.



*а*



*б*

Рисунок 4.10 - Опрыскиватель штанговый ОПШ-24-300 (*а*)  
Применение опрыскивателя штангового ОПШ-24-300 (*б*)

Штанговые опрыскиватели (ОШ) имеют и собственные недостатки при использовании для создания огнезащитной полосы. К примеру, обеспечение широкого захвата является препятствием при создании огнезащитной полосы в лесной местности, кроме этого ОШ не приспособлен к прокладке огнезащитных полос на склонах и в условиях пересеченной местности и т.п. Вышеперечисленные недостатки можно учесть при организации работ по прокладке полос, к примеру, избегать участков с сильно пересеченной местностью, т.к. такая местность является преградой для движения низового пожара особенно отрицательные склоны; лесные массивы чаще всего разделены на отдельные участки противопожарными разрывами именно эти разрывы можно обработать или дополнительно обработать при организации работ по борьбе с ЛП.

Постоянные и временные противопожарные барьеры расширяют возможности по борьбе с ЛП как в плане профилактики, так и при лесном пожаротушении для остановки фронта (кромки) ЛП. Однако сами по себе противопожарные барьеры малоэффективны без участия сил и средств в тушении и локализации ЛП.

#### **4.5 Эффективность огнетушащих средств на основе тонкораспыленной воды и переохлажденного водяного пара**

Лесное пожаротушение пока не мыслимо без участия человека и его усилий, направленных на прекращение горения ЛГМ – самопроизвольного процесса взаимодействия ГВ и Ох. Если проанализировать справочную информацию [210,253,295], то наиболее эффективными, с точки зрения скорости тушения ЛНП, являются применение ОТС (воды), подача которой в зону горения осуществляется с помощью технических средств. Несмотря на неоспоримые преимущества тушения ЛП с расходом ОТС, главным его недостатком является необходимость постоянного пополнения их запасов, т.к. по исчерпанию запасов ОТС лесное пожаротушение если не останавливается

полностью, то в значительной степени замедляется, т.к. при переходе с тушения водой, перекачиваемой мотопомпами, на ручное тушение с применением противопожарных хлопушек скорость тушения снижается в 5-10 раз [210,253,295]. Следует помнить, что опасная обстановка с лесными пожарами складывается именно тогда, когда наступает засуха, влекущая за собой понижение уровня воды (или ее полное исчезновение) в естественных и искусственных водоемах. В этих условиях взять воду просто негде.

Для повышения эффективности лесного пожаротушения на практике нашли применение различные приемы физической и химической модификации воды. Физическая модификация предполагает получение струи тонкораспыленной воды основанной на разрушении ее струи или капель либо ее ударом об барьер, либо прокачку воды через узкую щель или отверстие. Оба этих принципа реализованы в лесопожарных воздуходувках-опрыскивателях, установках высокого давления, пожарных стволах-распылителях [63, 210,253,259,295]. К химической модификации воды относят применение различных добавок, чаще всего - смачивателей [210,253,295]. Из-за своего высокого поверхностного натяжения (72 мН/м) вода стремится объединить свой объем и, тем самым, ограничить площадь поверхности – контакт с окружающей средой. Поверхность осуществляет энергетическое взаимодействие тела со средой, а любая термодинамическая система, включая объем воды, стремится минимизировать такой контакт с целью снижения энергии взаимодействия.

Такие свойства воды удобны для тушения техногенных пожаров, где из-за высокой пожарной нагрузки требуется подача большого количества воды на единицу площади в единицу времени. Это требует организации больших расходов воды, доставку которых к месту тушения пожара осуществляют либо из трубопровода, либо из водоема. Для тушения ЛП это свойство воды играет отрицательную роль и приводит к ее перерасходу (см. п. 3.7.) и снижению эффективности лесного пожаротушения. Для реализации мер по тушению ЛП необходимо снизить расход воды, при этом оставить неизменным расход

воды. Для этого можно воспользоваться способностью воды образовывать аэрозоли и водяной пар, в том числе переохлажденный.

**Применение водного аэрозоля для тушения ЛП.** Многие источники [63, 210,253,295] отмечают превосходные огнетушащие свойства аэрозолей на основе тонкораспыленной воды. Такой способ подачи воды в зону горения проявляет свою наибольшую эффективность в случае тушения рыхлых горючих материалов (травяного покрова, камыша, мощного слоя лесного опада и т.п.). Воздуходувки были разработаны для опрыскивания сельскохозяйственных угодий с целью защиты растений от насекомых-вредителей и болезней, в т.ч. грибкового происхождения. Поэтому данный инструмент имеет двойное название воздуходувка опрыскиватель. В конце XX века такое оборудование было предложено использовать для тушения ЛП [63]. С тех пор и по настоящее время разработано много конструкций воздуходувок-опрыскивателей, специально для применения в лесопожарных целях. В этом случае используется термин воздуходувка пожарная лесная (ВПЛ) или лесопожарная воздуходувка-опрыскиватель (ЛПВО). При некоторых конструктивных различиях, принцип их действия остается неизменным – крыльчатка воздушного насоса подает воздух в трубу, формирующую направленный поток воздуха. Привод крыльчатки осуществляет малогабаритный одноцилиндровый двигатель внутреннего сгорания. С помощью эжектора в поток воздуха самотеком из ранцевой емкости подается вода. При попадании в воздушную струю она разрушается на мелкие капли (1-10 мкм). Эффективность тушения ЛНП по воде с помощью воздуходувки ВПЛ-2,5 составляет 0,03-0,06  $\text{дм}^3/\text{м}$  [63], по собственным данным 0,10-0,15  $\text{дм}^3/\text{м}$ . Тем не менее, эти расходы значительно ниже расходов, получаемых с применением другого оборудования для пожаротушения (см. п. 2.5) [295]. Воздуходувка вне зависимости от конструкции и производителя создает мощный поток воздуха со скоростью движения воздушной массы до 15-20 м/с, а низкий расход воды показывает, что основной огнетушащий эффект заключается именно в срыве пламени со

слоя ЛГМ. Только в Российской Федерации в настоящее время производят много различных видов воздуходувок: «Ангара», «Линда», «Тайга» и т.п. Существуют более мощные воздуходувки, смонтированные на подвижном шасси, позволяющие тушить крупные пожары

Другим способом получить водный аэрозоль является разрушение струи воды ударом ее о неподвижный барьер или прокачку через отверстие малого диаметра или через узкую щель. В этом случае работает другой принцип, поток воды, движущийся с большой скоростью и находящийся под большим давлением 1100-1300 кПа испытывает на себе удар и образующиеся центробежные силы разрывают объем воды на отдельные фрагменты – капли (10-20 мкм). Аналогичное явление наблюдается при прокачке жидкости под большим давлением через узкую щель или отверстие малого диаметра. В этом случае роль центробежной силы выполняет низкая величина атмосферного давления, которая приводит к расширению струи и разрушению ее на мелкие капли.

В последние 10-15 лет свое применение в тушении ЛНП нашли установки пожарные высокого давления (УПВД) [264], в качестве примера можно привести УПВД-10 производства «Ермак» (Россия). К ее преимуществам можно отнести небольшую массу, малый расход воды через гидропульт и на тушение кромки ЛНП (0,65 дм<sup>3</sup>/м), что в 5-6 раз превышает расход воды на тушение лесопожарной воздуходувкой-опрыскивателем. К недостаткам УПВД можно отнести также требовательность к чистоте подаваемой в насос воды, поэтому любую воду (природную или водопроводную) необходимо предварительно фильтровать во избежание отказа насоса.

К недостаткам воздуходувок и установок высокого давления можно отнести то, что для создания воздушного потока используется энергия горения топлива, запас которого должен быть под рукой у лесного пожарного. Кроме этого, на длине 5-7 метров происходит рассеяние струи водного аэрозоля и снижение скорости потока воздуха, что заставляет пожарного подходить

ближе к зоне горения. Водный аэрозоль преимущественно состоит из воздуха, а вода в нем в качестве небольшой «примеси» и при определенных условиях наблюдается негативное явление – поддув зоны горения с резким возрастанием скорости горения и появлением вспышек. Именно это явление и заставляет исследователей сомневаться в пригодности тонкораспыленной воды для тушения пожаров [Абдурагимов\_2011\_6]. Всех перечисленных недостатков лишен другой тип модификации жидкой воды – переохлажденный водяной пар.

***Огнетушащая эффективность струи водяного пара при тушении лесных пожаров.*** Существует еще один способ физической модификации воды – получение водяного пара. Водяной пар применяется при пожаротушении в промышленности, т.к. обладает высокими огнетушащими свойствами, и лишенный некоторых недостатков присущих воде [279]. Водяной пар инертен к ЛГМ, обладает довольно высокой теплоемкостью, способен вытеснять воздух из зоны горения и т.п. Низкотемпературный водяной пар обладает высокой влажностью, при этом содержание кислорода в нем не превышает 5 %. При этом объем водяного пара при 100 °С больше объема воды в 1700 раз [181,225-228]. Это делает его перспективным для борьбы ЛНП, что должно снизить потребность огнеборцев в воде, при сохранении (а возможно и увеличении) скорости тушения кромки ЛНП. Тем не менее, в работах [225-228,276] исследователи сосредоточились на применении водяного пара для смачивания ЛГМ и создании опорных полос при тушении ЛНП. Таким образом, открытым остается вопрос об эффективности именно воздействия водяного пара на зону горения, что и является целью проведенного исследования.

Для исследования принципиальной возможности применения водяного пара для тушения кромки низового пожара была сконструирована экспериментальная установка (электрический парогенератор), представленная на рисунке 4.11.





Рисунок 4.11 - Электрическая парогенераторная установка



Рисунок 4.12 - Применение парогенераторной установки для экспериментального тушения низового пожара

Установка, включает в себя следующие элементы: расходную емкость, с заливной горловиной, электрическим нагревательным элементом, основным и сбросным клапанами. Аварийное автоматическое устройство срабатывает при превышении температуры выше критической. Распыляющее устройство представляет собой штангу, на конце которой установлено сопло с регулирующим краном.

Принцип устройство и работы экспериментальной установки заключается в следующем. Ограничивающим фактором при задании объема бака воды является его масса. Поэтому был сконструирован стальной бак объемом  $4 \text{ дм}^3$  с расположенным внутри электрическим нагревателем (ТЭН), рассчитанный на давление  $1 \text{ МПа}$ . Водопроводная вода, являющаяся источником водяного пара, помещается в бак через заливную горловину. Бак имеет два выходных отверстия, на одном из них располагается предохранительный клапан с ограничением давления до  $0.2 \text{ МПа}$ , второе отверстие предназначено для подачи водяного пара в зону горения и снабжено термостойкой резиновой трубкой с конусным краном-отсекателем. К

шаровому крану присоединена металлическая трубка длиной 1 метр, с регулируемым диаметром выходного отверстия (3-5 мм) расположенным на ее выходном конце. Масса установки (без учета массы электрического кабеля) составила 6,8 кг.

Для определения температуры горения и температуры водяного пара и различных поверхностей использовался тепловизор Testo 881-2 (TESTO A/G, Германия). Прибор измеряет инфракрасное излучение в длинноволновом спектре в пределах поля обзора.

Для проведения лабораторных исследований тушения влажным водяным паром были выбраны два типа материалов, имитирующих ЛГМ – сосновые бруски размерами 30x50x500 мм с влажностью - 9%, растительные остатки прошлогодней травы с влажностью - 7,3 %.

Методика тушения заключалась в следующем. Экспериментальный парогенератор заправлялся водой подключался к электрической сети, выводился на режим получения водяного пара, определяемое по срабатыванию предохранительного клапана. Параллельно подготовке парогенератора осуществлялось создание модельного очага горения из фрагментов сосновых брусков и остатков стеблей и листьев прошлогодней травы. Затем осуществлялся поджог очага горения, образовавшемуся пламени давали возможность охватить не менее половины площади, в случае применения древесины, (5 мин) или половины объема, в случае применения тонких ветвей, стеблей и листьев травянистых растений (30-45 секунд), затем в зону горения из парогенератора подавался водяной пар (рисунок 4.12). Подачу водяного пара прекращали при исчезновении пламенного горения и фиксировали время тушения. По скорости испарения воды и времени тушения определяли расход водяного пара на тушение. В случае повторного самовозгорания повторяли подачу водяного пара в зону горения.

Для определения убыли массы ЛГМ их взвешивали на электронных весах-безмене до и после проведения эксперимента. По убыли массы

удавалось определить количество сгоревшего материала. Аналогичным способом определялось количество израсходованной на тушение воды.

Метеоусловия (температура воздуха, его относительная влажность и давление, а также скорость ветра) при проведении лабораторных исследований измерялись с помощью прибора Метеоскоп-М (ООО «НТМ-Защита», Россия). Температура воздуха составила 20°C, влажность воздуха – 55 %, атмосферное давление - 99 кПа (745 мм рт. ст.), скорость ветра 1-1,5 м/с.

Горение твердых горючих материалов в воздухе называется гетерогенным. Растительные материалы представляют собой смесь органических веществ с высоким содержанием углерода и других сгораемых и несгораемых элементов – водорода, кислорода и т.п., преимущественно состоящих из целлюлозы и лигнина – природных полимеров. Горение таких материалов контролируется диффузией и обязательно сопровождается образованием диффузионной зоны – участка пространства заполняемого газо-, парообразными продуктами термического распада целлюлозы и лигнина. Под действием атмосферного давления в диффузионную зону проникают компоненты воздушной среды – кислород, который осуществляет поддержку процесса горения.

При тушении лесного пожара прекратить диффузионное горение можно двумя путями оказывая непосредственное воздействие на зону горения. Первый путь – изолировав зону горения от кислорода воздуха. Вторым путем охладить зону горения до температуры ниже температуры активации процесса горения. Оба подхода вполне реализуемы при применении в качестве ОТС – водяного пара.

Первыми испытанию подверглись образцы сосновой древесины. При осуществлении кратковременного воздействия на очаг горения в диффузионной зоне прекращалось в течение 10-15 секунд, происходил срыв пламени с ЛГМ (рисунки 4.13 и 4.14).



Рисунок 4.13 – Экспериментальный очаг горения древесины



Рисунок 4.14 - Воздействие струи водяного пара на горящие бруски древесины

Тем не менее, при прекращении подачи водяного пара в зону горения пламенное горения возобновлялось. Причина этого, заключается в том, что при прекращении пожаротушения в зону горения вновь начинает проникать кислород, а нагретые фрагменты ЛГМ вновь поджигают образующиеся продукты пиролиза. Наблюдение зоны горения тепловизором показало, что температура горения составила 550-600 °С, поэтому продукты гетерогенного горения создают потоки выделяющегося высокотемпературного газа, не позволяющего охладить древесину в глубине слоя. Следовательно, воздействие струей водяного пара на очаги тления неэффективно. Тушение очага модельного пожара с горящей древесиной оказалось возможным только при длительном воздействии на него водяного пара - 10-15 минут. Полное прекращение горения осуществлялось в зоне непосредственного воздействия струи - до 2,5 метров от сопла. Количественные характеристики пожаротушения представлены в таблице 4.20.

Для исследования принципиальной возможности применения водяного пара для тушения кромки низового пожара была сконструирована экспериментальная установка - переносной парогенератор, парообразование в котором осуществлялось сжиганием жидкого топлива в кожухе, от тепла, производимого сжиганием жидкого топлива (дизельного топлива или

керосина) в паяльной лампе (рисунок 4.15). Применение переносного парогенератора для тушения низового пожара представлено на рисунке 4.16.



Рисунок 4.15 - Автономный парогенератор



Рисунок 4.16 - Технология тушения лесного низового пожара

Таблица 4.20 - Количественные характеристики пожаротушения при тушении модельных очагов, сложенных брусками древесины

Убыль массы ЛГМ при горении, кг	Расход водяного пара на тушении, кг	Средний расход водяного пара на тушение, кг/кг
0,56	1,15	1,80
0,75	1,65	2,20
0,35	0,72	2,05
1,56	3,05	1,95
1,12	2,14	1,91
1,45	3,05	2,10
1,07	2,30	2,15
Среднее значение:		<b>2,02</b>

Анализ представленных в таблице результатов показывает, что на тушение расходовалось от 1,8 до 2,2 кг водяного пара на 1 кг сгоревшей древесины. Теоретические основы тушения методом охлаждения показывают, что для прекращения горения охлаждением зоны горения необходимо отвести от зоны горения примерно 10% тепла [30,210]. Если взять за основу теплоту сгорания древесины, которая составляет примерно 18731 кДж/кг [42]. Соответственно для прекращения горения 1 кг древесины необходимо подать в факел пламени 1,9 кг водяного пара, что находится в хорошем согласии с полученными результатами экспериментов. Изоляция гетерогенного горения

от кислорода окружающего воздуха с использованием струи пара не эффективна. Воздействие струи пара приводит к увеличению интенсивности гетерогенного горения, за счет притока свежего кислорода воздуха.

Тушение сложной смеси ЛГМ, состоящей из стеблей и листьев травянистых растений проводилось по аналогичной схеме, но из-за более развитой поверхности материалов, подвергающихся горению, сама скорость горения значительно выше, поэтому тушение осуществляли спустя 30-45 секунд, а массу ЛГМ для проведения эксперимента выбирали таким образом, чтобы по истечении этого времени пламенем было охвачено не более трети от объема ЛГМ. Результаты исследования расхода водяного пара представлены в таблице 4.21.

Таблица 4.21 - Количественные характеристики пожаротушения при тушении модельных очагов, сложенных стеблями и листьями остатков смеси прошлогодней травы

Убыль массы ЛГМ при горении, кг	Расход водяного пара на тушении, кг	Средний расход водяного пара на тушение, кг/кг
0,56	0,308	0,55
0,75	0,51	0,68
0,35	0,1645	0,47
1,56	0,6396	0,41
1,12	0,4368	0,39
1,45	1,334	0,92
1,07	1,0165	0,95
Среднее значение:		0,62

Анализ процесса тушения позволил определить, что воздействие струи пара на очаг горения приводило к уменьшению пламенного горения и его срыву с ЛГМ, но не приводило к смещению в пространстве самого очага горения. Анализ, представленной в таблице результатов показал, что в среднем расход водяного пара на 1 кг ЛГМ составляет 0.62 кг. Для осуществления теплофизического расчета в литературе были обнаружены данные по теплотворной способности только для пшеничной соломы и соломы рапса, которые в среднем составляли 1.6-1.7 МДж/кг [42]. Исходя из аналогичного

предположения на охлаждение зоны горения травы потребуется 1.7 кг водяного пара. Это позволяет заключить, что водяной пар расходуется на тушение в меньшем количестве, чем это может быть предсказано теоретически. Это можно объяснить тем, что при горении травяного покрова происходит более интенсивное рассеяние тепла в окружающей среде. Это подтверждается данными, полученными с тепловизора, который показал температуру в зоне горения 400-450 °С. Из-за малой плотности в объеме растительного материала отсутствуют места для сохранения очагов тления. Поэтому срыв пламени с компактной кучи травы не приводит к его дальнейшему развитию после прекращения подачи ОТС в зону горения. Для проведения однозначного сравнения огнетушащей эффективности переохлажденного водяного пара, необходимо пересчитать расход воды на 1 м кромки ЛНП, который составляет 0,23 дм<sup>3</sup>/м, что в 1,5-2 раза выше чем в случае воздуходувки, но важным отличием водяного пара является пониженное содержание кислорода в струе, что позволяет реализовать при тушении еще один принцип – *удаление O<sub>2</sub>* – кислорода воздуха.

Несмотря на преимущества применения тонкораспыленной воды и водяного пара по сравнению с применением компактной струи воды для тушения пожаров, физическая модификация воды требует значительный затрат энергии, получить которую можно только путем сжигания топлива. Снизить энергетические затраты может помочь способность воды образовывать водные растворы с электролитами, неэлектролитами и поверхностно активными веществами.

#### **4.6 Применение огнетушащих средств на основе воды и водных растворов электролитов и неэлектролитов для тушения лесных пожаров**

Тушение любого пожара - это реализация одного (или нескольких) огнетушащих воздействий из четырех возможных [30,210]: охлаждение, изоляция, разбавление и ингибирование. Известно, что практически никогда

не реализуется какое-либо одно огнетушащее действие: тушение водой, водными растворами, пеной, песком, грунтом реализует два действия – охлаждение и изоляцию. Разбавление при тушении гетерогенного горения (горения твердых ЛГМ в воздухе) не реализуемо в принципе. Остается ингибирование, которое до последнего времени применяется только при тушении техногенных пожаров происходящих в закрытых помещениях. На открытом воздухе ингибирование не обладает высокой эффективностью.

Анализ ранее выполненных исследований показал, что разработка универсального ОТС или ОЗС является сложной задачей. Добиться максимального использования всех механизмов прекращения горения в процесс тушения на практике крайне трудно. Вклад каждой составляющей можно менять, варьируя качественный и количественный состав химиката. Однако обычно вещества, в максимальной степени проявляющие одно из свойств огнетушащего воздействия, имеют невысокие показатели по другим механизмам тушения. Кроме того, для многокомпонентных систем возникают проблемы химической совместимости разнородных веществ и взаимного влияния составляющих огнетушащей композиции на свойства системы в целом.

Проведены собственные исследования огнетушащей способности некоторых неорганических электролитов, из которых создавались водные растворы, которые подавались на модельный очаг горения. Тушение осуществлялось путем подачи огнетушащего раствора в зону горения с помощью лесного ранцевого огнетушителя РП-15 «Ермак» (Россия). Расход огнетушащего средства измерялся по массе ранцевого огнетушителя до и после эксперимента на ручных электронных весах-безмене. Тушение осуществлялось не менее трех раз (для каждого типа огнетушащего состава) для исключения грубых промахов и расчета коридора ошибок.

В результате проведенного эксперимента были получены следующие экспериментальные результаты: (1) масса огнетушащего вещества, израсходованная на тушение; (2) время, необходимое на огнетушение; (3)



количество операций дотушивания, после осуществления первичного огнегашения; (4) общее время тушения. Экспериментальные результаты испытания огнетушащих составов представлены в таблице 4.22 [126].

Таблица 4.22 - Результаты испытаний огнетушащих составов

№ п/п	Состав огнетушащего средства	Расход ОТС, кг	Время на тушение (первый подход), сек.	Количество подходов	Общее время тушения модельного очага пожара, сек.
1	Вода	13,5 ± 1,0	186 ± 25	6 ± 2	248 ± 25
2	Сода (насыщенный)	12 ± 1,0	206 ± 30	5 ± 1	276 ± 25
3	Сульфат алюминия (1,7 г/дм <sup>3</sup> )	8 ± 1,5	94 ± 15	4 ± 1	122 ± 20
4	Сульфат натрия (3,5 г/дм <sup>3</sup> )	11,5 ± 1,0	102 ± 25	6 ± 2	142 ± 20

Из представленных результатов видно, что огнетушащая способность водного раствора сульфата алюминия превышает таковые для воды, водного раствора соды и сульфата натрия в 1,5-1,7 раза.

**Применение ПАВ при тушении пожаров.** Обзор на применение смачивателей и пенообразователей при тушении ЛП представлен в п. 1.7. В данном разделе представлены исследования свойств микроэмульсий, состав которых пригоден для применения в пожаротушении. Микроэмульсии – микрогетерогенные растворы, содержащие 3-4 компонента. Микрогетерогенный характер таких систем, что по своему внешнему виду, они ничем от истинных растворов не отличаются, т.к. обладают прозрачностью [294]. Причиной этому являются, малые размеры эмульсионных капель, которые не дают рассеяния света видимого диапазона. Микроэмульсию можно создать из тех же компонентов, что входят в состав смачивателей и огнетушащих пен – ПАВ на основе алкилсульфатов. Система вода-ПАВ обладает повышенной растворяющей способностью, поэтому добавки других гидрофильных или гидрофобных компонентов не влияют на стабильность системы. Для превращения мицелл ПАВ (см. п. 2.7) в микроэмульсионные капли в систему необходимо ввести третий компонент –

немицеллообразующее ПАВ (еще его называют ко-ПАВ) [294]. Для образования стабильных МЭ достаточно одного ко-ПАВ, хотя можно добавить и больше. Для расширения огнетушащих свойств системы вода-ПАВ в ее состав можно ввести галогенуглеводороды (ГУ), обладающие ингибирующим действием по отношению к процессу горения (см. п. 1.7) [30,210], главный недостаток которых - низкую растворимость в воде (например, растворимость тетрахлорметана в воде при 25 °С составляет 0.08 г/100 мл [187]) можно исключить, т.к. присутствие ПАВ повышает растворяющие свойства раствора. Одним из путей решения проблемы является создание микроэмульсий - прозрачных, самопроизвольно образующихся из воды, масла, ПАВ и ко-ПАВ надмолекулярных агрегатов [280]. Роль «масла» в данном случае будет выполнять ГУ. В этом плане необходимо отметить патент США [303], автор которого предлагает использовать микроэмульсии типа «масло в воде» (м/в) в качестве огнетушащего средства. Известен ряд работ по изучению физико-химических свойств и структуры трех- [335], четырех- [313] и пятикомпонентных [242] микроэмульсий, содержащих ГУ. Целью настоящей работы явилось получение и изучение свойств микроэмульсий вода – ПАВ – ко-ПАВ – тетрафтордибромэтан с различным соотношением  $H_2O$   $C_2F_4Br_2$ , устойчивых при температурах 10 – 40 °С.

Были проведены собственные исследования МЭ (перспективные ОТС) [23] на основе четырехкомпонентных микроэмульсии, которые готовили добавлением компонентов в порядке, указанном в таблице 4.23.

Таблица 4.23 - Состав микроэмульсий вода – додецилсульфат натрия - триэтаноламин – 1-пентанол - 1,1,2,2-тетрафтордибромэтан

МЭ	NaDDS	H <sub>2</sub> O	ТЭА	Pe <sup>n</sup> ОН	C <sub>2</sub> Br <sub>2</sub> F <sub>4</sub>
МЭ-1	8,41	28,14	7,55	6,22	49,69
МЭ-2	8,29	38,44	7,66	6,16	39,44
МЭ-3	7,08	48,81	7,42	7,10	29,59

Триэтанолламин в полученных микроэмульсиях выступает как в роли ПАВ, так и в роли гидротропного соединения. Визуальное наблюдение микроэмульсий в течение пяти месяцев показало, что все три микроэмульсионные системы сохраняют макрооднородность, выделения макрофаз в интервале температур 12 - 40 °С не происходит. Ниже 12 °С системы заметно мутнели и их вязкость увеличивалась. Тип микроэмульсии «масло в воде» определили по предложенному в работе [294] и использованному авторами [242] методу.

Для оценки пожароопасных свойств полученных микроэмульсий оценивали их температуру вспышки, используя автоматический регистратор температуры вспышки нефтепродуктов «Вспышка-А» (ЗАО «БМЦ» г. Минск, Беларусь). Указанный прибор позволяет измерять температуры вспышки жидкостей в интервале температур 102 – 280 °С в режиме открытого тигля и в интервале температур 30 – 260 °С в режиме закрытого тигля. Изобарную удельную теплоемкость измеряли на калориметре NETZSCH DSC 204 F1.

Поиск ПАВ и ко-ПАВ для получения гомогенных жидких смесей вода – ПАВ - ко-ПАВ – C<sub>2</sub>F<sub>4</sub>Br<sub>2</sub> показал, что хорошие результаты дают добавки ТЭА, так как он обладает существенно высокой температурой вспышки ( $t_{\text{всп, ТЭА}} = 179 \text{ °С}$  [153]).

Важным свойством, характеризующим как структурные особенности вещества, так и его огнетушащую эффективность, является теплоемкость. Результаты измерения изобарной удельной теплоемкости полученных микроэмульсий представлены на рисунок 4.17.

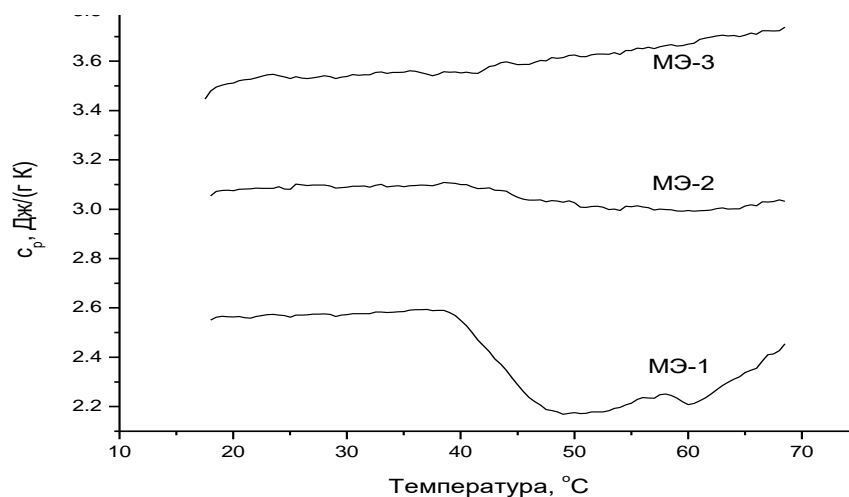


Рисунок 4.17 - Температурные зависимости изобарных удельных теплоемкостей микроэмульсий

Таким образом, полученные результаты подтвердили принципиальную возможность совмещения галогенуглеводородов с водой при образовании микроэмульсий. Дальнейшее развитие работы целесообразно проводить в двух направлениях. Во-первых, получение микроэмульсий, содержащих новые экологически безопасные галогенуглеводороды. По данным [150] среди них выделяется гептафторйодпропан (хладон 217П1). Другим аспектом является выбор ПАВ – эмульгатора с высокой солюбилизующей способностью. Перспективными в этом смысле веществами могут быть соединениями с разветвленными углеводородными цепями.

Таким образом, для создания ОТС на основе микроэмульсий необходимо использовать компоненты с пониженным значением давления насыщенных паров. Это приводит к снижению пожарной опасности компонентов микроэмульсий и повышению ее термической стабильности.

***Огнетушащая и огнезащитная эффективность гидрогелей.***

Гидрогели - это особый вид материалов, которые образуют прочные химические соединения с водой. Гидрогели способны образовывать и электролиты и неэлектролиты. Последние чаще всего должны представлять собой полимеры способные в присутствии воды набухать увеличивая свой объем и снижая свои пожароопасные свойства. К таким веществам относятся соединения на основе кремния, алюминия, магния и т.п.

В работе [202] предложено огнетушащее средство на основе кремниевой кислоты, которое обладает способностью под воздействием высокой температуры вспениваться с образованием термостойкой воздухо непроницаемой пленки – что обуславливает огнетушащий эффект. Кремниевая кислота подается в зону горения в виде жидкости – водного раствора, и благодаря достаточной адгезии (липкостью) к ЛГМ (химический состав данного огнетушащего вещества соответствует составу широко известного и широко применяемого канцелярского клея), позволяет раствору удерживаться даже на вертикально расположенных поверхностях.

Изучая способ тушения пожара [197] видно, что в составе ОТС присутствует гелеобразователь: силикат щелочного металла, например жидкое натриевое или калиевое стекло с силикатным модулем от 1,0 до 3,6, с массовым содержанием силиката от 3,5 до 25,0%, вода - все остальное, а второй раствор выполнен в соотношении компонентов: соль двухвалентного или многовалентного металла, например алюминия, железа (+3), титана (+3 или +4), магния (+2), кальция (+2) с массовым содержанием соли от 4,5 до 47,0%, вода - все остальное. Недостатком данного состава является двухкомпонентность раствора, один компонент которого состоит из силиката, а второй из коагулянта.

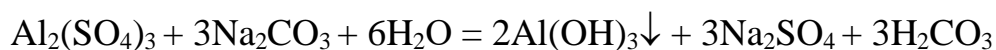
В работе [229] предложено применить материалы на основе алюминия и железа, образующие с водой гидрогели. Тем не менее, состав будущих ОЗС был создан на основе пенообразователей «Альпен», «Морской», «ЭМК» (пищевой). В качестве исходных соединений для получения гидрогелей были выбраны сульфаты алюминия и железа, гидролиз которых усиливался добавлением гидрокарбоната натрия (питьевой соды). Описаны огнепреграждающие свойства гидрогелей в смеси с пенообразователями, роль последних заключалась в обеспечении проникновения ОЗС в объем ЛГМ. Сравнение огнезащитных возможностей гидрогелей показало, что ОЗС содержащий в своем составе гидрогели алюминия и железа обладают примерно равными огнезащитными свойствами. Тем не менее, выделить вклад

гидрогелей и оценить его отдельно в данной работе не представляется возможным из-за присутствия в смеси пенообразователя, обладающего собственным огнетушащим действием (изоляция). Еще одним недостатком применения указанных смесей является заявленный авторами расход –  $1,7 \text{ кг/м}^2$ , что делает данные объекты интересными только с точки зрения исследований, но не с практической точки зрения.

***Лабораторно-практические исследования огнетушащей способности гидрогеля алюминия.*** В работе предлагается несколько иной подход к реализации комплексного огнетушащего действия путем сочетания охлаждающего действия воды с изолирующим действием твердой термостойкой негорючей пленки, получаемой при термическом воздействии на гидрогели - водные растворы неорганических веществ определенного типа. Хорошо известны свойства веществ/материалов формировать стеклообразные кристаллические массы с высокой температурой плавления.

Свойствами образовывать гидрогели обладают многие вещества оксиды и гидроксиды которых плохо растворимы или не растворимы в воде, к примеру, оксид и гидроксид алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ). Указанные вещества, можно получить взаимодействием соли алюминия – например сульфата (хлорида, нитрата и т.п.) алюминия с водой (гидролизом). Сульфат алюминия  $-\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  – хорошо растворим в воде ( $38,5 \text{ г/100 гр воды}$ ), что позволяет получить раствор с концентрацией до  $38,5\%$  (мас.). Кроме этого, сульфат алюминия является отходом алюминиевой промышленности, он дешев, производится в больших количествах. В производстве сульфат алюминия используется как коагулянт при подготовке воды для городского водоснабжения [300]. Но водные растворы солей алюминия не существуют [21,186], т.к. мгновенно подвергаются гидролизу с образованием гидроксида алюминия. Тем не менее, прежде чем образовать твердую кристаллическую фазу гидроксид алюминия образует коллоидный раствор – гидрогель, обладающий стабильностью в течение некоторого времени. Усилить процесс гидролиза способно добавление в раствор бикарбоната натрия

(кальцинированной соды) –  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Реакция получения гидроксида алюминия соответствует следующему уравнению:



Выбор наиболее оптимальных технических параметров способа получения ГА и концентрации ГА в водном растворе был осуществлен на основании проведенных экспериментальных испытаний. В качестве объекта моделирующего ЛГМ был использован искусственный очаг возгорания [72], представляющий собой деревянный штабель в виде куба состоящий из деревянных брусков сечением 40x40 мм и длиной 500 мм сложенный на металлическом коробе размером 500x500 мм и высотой 500 мм, короб устанавливался горизонтально, внизу под штабель помещали металлический поддон соответствующего размера, таким образом, чтобы центры штабеля и поддона совпадали. Адекватность результатов, получаемых при применении данной методики, проверяли в условиях описанных в [119]. Эксперимент проводился при различных: влажностях древесины (от свежесрубленной до суховоздушной), влажностях воздуха (30-50%) и температурах воздуха, измеренных в тени (20-35 °С). В поддон заливался слой воды высотой 30 мм. На слой воды наливалась горючая смесь – автомобильный бензин в количестве 1-1,5 литра. Горючая смесь поджигалась факелом и разогревалась в течение 6-7 минут. По истечению этого времени, когда вся поленница охватывалась пламенем начинался процесс тушения: огнетушащее вещество подавалось в зону горения до полного исчезновения пламени. Далее засекалось время необходимое для повторного появления открытого пламени в поленнице. Если данное время превысило 10 минут, то пламя считалось погашенным, что свидетельствовало об окончании эксперимента.

Тушение осуществлялось путем подачи огнетушащего раствора в зону горения с помощью лесного ранцевого огнетушителя РП-15 «Ермак» (Россия). Расход огнетушащего средства измерялся по массе ранцевого огнетушителя до и после эксперимента на ручных электронных весах-безмене. Тушение

осуществлялось не менее трех раз (для каждого типа огнетушащего состава) для исключения грубых промахов и расчета коридора ошибок.

Концентрацию огнетушащего раствора гидрогеля алюминия в воде подбирали, экспериментально постепенно разбавляя раствор в два раза. Исходный раствор создавался растворением навески сульфата алюминия в 15 литрах воды, чтобы в пересчете на гидроксид с навесками 260, 126, 52 и 26 гр. Раствор разбавлялся до тех пор, пока не обнаружилась потеря огнетушащего эффекта. Вода для приготовления раствора использовалась водопроводная (г. Саратов). Навеска сульфата алюминия взвешивалась на электронных технических весах с точностью  $\pm 1$  гр. Сульфат алюминия и кальцинированная сода использовались химически чистые. Раствор готовился непосредственно перед проведением эксперимента по огнетушению. В результате проведенного эксперимента были получены следующие экспериментальные результаты: (1) масса огнетушащего вещества, израсходованная на тушение; (2) время, необходимое на огнетушение; (3) количество операций дотушивания, после осуществления первичного огнегашения; (4) общее время тушения. Экспериментальные результаты испытания огнетушащих составов представлены в таблице 4.24 [118,126].

Таблица 4.24 - Результаты испытаний огнетушащих составов

№ п/п	Состав огнетушащего средства/ (концентрация в воде)	Расход ОТС, кг	Время на тушение (первый подход), сек.	Количество подходов	Общее время тушения модельного очага пожара, сек.
1	Вода	$13,5 \pm 1,0$	$186 \pm 25$	$6 \pm 2$	$248 \pm 25$
3	Гидрогель ( $17 \text{ г/дм}^3$ )	$4 \pm 1,5$	$63 \pm 15$	$2 \pm 1$	$85 \pm 15$
4	Гидрогель ( $8,6 \text{ г/дм}^3$ )	$4 \pm 1,5$	$50 \pm 15$	$2 \pm 1$	$95 \pm 15$
5	Гидрогель ( $3,5 \text{ г/ дм}^3$ )	$3,5 \pm 1,5$	$38 \pm 15$	$3 \pm 1$	$83 \pm 15$
6	Гидрогель ( $1,7 \text{ г/ дм}^3$ )	$8 \pm 1,5$	$94 \pm 15$	$4 \pm 1$	$122 \pm 20$

Анализ представленных результатов показывает выявление огнетушащего эффекта гидрогеля на основе гидроксида алюминия. Так, применяя гидрогель с концентрациями 52-260 г/15 кг воды удалось снизить



расход огнетушащего раствора практически в 3 раза с 13,5 кг для воды до 3,5-4 кг для гидрогеля на основе гидроксида алюминия [118, 126]. Кроме этого, отмечено, общее снижение времени тушения пожара и количество операций дотушивания (см. таблицу 4.24) при применении огнетушащих составов на основе гидроксида алюминия. При использовании водных растворов гидрогеля на основе гидроксида алюминия с концентрацией ниже 52 г/15 кг воды огнетушащий эффект значительно снижался.

Для выявления и подтверждения огнетушащего эффекта именно гидрогеля на основе гидроксида алюминия были проведены сравнения результатов электролитов: каустической соды ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) и сульфата натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), результаты которого представлены в таблицах 4.22 и 4.24. Концентрации растворов были подобраны таким образом, что они соответствуют концентрациям указанных компонентов в огнетушащем гидрогеле. Каустическая сода ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) довольно плохо растворима в воде при комнатной температуре и для того чтобы достичь тех значений растворимости в 9,6 г/100 гр. воды (насыщенный раствор), указанных в справочниках [187], раствор необходимо нагреть до 80 °С, что довольно трудно реализуемо при приготовлении раствора в полевых условиях, поэтому экспериментальная концентрация раствора соды в воде создавалась близкой к насыщенному – избыточное количество соды помещалось в емкость и к ней добавлялась вода. Указанную смесь оставляли на 12 часов осуществляя ее перемешивание, а затем помещали в РЛЮ и использовали в качестве ОТС. Сравнение результатов, представленных в таблицах 4.22 и 4.24, которые показывает отсутствие сколь-нибудь серьезного огнетушащего эффекта при использовании в качестве огнетушащих составов растворов сульфата натрия и каустической соды. Таким образом, наблюдаемый огнетушащий эффект происходит только за счет присутствия ГА и в основе процесса тушения древесины и древесных материалов предлагаемым огнетушащим составом лежат следующие физико-химические явления:

1. При попадании ГА на поверхность горячей древесины происходит смачивание обугленной поверхности водным раствором;

2. При попадании ГА на разогретую поверхность горячей древесины происходит активное испарение воды и образование тугоплавкой твердой пленкой стеклообразной массы гидрооксида алюминия;

3. Твердая стеклообразная пленка ГА препятствует химическому взаимодействию кислорода воздуха с древесиной, а сама пленка не претерпевает изменений на разогретой поверхности.

В результате взаимодействия предлагаемого ОТС с огнем и разогретыми поверхностями горючего вещества реализуются следующие огнетушащие эффекты:

1. Отъем тепловой энергии из очага горения на испарение воды из раствора ГА. Тем самым, осуществляется передача выделяемой теплоты инертному теплоносителю – воде, уменьшая эффективность термического разложения древесины и обогащения диффузионной зоны ГВ.

2. Устойчивое укрытие твердой поверхности горящей древесины твердой тугоплавкой пленкой ГА, являющейся диэлектриком и непроницаемой к кислороду воздуха.

Косвенно подтвердить второй огнетушащий фактор можно по наблюдению значительного снижения выделения дыма при осуществлении огнетушения с помощью ГА. После повторного дотушивания выделение дыма прекращалось вовсе, что свидетельствует о подавлении взаимодействия ГВ с Ох в виде беспламенного горения – являющегося возможным источником повторного воспламенения.

*Полевые испытания огнетушащей способности ГА.* Для подтверждения результатов лабораторно-практических исследований были проведены полевые испытания. Концентрации растворов ГА подбирали так, чтобы обеспечить приемлемую огнетушащую эффективность в определенном ряду от 1,7, 3,5, 7, 14 и 28 г/дм<sup>3</sup>. Основанием выбора концентрации ГА являлись результаты работы [116, 117]. Для выявления эффективности тушения ГА результаты тушения сравнивали с тушением водопроводной водой в тех же условиях. В качестве объектов сравнения и для выявления природы огнетушащей способности были использованы дополнительно водные растворы карбоната натрия – соды (насыщенный раствор) и сульфата натрия (28 г/дм<sup>3</sup>).

Полевые исследования проводились в конце августа - начале сентября 2019 года на территории Саратовской области в условиях создания искусственного очага низового пожара. Местность была выбрана по результатам анализа погодных данных с отсутствием осадков в течение 45 дней. Относительная влажность воздуха по истечению данного срока составила 42-48%, температура воздуха в дневное время составила 24-30 °С,

атмосферное давление близко к нормальному, скорость ветра в зависимости от времени суток варьировалась от полного штиля до 4-6 м/с. На открытых участках местности при порывах ветра наблюдалось пылеобразование, что косвенно свидетельствует о крайнем состоянии высушенности верхнего слоя почвы. Измерения температуры воздуха, его влажности и скорости ветра осуществлялось с помощью прибора – Метеоскоп-М (ООО «НТМ-Защита», Россия). В качестве экспериментальных были выбраны участки почвы, заселенные разнотравьем. Для обеспечения устойчивого горения и формирования условий близких к условиям устойчивого низового пожара участки выбирались с равномерным травостоем с высотой 30-50 см. Участки местности размечали вешками устанавливаемыми через равные расстояния 1 или 2 метра друг от друга для оценки скорости распространения пламени по участкам, определения ширины кромки пожара, высоты пламени а также оценки равномерности распространения пламени (см. рисунок 4.18). Размеры участков выбирались таким образом, чтобы запаса ОТС в ранцевом огнетушителе было заведомо больше, чем необходимо для его тушения. В целях соблюдения правил пожарной безопасности все участки были опаханы, т.е. по периметру всех участков создавалась минерализованная полоса шириной не менее 1,5 м, кроме этого при исследовании горения и тушения на месте проведения экспериментов всегда присутствовал дополнительный оператор тушения с ранцевым огнетушителем заполненным водой, на случай экстренного тушения при потере контроля за процессом горения. Процесс исследования показал, что примененных мер пожарной безопасности было достаточно и оператор осуществлял только дополнительную проливку кромки пожара по завершении серии экспериментов в конце дня. Водный раствор ГА представлен на рисунке 4.19.



Рисунок 4.18 - Участок исследования



Рисунок 4.19 - Гидрогель алюминия

Поджог участков осуществлялся по направлению ветра с помощью аппарата зажигательного “Ермак” (Россия). На развитие горения отводили 10-20 сек. – время достаточное, в данных условиях, на формирование устойчивого горения травяного покрова и образование кромки пожара. Тушение кромки пожара осуществлялось с применением ранцевого огнетушителя РП-15 (Ермак, Россия), который заполнялся исследуемым ОТС. Выбор ранцевого огнетушителя был обусловлен малой скоростью подачи ОТС, обеспечиваемого ручным поршневым насосом. Перекачка жидкого ОТС, в этом случае, контролируется оператором и появляется некоторая возможность более точного определения расхода ОТС на тушение. Применить для аналогичных целей садовый опрыскиватель типа «Жук» ОП-209 не представилось возможным в связи с его малым расходом жидкости 0.6-0.8 дм<sup>3</sup>/мин [193], малой дальностью струи. Кроме этого, распылитель выполнен из пластмассовых деталей, которые могут быть повреждены теплотой, выделяемой при горении и т.п. Для контроля расхода ОС и определения эффективности действия ОТС ранцевый огнетушитель взвешивался на электронных весах – безмене до и после проведения эксперимента и по разнице в массе определялся расход ОТС на тушение. Для определения эффективности тушения различными ОТС соотносили массу ОТС к площади (и длине кромки) пожара. Для определения площади пожара проводили измерение длины и ширины сгоревшего участка, а затем для учета отклонения его формы от прямоугольной применяли модель эллипса, по полуосям которого рассчитывали его площадь и длину. Проведение эксперимента в равных погодных и природных условиях, а также и сравнение величин расхода различных ОТС отнесенные к площади и длине кромке нивелирует все остальные различия. Тушение осуществлялось не менее трех раз (для каждого типа огнетушащего состава) для исключения грубых промахов и расчета коридора ошибок. Скорость распространения пламени по исследуемому участку определяли по изучению видеозаписи процесса образования и распространения изучаемого низового пожара, путем засечки времени преодоления им размеченного вешками участка. Высоту пламени определяли по высоте обгоревшего поверхностного слоя установленных на участках вешек.

Для точного определения пригодности гидрогеля алюминия в качестве ОТС для применения его при тушения реального природного пожара

необходимо выявить устойчивость во времени его водного раствора. Непосредственное визуальное наблюдение состояния ГА в ранцевом огнетушителе невозможно, поэтому проще экспериментально определить время потери мутности раствора и учитывать его в дальнейшем при работе с ГА. Сульфат алюминия обладает высокой растворимостью в воде – 342 г/дм<sup>3</sup> [187]. При помещении твердого сульфата алюминия в водопроводную воду в исследуемом диапазоне концентраций он растворяется при перемешивании очень быстро, в течение 10-30 секунд. По истечению данного времени наблюдается помутнение раствора (потеря прозрачности) – образование коллоидного раствора – ГА (рисунок 4.19). Устойчивость коллоидного раствора с концентрациями сульфата алюминия в диапазоне 3,5-28 г/дм<sup>3</sup> составляла 40-50 минут при температуре 20-25 °С, к этому времени гидрогель полностью разрушался, твердый осадок гидроксида алюминия выпадал на дно сосуда и эффективность его применения должна снижаться. Это время в дальнейшем учитывалось при проведении полевых испытаний, т.е. ГА подготавливался непосредственно перед осуществлением тушения, что в принципе является сходным при подготовке к процедуре тушения реального низового лесного пожара.

Из всех метеорологических условий на распространение пламени низового пожара больше всего влияет скорость ветра в приземном слое атмосферы. Исследования метеоусловий показали, что в дневное время в данной наблюдается наличие ветра с различной скоростью. Минимальная скорость ветра наблюдается в утренние и вечерние часы, в то время как к полудню ветровая обстановка становилась неустойчивой от полного штиля до кратковременных порывов 10-15 м/с. В среднем скорость ветра в дневные часы достигает 3-6 м/с. Такая скорость ветра в сочетании с низкой влажностью воздуха способствует формированию благоприятных условий для возникновения и распространения низового пожара.

Как было отмечено выше, ширина кромки пожара определяется отношением скорости горения материалов, накопленных на поверхности почвы и скорости распространения пламени по слою горючего материала [160]. Второй параметр больше зависит от погодных условий, а именно от скорости ветра в данной местности и в данное время. Горение процесс скоротечный, поэтому ширину кромки пожара определяли по анализу видеозаписи процесса распространения пламени и определения времени достижения пламенем разметочных линий на участке. Исследования показали,

что скорость распространения пламени составляет 3-3,5 м/мин для штиля, 5-6 м/мин для скорости ветра 3-6 м/с, порывы ветра свыше 10 м/с приводили к повышению скорости движения кромки, срыву пламени с горючего материала и тушению пожара. Таким образом, участок шириной 5 метров выгорает за 60-90 сек при штиле, за 20-40 сек при 3-6 м/с. При порывах ветра (более 10 м/с) в отдельных участках травостоя наблюдалось движение кромки пожара со скоростью 10-12 м/мин, а на отдельных участках происходил срыв пламени и ветровое тушение кромки низового пожара.

Несмотря на выбор участков для исследования горения и огнетушения с равномерным травостоем, скорость горения в разных частях участка была различной, что обуславливало непрямолинейную форму кромки пожара, форма которой была далека от трапецевидной. В отдельных частях исследуемого участка скорость движения кромки пламени в 1,5-2 раза превышала среднюю скорость перемещения кромки. Свой вклад в непрямолинейность кромки пожара осуществляет и процесс поджога с помощью аппарата зажигательного («Ермак», Россия), применение которого не в состоянии обеспечить равномерный поджог сразу всей стороны исследуемого участка. Высота пламени, формируемая при горении ЛГМ согласно измерению высоты обгоревшего слоя на вешках, составил от 0,35 – 0,5 м. Тем не менее, данный параметр довольно условный, т.к. высота пламени в значительной степени зависит от скорости ветра, что на открытой местности является решающим фактором.

Тушение кромки пожара осуществлялась в два этапа: (1) подачей огнетушащего вещества в зону(ы) горения ручным способом до исчезновения пламенного горения [125]. По мере тушения кромки пожара осуществлялся переход к следующему участку горения (вдоль кромки пожара) до полного подавления процесса пламенного горения; (2) проводилось наблюдение за выделением дыма на экспериментальном участке и осуществления (в случае необходимости) операции дотушивания при повторном самопроизвольном возникновении горения. Тушение осуществляли водой, водными растворами гидрогеля алюминия различных концентраций и водными растворами других неорганических соединений (таблица 4.25) [117].

Таблица 4.25 - Определение расхода ОС при тушении кромки пожара

Наименование ОС	N	Расход ОС на периметр, кг/м	Расход ОС на площадь, кг/м <sup>2</sup>	Расход ОС на массу природного горючего материала, кг/кг	Абсорбция энергии горения единицей массы ОС*, МДж/кг
Вода	24	0,22±0,05	0,50±0,10	≈0,63	≈21,5
Гидрогель алюминия (1.7 г/ дм <sup>3</sup> )	3	0,19±0,09	0,56±0,15	≈0,54	≈24,9
Гидрогель алюминия (3.5 г/ дм <sup>3</sup> )	3	0,1±0,04	0,24±0,12	≈0,29	≈47,3
Гидрогель алюминия (г/дм <sup>3</sup> )	3	0,09±0,04	0,25±0,10	≈0,26	≈52,5
Гидрогель алюминия (14 г/ дм <sup>3</sup> )	3	0,11±0,03	0,23±0,11	≈0,31	≈43,0
Гидрогель алюминия (28 г/ дм <sup>3</sup> )	3	0,10±0,05	0,22±0,09	≈0,29	≈47,3
Гидрогель алюминия (7 г/ дм <sup>3</sup> ) <i>через 60 мин после получения</i>	3	0,25±0,04	0,61±0,07	≈0,71	≈18,9
Сульфат натрия (28 г/ дм <sup>3</sup> )	3	0,23±0,04	0,55±0,12	≈0,66	≈20,5
Карбонат натрия (насыщенный раствор)	3	0,25±0,09	0,49±0,18	≈0,71	≈18,9

\* расчет проведен по данным [42]

Для повышения объективности оценки расхода ОС на разных участках изменяли последовательность действий следующим образом: сперва тушение осуществляли водой, а затем гидрогелем определенной концентрации, затем наоборот. К тому же, оператор, осуществлявший тушение, не знал какое ОС в залито в ранцевый огнетушитель. В задачу оператору входило прекращение горения с минимально возможным расходом ОС.

Была проведена серия экспериментов, достаточная для статистической обработки. Усредненные данные представлены в таблица 1, N – число параллельных экспериментов.

Полученные данные показывают, что на тушение 1 м кромки пожара, в среднем, потребовалось 0,21 кг воды (при средней ширине кромки пожара 0,3-0,4 м), а ГА потребовалось только 0,09-0,1 кг, что 2,3 раза меньше, чем воды. При оценке эффективности тушения пожара на его общую площадь площади пожара ушло, в среднем, 0,52 кг/м<sup>2</sup> воды, а ГА только 0,23 кг, что, также, в среднем 2,3 раза меньше, чем воды. Наименьший средний расход ГА для тушения кромки пожара составил 0,09-0,11 кг/м при концентрации 3,5-14 г/дм<sup>3</sup>. При этом увеличение концентрации ГА в воде с 7 до 28 г/ дм<sup>3</sup>, т.е. в 4 раза не дает сколь-нибудь значительной прибавки в эффективность тушения и ведет, фактически, только к перерасходу гидрогеля. Такой результат можно объяснить тем, что при интенсивном горении ЛГМ, в условиях малой влажности и малой поверхностной плотности горючих материалов на почве, большая часть выливаемого жидкого раствора просто не попадает на горящий материал, а того количества, которое все же входит в контакт с горящим ЛГМ хватает для тушения. Для обеспечения тушения необходимо некоторое минимальное количество ОТС, а в связи с этим, подача большего количества не дает вклада в повышение эффективности тушения. Таким образом, минимальное требуемое количество ОТС на основе ГА, расходуемое на тушение, обеспечивается ГА с концентрацией в пределах 3,5-7 г/ дм<sup>3</sup>.

Если учесть длину потушенной кромки и ее хотя бы ее приблизительную ширину, тогда можно оценить действительную площадь, на которую был подан исследуемый ОТС, что составило 0,25-0,3 кг/м<sup>2</sup>. Определив среднюю массу горючих материалов растительного происхождения на исследуемых участках в 0,7-1,1 кг/м<sup>2</sup>, то появляется возможность рассчитать расход ОТС на единицу массы природного горючего материала (см. таблицу 4.13). Это значение в ходе эксперимента с применением в качестве ОТС - ГА (3,5-7,0 г/дм<sup>3</sup>) составило 0,27-0,36 кг/кг. Ориентируясь на низшую теплоту сгорания соломы, которая при 20% влажности составляет 13,5 МДж/кг [42] можно рассчитать энергию горения, которую способна поглотить единица массы ОТС. Полученные результаты представлены в таблице 4.13. Следует учесть, что в столбцах 5 и 6 (таблица 4.25) представлены данные, полученные сочетанием из эксперимента и известных литературных значений, которые несут в себе некоторый условный характер. Если предположить (довольно условно) общую огнетушащую способность как сумму огнетушащих эффектов, складывающихся процесс тушения, тогда можно, хотя бы



приблизительно рассчитать вклад изоляции и ингибирования которыми обладает ОТС на основе ГА. Вычитая из общего вклада в огнеподавление, который обеспечивает ГА ( $7 \text{ г/дм}^3$ ), который способен противостоять тепловыделению  $52,5 \text{ МДж/кг}$ , вклад который дает водопроводная вода ( $21,5 \text{ МДж/кг}$ ), тогда получаем, что общий вклад в тушение путем изоляции и ингибирования позволяет бороться с тепловыделением в  $30 \text{ МДж/кг}$  или  $57\%$  против  $43\%$  энергии поглощаемой водой.

При реализации в ходе тушения кромки природного пожара, одновременно нескольких огнеподавляющих эффектов (охлаждения, изоляции и, по-видимому, ингибирования) чрезвычайно трудно выделить вклад каждого из них в процесс прекращения горения. Тем не менее, в ходе проведения полевого эксперимента неоднократно отмечалось, что при применении ГА с повышением его концентрации в водном растворе наблюдалось все меньше участков для проведения операции дотушивания, а также наблюдалось меньшее выделение остаточного дыма после ликвидации пламенного горения. Аналогичный эффект наблюдался при применении ГА для тушения модельного очага пожара [126]. Это, хотя и косвенно, свидетельствует о реализации процесса подавления горения на атомно-молекулярном уровне и активной борьбой с очагами тления, находящимися в объеме природного горючего материала, что доставляет немало хлопот и создает множество проблем при тушении низовых природных пожаров.

Гидрогель алюминия – «скоропортящийся продукт», поэтому для проверки его действия при длительном хранении была проведена серия экспериментов в условиях распада его коллоидного раствора и выпадения кристаллического осадка гидроксида алюминия в осадок на дно и стенки емкости ранцевого огнетушителя. Результаты таблицы 4.25 свидетельствуют, что спустя 60 минут после приготовления гидрогеля он, как и предполагалось, полностью теряет свою эффективность, т.к. расходы такого ОС на тушение единицы длины кромки низового пожара не отличаются от таковых для водопроводной воды.

#### **4.7 Технологические параметры применения гидрогеля алюминия для создания заградительной полосы (ручной и механизированный способы опрыскивания)**

Для того, чтобы разработать технологию обустройства заградительной полосы, путем обработки горючего напочвенного покрова жидким ОЗС. Данный жидкий препарат представляет собой водный раствор гидрогеля алюминия, полученного гидролизом сульфата алюминия, при его растворении в воде. Помещать его на поверхность стеблей и листьев травянистых растений можно только путем распыления при ручном или механизированном способе подачи жидкости.

Ручной способ используют там, где затруднено или невозможно применение механизированного способа. Современные опрыскиватели в основном схожи по характеристикам между собой и отличаются способом управления (ручной, ранцевый, моторизированный) и типом устройства (аккумуляторный и помповый). В полевых условиях был использован пневматический опрыскиватель типа «Жук» ОП-209 (6л). Принцип работы пневматического опрыскивателя ОП – 209 основан на вытеснении рабочей жидкости из бачка давлением сжатого воздуха, создаваемым насосом. Масса опрыскивателя - не более 2,1 кг, расход рабочей жидкости - 0,6-0,8 дм<sup>3</sup>/мин., вместимость бака – 6 дм<sup>3</sup>, объём заливаемой жидкости не более 5 дм<sup>3</sup>, рабочее давление 0,23±0,03 МПа.

Использование пневматического опрыскивателя типа «ЖУК» ОП-209 по сравнению с распылителями установленных на механизированной технике (типа ОПШ-24-3000) производит при распылении более крупный размер капель, что в свою очередь уменьшает снос и улучшает проникновение раствора сквозь лесную подстилку, а также уменьшает степень испарения раствора путем сниженного рабочего давления и скорости обработки. Так как при низкой влажности и при увеличении температуры в пожароопасный период увеличивается вероятность испарения мелких капель распыленного

состава. Капли величиной 50-100 мкм очень медленно осаживаются в воздухе, за время полета капли к объекту она может уменьшиться в объеме в несколько раз, а также мелкие капли легко подхватываются и сносятся ветром и естественным турбулентными потоками.

К преимуществам использования ручного способа опрыскивания можно отнести высокую надежность и долгий срок эксплуатации опрыскивателя, связанный отсутствием в конструкции сложных узлов и механизмов. Еще одним преимуществом является простая дозаправка жидкостью, а также простота использования и полная энергонезависимость, что позволяет применять его в местах, куда не подведено электроснабжение, а также такие устройства не нуждаются в заправке топливом и не требуют дорогого и регулярного обслуживания.

При большом количестве преимуществ у ручного способа опрыскивания есть несколько недостатков:

- малый объем бака (около 6 дм<sup>3</sup>), что подразумевает обработку небольшой площадей, для масштабных участков требуется дозаправка емкостей раствором;

- частое засорение форсунок, из-за чего периодически требуется их прочистка;

- неравномерность нанесения раствора на большие площади.

Для определения оптимальных технологических параметров существуют естественные ограничения: (1) растворимость препарата для получения гидрогеля в воде - сульфат алюминия – составляет 342 г/дм<sup>3</sup>; (2) объем цистерны для хранения рабочего раствора – определяется конструкцией пневматический опрыскивателя типа Жук ОП-209 и составляет в среднем – 0.006 м<sup>3</sup>; (3) расход жидкости 0,6-0,8 дм<sup>3</sup>/мин в различных режимах обработки;

Как показали полевые исследования оптимальными технологическими показателями для конструкции помпового опрыскивателя типа ОП-209 («Жук») является: - норма расхода рабочей жидкости 21 г/дм<sup>3</sup> в 1 м<sup>2</sup>. Для

снижения расхода жидкости необходимо увеличить концентрацию раствора (см. таблицу 4.26).

Таблица 4.26 - Технологические параметры для внесения сульфата алюминия при помощи пневматического опрыскивателя типа ОП-209 «Жук»

Норма внесения порошка сульфата алюминия в объём жидкости, г/дм <sup>3</sup>	Объём жидкости, для растворения нормы порошка сульфата алюминия, л	Площадь, обработанная раствором, м <sup>2</sup>	Расход раствора, дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>
21	5	5	1
42		10	0,5
63		15	0,25
84		20	0,05
105		25	0,025
126		30	0,0125
147		35	0,0056
168		40	0,0028
189		45	0,0014
210		50	0,0007

При применении ручного способа опрыскивания проявляются два его недостатка: (1) при низких концентрациях увеличивается расход рабочего раствора; (2) при высоких концентрациях снижается равномерность опрыскивания территории. Первая проблема обусловлена большим объемом рабочего раствора наносимого на 1 м<sup>2</sup> обрабатываемой площади, что увеличивает расход воды и время, затрачиваемое на обработку участка. Вторая проблема обусловлена отсутствием надежного контроля расхода рабочего раствора на обработку участка, что приведет «пятнистому» распределению ОЗС по площади защищаемого травяного покрова. По-видимому, истина лежит где-то по середине – оптимальным решением является создание рабочего раствора с концентрацией 105 г/дм<sup>3</sup>, с расходом 0,2 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>. В таком

случае одной заправки опрыскивателя ОП-209 (5 дм<sup>3</sup>) хватит на обработку 25 м<sup>2</sup>.

Ручной способ достаточно трудоемкий и затратный по времени, однако человек с опрыскивателем (ранцевым огнетушителем) достаточно мобилен и способен осуществлять обработку участков в лесной местности, недоступных для механизированных устройств. В свою очередь механизированное устройство для опрыскивания – штанговый опрыскиватель (ОШ) более подходящим для строительства заградительной полосы (см. рисунки 4.9, 4.10). Преимуществом ОШ является работа на большие площади из-за возможности широкого захвата работа полосой до 24-36 м, а также наличием механизированной системы подачи и распыления рабочего раствора. У ОШ существует два типа режимов: (1) опрыскивание пестицидами и (2) внесение растворов органических или минеральных удобрений. Оба режима различаются расходами раствора на 1 м<sup>2</sup> поверхности почвы.

Обстановка с пожарами относится к высокодинамичным, особенно при СтП, находящихся под наиболее сильным воздействием ветра. Борьба с СтП требует оперативного принятия решений и их исполнения. Критериям скорости выполнения процесса обработки травяного покрова конечно же отвечает применение ОШ. Тем не менее, данное устройство зависит от снабжения его водой, перебои с ее поставкой вызывают простой оборудования и затягиванию сроков проведения работ.

Обеспечение ОШ водой важная операция в технологической цепочке создания заградительной полосы. В засушливое время воду необходимо доставлять издалека, что накладывает определенные ограничения на логистику и расходы. Поэтому необходимо найти оптимальные технологические параметры, при которых будут эффективно реализованы временные и финансовые затраты на обустройство заградительной полосы.

Для определения оптимальных технологических параметров существуют естественные ограничения: (1) растворимость препарата для получения гидрогеля в воде - сульфат алюминия – составляет 342 г/дм<sup>3</sup>;

(2) объем цистерны для хранения рабочего раствора – определяется конструкцией ОШ и составляет в среднем - 3 м<sup>3</sup>; (3) ширина захвата ОШ также определяется его конструкцией до 24-36 м; (4) расход жидкости на 1 м<sup>2</sup> в различных режимах обработки (обработка пестицидами и жидкими минеральными удобрениями) также определяется конструкцией ОШ - 70-400 дм<sup>3</sup>/га); (5) скорость движения ОШ также определяется его конструкционными особенностями или возможностями тягача (при проведении технологических операций - 6-12 км/ч).

Перечисленные выше параметры закономерно взаимосвязаны между собой: дальность движения ОШ определяется расходом и шириной захвата; расход жидкости на 1 м<sup>2</sup> определяется скоростью движения ОШ по местности; массовый расход препарата определяется концентрацией раствора и т.п. Для поиска оптимальных технологических значений необходимо определить какие технологические операции являются наиболее важными определяющие экономику и технологические возможности.

Экспериментальные исследования показали (см. п. 4.3, таблица 4.19), что огнезащитные свойства сульфат алюминия проявляет при расходе не менее 21 г/м<sup>2</sup>. Разрабатываемая технология должна обеспечить такой расход путем распыления некоторого объема водного раствора ГА на единицу площади – 1 м<sup>2</sup>.

Для того чтобы увеличить площадь обработки необходимо уменьшить расход на единицу площади. Штанговый опрыскиватель ОПШ-24-3000, взятый за основу, позволяет обеспечить минимальный расход жидкости - 70 дм<sup>3</sup>/га или 7 см<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>. Такое количество жидкости даже при максимальной растворимости сульфата алюминия в воде (342 г/дм<sup>3</sup>) позволит внести только 2,3 г на 1 м<sup>2</sup>, что почти в 10 раз ниже, чем это необходимо. Реализация таких технологических параметров обработки травяного покрова имеет два существенных недостатка: (1) трудно получить качественные растворы вблизи пределов растворимости вещества; (2) вызывает сомнение возможность

равномерного распределения жидкости в объеме 7 см<sup>3</sup> на площадь 1 м<sup>2</sup>, особенно при учете индекса листовой поверхности (3 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>) для разнотравья.

Поэтому для получения раствора принято решение снизить концентрацию сульфата алюминия в растворе до 210 г/дм<sup>3</sup>, тогда для обеспечения 21 г/м<sup>2</sup> на 1 м<sup>2</sup> необходимо подать 100 см<sup>3</sup>. При таком расходе 3000 м<sup>3</sup> хватит на опрыскивание 30000 м<sup>2</sup> или 3 га. Длина пробега ОШ при ширине захвата 24 м длина пробега составит 1250 м. Используя данный алгоритм расчета были получены результаты связывающие расходы раствора ОЗС с величиной обрабатываемой площади (см. таблица 4.27).

Таблица 4.27 - Результаты расчета технологических параметров обработки ОЗС (гидрогелем алюминия) травяного покрова с применением штангового опрыскивателя (ОПШ-24-3000)

Норма, г/м <sup>2</sup>	Расход дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	Расход л/га	С, г/дм <sup>3</sup>	V <sub>ц</sub> , м <sup>3</sup>	Площадь, га	Ширина, м	Длина, м	Примечание*
1	2	3	4	5	6	7	8	9
21	0,007	70	3000	3	42,9	24	17857	Не возможно (слишком высокая концентрация)
21	0,02	200	1050	3	15,0	24	6250	Не возможно (слишком высокая концентрация)
21	0,05	500	420	3	6,0	24	2500	Не возможно (слишком высокая концентрация, расход за пределами возможности ОШ)
21	0,06	600	350	3	5,0	24	2083	Не возможно (слишком высокая концентрация, расход за пределами возможности ОШ)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
21	0,08	800	262,5	3	3,8	24	1563	Возможно (расход за пределами возможности ОШ)
21	0,1	1000	210	3	3,0	24	1250	Возможно (расход за пределами возможности ОШ)
21	0,25	2500	84	3	1,2	24	500	Возможно (расход за пределами возможности ОШ)
21	0,5	5000	42	3	0,6	24	250	Возможно (расход за пределами возможности ОШ)
21	0,75	7500	28	3	0,4	24	167	Возможно (расход за пределами возможности ОШ)
21	1	10000	21	3	0,3	24	125	Возможно (расход за пределами возможности ОШ)

\* перед скобкой пояснение о возможности/невозможности создания раствора (максимальная концентрация сульфата алюминия 342 г/дм<sup>3</sup>) или обеспечения расхода ОШ, в скобках пояснение какой из параметров не соответствует возможностям.

Анализ результатов (таблица 4.27) показывает, что невозможно подобрать технологические режимы работы ОПШ-24-3000 для строительства заградительной полосы в лесостепных и степных зонах. При низких расходах рабочего раствора (70-600 дм<sup>3</sup>/га), отсутствует возможность получения самого раствора, т.к. предполагаемая концентрация раствора в 1,02-8,78 раза превышает его растворимость сульфата алюминия в воде. Кроме этого, выбранная конструкция ОШ (ОПШ-24-3000) не позволяет обеспечивать расход более 400 дм<sup>3</sup>/га. В этом случае, необходимо воспользоваться еще одной степенью свободы ОШ – скоростью его движения. Технические



характеристики ОШ позволяют двигаться с рабочей скоростью 6-12 км/ч или (1,7-3,7 м/с).

Если сопоставить расход рабочего раствора через насос ОШ – 185 дм<sup>3</sup>/мин и при это обеспечить скорость его движения от 6 до 12 км/ч, то появляется дополнительная возможность регулировать расход рабочего раствора на единицу площади поверхности (см. таблицу 4.28)

Таблица 4.28 - Возможные технологические параметры при обработке ландшафтов с помощью ОПШ-24-3000 (объем бака – 3 м<sup>3</sup>, расход подающего насоса – 185 дм<sup>3</sup>/мин, ширина захвата – 24 м)

Скорость, км/ч	Время движения, мин	Длина, м	Площадь, га	Расход РР, л/га	Расход РР, дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	Конц РР г/дм <sup>3</sup>	Примечание
6	16,2	1622	3,9	770,8	0,077	272,4	Возможно
7	16,2	1892	4,5	660,7	0,066	317,8	Возможно
8	16,2	2162	5,2	578,1	0,058	363,2	Не возможно
9	16,2	2432	5,8	513,9	0,051	408,6	Не возможно
10	16,2	2703	6,5	462,5	0,046	454,1	Не возможно
11	16,2	2973	7,1	420,5	0,042	499,5	Не возможно
12	16,2	3243	7,8	385,4	0,039	544,9	Не возможно

Анализ информации представленной в таблице 4.28 показывает, что при движении на низких скоростях 6-7 км/ч, появляется возможность обработать травяной покров с необходимым расходом ОТС доставляющим 21 г гидрогеля алюминия на 1 м<sup>2</sup>. Более высокая скорость 8-12 км/ч предполагает меньший расход на 1 м<sup>2</sup> рабочего раствора, что в свою очередь требует увеличения концентрации сульфата алюминия в водном растворе, что невозможно, т.к. его максимальная растворимость в воде – 342 г/дм<sup>3</sup>.

Для создания заградительной полосы необходимо использовать следующие технологические параметры: скорость движения ОШ 6-7 км/ч, расход исходного не менее 660 дм<sup>3</sup>/га, концентрация рабочего раствора (сульфата алюминия) 310-320 г/дм<sup>3</sup>. Как видно из представленных результатов технологические параметры функционирования штангового опрыскивателя довольно узкие поэтому максимальная экономия воды как раз и достигается в

пределах скорости движения ОШ 6-7 км/ч при концентрациях раствора сульфата алюминия в воде 273-318 г/дм<sup>3</sup> – которые довольно близки к максимальной.

#### **4.8 Потенциал технических и технологических приемов по снижению расхода воды при профилактике и тушению лесных пожаров**

Расход воды для проведения профилактических противопожарных мероприятий и лесного пожаротушения никак не регламентируется. Таким образом, появляется поле для деятельности, связанное с поиском и научным обоснованием технических и технологических возможностей максимального снижения расхода воды.

***Возможности снижения расхода воды при профилактике ЛП.*** Как показано в п 4.7 при применении водных растворов единственным путем снижения расхода воды является применение растворов сульфата алюминия для опрыскивания в концентрациях близких к максимальным 273-317 г/дм<sup>3</sup>. Кроме этого, определенную роль играют равномерность распределения ОЗС по площади обрабатываемой поверхности и время обработки участка. Так, в случае применения ОШ-24-3000 время строительства 1 км заградительной полосы шириной 24 м со скоростью 6 км/ч составляет 40 с. Время обработки такой же площади с помощью лесного ранцевого огнетушителя составляет несколько часов, а функционирование дождевателей не зависит от визуального контроля человека.

***Возможности снижения расхода воды при тушении ЛНП.*** В противоположность профилактике тушение ЛНП обладает несколько иными требованиями к технологичности процесса. В этом случае равномерность распределения не будет играть определяющей роли при тушении пожара в ЛМ, т.к. запасы ЛГМ будут распределены не равномерно по территории ЛМ, поэтому подавать ОТС необходимо для полного прекращения взаимодействия ГВ и Ох. Однако справочная информация [210, 253, 295], а также результаты

собственных исследований (см. таблицу 4.29) позволяют представить следующие результаты, что для снижения расхода воды при тушении ЛНП необходимо каким-либо образом улучшить те свойства воды, которые относятся к ее недостаткам, а возможно и расширить возможности ее огнетушащего действия путем реализации других принципов пожаротушения.

Таблица 4.29 - Сравнительный анализ расхода ОТС при применении различного оборудования для ее подачи в зону горения

Оборудование для подачи ОТС в зону горения /ОТС	Расход ОТС, дм <sup>3</sup> /м
Насос ПН-30 (АЦ-1,6-30) / вода	10,51
УПВД «Ермак» / вода	0,65
<b>Парогенератор / водяной пар</b>	<b>0,23</b>
<b>Воздуходувка «Ангара» / вода</b>	<b>0,11</b>
РЛО (РП-18) / вода	0,54
РЛО (РП-18) / вода+смачиватель	0,38
<b>РЛО (РП-18) / гидрогель</b>	<b>0,10 (0,22)</b>

Анализ результатов, представленных в таблице 4.28 показывает, что наименьший расход ОТС на единицу длины кромки ЛНП наблюдается при применении парогенератора (0,23 дм<sup>3</sup>/м), воздуходувки «Ангара» (0,11 дм<sup>3</sup>/м) и гидрогеля подаваемого в зону горения из РЛО – РП-18 (0,10-0,2 дм<sup>3</sup>/м). При этом отмечено, что при применении гидрогеля можно использовать более простое и дешевое технологическое оборудование – РЛО, что увеличивает надежность при лесном пожаротушении. Таким образом водяной пар и гидрогель дают значительную экономию ОТС при лесном пожаротушении, что свидетельствует о реализации скрытых возможностей физической и химической модификации воды для обеспечения пожаротушения.

#### **Выводы к Разделу 4**

1. Для обоснования защитного действия противопожарного барьера разработана модель переноса горящих частиц ветром в зависимости от их

размера, высоты падения и скорости ветра. Результаты моделирования подтверждены экспериментальными данными.

2. Применение огнезащитных средств при строительстве противопожарных барьеров позволяет сохранять границы лесных массивов, снижать трудозатраты и энергоемкость их создания в лесостепной и степной зонах. Огнезащитные составы могут быть использованы для увеличения размеров заградительных барьеров без удаления с него растительности. Для строительства заградительной полосы предлагаются жидкие многокомпонентные водные растворы, содержащие органические и неорганические вещества, обладающие огнеподавляющим и пенообразующим действием, однако, данные средства имеют высокую цену и мало доступны к применению.

3. Экспериментально подтверждено, что применение тонкораспыленной струи воды с размером капель 10-50 мкм, способно обеспечить расход воды 0,8-0,11 дм<sup>3</sup>/м, а применение водяного пара позволяет обеспечить расход 0,65 дм<sup>3</sup>/м, что позволяет значительно сэкономить воду при тушении ЛНП.

4. На основании экспериментальных исследований для тушения ЛНП предлагается использовать гидрогели алюминия с концентрацией 3,5 г/дм<sup>3</sup>, позволяющие снизить расход воды на тушение в 2-3 раза.

5. С применением водного раствора гидрогеля алюминия размеры заградительной полосы ничем не ограничены. Для ее строительства необходимо использовать раствор сульфата алюминия с концентрацией 317 г/дм<sup>3</sup> и расходом раствора 0,03 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>, перемещаясь со скоростью 6-7 км/ч. При данных условиях за 16 минут возможно создание полосы длиной 1,4 км с затратой 3 м<sup>3</sup> раствора.

## 5 ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ВНЕДРЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ БОРЬБЫ С ЛЕСНЫМИ ПОЖАРАМИ. РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРОИЗВОДСТВУ

### 5.1 Экономическое обоснование мероприятий по профилактике и тушению лесных низовых пожаров

Лесные пожары – это проблема, которая часто бывает губительна не только для растительности, сельскохозяйственных культур, но также и для населения. На сегодняшний день общая система противодействия пожарам в лесах позволяет организовывать мероприятия, направленные на защиту лесных массивов от пожаров, защиту населенных пунктов и социально значимых объектов экономики, расположенных вблизи сельхозугодий и лесных массивов.

Любая хозяйственная деятельность эффективна только тогда, когда она позволяет экономить материальные, финансовые и людские ресурсы. Тушение лесных пожаров является такой же хозяйственной деятельностью, как и лесоразведение, сельское хозяйство, строительство и т.п. При тушении лесных пожаров задействуются люди и техника, расходуются вода, химические реагенты, горюче-смазочные материалы, и т.п. [106].

При возникновении пожаров, в первую очередь возгоранию поддается слой горючих материалов располагающийся на поверхности почвы - молодые растения, валеж, кора сухих деревьев и трава. Поэтому очень важно использовать в качестве профилактических мер минерализацию почвенного покрова, которая предотвращает распространение кромки низового пожара в лесах и лесонасаждениях.

Одним из самых эффективных способов противодействия распространению пожаров является устройство минерализованных полос. Перед тем, как подробно рассмотреть вопрос потребности в таком способе борьбы с массовыми лесными пожарами, необходимо дать четкое определение основным понятиям. Итак, *минерализованная полоса* – это определенный

участок почвы, который своевременно очищается от горючих материалов путем обработки земляного полотна при помощи обрабатывающих орудий (опашка почвы) или любыми другими способами линейной очистки. Такие полосы могут быть заградительными или опорными [231].

Необходимость создания таких защитных противопожарных полос заключается в том, что чаще всего лесные пожары начинаются от дорог общего пользования.

В особо жаркую погоду крайне тяжело в короткий срок потушить лесной пожар, особенно с большой площадью горения. Поэтому самым эффективным способом борьбы с пожарами является их профилактика. Именно с этой целью и создаются минерализованные противопожарные полосы. Статистика показывает, что те территории, на которых создаются защитные полосы, намного реже подвергаются воздействию огня, чем те, на которых опашка производится некачественно или не производится вообще [106].

Для определения экономической эффективности построения минерализованной полосы необходимо рассчитать основные затраты на проведение противопожарных мероприятий.

## **5.2 Экономическое обоснование применения от внедрения оборудования для создания водяной завесы**

Преимущества нового оборудования получают из экономической оценки в виде показателей эффективности. Новое оборудование должно обеспечивать увеличение производительности при минимальных затратах труда, сокращение сроков выполнения работ, повышение качества работы. По своей конструкции новое оборудование должно отвечать современным достижениям науки и требованиям передовой практики.

Экономическая эффективность внедрения оборудования для создания водяной завесы, устанавливаемой на автомобиле АЦ 3,0–40(33086),

обеспечивается предотвращенным ущербом от потери автомобиля при природном пожаре.

Затраты на изготовление оборудования произведем в табличной форме - таблица 5.1.

Таблица 5.1. Затраты на материалы для изготовления нового оборудования

<i>Наименование материала, детали, узла</i>	<i>Единицы измерен.</i>	<i>Количество</i>	<i>Стоимость единицы руб.</i>	<i>Всего затрат на материалы, руб.</i>
Труба Ø20 оцинкован.	м	18	80	1440
Патрубок с резьбой	шт.	1	90	90,0
Насос	шт.	1	6500	6500
Оросители	шт.	5	50	250,0
Хомут крепежный плоский	шт.	7	25	125,0
Хомут крепежный угловой	шт.	4	25	100,0
Угольник проходной д.20мм.	шт.	5	100	500,0
Тройник проходной	шт.	6	120	720,0
Кран шаровой	шт.	2	240	480,0
Манометр или датчик давления	шт.	2	450	900,0
Переходник	шт.	8	80	640,0
Инвертор ИБП 12/220-500	шт.	1	2900	2900
Метеостанция Oregon Scientific BAR206	шт.	1	2390	2390
Неучтенные детали и материалы		28%		4769,8
<b>Итого</b>				<b>21804,8</b>

Стоимость автомобиля АЦ-40 в полной комплектации с оборудованием для создания водяной завесы составляет 3400000 руб.

Соответственно при затратах 21805,00 руб. на создание оборудования для водяной завесы мы получим предотвращенный экономический ущерб в размере 3378195,60 руб.

### 5.3 Экономическая эффективность строительства минерализованной полосы

К затратам на проведение мероприятий по построению минерализованной полосы относятся затраты на оплату труда работников, расходы на ГСМ, техническое обслуживание и амортизацию для агрегата (трактор и плуг), трудозатраты в человеко-днях. Для расчета экономической эффективности были применены методики [348-353].

Проведенные расчеты показали, что на построение минерализованной полосы потребуется трактор в агрегате с плугом. Минимальная ширина противопожарных защитных полос составляет 1,2 метра. Стоит отметить, что такую же ширину имеет проход плуга ПКЛ-70. Однако более эффективной считается ширина минерализованной полосы, находящаяся в пределах от 2 до 2,5 метров. Поэтому исследования проводились для полосы шириной 2,4 м, т.е. в 2 прохода агрегата. Расчет начали с определения количества рабочих на период выполнения работ (таблица 5.2).

Таблица 5.2 - Определение количества рабочих на период выполнения работ

Наименование работ	Ед. изм.	Трудозатраты, чел./дней	Срок выполнения работ, дни	Необходимое количество рабочих, чел.
Построение минполосы	км	21,0	9	2
Уход за минполосой	км	104,8	47	2

Результаты расчетов показывают, что для построения и ухода за минполосой необходимо выделить 2-х рабочих. Далее была рассчитана стоимость содержания и эксплуатации агрегата (стоимость машиномен, таблица 5.3)



Таблица 5.3 - Расчет стоимости содержания и эксплуатации агрегата

Показатели	Ед. изм.	Трактор ЛХТ-55	Плуг ПКЛ-70
Балансовая стоимость	руб.	900000,00	55000,00
Нормы:			
на амортизацию	%	26,50	19,2
на ТО и ремонт	%	16,00	14,0
Годовая загрузка	дни	150	60
Срок выполнения работ	дни	56	56
Отчисления			
на амортизацию	руб.	238500,00	10560,00
на ТО и ремонт	руб.	144000,00	7700,00
Стоимость			
на амортизацию	руб.	89040,00	9856,00
на ТО и ремонт	руб.	53760,00	7186,67
ГСМ	руб.	162750,00	-
Прочие расходы	руб.	3500,00	28,33
Итого стоимость машиномен (Смс)	руб.	309050,00	17071,00

Расчет показал, что для содержания и эксплуатации Трактора ЛХТ-55 и Плуга ПКЛ-70 итоговая стоимость составляет 309050,00 и 17071,00 рублей соответственно.

Чтобы определить полезный фонд рабочего времени и процент дополнительной оплаты труда, потребовалось рассчитать баланс рабочего времени одного рабочего за год (таблица 5.4).

Таблица 5.4 - Баланс рабочего времени одного рабочего в год

№ п/п	Показатели	Абсолютные дни
1.	Календарное количество дней	365
2.	Количество нерабочих дней, простоев и неявок на работу всего	154
	В том числе:	
	Выходные и праздничные дни	114
	Очередные и дополнительные отпуска	28
	Выполнение государственных и общественных обязанностей, прочие неявки, разрешенные законом	0.5
	Неявки по болезням	8
	Неявки по разрешению администрации	1.5
	Целосменные простои	2
3.	Число эффективных рабочих дней в году на 1 рабочего	211
4.	Средняя продолжительность рабочего дня, час	8
5.	Полезный фонд рабочего времени, час	1688

б.	Дополнительный фонд оплаты труда, %	13.3
----	-------------------------------------	------

Итогом расчета явилось, что полезный фонд рабочего времени одного рабочего составил 1688 часов или 211 дней.

Далее необходимо произвести расчет трудовых и денежных затрат на мероприятия, выполняемые механизированным способом (таблица 5.4) – из которой видно, что при построении минполос с объёмом работ 350 км дневная тарифная ставка будет составлять 1658,26 руб. Кроме прямых затрат на построение минполосы необходимо учитывать затраты на уход за минполосой, что также отражено в данной таблице и составило 1658,26 руб.

Для полноты оценки экономической эффективности, необходимо учесть данные по расчету фонда оплаты труда рабочих на лесохозяйственных и лесовосстановительных работах, нормы расхода топлива на устройство и уход за минерализованной полосой (таблицы 5.5-5.8)

Таблица 5.5 - Расчет трудовых и денежных затрат на мероприятия, выполняемые механизированным способом

Наименование работ	Объем работ, км	Состав агрегата		Нормы выработки, км	Трудозатраты, чел./дней	Количество рабочих, чел.	Срок выполнения работ, дней	Дневная тарифная ставка, руб.
		трактор	машина					
Построение минполосы	350	ЛХТ-55	ПКЛ-70	16,7	21,0	2	9	1658,26
Уход за минполосой	1750	ЛХТ-55	ПКЛ-70	16,7	104,8	2	47	1658,26

Таблица 5.6 - Расчет фонда оплаты труда рабочих на лесохозяйственных и лесовосстановительных работах

Наименование работ	Тарифный ФОТ, руб.	Доплаты, премии, надбавки ( $\approx 50\%$ ФОТ), руб.	Итого основной ФОТ, руб.	Дополнительный ФОТ (13,3%), руб.	Общий ФОТ, руб.	Начисления на з/п ЕСН, 30%	Технологическая себестоимость (Ст), руб.
Устройство минполос	34823,46	17411,73	52235,19	6947,28	59182,47	17754,74	76937,21
Уход за минполосами	173785,64	86892,82	260678,46	34670,24	295348,70	88604,61	383953,31

Таблица 5.7 - Нормы расхода топлива на устройство и уход за минерализованной полосой

Наименование работ	Марка трактора	Марка орудия	Срок выполнения работ, дней	Объем работ, км	Нормы расхода топлива прохода агрегата на площадях без пней, $\text{дм}^3/\text{км}$	Расход топлива, $\text{дм}^3/\text{км}$	Цена топлива, руб./ $\text{дм}^3$	Стоимость ГСМ, руб.
Построение и уход за минполосой	ЛХТ-55	ПКЛ-70	56	2100	3,1	6510,00	33,00	162750,00

Таблица 5.8 - Общие затраты на построение и уход 1 км минерализованной полосы

Наименование работ	Объем работ, км	Общие затраты по технологической себестоимости, руб.	Общехозяйственные и общепроизводственные расходы, руб.	Полная себестоимость, руб.	Итого затрат на 1 км, руб.
Построение и уход за минполосой	1750	383953,31	17071,00	401024,31	229.16

Результаты, представленные в таблице 4.5, свидетельствуют, что технологическая себестоимость обустройства минполосы составляет 76937,21 руб., а уход за ней составляет 383953,31 руб. за 1 год.

Расчет норм расхода топлива на обустройство минполосы и уход за ней составил 162750,00 руб. за 1 год.

Также при расчете экономической эффективности необходимо учесть общие затраты на построение и уход 1 км минерализованной полосы, который составил 229,16 руб. в год (таблица 4.7).

#### **5.4. Экономическая оценка эффективности построения огнезащитной полосы**

Несмотря на множество положительных особенностей противопожарного обустройства лесов, которые проявляются при использовании в качестве противопожарных барьеров минерализованных полос, у них есть ряд недостатков. Подготовленные плугами, такие полосы труднопроходимы для обычного транспорта, поэтому их надо создавать лишь в местах, не затрудняющих проезда, к тому же это делает лес неблагоустроенным и крайне неприглядным.

Поэтому, предлагается в качестве противопожарных барьеров строить огнезащитные полосы.

*Заградительная полоса* - это полоса, содержащая естественную или искусственную растительность, обладающую пониженной горючестью достигнутой путем ее обработки специальными огнезащитными средствами. Создается она в целях борьбы с природными пожарами - для ограничения распространения, создания искусственных "ловушек" для облегчения тушения лесных пожаров. Может применяться, в случае невозможности построения минерализованной полосы вокруг пожароопасных объектов.

Построение заградительной полосы также требует определенных затрат. К ним относятся закупка химических реагентов (хлорид магния), закупка

(аренда) штангового опрыскивателя (ОПШ-3000), трудозатраты в человеко-днях, оплата труда работников, стоимость ГСМ, техническое обслуживание и амортизационные отчисления для агрегата. В нашем случае в расчетах использовались затраты на эксплуатацию поливочной машины на базе ЗИЛ-130, чтобы осуществлять подвоз воды для приготовления раствора антипирена (таблица 5.9).

Таблица 5.9 - Расчет стоимости содержания и эксплуатации агрегата

Показатели	Ед. изм.	Трактор МТЗ-82	Опрыскиватель ОПШ-3000	Поливочная машина на базе ЗИЛ-130
Балансовая стоимость	руб.	325000,00	1023379,00	215000,00
Нормы:				
на амортизацию	%	9,1	5,2	14,0
на ТО и ремонт	%	9,9	5,0	9,2
Годовая загрузка	дни	150	45	155
Объем работ	дни	3	3	3
Отчисления				
на амортизацию	руб.	59575,00	53215,71	30100,00
на ТО и ремонт	руб.	32175,00	51168,95	19780,00
Стоимость				
на амортизацию	руб.	1191,50	3547,71	582,58
на ТО и ремонт	руб.	643,5	3411,26	382,84
ГСМ	руб.	12687,50	-	7389,20
Итого стоимость содержания агрегата	руб.	14522,50	6958,97	8354,62

Итоговая стоимость содержания установки для опрыскивания составила 29836,09 руб. в год.

Определение итоговой стоимости расходов топлива на обработку огнезащитной полосы отражены в таблице 5.9 и составили 20076,70 руб. в год [179].

Таблица 5.10 - Нормы расхода топлива на обработку заградительной полосы

Наименование работ	Марка трактора/Автомобиля	Марка орудия	Нормы расхода топлива, л/км	Цена ГСМ, руб./л	Объем работ, км	Итоговая стоимость ГСМ, руб.
Обработка огнезащитной полосы раствором антипирена	МТЗ-82	ОПШ-3000	2,9	25,00	175	12687,50
Подвоз воды	ЗИЛ-130	КО-713	1,16	36,40	175	7389,20

При экономическом обосновании необходимо учитывать баланс рабочего времени одного рабочего в год (таблица 5.10).

Таблица 5.11 - Баланс рабочего времени одного рабочего в год

№ п/п	Показатели	Абсолютные дни
1.	Календарное количество дней	365
2.	Количество нерабочих дней, простоев и неявок на работу всего	148
	В том числе:	
	Выходные и праздничные дни	114
	Очередные и дополнительные отпуска	28
	Выполнение государственных и общественных обязанностей, прочие неявки, разрешенные законом	0,5
	Неявки по болезням	3
	Неявки по разрешению администрации	1,5
	Целосменные простои	1
3.	Число эффективных рабочих дней в году на 1 рабочего	217
4.	Средняя продолжительность рабочего дня, час	8
5.	Полезный фонд рабочего времени, час	1736
6.	Дополнительный фонд оплаты труда, %	12,5

Результаты расчетов показали, что число рабочих дней в год на одного рабочего составило 217, а полезный фонд рабочего времени 1736 час.

Для расчета дневной тарифной ставки были произведены расчеты трудовых и денежных затрат на мероприятия, выполняемых механизированным способом (таблица 5.11). Результаты показали, что дневная тарифная ставка на построение огнезащитной полосы опрыскиванием напочвенного покрова раствором огнезащитного состава и подвоз воды для приготовления раствора на все виды работ составили 3316,52 руб.

Для расчета технологической себестоимости проведены расчеты фонда оплаты труда рабочих на лесохозяйственных и лесовосстановительных работах (таблица 5.12). Расходы оплаты труда рабочих на лесохозяйственных и лесовосстановительных работах на период построения минполосы составляют 25100,89 и 32012,71 руб. соответственно.

Таблица 5.12 - Расчет трудовых и денежных затрат на мероприятия, выполняемые механизированным способом

Наименование работ	Объем работ, км	Состав агрегата		Нормы выработки, км	Трудозатраты, чел./дней	Кол-во рабочих, чел.	Срок выполнения работ, дней	Дневная тарифная ставка, руб.
		трактор	машина					
Обработка огнезащитной полосы раствором антипирена	175	МТЗ-82	ОПШ-3000	25,5	6,9	2	3	1658,26
Подвоз воды	175	ЗИЛ-130	КО-713	20,0	8,8	3	3	1658,26

Таблица 5.13 - Расчет фонда оплаты труда рабочих на лесохозяйственных и лесовосстановительных работах

Наименование работ	Тарифный фонд оплаты труда, руб.	Доплаты, премии, надбавки ( $\approx 50\%$ ФОТ), руб.	Итого основной ФОТ, руб.	Дополнительный ФОТ (12,5%), руб.	Общий фонд оплаты труда, руб.	Начисления на з/п ЕСН, 30%	Технологическая себестоимость, руб.
Обработка минполосы раствором антипирена	11442,00	5721,00	17163,00	2145,38	19308,38	5792,51	25100,89
Подвоз воды	14592,69	7296,34	21889,03	2736,13	24625,16	7387,55	32012,71



Также было рассчитано необходимое количество рабочих (таблица 5.14) и составило 5 человек.

Таблица 5.14 - Определение количества рабочих на период выполнения работ

Наименование работ	Ед. изм.	Трудозатраты, чел./дней	Срок выполнения работ, дни	Необходимое кол-во рабочих, чел.
Обработка огнезащитной полосы раствором ОЗС	км	6,9	3	2
Подвоз воды	км	8,8	3	3

Для ОЗС хлорида магния рассчитали его расход, учитывая количество воды, необходимое для его приготовления (таблица 5.15). Итоговая стоимость составила 398.16 руб.

Таблица 5.15 - Расход сухого вещества и воды для приготовления раствора ОЗС

ОЗС	Кол-во, кг	Цена, руб./кг	Стоимость, руб.	Кол-во воды, м <sup>3</sup>	Цена, руб./м <sup>3</sup>	Стоимость, руб.	Итого, руб.
Сульфат алюминия	10	27,00	270,00	6	21,36	128,16	398,16

В конце был произведен расчет итоговых затрат при обработке раствором ОЗС для 1 км огнезащитной полосы (таблица 5.16).

Анализ данных, представленных в таблице 5.16 показывает, что затраты на построение огнезащитной полосы складываются из двух составляющих: обработка горючих материалов растительного происхождения раствором антипирена и подвоза воды, необходимой для приготовления раствора. Суммарно на построение огнезащитной полосы длиной 1 км составляет 498,59 рублей.

Таблица 5.16 - Общие затраты на обработку раствором гидрогеля алюминия 1 км огнезащитной полосы

Наименование объема работ	Объем работ, км	Общие затраты по технологической себестоимости, руб.	Общехозяйственные и щепроизводственные расходы, руб.	полная себестоимость, руб.	Итого затрат на 1 км, руб.
Обработка огнезащитной полосы раствором ОС	175	25100,89	21879,63	46980,52	268,46
Подвоз воды	175	32012,71	8354,62	40367,33	230,67
				Итого:	498,59

Сравнивая затраты на строительство 1 км минерализованной полосы (229,16 руб.) с затратами на строительство огнезащитной полосы (498,59 руб.) определено, что минерализованная полоса дешевле огнезащитной в 2,1 раза. Это свидетельствует против экономической выгоды построения огнезащитной полосы над минерализованной, как средства защиты от пожаров. Тем не менее дешевизна минерализованной полосы только кажущаяся, так как расчет затрат на минерализованную полосу производился на ее ширину 2,4 м, в то время как ширину огнезащитной полосы мы закладывали 12 м.

Минерализованная полоса шириной 2,4 м защищает от переброски пламени через нее в чуть более чем в 50% случаев, в то время как 12 м огнезащитной полосы обладают огнезащитными свойствами в 99% случаев.

### ***Выводы к Разделу 5***

1. Экономическая эффективность противопожарной защиты лесопожарной автоцистерны системой орошения составляет 3378195,60 руб., которая получена как разница между ее ценой и затратами на оборудование и его монтаж.

2. Установлено, что затраты на строительство 1 км заградительной полосы с применением гидрогеля алюминия составляет 498,59 руб., а минерализованной полосы - 229,16 руб., что в 2,1 раза больше.

3. Эффективность применения гидрогеля алюминия на один квадратный метр площади противопожарного барьера в 4,5 раза меньше по сравнению с минерализованной полосой.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ обстановки с лесными и ландшафтными пожарами является следствием неэффективности мероприятий по борьбе с ними, заключающимся в недостаточности или в неработоспособности применяемых мер. Полностью предотвратить возникновение лесных пожаров невозможно, в таком случае необходимо сосредоточиться на мероприятиях по препятствованию распространения лесных и ландшафтных пожаров и повышению эффективности лесного пожаротушения.

2. Созданы математические модели, которые позволяют вычислить скорости распространения лесных низовых пожаров, определить скорость его тушения время начала пожара. Все перечисленное приводит к тому, что скорости распространения лесных низовых пожаров больше справочных значений и свидетельствует о неэффективности защиты лесов от пожаров. Сопоставление полученных скоростей с данными о погоде (скорости ветра и КППО) показано, что скорость ветра оказывает большее влияние на скорость распространения пожара, чем комплексный показатель пожарной опасности. Это выражается в формировании I-V классов пожарной опасности по условиям погоды, а леса в исследуемой зоне имеют I-III классы, причем возникают лесные пожары уже при I классе пожарной опасности, а в течении 10-15 дней после схода снежного покрова достигается III класс по условиям погоды. Применяемые табельные приемы и средства борьбы с лесными пожарами в сочетании с природными условиями дают возможность тушить лесные низовые пожары в сосновых и в дубовых лесах со скоростями в 5-10 раз и 10-20 раз меньше справочных значений. Самым эффективным средством тушения пожара является вода, однако применение ее не всегда эффективно. Так на основании законов термодинамики определено, что при тушении пожара водой достаточно поглотить не более  $1/12$  части теплоты, выделяющейся при горении.

3. Для совершенствования мероприятий профилактики необходимы барьеры шириной 20-30 м, а для верховых пожаров – разрывы 50-70 м. Выполнить такие требования можно применяя заградительные полосы в сочетании с минерализованными полосами и противопожарными разрывами. Заградительные полосы необходимо строить обработкой территории огнезащитными составами. Тушение лесных низовых пожаров эффективнее всего осуществлять с применением воздуходувок, установок высокого давления, а также при применении огнетушащих средств – гидрогелей алюминия, расширяющих огнетушащие возможности воды. Для доставки воды к месту тушения пожара необходимо осуществлять мобильными комплексами пожаротушения на базе легковых транспортных средств.

4. Проведена апробация технических и технологических решений по профилактике и тушению лесных низовых и ландшафтных пожаров. Предложено обрабатывать лесные горючие материалы и травяной покров гидрогелями алюминия с расходом гидрогеля не менее 21 г/м<sup>2</sup> территории. Разработаны технологические условия для применения штанговых опрыскивателей для строительства заградительных полос. Для тушения лесных низовых пожаров предложен мобильный комплекс пожаротушения на базе легкового автопоезда. Для тушения кромки лесного низового пожара предложен парогенератор, который обеспечивает расход воды на тушение 0,23 дм<sup>3</sup>/м. Разработаны технологические режимы тушения ландшафтного пожара водным раствором гидрогеля алюминия (3,5 г/ дм<sup>3</sup>), подаваемый в зону горения лесным ранцевым огнетушителем, который обеспечивает расход 0,1-0,2 дм<sup>3</sup>/м при тушении кромки ландшафтного пожара.

5. Установлено, что геометрические размеры заградительных полос, строящихся в лесостепной и степной зонах, ограничиваются только запасом огнезащитного состава и временем, отведенным на строительство. Экономическая эффективность заградительной полосы с применением гидрогеля алюминия в 4,5 раза выше, чем строительство минерализованной полосы той же площади.

## РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРОИЗВОДСТВУ

1. Разработку планов подготовки сил и средств к тушению лесных пожаров, а также табелей привлечения сил и средств к тушению для лесостепных и степных зон проводить с учетом скоростей распространения лесных пожаров указанных в справочниках умноженных на 5 для лиственных лесов (преобладающая порода – дуб черешчатый) и умноженных на 10 для хвойных лесов (преобладающая порода – сосна обыкновенная). Для подготовки сил и средств тушения к пожароопасному сезону, необходимо ориентироваться на их эффективность, указанную в справочниках деленную на коэффициент 10-15.

2. Для гарантированной остановки лесных и ландшафтных пожаров необходимы барьеры шириной более 50-70 м, такие барьеры необходимо строить сочетанием постоянных противопожарных барьеров (разрывов, полос) с временными (заградительными полосами). Временные заградительные полосы необходимо строить как в случае повышенной пожарной опасности в лесах по условиям погоды (III-V классы) по периметру лесного массива, так и для остановки распространения фронта (кромки) лесного пожара в пределах леса/лесной культуры.

3. Для строительства заградительной полосы в качестве огнезащитного состава предлагается использовать гидрогель алюминия. Дозировка нанесения должна составлять 21 г/м<sup>2</sup> площади, покрытой травяным покровом с массой травостоя 0,9-1,1 кг/м<sup>2</sup>. При кратном увеличении массы травостоя, применять кратное увеличение концентрации раствора. Для защиты лесных массивов и населенных пунктов от ландшафтных пожаров рекомендуется применять штанговый опрыскиватель с шириной захвата 24-36 м, к примеру, ОПШ-24-3000. Технологическими условиями при его применении являются следующие: концентрация раствора сульфата алюминия (дающего при гидролизе гидрогель алюминия) в баке 317 г/дм<sup>3</sup>, расход раствора 0,07 дм<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>, скорость движения опрыскивателя 6 км/ч. Применение такого способа

обработки снизит затраты на технологическую операцию в 4,5 раза по сравнению со строительством минерализованной полосы.

4. Для повышения эффективности лесного пожаротушения рекомендуется применять для доставки сил и средств к месту тушения лесного пожара мобильными комплексами пожаротушения на базе легковых автопоездов, которые комплектуются установки пожарные высокого давления позволяющими снизить расход воды на тушение кромки низового пожара в 20-30 раз по сравнению с расходом лесопожарной автоцистерны. Для максимального снижения радиуса продольной проходимости динамического коридора и обеспечения угла въезда легкового автопоезда на базе автомобиля УАЗ-2206 с автомобильным прицепом с кузовом высотой 1 м длина дышла должна составить не более 700 мм.

5. При тушении лесного низового пожара необходимо оснащать лесных пожарных носимыми ручными и механизированными установками пожаротушения: ранцевыми лесными огнетушителями (0,2-0,5 дм<sup>3</sup>/м); лесопожарными воздуходувками (0,1-0,2 дм<sup>3</sup>/м) применяющими воду, а качестве огнетушащего средства. Производительность таких средств в 5-10 раз выше других типов ручных средств тушения пожара (лопат, грабель, хлопушек) а расход воды при этом в 20-50 раз меньше, чем при применении лесопожарных автоцистерн (20-23 дм<sup>3</sup>/м). Хорошо зарекомендовала себя установка по получению переохлажденного пара показавшая расход воды на тушение 0,1-0,2 дм<sup>3</sup>/м.

6. Для тушения лесного низового пожара рекомендуется применять гидрогель алюминия, водный раствор, которого с концентрацией 3,5 г/дм<sup>3</sup> (52 г/15 дм<sup>3</sup>) позволяет снизить расход воды с применения ранцевых лесных огнетушителей для тушения лесного низового пожара до уровня 0,1-0,2 дм<sup>3</sup>/м, что дает экономию воды в полевых условиях в 2-2,5 раза по сравнению с применением водопроводной воды.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

1) Совершенствовании методик оценки лесопожарной обстановки и разработки эффективных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности в лесах и лесных культурах лесостепной и степной зон Европейской части Российской Федерации, направленных на прогнозирование состояния лесных горючих материалов и их предрасположенности к горению;

2) Поиск управляющих факторов возникновения лесных пожаров путем сочетания типа леса, условий погоды и вида антропогенной нагрузки на лесной массив с переходом от мероприятий по защите леса общего характера к целенаправленным – только для территорий большого лесопожарного риска.

3) Совершенствование технологии применения огнезащитных и огнетушащих составов на основе гелеобразующих веществ/материалов на объектах природного ландшафта для обеспечения огнезадержания и пожаротушения



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдурагимов, И.М. Еще раз о государственной проблеме тушения крупных лесных пожаров (в России и во всем мире) // Пожаровзрывобезопасность, 2012. - №2. – С. 5-10
2. Абдурагимов, И.М. Несостоятельность идеи применения тонкораспыленной и термоактивированной (перегретой) воды для пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность, 2011. - №6. - С. 54-58
3. Абдурагимов, И.М. Новая стратегия и тактика тушения лесных пожаров // Пожаровзрывобезопасность, 2011. - №11. - С. 44-52
4. Абдурагимов, И.М. Новый эффективный способ тушения лесных пожаров // Пожаровзрывобезопасность, 2011. - №5. - С. 41-51
5. Абдурагимов, И.М. О механизмах огнетушащего действия средств пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность, 2012. - №2. – С. 59-64
6. Абдурагимов, И.М. О механизмах огнетушащего действия средств пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность, 2012. - №4. – С. 60-82.
7. Абдурагимов, И.М. Предельные явления в горении как научно-теоретическая основа пожаровзрывобезопасности // Пожаровзрывобезопасность, 2012. - №11. – С. 18-26
8. Абдурагимов, И.М. Проблема тушения лесных и торфяных пожаров (тепловая теория тушения пожаров твердых горючих материалов на открытых пространствах и внутри зданий и сооружений) // Пожаровзрывобезопасность, 2012. - №10. – С. 66-76
9. Азаров, В.И. Химия древесины и синтетических полимеров: Учебник для вузов. / А.В. Буров, А.В. Оболенская - СПб.: СПбЛТАб, 1999.- 628с.
10. Андреев, Ю.А. Результаты оценки лесопожарных рисков как основа планирования противопожарных мероприятий / А.Ю. Андреев, С.П. Амельчугов и др. // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2014.- №4.- С. 59-70
11. Андреев Ю.А., Оценка запаса лесных горючих материалов при государственной инвентаризации лесов / А.Ю. Андреев, П.В. Михайлов и др.// Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2015, №1, С. 39-46
12. АНТИСЕПТИКСПБ.РУ URL: <http://antiseptikspb.ru/catalogue/antipiren/ms-tkan.html/> (дата обращения 19.03.2022 г.).
13. Антонов С.Ю. Оценка дальности разлета горящих частиц при лесных пожарах на территории Ханты-Мансийского Автономного Округа – Югры (URL:[http://www.uchmao.ru/system/files/images/nauka/antonov\\_s.yu\\_.14.pdf](http://www.uchmao.ru/system/files/images/nauka/antonov_s.yu_.14.pdf))
14. Антонов, А.В. Получение огнезащищенных древесноволокнистых плит / Н.А. Петрушева, Ю.Д. Алашкевич // Лесной журнал, 2012.- №4.- С. 99-103
15. Амирханов, Х.И., Степанов Г.В., Алибеков Б.Г. Изохорная теплоемкость воды и водяного пара.- Махачкала: АН СССР, Дагестанский филиал, 1969.
16. Арефьев, С.П. Периодичность пожаров и естественное возобновление светлохвойных лесов и редколесий в Надымском районе Ямало-Ненецкого

автономного округа / М.Н. Казанцева // Сибирский лесной журнал, 2020.- №1.- С. 3-15

17. Арцыбашев, Е.С. Планирование, организация и техника борьбы с лесными пожарами // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2014.- №3.- С. 56-62

18. Арцыбашев, Е.С. Применение экрана из огнестойкой бумаги для остановки и локализации лесных низовых пожаров // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2015.- №1.- С. 47-55

19. Асриянц, А.А. Исследование влияния параметров автопоезда на траекторию криволинейного движения / И.Н. Шестаков, Е.И. Яковлев // Сб. научн. тр./МАДИ. - М., 1981, с. 64-68.

20. Ахметов, А.Е. Общая и неорганическая химия М.: Изд-во «Лань» 2018.- 744 с.

21. Бакач, В.А. Эффективность грунтомета при локализации и тушении лесных пожаров [Текст] /В.А. Бакач, Д.А. Беляев // Научно-образовательный потенциал молодежи в решении актуальных проблем XXI века. - 2019.- № 13.- С. 227-233.

22. Батов, Д.В. Комбинированные огнетушащие вещества на основе микроэмульсий вода-ПАВ-галогенуглеводород / В.Н. Карцев, С.Н. Штыков, К.Е. Панкин // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Техносферная и природная безопасность».- 2013. С.20-23

23. Беляева, Е.А. Оптимизация группировки сил и средств тушения лесных пожаров / О.А. Ивченко, А.В. Тютин, К.Е. Панкин // Материалы V международной научно-практической конференции «Техногенная и природная безопасность».- 2019. С. 28-33.

24. Белоусова, Е.П., Латышева И.В., Латышев С.В., Лощенко К.А., Щерблякин А.С. Природные факторы возникновения лесных пожаров на территории Иркутской области // Биосфера, 2016.- №4.- С. 390-400

25. Березовский, А.И., Вероятностно-множественное моделирование распространения лесных пожаров по территории с жилыми массивами / Т.Н. Иванилова, Н.А. Терентьева // Хвойные бореальной зоны, 2012.- №3-4.- С. 333-337.

26. Берестенькова, М.В. Интеллектуальная система прогнозирования лесных пожаров // Хвойные бореальной зоны, 2012.- №5-6.-С. 64-67

27. Берестенькова, М.В., Моделирование взаимодействия природных пожаров и объектов защиты / Г.А. Доррер, В.С. Коморовский // Хвойные бореальной зоны, 2012.- №5-6.- С. 103-106

28. БишофитURL:<http://vhim.net.ru/bishofit.htm>(датаобращения15.05.2019г.)

29. Бобков, С.А. Физико-химические основы развития и тушения пожаров [Текст] / С.А. Бобков, А.В. Бабурин, П.В. Комраков. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2014.- 210 с.

30. Богданова, В.В. Быстротвердеющие полимерные пены для ограничения распространения и тушения пожаров / М.М. Тихового, А.М. Мамедов //

Вестник Командно-инженерного училища МЧС Республики Беларусь, 2016, Т.24, №2, С.4-9.

31. Болтнева, Л.И. Региональные особенности лесных пожаров в России и возможные экологические последствия / В.И. Быстрова // Использование и охрана природных ресурсов.- 2012.- №3.- С. 25-30.
32. Бондаренко, Ю.В., Афонин В.В., Афолина Ю.Н. Эколого-гидрологическая оценка регулирования местного стока в Саратовской области; Издательский центр “Наука”- Саратов, 2007. -160 с.
33. Борисова, Т.А. Риски лесных пожаров в Байкальском регионе на примере Республики Бурятия // Использование и охрана природных ресурсов, 2016.- №3.- С. 42-47.
34. Буряк, Л.В. Влияние пожаров на возобновление хвойных насаждений заповедника Центральносибирский / Д.С. Зарубин, Е.А. Кукавская и др. // Хвойные бореальной зоны.- 2015.- №3-4.- С. 122-127.
35. Буслов, И.А., Доррер Г.А., Шаталов П.С. Проектирование ПО для моделирования природных пожаров с использованием гибридных моделей // Хвойные бореальной зоны, 2016.- №3-4.- С. 138-140.
36. Буслов, И.А., Доррер Г.А., Яровой С.В., Гордеев А.Е. Алгоритм преобразования горячих точек, обнаруженных БПЛА природного пожара в полигон // Хвойные бореальной зоны, 2018.- №1.- С. 52-56.
37. Валендик, Э.Н. Крупные лесные пожары / Э.Н. Валендик, П.М. Матвеев, М.А. Софонов.- М.:Наука. 1979.- 198 с.
38. Валендик, Э.Н., Киселяхов Е.К., Пономарев Е.И., Косов И.В., Лобанов А.И., Дугаржав Ч. Природа степных пожаров в Сибири и Монголии // Сибирский лесной журнал, 2018.- №4.- С. 3-12.
39. Валендик, Э.Н., Киселяхов Е.К., Рыжкова В.А., Пономарев Е.И., Голдаммер Й.Г. Лесные пожары в средней Сибири при аномальных погодных условиях // Сибирский лесной журнал, 2014.- №3,- С. 43-52
40. Варгафтик, Н.Б. справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Наука, 1972.- 720 с.20.
41. Варес, В. Справочник потребителя биотоплива [Текст] / В. Варес, Ю. Касък, П. Муйсте, Т. Пиху, С. Соосаар // под ред. В. Вареса. – Таллинн: Таллиннский технический университет, 2005.- 183 с.
42. Верзилин, М.М., Повзик Я.С. Пожарная тактика М.: ЗАО «Спецтехника НПО», 2007.- 441 с.
43. Волков, Г.А., Баканов С.С., Козаченко М.А. Параметры роста и развития живого напочвенного покрова, подроста и подлеска в лесах Базарно-Карабулакского лесничества Саратовской области // Научная жизнь, 2018.- №5.- С. 107-115.
44. Волокитина, А.В., Софронов М.А., Софронова Т.М. Обучающая программа для прогноза поведения низовых лесных пожаров // Лесной журнал, 2006.- №5.- С. 130-135.
45. Волокитина, А.В., Софронова Т.М., Корец М.А. Региональные шкалы оценки пожарной опасности в лесу: усовершенствованная методика составления // Сибирский лесной журнал, 2017.- №2.- С. 52-61.

46. Волокитина, А.В. Оптимизация затрат при тушении лесных пожаров / Т.М. Софронова // Лесохозяйственная информация, 2018.- №2.- С. 54-64.
47. Волокитина, А.В., Прогнозирование поведения пожаров растительности / Т.М. Софронова, М.А. Корец // Лесной журнал, 2020. - №1.- С.9-25.
48. Волчатова, И.В. Пожары растительности как фактор снижения объема экосистемных услуг лесов особо охраняемых природных территорий // Лесной журнал, 2019.- №6,- С. 79-91.
49. Вопросы лесной пирологии: сборник статей [Текст].- Красноярск: 1970.- 558 с.
50. Вомперский, С.Э., Глухова Т.В., Смагина М.В., Ковалев А.Г. Условия и последствия пожаров в сосняках на осушенных болотах // Лесоведение, 2007.- №6.- С. 35-44
51. Гааг С.В. Моделирование перемещения грунтомета при тушении лесных пожаров // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии имени С.М. Кирова, 2018.- №223.- С. 201–212
52. Гарифзянова, Г.Г. Производство синтез-газа и продуктов на его основе [Текст]: учебное пособие / Г.Г. Гарифзянова; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Казанский гос. технологический ун-т". - Казань : КГТУ, 2007. – 79 с.
53. Гаррис, Т.М. Лесные пожары до появления человека // *Lethaea rossica*. 2019.- Т. 19. С. 17–21
54. Герасимов, А.О., Чугунова М.В. Воздействие противогололедных средств на основе хлоридов магния на высшие растения и почвенные микроорганизмы // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии имени С.М. Кирова, 2016.- №217.- С. 16-31
55. Главацкий, Г.Д., Груманс В.М. Информационная модель и задачи оптимизации процесса борьбы с лесными пожарами // Лесной журнал, 2002.- №1.- С. 31-37
56. Главацкий, Г.Д., Груманс В.М. Особенности организации обнаружения лесных пожаров в многолесных районах // Лесной вестник, 2001.- №5.- С. 1-23.
57. Главацкий, Г.Д., Груманс В.М. Особенности организации тушения крупных лесных пожаров в многолесных районах Сибири // Лесной вестник, 2001.- №1.- С. 45-55
58. Гришин, А.М. О влиянии негативных экологических последствий лесных пожаров / А.М. Гришин // Экологические системы и приборы - 2003. - №4. С.40-43.
59. Главацкий, Г.Д., Груманс В.М. Особенности тактики тушения лесных пожаров в многолесных районах Сибири // Лесной вестник, 2001.- №5.- С. 23-37
60. Главацкий, Г.Д., Груманс В.М. Проблема оптимизации и экономической эффективности лесопожарных мероприятий при тушении крупных лесных пожаров // Лесной вестник, 2001.- №1.- С. 33-45
61. Главацкий, Г.Д., Орловский С.Н. Исследование параметров лесопожарных агрегатов // Лесной вестник, 2002.- №2.- С. 54-65

62. Главацкий, Г.Д. Применение воздуходувок ВЛП-2,5 на тушении лесных пожаров Текст. /Г. Д. Главацкий, Э.Г Филимонов, В.Ф. Плывч // Лесное хозяйство, 1996, №3- С. 38-40.
63. Голдаммер, Й.Г., Ерицов А.М., Кисилыхов Е.К. Необходимость разработки практических и научно-обоснованных решений для лесного хозяйства и пожароуправления в Российской Федерации // Сибирский лесной журнал, 2017.- №5.- С. 114-124
64. Гордон, А., Форд Р. Спутник химика. Физико-химические свойства, методики, библиография / пер. С англ. Е.Л. Розенберга и С.И. Коппель.- М.:Мир, 1976.-543с.
65. Гордон, Л.В., Скворцов С.О., Лисов В.И. Технология и оборудование лесохимических производств.- М.: Лесная промышленность.- 1988.- 360с.
66. ГОСТ 31251-2008 Конструкции строительные. Методы определения пожарной опасности. Стены наружные с внешней стороны.- М.: Государственный стандарт Российской Федерации, 2008. – 28 с.
67. ГОСТ Р 22.1.09-99 Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. - М.: Государственный стандарт Российской Федерации, 2000.- 8 с.
68. ГОСТ 34350-2017 Техника пожарная. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний / ГОСТ от 25 сентября 2018 г.
69. ГОСТ Р 51049-2008 Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытаний / ГОСТ Р от 15 декабря 2008 г.
70. ГОСТ Р 57972-2017 Объекты противопожарного обустройства лесов/ - М.: Государственный стандарт Российской Федерации, 2017. – 12 с.
71. ГОСТ Р 53280.4-2009. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования и методы испытаний — Введ. 2009-01-01 / М.: Изд-во стандартов, 2008.— 27 с.
72. Грабовский, В.И. Модели оценки запасов валежа по данным учетов на трансектах / Д.Г. Замолотчиков // Лесоведение, 2012. - №2.- С. 66-73.
73. Громазин, О.А. Оптимальное размещение видеосенсоров для повышения эффективности автоматизированного обнаружения лесных пожаров на ранней стадии / В.В. Пархачёв, А.В. Филимонов и др. // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2014.- №3.- С. 62-72.
74. Громцев, А.Н. Пожарная уязвимость лесов в различных типах географических ландшафтов на Северо-Западе Европейской части таежной зоны России / В.А. Карпин // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства.- 2017.- №2 - С. 21-29.
75. Гусев, В.Г. Исследования Санкт-Петербургского Научно-исследовательского института лесного хозяйства в области охраны лесов от пожаров / Е.С. Арцыбашев // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства.- 2014.- №2.- С. 56-73.

76. Гусев, В.Г. Метод оценки минимального расстояния от опорной полосы до кромки пожара при пуске отжига / В.К. Дубовый, Е.Л. Лопухова и др. // Лесной журнал.- 2012.- №5.- С. 38-45.
77. Гусев, В.Г. Результаты экспериментальных исследований параметров противопожарных заградительных полос при свободном сливе огнетушащей жидкости с вертолёта / А.М. Ерицов, Г.Н. Куприн и др. // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2016.- №2.- С. 60-74.
78. Гусев, В.Г. Результаты исследовательских испытаний и апробации новой технологии борьбы с низовыми пожарами / А.М. Ерицов, В.Н. Степанов и др.// Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2015.- №2.- С. 71-83.
79. Гусев, В.Г. Типовые технологии тушения низовых лесных пожаров в зоне наземной охраны лесов / В.А. Ирищян // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии имени С.М. Кирова, 2011. -№ 195.- С. 59-66
80. Дьяков, И.Ф., Зейнетдинов Р.А. Проектирование автотракторных двигателей. Учебное пособие Ульяновск: УлГТУ, 2004.- 168 с.
81. Гусев, В.Г. Сравнительные испытания огнетушащей способности и защитного действия антипирена ОС - 5 и огнестойкой быстротвердеющей пены / Г.Н. Куприн, Д.С. Куприн // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2017.- №4.- С. 56-63.
82. Гуцев, Н.Д. Разработка универсального огнетушащего состава со смачивающими, пенообразующими и антипиренными свойствами / В.Ю. Гаравин, Н.В. Михайлова, Ю.В. Гаравина // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2015.- №4.- С. 64-78
83. Гуцев, Н.Д. Исследование зависимости времени смачивания лесных горючих материалов от величины поверхностного натяжения растворов смачивателей и пенообразователей / Н.В. Михайлова, Н.А. Грабежева // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2015.- №3.- С. 31-43.
84. Гуцев, Н.Д. Результаты разработки нового универсального огнетушащего состава со смачивающими, пенообразующими и антипиренными свойствами / Н.В. Михайлова, Н.А. Грабежева // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2017.- №1- С. 62-77.
85. Гуцев, Н.Д. Анализ результатов опроса о применении огнетушащих составов для тушения лесных пожаров в Российской Федерации / Н.В. Михайлова, И.Ю. Корчунова // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2014.- №4.- С. 71-80.
86. Гуцев, Н.Д. Результаты сравнительных испытаний новых огнетушащих составов на модельных лесных пожарах / Н.В. Михайлова, И.Ю. Корчунова // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2013.- №4.- С. 40-52.
87. Гуцев, Н.Д. Результаты лабораторных исследований свойств быстротвердеющей пены с целью оценки возможности использования её для

- создания противопожарных пенных полос / Михайлова Н.В., Куприн Г.Н., и др. // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2016.- №1.- С. 14-27.
88. Гуцев, Н.Д. Разработка методик лабораторных исследований огнетушащих растворов / Н.В. Михайлова // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства.- 2015.- №2.- С. 55-70.
89. Денисов, С.А. Книга о крупных лесных пожарах в лесном среднем Заволжье // Вестник ПГТУ Серия “Лес. Экология. Природопользование”.- 2013.- №1.- С. 98-100.
90. Денисов, С.А. Влияние температурных условий низового пожара на всхожесть семян сосны обыкновенной / З.Н. Шакирова // Вестник ПГТУ Серия “Лес. Экология. Природопользование”, 2017.- №4.- С. 35-47.
91. Дорохов, К.В. Изменение видового состава и популяционной структуры почвенной мезофауны в результате низовых пожаров и рубок леса / В.П. Шелуха // Вестник ПГТУ Серия “Лес. Экология. Природопользование”, 2014.- №4.- С. 31-47.
92. Доррер, Г.А., Методика оценки и прогнозирования параметров крупных лесных пожаров на основе спутниковой информации / В.С. Коморовский, С.П. Якимов // Хвойные бореальной зоны, 2011.- №12.- С. 18-26.
93. Евдокименко, М.Д. Особенности противопожарного обустройства в лесах Прибайкалья / В.В. Иванов // Сибирский лесной журнал, 2017.- №5.- С. 63-75.
94. Ерицов, А.М. Совершенствование технологий создания заградительных и опорных полос при тушении лесных пожаров в зонах лесоавиационных работ / В.Г. Гусев // Вестник ПГТУ Серия “Лес. Экология. Природопользование”, 2016.- №1,- С. 42-56.
95. Ермолина, Т.В. Исследование способа пропитки древесины вспененными растворами огнебиозащитных препаратов / А.В. Ермолина // Хвойные бореальной зоны.- 2016.- №5-6.- С. 310-314.
96. Ермолин, В.Н. Повышение огнестойкости теплоизоляционных древесных плит / А.В. Ермолина // Хвойные бореальной зоны, 2015.- №1-2.- С. 82-86.
97. Конструкция и эксплуатационные свойства автомобилей: учебное пособие / А.М. Жигалов, О.Л. Коваленко. – Архангельск: Изд-во Северного (Арктического) Федерального университета имени М.В. Ломоносова, 2016.- 39с.
98. Зажигаев, Л.С. Методика планирования и обработка физического эксперимента – М.: Атомиздат, 1978. – 170 с.
99. Зайдельман, Ф.Р. Причины, последствия и защита от пожаров осушаемых торфяных почв // Использование и охрана природных ресурсов, 2010.- №5.- С. 28-32.
100. Закин, Я.Х. Прикладная теория движения автопоезда. М.: Транспорт, 1967, - 255 с. ил.

101. Залесов, С.В. Лесная пирология: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и допол. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2013. – 333 с.
102. Залесов, С.В. Запасы напочвенных горючих материалов в искусственных сосняках Алтайского края / А.Е. Осипенко, Д.А. Шубин // Вестник БГСХА им В.Р. Филиппова.- 2016.- №2.- С. 73-79.
103. Замолодчиков, Д.Г. Инвентаризация бюджета углерода в лесном хозяйстве России / В.И. Грабовский, П.П. Шуляк // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2013.- №3.- С. 22-32.
104. Замолодчиков, Д.Г., Влияние пожаров и заготовок древесины на углеродный баланс лесов России / В.И. Грабовский, П.П. Шуляк, и др. // Лесоведение.- 2013.- №5.- С. 36-49.
105. Запорожец, А.И. Взаимодействие сил и средств, участвующих в ликвидации лесных пожаров // Лесной вестник, 2008.- №1. - С. 199-202.
106. Запорожец, А.И. Методические рекомендации по обоснованию системы взаимодействия при тушении лесных пожаров // Лесной вестник, 2008.- №1.- С. 203-205.
107. Захматов, В.Д. Современные перспективные методы тушения лесных пожаров [Текст] / В.Д. Захматов, М.В. Синельников // Вопросы оборонной техники. Серия 16. Технические средства противодействия терроризму.- 2013.- №5-6.- С.101-109.
108. Захматов, В.Д. Распыление мелкодисперсного огнетушащего порошка и воды выстрелом из стволов или залпом из многоствольных модулей // Пожаровзрывобезопасность, 2015. - №7. – С. 61-70
109. Захматов, В.Д. Сравнительный анализ возможностей применения различных огнетушителей для тушения лесных пожаров // Пожаровзрывобезопасность, 2012. - №10. – С. 85-88
110. Зинковский, В.Н., Зинковская Т.С. Учет атмосферных осадков при агролемеомелиоративных расчетах // Международный научно-исследовательский журнал, 2018, Т.71, №5, С.130-135
111. Зисман, Л.М., Методика аналитического определения взаимного положения прицепного звена и тягача на поворотах / Л.Л. Гинцбург // Автомобильная промышленность, 1973, № 10, с. 15-16.
112. Иванов, В.В. Роль рубок и пожаров в динамике лесов бассейна озера Байкал / М.Д. Евдокименко // Лесоведение, 2017.- №4. - С. 256-269
113. Иванов, В.П., Противопожарная профилактика лесных объектов / С.И. Марченко, Д.И. Нартов // Лесной журнал, 2019. - №3, - С. 43-54
114. Ивченко, О.А. Влияние погодных условий на возникновение и развитие лесных пожаров в Саратовской области / Тютин А.В., Козаченко М.А., Панкин К.Е. // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции «Техногенная и природная безопасность».- 2021. С. 295-301.
115. Ивченко, О.А. Испытание огнезащитного действия соединений алюминия и бора для борьбы с низовыми пожарами / К.Е. Панкин // Лесотехнический журнал.- 2020.- Т.10.- № 2.- С. 47–59.



116. Ивченко, О.А. Испытание огнетушащей способности гидрогеля алюминия при тушении модельных природных низовых пожаров / К.Е. Панкин // Лесотехнический журнал.- 2020.- №1.- С.38-49.
117. Ивченко, О.А. Испытания огнетушащей способности алюмогеля / Панкин К.Е. // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Техногенная и природная безопасность».- 2017. С. 21-25.
118. Ивченко, О.А. Исследования достоверности методики оценки огнетушащей способности веществ и материалов / К.Е. Панкин // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Техногенная и природная безопасность».- 2017.- С. 26-29.
119. Ивченко, О.А. Комплектация малого пожарного комплекса противопожарным оборудованием для эффективной борьбы с лесными и степными пожарами / Панкин К.Е., Шаров С.С., Курин В.И. // Материалы II Международной научно-практической конференции «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях».- 2015. С.50-53.
120. Ивченко, О.А. Концепция применения мобильного пожарного комплекса для борьбы с лесными и степными пожарами / К.Е. Панкин, С.С. Шаров, В.И. Курин // Материалы II Международной научно-практической конференции «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях».-2015. С.58-61.
121. Ивченко, О.А. Особенности конструкции малого пожарного комплекса для тушения лесных и степных пожаров / К.Е. Панкин, С.С. Шаров, В.И. Курин // Материалы II Международной научно-практической конференции «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях».- 2015. С.44-47
122. Ивченко, О.А. Реализация динамических возможностей распространения лесных низовых пожаров в лиственных и хвойных лесах на примере Саратовской области / А.В. Тютин, М.А. Козаченко, Д.В. Меньшенина, К.Е. Панкин // Вестник Бурятской ГСХА.- 2022, в печати
123. Ивченко, О.А. Тактика применения мобильного пожарного комплекса для борьбы с лесными и степными пожарами / К.Е. Панкин, С.С. Шаров, В.И. Курин // Материалы II Международной научно-практической конференции «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях».- 2015. С.54-57.
124. Ивченко, О.А. Сравнительный анализ огнетушащей эффективности алюмогеля при исследовании в лабораторных и полевых условиях / К.Е. Панкин // Материалы I Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы пожарной безопасности: теория и практика (FIRESAFETY-2019)».- 2019. С. 108-114.
125. Ивченко, О.А. Тушение лесных горючих материалов гидрогелями на основе гидроксида алюминия / К.Е. Панкин // Лесотехнический журнал.- 2019.- №1.- С.76-82.
126. Ивченко, О.А. Экспериментальные исследования огнезащитных свойств гидрогеля алюминия при обработке им травяного покрова / К.Е. Панкин // Материалы I Всероссийской научно-практической конференции

«Современные проблемы пожарной безопасности: теория и практика (FIRESAFETY-2019)».- 2019. С. 134-139.

127. Ивченко, О.А. Экспериментальные исследования тушения кромки степного пожара гидрогелем алюминия / К.Е. Панкин // Материалы I Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы пожарной безопасности: теория и практика (FIRESAFETY-2019)».- 2019. С. 28-32.

128. Ивченко, О.А. Экспериментальные исследования эффективности огнезащитного действия некоторых неорганических веществ на воспламенение древесины и волокнистых материалов / Т.А. Савченко, К.Е. Панкин // Материалы V международной научно-практической конференции «Техногенная и природная безопасность».- 2019. С. 80-85.

129. ИЗОЛПРО.РУ URL:<http://isolpro.ru/izolyatsiya/materialy/ognezashhita/antipireny/> (дата обращения 17.02.2022 г.);

130. Исаев, А.С. Леса России как резервуар органического углерода биосферы / Уткин А.И., Замолотчиков Д.Г. и др. // Лесоведение, 2001.- №5.- С. 8–23.

131. Источник неизвестен

132. Казаков, М.В. Применение поверхностно-активных веществ для тушения пожаров. М., 1977. 80 с.

133. Калинин, К.К. Естественное лесовозобновление и формирование молодняков в еловых и березовых насаждениях на крупных гарях среднего Заволжья // Вестник ПГТУ Серия “Лес. Экология. Природопользование”, 2010.- №1.- С. 5-15

134. Каплан, И.Г. Межмолекулярные взаимодействия. Физическая интерпретация, компьютерные расчеты и модельные потенциалы. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 394 с.

135. Карпенко, Л.В. Реконструкция пожаров в девственных лесах на междуречье Сым-Дубчес в Голоцене / А.С. Прокушкин // Сибирский лесной журнал, 2019.- №5.- С. 61-69

136. Карпова, О.В. Мониторинг лесных пожаров // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Техногенная и природная безопасность»: Саратов: Издательство «КУБ и К», 2013, с. 81-83.

137. Карцев, В.Н. Метод измерения объёмных свойств жидкостей при атмосферном давлении // Журн. физ. химии. – 2003. - №1. – С.142-153.

138. Карцев, В.Н., Принципы конструирования установок для измерения изотермической сжимаемости жидкостей. Измеритель объёмных свойств жидкости / В.В. Цепулин, В.А. Забелин // Вопросы прикладной физики. – Саратов: СГУ, 1997. – вып.3. – С.23-29.

139. Касымов, Д.П. Экспериментальная установка по генерации горящих частиц для исследования распространения природного пожара / Д.П. Касымов, В.В. Перминов, В.В. Рейно и др.//Известия ВУЗов. Физика.- 2017.- Т. 60, № 12/2.- С. 107-112.

140. Клобуков, Г.И. Влияние низовых пожаров на реализацию вспышки массового размножения непарного шелкопряда / В.И. Пономарев, Е.М.

- Андреева // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии имени С.М. Кирова, 2010.- №192.- С. 127-133.
141. Клячко, Л.С. Пневматический транспорт сыпучих материалов / Л.С. Клячко, Э.Х. Одельский и др.- Минск: Наука и техника, 1983, 216 с.
142. Ковалев, А.П. Критерии приоритетности тушения лесных пожаров при массовом их возникновении / М.А. Шешуков, В.В. Позднякова // Лесохозяйственная информация, 2015.- №3.- С. 47-54.
143. Кодолов, В.И. Замедлители горения полимерных материалов [текст] / В.И.Кодолов. - М.: Химия, 1980. - 274 с.
144. Козаченко, М.А. Процессы пожарного созревания лесных горючих материалов в лесах Саратовского лесничества саратовской области / О.Г. Удалова, К.Е. Панкин и др. // Успехи современного естествознания.- 2021.- № 9.- С. 5-12.
145. Комаров, В.Л. Происхождение растений М.: Изд-во Академии наук СССР, 1961.- 173 с.
146. Комиссаров, Г.Г. Фотосинтез: физико-химический подход М.: Едиториал УРСС, 2006, 224 с.
147. Копылов, Н.П. Борьба с природными пожарами с применением авиации и перспективные способы прокладки заградительных полос / А.Е. Кузнецов, Д.В. Федоткин, и др. // Хвойные бореальной зоны, 2016.- №5-6. -С. 251-253.
148. Копылов, Н.П. Влияние вязкости огнетушащего раствора на эффективность тушения лесных пожаров с помощью авиации / Н.П. Копылов, Е.А. Москвиллин, Д.В. Федоткин и др. // Лесотехнический журнал.- 2016.- №4.- С.62-67.
149. Копылов, С.Н., Гептафторйодпропан как замена хладона 114в2 в пожаротушении и взрывопреупреждении / С.Л. Кольцов, С.М. Игумнов // Пожарная безопасность. 2005.- № 2.- С. 51 – 55.
150. Коровин, Г. Н. Влияние климатических изменений на лесные пожары в России / Г. Н. Коровин, Н. В. Зукерт // Климатические изменения: взгляд из России / под ред. В. И. Данилова-Данильяна. – М. : ТЕИС, 2003. – С. 69–98.
151. Королева, Т.С. Обзор мирового опыта консервации углерода в существующих лесных резервуарах / Е.А. Шунькина // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2014.- №4.- С. 22-39
152. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справ. Изд.: в 2 книгах; кн. 2/ А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук и др. - М.: Химия. 1990. 384 с.
153. Котельников, Р.В. Задачи принятия решений в области охраны лесов от пожаров. основные приоритеты развития информационного обеспечения / Н.А. Коршунов, Н.М. Гиряев // Сибирский лесной журнал, 2017.-№5.-С.18-24.
154. Кректунов, А.А., Залесов С.В. Охрана населенных пунктов от природных пожаров. – Екатеринбург: Урал. ин-т ГПС МЧС России, 2017. – 162 с.
155. Кректунов, А.А. Перспективность использования быстротвердеющей пены для защиты населенных пунктов от природных пожаров / С.В. Залесов,

- А.Ф. Хабибуллин // Успехи современного естествознания, 2018.- №5.- С. 40-44
156. Кузьмина, Р.И. Высокотемпературная переработка пищевых отходов / С.Н. Штыков, К.Е. Панкин и др. // Пищевая промышленность.- 2010.- № 7.- С. 20-21.
157. Кузьмина, Р.И. Пирогенетическая переработка некоторых древесных отходов и отходов лущения семян / С.Н. Штыков, К.Е. Панкин и др.// Химия растительного сырья.- 2010.- № 3.- С. 61-65.
158. Кузнецова, Л.Д. Экологические катастрофы и математические методы их исследования / М.В. Попова, М.И. Кузнецова и др. // Лесной вестник, 2002.- №1.- С. 96-102.
159. Кузнецов, Ю.А. Уравнения высоты и длины пламени фронта пожара на безлесных площадях Забайкалья // Лесной журнал, 1993.- №4,- С.93-95
160. Курбатский, Н.П. Возникновение лесных пожаров М.: Наука, 1964, 60 с.
161. Кухлинг, Х. Справочник по физике. Издание второе, дополненное.- М.: Мир, 1985.- 520 с. ил.
162. Кухта, В.Б. Метод моделирования распространения низового пожара в лесных насаждениях с использованием агентного подхода // Лесной вестник, 2014.- №5.- С. 92-97
163. Леонова, Д.И. Сравнительный анализ токсичности основных групп антипиренов (обзор литературы) // Журнал Актуальные проблемы транспортной медицины, 2008, Т.13, №3 с.337-354;
164. Леонович, А.А., Сравнительный анализ эффективности огнезащитных средств на примере древесных материалов / А.В. Шелоумов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии имени С.М. Кирова, 2016.- №204.- С. 161-171.
165. Лес и поле / под ред. М.А. Дудорева Саратов: Приволж. кн. Изд-во, 1990.-248 с.
166. Литвинов, А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля. -М.: Машиностроение, 1971. 416, с. ил.
167. Лобанов, Ф.И. Применение полимерных материалов для повышения эффективности пожаротушения / Ф.И. Лобанов // Пожаровзрывобезопасность.- 2004.- №1.- С.64-69.
168. Ляшков, В.И. Теоретические основы теплотехники. Учебное пособие. М.: Издательство машиностроение-1, 2005.- 260с.
169. Максимов, Е.И., Федорченко И.С. Обоснование выбора конструкции торцевой фрезы лесопожарного полосопрокладывателя // Хвойные бореальной зоны, 2018.- №2.- С. 177-179
170. Маковельский, А.О. Древнегреческие атомисты Баку: Изд-во АН Азербайджанской ССР, 1946.- 401 с.
171. Малиновский, Е.Д., Гайцгори М.М. Динамика самоходных машин с шарнирной рамой. М.: Машиностроение, 1974. - 175 с.
172. Матвеев, П.М., Матвеев А.М. Лесная пирология, Красноярск: изд-во СибГТУ, 2002, 287 с.

173. Матвеева, Т.А., Роль рельефа в формировании запасов лесных горючих материалов / А.Г. Цыкалов // Хвойные бореальной зоны, 2010.- №3-4.- С. 327-329.
174. Маштаков Д.А., Автономов А.Н., Проездов П.Н. Концепция создания противоэрозионных защитных лесных насаждений в лесостепи Приволжской возвышенности // Успехи современного естествознания.- 2018. № 6.- С. 37-42.
175. Мелехов, И.С. Лесные пожары и борьба с ними изд. 3-е доп. Архангельск: Северное краевое издательство, 1935, 80 с.
176. Мелехов, И.С. О теоретических основах лесной пирологии.- Архангельск: Изд-во Архангельского Лесотехнического института, 1944, 20 с.
177. Министерство природных ресурсов и экологии Саратовской области URL: <https://www.minforest.saratov.gov.ru/>
178. Молокова, С.В. Использование переохлажденного водяного пара для повышения эффективности капельного увлажнения // Вестник ИрГТУ.-2006. - № 1 (25).-С. 245-246.
179. Молокова, С.В. Некоторые особенности измерений интенсивности процессов увлажнения в струе переохлажденного водяного пара / С.В. Молокова// Вестник ИрГТУ.-2006.- № 4 (28).-С. 25-26.
180. Молокова, С.В. Экспериментальное исследование нового метода создания опорных полос с использованием струи переохлажденного водяного пара / С.В. Молокова, А.М. Гришин, и др. // Экологические системы и приборы / Научтехиздат.- М., 2008. -№ 5.- С. 11-14.
181. Надежкина, Г.П., Лафетные стволы, применяемые для тушения пожаров / Панкин К.Е., Тютин А.В., и др. // Материалы I Национальной научно-практической конференции «Аграрная наука и образование: проблемы и перспективы», 2021. С. 243-249.
182. Назаров, М.И. Потери воды на испарение в воздухе и снос ветром при дождевании // Вопросы водного хозяйства. – Фрунзе: Кыргызстан, 1973. – Вып. 31. - С. 34-42.
183. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Официальный сайт – URL: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/selskoe-hozyaistvo/lesnoe-khozyaystvo/godovye-dannye/lesnye-pozhary-i-ploshchad-proyddennaya-lesnymi-pozharami/> (Дата обращения 31.01.2021)
184. Невзоров, В.В. Качественная оценка равномерности распределения искусственного дождя / Труды Туркменского СХИ. – 1978. – Т. 21. - Вып. 2.- С. 31-39.
185. Некрасов, Б.В. Основы общей химии. В 2 т. М.: Изд. «Химия», 1973.- 656 с
186. Справочник химика Т.1: Общие сведения, строение вещества, свойства важнейших веществ, лабораторная техника .- Л.-М.:Химия, 1966.-1080с.
187. Никольский, Б.П. Справочник химика: в 7 т. Т. 3 / Б.П. Никольский - Л.: Химия, 1966. - 1143 с.
188. URL: <https://www.derev-grad.ru/ohrana-lesov-ot-pozharov/ognetushaschiehimicheskie-veschestva.html>

189. Ожогин, И.М. Связь между влажностью воздуха и лесными пожарами // Лесное хозяйство. 1939. № 8. С. 20–24.
190. Ольховка, И.Э. Анализ горимости лесов и лесопожарное районирование юга тюменской области / В.П. Абрамов, С.В. Залесов // Лесной вестник, 2007.- №8.- С. 40-45
191. Онегин, В.И. Физико-химические основы процессов формирования полимерных покрытий на твердой поверхности / А.В. Сергеевичев // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии имени С.М. Кирова, 2018.- №223.- С. 213-227
192. Опрыскиватель “ЖУК”. Паспорт (URL:<https://poryadok.ru/upload/iblock/628/6286d584b7ca5b055d8701c3071021d3.pdf> Дата обращения 08.01.2020)
193. Осадчий, Г.Б. Установка для локализации и тушения пожара // Лесной журнал, 2001.- №1.- С. 32-35
194. Охрименко, Д.С. Доставка сил и средств к месту тушения лесного пожара / А.В. Тютин, К.Е. Панкин // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции «Техногенная и природная безопасность».- 2021. С. 332-337.
195. Панкин, К.Е. Проходимость и маневренные возможности транспортного средства с прицепом при движении по лесным и проселочным дорогам / Д.А. Соловьев, Кусмарцева Е.В. и др. // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова.- 2013.- №10.- С.54-56.
196. Патент 2264242 РФ, МПК А62С5/033 Способ тушения пожара и состав для его осуществления / Борисов П.Ф., Росоха В.Е., Абрамов Ю.А., и т.д.; заявитель и патентообладатель: Академия пожарной безопасности Украины (АПБУ). - № 2003137256/12; заявл. 23.12.03; опубл. Бюл. № 32
197. Патент 2262367 РФ, МПК А62D 1/00 Водный состав для тушения пожаров / Ветошкин Ю. П., Горелов В.В.; заявитель и патентообладатель: Ветошкин Ю.П., Горелов В.В. - №2004122184/15; заявл. 19.07.04; опубл. 20.10.05.
198. Патент 2098158 РФ, МПК А62D1/005 Минерально – водяная суспензия для тушения пожаров / Гуров А.И., Одновол Л.А., Сытников А.Н.; заявитель и патентообладатель: Международный фонд попечителей Московского государственного авиационного технологического университета им. К. Э. Циолковского. - № 96110494/12; заявл. 24.05.96; опубл. 10.12.97.
199. Патент №2216367 Способ тушения пожара. Россия / Руденко М.Г., Щербаков И.С., Гришин А.М.; Восточно-Сибирский институт МВД России.- №2002102296/12; заявл. 25.01.02; опубл. 27.06.03.
200. Патент №2273503 Российская федерация, МПК7 А 62 С 3/02. Способ локализации лесного низового пожара [Текст]/ Руденко М. Г., Гришин А. М., Молокова С. В., Щербаков И. С; заявитель и патентообладатель Восточно-Сибирский институт МВД. - № 2004126516/12; заявл. 01.09.2004; опубл. 10.04.2006, Бюл. № 13. - 3 с.
201. Патент №2275951 РФ, МПК А62D 1/00 Водный раствор для тушения пожаров / Лотов В.А., Лотова Л.Г., Смирнов А.П.; заявитель и

- патентообладатель: ГОУ ВПО Томский политехнический университет. - №2004132686/15; заявл. 09.11.04; опубл. 10.05.06 Бюл. №13
202. Патент на изобретение №2552995 С1 МПК А62С3/00. Мобильный комплекс пожаротушения / Соловьев Д.А., Лихачев М.В., Бахтиев Р.Н., Кузнецов Р.Е., Анисимов А.С., Панкин К.Е.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова». - № 2014115881; заявл.: 22.04.2014. опубл.: 10.06.2015.
203. Патент на изобретение №2614963(RU) МПК А62D 1/00. Способ тушения пожаров / О.А. Ивченко, Панкин К.Е., Савченко Т.А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова». - №2015152537; заявл.:16.12.2015; опубл.:31.03.2017.
204. Карцев В.Н., Цепулин В.В. Устройство для определения объёмных свойств жидкости: а.с. 1332209 СССР. Б.И. – 1987. -№31. – С.166.
205. А.с. 1659014 СССР, МКИ А62С5 / 033; 39/00. Способ тушения пожара / В.К. Костенко, К.М. Деменкова, И.А. Шамардина (СССР). - №4632400/12; заявл. 02.12.88; опубл. 30.06.91, Бюл. №24. – 3 с. - прототип
206. Патент 882404 СССР, МПК А62СN16 Способ гашения горючих материалов / Энси Яурос; заявитель и патентообладатель: А. Альстрем осакейхтие (фирма). - №2641852; заявл. 01.08.78
207. Пиментел Д.К., Мак-Клеллан О.Л. Водородная связь. – М.: Мир, 1964. – 462 с.
208. Писаренко А.И. Особенности адаптации лесов и лесного хозяйства России к изменениям климата / В.В. Страхов // Использование и охрана природных ресурсов, 2017.- №3.- С. 37-43.
209. Полевой справочник лесного пожарного [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.forestforum.ru/info/fireman.pdf>
210. <https://fireman.club/presentations/pozharnye-stvoly/>
211. Пожары и пожарная безопасность в 2020. Статистический сборник. Статистика пожаров и их последствий / П.В. Полехин, М.А. Чебуханов, А.А. Козлов и др. Под общей редакцией Д.М. Гординенко.- М.: ВНИИПО, 2021 с.
212. Пономарев, Е.И. Результаты и перспективы спутникового мониторинга природных пожаров Сибири / В.И. Харук, Н.Д. Якимов // Сибирский лесной журнал, 2017.- №5.- С. 25-36.
213. Пономарёв, Е.И. Спутниковый мониторинг динамики экстремальных пожаров / В.А. Иванов // Хвойные бореальной зоны, 2012.- №3-4,- С. 307-311.
214. Потапов, А.С. Контейнерное размещение средств тушения лесных пожаров / А.В. Тютин, К.Е. Панкин // Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции» Техногенная и природная безопасность».- 2021. С. 337-342.
215. Почитаева, М.В. Повышение эффективности профилактики лесных пожаров / М.Д. Иплаев // Вестник ПГТУ Серия “Лес. Экология. Природопользование”, 2014.- №1.- С. 42-52.

216. Приказ Федеральное агентство лесного хозяйства N 174 от 27 апреля 2012 года «Об утверждении Нормативов противопожарного обустройства лесов»
217. Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 5 июля 2011 г. № 287 "Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды". - Электронный ресурс. [http://ivo.garant.ru/#/document/12189021/paragraph/1/doclist/17649/showentries/0/highlight/Федерального%20агентства%20лесного%20хозяйства%20от%205%20июля%202011%20года%20N%20287%20%22Об%20утверждении%20классификации%20природной%20пожарной%20опасности%20лесов%20и%20классификации%20пожарной%20опасности%20в%20лесах%20в%20зависимости%20от%20условий%20погоды:5]. Дата обращения 15 сентября 2015 г.
218. Пряхина С.И. Климат Саратовской области. Энциклопедия Саратовского края. Саратов: Приволжское кн. изд-во, 2002. – С. 24-28.]
219. Поверхностно-активные вещества: справочник / А.А. Абрамзон, А.А. Бочаров, Г.М. Гаевой и др.; под ред. А.А. Абрамзона и Г.М. Гаевого.- Л.: Химия, 1979.-376 с.
220. Расев, А.И. Технология и оборудование защитной обработки древесины / А.И. Расев, А.А. Косарин, Л.П. Красухина.- МГУЛ, 2010. – 171 с.
221. URL: <https://rp5.ru> дата обращения 12.09.2021
222. Редькин, А.Ю. Определение типов основных проводников горения в процессе лесоустройства / А.В. Волокитина // Хвойные бореальной зоны, 2014.- №3-4.- С. 47-52
223. Рекомендации по принципам размещения и формированию конструкций агролесомелиоративных насаждений / сост. Проездов П.Н., Филатов В.Н., Попов В.Г., и др. ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова», Саратов, 2008 – 55с.
224. Руденко, М.Г. Изменение смачиваемости поверхности при её контакте с переохлажденным водяным паром / А.М. Гришин, С.В. Молокова и др.// Экологические системы и приборы / Научтехиздат. -М., 2008.-№7.- С. 61 - 64.
225. Руденко, М.Г. Методы тушения лесных пожаров / И.С. Щербаков // Вестник ВСИ МВД России.- 2001.- № 4.- С. 47-64.
226. Руденко, М.Г. Экспериментальное исследование действия струи переохлажденного водяного пара на очаг низового лесного пожара / М.Г. Руденко, А.М. Гришин и др. // Экологические системы и приборы / Научтехиздат.-М. 2006 №2, С. 38-43
227. Руденко, М.Г. Экспериментальное исследование нового метода создания опорных полос с использованием струи переохлажденного водяного пара / А.М. Гришин, С.В. Молокова и др. // Экологические системы и приборы / Научтехиздат. -М., 2008.-№5.- С. 11-14.
228. Савельев, Д.И. Экспериментальное исследование огнепреграждающих свойств лесной подстилки, обработанной пенообразующими составами / Д.И. Савельев, А.А. Киреев и др. // 2016, С.169-173



229. Савченко, Т.А. Антипирены – ингибиторы горения лесного горючего материала / К.Е. Панкин // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях Материалы III международной научно-практической конференции. - 2016. - С. 71-75.
230. Савченко Т.А. Концепция применения антипиренов для построения огнезащитных полос / К.Е. Панкин, В.И. Курин // Материалы III международной научно-практической конференции «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях».- 2016. С. 68-71.
231. Савченко Т.А., Экспериментальное исследование эффективности действия антипиренов на воспламенение древесины / К.Е. Панкин // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях Материалы III международной научно-практической конференции. - 2016. - С. 75-79.
232. Савченко Т.А. Огнезащитное действие антипиренов на огнестойкость древесных материалов / К.Е. Панкин // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Техногенная и природная безопасность».- 2017. С. 100-103.
233. Савченко Т.А. Определение оптимальных технических параметров огнезащитной полосы / О.М. Ивашина, К.Е. Панкин // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Техногенная и природная безопасность».- 2017. С. 327-332.
234. Савченко Т.А. Экспериментальные исследования эффективности действия антипиренов на воспламенение древесины и волокнистых растительных материалов / О.М. Ивашина, К.Е. Панкин // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Техногенная и природная безопасность».- 2017. С. 104-108.
235. Санников, С.Н. Принципы создания противопожарных лесных полос с барьером из лиственных видов для защиты от верховых пожаров / Н.С. Санникова, Г.Г. Терехов // Сибирский лесной журнал.- 2017.- №5,- С. 76-83
236. Селиховкин, А.В. Лесные пожары, вредители и болезни леса: проблемы и решения / А.П. Смирнов // Биосфера, 2015. - №3.- С. 315-320.
237. Семенов, Н.Н. Цепные реакции М.: Государственное химико-техническое издательство, 1934,- 315 с.
238. Сеннов, С.Н. Рубки ухода за лесом Л.: Изд-во НИИ лесного хозяйства, 1977, 256 с.
239. Серков, Б.Б. Тепловыделение при горении древесины / А.Б. Сивенков, Буй Динь Тхань, Р.М. Асеева // Лесной вестник, 2003.- №5.- С. 74-79.
240. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. Т.IV Оптика. М.: Высшая школа, 1980, 418 с.
241. Синева А. В., Структурные превращения в микроэмульсии вода/н-октан + хлороформ/додецилсульфат натрия/н-пентанол / Д.С. Ермолатьев, А.В. Перцов // Коллоид. журн. 2007.- Т.69.- №1.- С. 96–101.
242. Славянский, А.К., Шарков В.И., Ливеровский А.А. Химическая технология древесины М.: Мир, 1962. 578 с.

243. Смолвик, В.А. Низкоскоростной пневмотранспорт с высокой концентрацией сыпучего материала: Монография / В.А. Смолвик, П.С. Дозморов.- Томск: Изд-во Национального исследовательского Томского государственного университета, 2016.- 210 с.
244. Сныткин, Г.В. Особенности лесных пожаров в разных формациях, типах леса и методы их тушения в лесах крайнего северо-востока Сибири // Лесной вестник, 2001.- №5.- С. 37-49
245. Современные средства защиты древесины URL: <http://bent.ru/modules/Articles/article.php?storyid=357>(дата обращения 24.05.2016 г)
246. Соединения бора URL: <http://msd.com.ua/texnologiya-mineralnyx-solej-udo-brenij-pesticidov-promyshlennyx-so-lej-okislov-i-kislot/soedineniya-bora/> (дата обращения 17.05.2016 г.)
247. Соловьев, В.А. Совершенствование технических средств для борьбы с природными пожарами / Р.Н. Павлусенко, С.С. Шаров // Научная жизнь, 2018.- №9.- С. 6-13.
248. Соловьев Д.А. Повышение эффективности использования ручных ранцевых огнетушителей для борьбы с лесными пожарами / Л.А. Журавлева, Р.Н. Павлусенко и др. // Научная жизнь, 2018.- №12.- С. 8-18.
249. Софронов, М. А. Методические рекомендации использования районных шкал текущей пожарной опасности для лесов. – Красноярск, 1985. – 15 с.
250. Софронов, М.А., Волокитина А.В. Пирологическое районирование в таежной зоне. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 205 с.
251. Спицын, А.А. Термохимическая конверсия измельченной уплотненной растительной биомассы / И.И. Белоусов, Т.Б.Турсунов, В.А. Хен // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии имени С.М. Кирова, 2018.- № 224.- С. 256–272.
252. Справочник добровольного лесного пожарного.- Режим доступа: <https://aviales.ru/files/documents/2013/02/spravochnik.pdf>
253. Стасова, В.В. Анатомические характеристики луба ствола сосны обыкновенной после лесного пожара / О.Н. Зубарева, Г.А. Иванова // Сибирский лесной журнал.- 2015.- №1.- С. 74-86
254. Шур, Ю.З. Региональные шкалы оценки пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды / А.А. Степченко, Е.Н. Горовая и др. // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства.- 2019.- №3.- С. 72-87.
255. Стороженко, В.Г. Устойчивые лесные сообщества (теория и эксперимент) Тула: Гриф и К.-192 с.
256. Стромберг, А.Г., Семченко Д.Л. Физическая химия: Учеб. для хим. спец. вузов/Под ред. А.Г. Стромберга. — 3-е изд., испр. и доп. — М.: Высш.шк. 1999.- 527 с. ил.
257. ТАСС.РУ URL: [https://tass.ru/info/14586659?utm\\_source=google.ru&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=google.ru&utm\\_referrer=google.ru](https://tass.ru/info/14586659?utm_source=google.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=google.ru&utm_referrer=google.ru) (дата обращения 22.01.2022)

258. Терребнев, В.В. Пожарная техника: учеб. пособие: Кн. 1: Пожарно-техническое вооружение. Устройство и применение / В.В. Терребнев, Н.И. Ульянов, В.А. Грачев; под общ. ред. В.В. Терребнева. - М. : Центр Пропаганды, 2007, 415 с.
259. Терребнев, В.В. Пожарная техника: учеб. пособие: Кн. 2: Пожарные машины. Устройство и применение В 2-х кн. / В.В. Терребнев, Н.И. Ульянов, В.А. Грачев; под общ. ред. В.В. Терребнева. - М. : Центр Пропаганды.- 2007.- 326 с.
260. Тютин А.В. Соотношение понятий тактика и техника тушения пожаров / М.Д. Хализова, К.Е. Панкин // Материалы I Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы пожарной безопасности: теория и практика (FIRESAFETY-2019)».- 2019. С. 73-78.
261. Усеня, В.В. Методике определения пожарной опасности лесов по условиям погоды на территории Беларуси / Н.В. Гордей, Г.Я. Климчик и др. // Труды БГТУ, 2015. № 1.- С.103-106.
262. Усеня В.В. Состояние и пути совершенствования охраны лесов от пожаров в республике Беларусь // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2013.- №2.- С. 68-72.
263. Установки пожарные высокого давления  
<https://aviales.ru/default.aspx?textpage=120>
264. Фаробин Я.Е., Овчаров В.В., Кравцева В.К. Теория движения специализированного подвижного состава [Текст]. Воронеж, ВГУ, 1981,158с.
265. Федеральный закон №200 ФЗ - М.: Лесной кодекс Российской Федерации, 2006. - 109 с.
266. Федеральное агентство лесного хозяйства. [Электронный ресурс]. – Официальный сайт – URL: <https://rosleshoz.gov.ru/fires> (Дата обращения 31.01.2021)
267. Федеральный проект «Сохранение лесов» [Электронный ресурс]. – URL: [https://economy.samregion.ru/upload/iblock/4fd/Pasport-FP-Sokhranenie-lesov-\\_red.-ot-21.12.18.pdf](https://economy.samregion.ru/upload/iblock/4fd/Pasport-FP-Sokhranenie-lesov-_red.-ot-21.12.18.pdf)
268. Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина (химия, ультраструктура, реакции) /пер. с англ., под ред. д. Техн. Наук, проф. Леоновича – М.: Лесная промышленность, 1988.- 512 с.
269. Физико-химические основы развития и тушения пожаров [Текст]: учебное пособие / С.С. Тимофеева, [и др.].- Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013.- 178 с.
270. Фуряев, В.В. Глобальные и региональные проблемы лесных пожаров // Лесоведение, 2004.- №3.- С. 72-73.
271. Фуряев, И.В., Роль подроста в формировании комплексов лесных горючих материалов в насаждениях Верхне-Обского лесного массива / С.Д. Самсоненко, В.В. Фуряев // Хвойные бореальной зоны, 2010.- №3-4.- С. 257-262.
272. Фуряев, В.В., Горимость лесов и лесоводственно-экономические предпосылки для улучшения охраны в лесных районах Красноярского края / П.А. Цветков, И.В. Фуряев, Л.П. Злобина // Сибирский лесной журнал.- 2017.- №5.- С. 55-62.

273. Фуряев, В.В. Условия возникновения и распространения пожаров в лесных районах Красноярского края / П.А. Цветков, И.В. Фуряев, Л.П. Злобина // Хвойные бореальной зоны, 2017.- №1-2.- С. 66-74.
274. Фуряев, В.В. Пожароустойчивость сосновых лесов Евразии в экстремальные пожароопасные сезоны / П.А. Цветков, И.В. Фуряев // Хвойные бореальной зоны, 2017.- №3-4.- С. 68-73.
275. Хабибуллин А.Ф., Живой напочвенный покров на пройденных лесными пожарами площадях в сосняке бруснично-багульниковом подзоны северной тайги западной Сибири / Магасумова А.Г., Залесова Е.С., Платонов Е.П. // Вестник БГСХА им В.Р. Филиппова, 2019.- №2.- С. 87-94
276. Химическая технология древесины /Славянский А.К., Шарков В.И., Ливеровский А.А. и др. М.: ГОСЛЕСБУМИЗДАТ, 1962.- 577с
277. Хмельницкий Р.А. Физическая и коллоидная химия М.: Высшая школа, 1988, 400 с.
278. Храмов С.П. Вода для тушения пожаров / Пожаровзрывобезопасность, 2007.- Т.16, №4.- С.72-75
279. Холмберг, К. Поверхностно-активные вещества и полимеры в водных растворах / К. Холмберг, Б. Йёнссон, Б. Кронберг, Б. Линдман.- М.: Лаборатория знаний, 2020.- 531 с.
280. Цай, Ю.Т. Оценка энергозатрат рабочих при тушении лесных пожаров / В.М. Груманс // Лесной журнал.- 2009.- №3.- С. 25-29.
281. Цветков, П.А. Влияние несплошных рубок на пожароопасность сосняков Красноярской лесостепи / Е.Н. Кудинов // Хвойные бореальной зоны, 2014.- №3-4.- С. 74-77.
282. Цветков П.А. Оценка пожароустойчивости сосняков Красноярской лесостепи, пройденных несплошными рубками / Е.Н. Кудинов // Сибирский лесной журнал, 2019.- №5.- С. 54-60.
283. Цветков, П.А. Пирология в России: достижения и проблемы // Сибирский лесной журнал, 2017.- №5.- С. 6-17.
284. Цветков, П.А. Пирогенные свойства древесных пород // Лесоведение, 2011.- №2.- С. 25-31.
285. Чертов, О.Г. Имитационное моделирование влияния лесных пожаров на пулы углерода в хвойных лесах Европейской России и центральной Канады / А.С. Комаров, А.В. Грязькин и др. // Лесоведение, 2012.- №2.- С. 3-10.
286. Честных О.В. Запасы углерода в подстилках лесов России / О.В. Честных, В.А. Лыжин, А.В. Кокшарова // Лесоведение.- 2007.- №6.- С.114-121.
287. Чешуин А.Н., Чешуин Е.Н., Орнатский А.Н./ Машины и механизмы: Методические указания к проведению лабораторно-практических занятий для студентов очного и заочного отделений факультета лесного хозяйства по специальности 25020165 – «Лесное хозяйство» / Нижегородская гос. с.-х. академия. – Нижний Новгород, 2012.
288. Шаров С.С. Оптимальное расположение центра тяжести груза в мобильном пожарном комплексе на базе легкового автомобильного прицепа / К.Е. Панкин // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции «Техногенная и природная безопасность».- 2017. С. 147-152.

289. Шароварников, А.Ф., Шароварников С.А Пенообразователи и пены для тушения пожаров. Состав. Свойства. Применение. М., 2005. 335 с.
290. Шароварников, А.Ф., Тушение пожаров нефти и нефтепродуктов / В.П. Молчанов, С.С. Воевода, С.А. Шароварников.— М.: Издательский дом «Калан», 2002.- 448 с.
291. Швиденко, А.З. Климатические изменения и лесные пожары в России / Д.Г. Щепашенко // Лесоведение, 2013, №5, С. 50-61
292. Швиденко, А.З. Углеродный бюджет лесов России / Д.Г. Щепашенко // Сибирский лесной журнал, 2014.- №1,- С. 69-92.
293. Шерман Ф. Эмульсии. / Пер. под ред. Абрамзона А. А./ Л.: Химия, 1972.
294. Щетинский, Е.А. Спутник руководителя тушения лесных пожаров. Москва : Изд-во ВНИИЛМ. 2003. 96 с.
295. Шуляк, П.П. Контроль динамики крупных лесных пожаров и оценка эффективности и своевременности их обнаружения и тушения / Д.В. Ершов, Г.Н. Коровин // Лесоведение, 2014.- №5.- С. 30-41.
296. Шур, Ю.З. О подходе к планированию количества технических средств специализированных лесопожарных формирований / В.А. Доммес, М.А. Мельников, Е.Н. Горовая, и др. // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2015.- №1.- С. 56-64
297. Шур, Ю.З. Региональные шкалы оценки пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды / А.А. Степченко, Е.Н. Горовая и др.// Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2019.- №3.- С. 72-87.
298. Щедрин, А.Г. Комплексный алгоритм расчета показателя своевременности обнаружения лесных пожаров при использовании пожарно-наблюдательных пунктов / Е.Н. Горовая // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии имени С.М. Кирова, 2010.- №190. -С. 73-80
299. Шиян Л.Н. Химия воды. Водоподготовка: Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 72 с.
300. Эллис Д.Р. Управляемость автомобиля.- М.: Машиностроение, 1972. - 368 с., ил.
301. Яровой, С.В. Применение агентного подхода для моделирования процессов распространения и локализации природных пожаров / Г.А. Доррер // Хвойные бореальной зоны, 2016.- №3-4.- С. 223-228
302. Adiga Kaayani C. (Macon, GA, US). Microemulsion mists as fire suppression agents. [United States Patent 7004261. Application Number: 10/117669. Publication Date: 02/28/2006. Filing Date: 04/05/2002.].
303. Bakirtzis D., Delichatsios M.A., Lioudakis S., Ahmed W. Fire retardancy impact of sodium bicarbonate on ligno-cellulosic materials [Text] // Thermochemica Acta.- 2009.- Vol. 486.- pp. 11–19.
304. Bakirtzis D., Tsapara V., Lioudakis S., Delichatsios M.A. ATR investigation of the mass residue from the pyrolysis of fire retarded lignocellulosic materials // Thermochemica Acta.- 2012.- Vol. 550.- pp. 48– 52.
305. Bushfire Management Plan – URL: <https://www.greentapesolutions.com.au/environmental-services/bushfire-assessment/bushfire->

[management-plan/?gclid=Cj0KCQIAOp2QBhDvARIsAACSO0OeK70CvccU2Fv4O733AF3bbnoFfowSgEkLhhli9nY3CKiZUU](https://www.researchgate.net/publication/3500553408)  
[LyGnoaAsR7EALw\\_wcB](https://www.researchgate.net/publication/3500553408) (Дата обращения 31.01.2021)

306. Calvino-Cancela M., Chas-Amil M.L., Garcia-Martinez E.D., Touza J. Interacting effects of topography, vegetation, human activities and wildland-urban interfaces on wildfire ignition risk // *Forest Ecology and Management*, 397 (2017), P.10–17
307. Conard S. G., Ivanova, G. A Wildfire in Russian Boreal Forests – Potential Impacts of Fire Regime Characteristics on Emissions and Global Carbon Balance Estimates // *Environ. Pollut.* 1997, Vol. 98, P.305–313.
308. Conciani Dh.E., Lucas Pereira dos Santos b, Thiago Sanna Freire Silva c, Giselda Durigan d, Swanni T. Alvarado Human-climate interactions shape fire regimes in the Cerrado of Sao Paulo state, Brazil // *Journal for Nature Conservation*, 61 (2021), P.126006-126016
309. Dounia O., Vermorel O., Poinso T. Theoretical analysis and simulation of methane/air flame inhibition by sodium bicarbonate particles // *Combustion and Flame* Volume 193, July 2018, Pages 313-326
310. Ferreira A.J.D., Castanheira E.G., Esteves T.C.J., Carreiras M., Silva J.S., Ramos L., Silva R.T., Oliveira A.M.C., Pinto L.M., Fidalgo B. A strategy of fire prevention and suppression in an organization located in the forest/urban interface // *Forest Ecology and Management*, 234S, (2006), S137.
311. Fine R.A., Millero F.J. // *J. Chem. Phys.* - 1973. – 59, № 10. - P.5529.
312. Fletcher P. D. I., Galal M. F., Robinson B. H. // *J. Chem. Soc., Faraday Trans. 1.* 1985. V. 81. P. 2053 – 2065.
313. Gabysheva L.P., Isaev A.P. Forest fires impact on microclimatic and soil conditions in the forests of cryolithic zone (yakutia, north-eastern Russia) // *Сибирский лесной журнал*, 2015.- №6.- С. 96-111.
314. de Groot W.J., Flannigan M.D., Cantin A.S. Climate change impacts on future boreal fire regimes // *Forest Ecology and Management* 2013, Vol. 294, P.35-44.
315. Hildebrand J.H., *Solubility of Non-electrolytes*, Reinhold Publ. Corp., New York, 2nd edn, 1935. DOI: 10.1002/jctb.5000553408
316. Z. Huang, Ch. Sun, Y. Gao, Y. Ji, H. Wang, Y. Zhang, R Yang R&D of colloid components of composite material for fire prevention and extinguishing and an investigation of its performance // *Process Safety and Environmental Protection*, Volume 113, January 2018, Pages 357-368
317. Ivchenko O.A. An approach to estimating the range of wild fire firebrands transportation by wind / Tyutin A.V., Nadejkina G.P., Kirichenko A.V., Pankin K.E. // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 979 (2022), 012158.
318. O.A. Ivchenko, A relationship between weather conditions and a number of forest fires / A.V. Tyutin, M.A. Kozachenko, Pankin K.E. // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 979 (2022) 012121.
319. Ivchenko O.A. Experimental Studies on the Flameproofing Efficiency of Some Inorganic Substances upon the Inflammation of Wood and Fibrous Materials / Pankin K.E., Kusmartseva E.V., Anisimov S.A., Tutin A.V. // *Helix*, 2020, Vol. 10 No 5, P. 109-113.

320. Kneeland, D. State Of The World's Forests 2007 / Kneeland, D. - Food and Agriculture Organization of the United Nations - Rome, 2007
321. Ivchenko O.A. Use of fireproofing compositions in order to prevent forest fires / Pankin K.E., Nadezhkina G.P., Udalova O.G., Rybalkin D.A. // Modern S&T Equipments and Problems in Agriculture, 2020, P. 98-107.
322. National Interagency Fire Center [Электронный ресурс]: Total Wildland Fires and Acres (1960-2012)
323. Jimenez M., Duquesne S., Bourbigot S. Intumescent fire protective coating: Toward a better understanding of their mechanism of action [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2006.- Vol. 449.- pp. 16–26.
324. Kartsev V.N. Simulation of water internal pressure within temperature range of 0–370 °C / Shtykov S.N., Pankin K.E. // *Journal of Molecular Liquids*, 2020, Vol. 310, P. 113223.
325. Kartsev V.N. Search for functions that model temperature dependencies of internal pressure of associated liquids / Shtykov S.N., Pankin K.E. // *Journal of Molecular Liquids*, 2020, Vol. 319, P. 114199.
326. Kartsev V.N., Shtykov S.N., Pankin K.E. Internal pressure and state assessment of the inherent macroscopic force fields of liquids // *New J. Chem.*, 2019,43, P.18888-18897 <https://doi.org/10.1039/C9NJ03847G>
327. Kuzmina R.I., Estimating the biofuel combustion heat on the basis of extracted substances from wooden wastes / Shtykov S.N., Ivanova Y.V., Pankin K.E. // *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2009. T. 45. № 6. С. 443-447.
328. Lessan F., Montazer M., Moghadam M.B. A novel durable flame-retardant cotton fabric using sodium hypophosphite, nano TiO<sub>2</sub> and maleic acid [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2011.- Vol. 520.- pp. 48–54.
329. Liodakis S., Antonopoulos I., Agiovlasis I.P., Kakardakis T. Testing the fire retardancy of Greek minerals hydromagnesite and huntite on WUI forest species *Phillyrea latifolia* L. [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2008.- Vol.469 .- pp. 43–51.
330. Liodakis S., Katsigiannis G., Lympelopoulou T. Ash properties of *Pinus halepensis* needles treated with diammonium phosphate [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2007.-Vol. 453.- pp. 136–146.
331. Liodakis S., Tsapara V., Agiovlasis I.P., Vorisis D. Thermal analysis of *Pinus sylvestris* L. wood samples treated with anew gel–mineral mixture of short- and long-term fire retardants [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2013.- Vol. 568.- pp. 156– 160.
332. Liodakis S., Vorisis D., Agiovlasis I.P. Testing the retardancy effect of various inorganic chemicals on smoldering combustion of *Pinus halepensis* needles [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2006-Vol. 444.- pp. 157–165.
333. Ma H., Fang Z. Synthesis and carbonization chemistry of a phosphorous–nitrogen based intumescent flame retardant [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2012.- Vol. 543.- pp. 130– 136.
334. Mukherjee K., Mukherjee D.C., Moulik S. P. // *J. Colloid Interface Sci.*, 1997. Vol. 187. P. 327–333.

335. Pankin K.E. Estimated heats of combustion of biofuels based on wood and wood-waste pyrolysis products // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2016. T. 52. № 4. С. 396-401.
336. Pawlowski K.H., Schartel B., Fichera M.A., Joger C. Flame retardancy mechanisms of bisphenol A bis(diphenyl phosphate) in combination with zinc borate in bisphenol A polycarbonate/acrylonitrile-butadiene-styrene blends [Text] // Thermochemica Acta.- 2010.- Vol. 498.- pp. 92–99.
337. Perez-Moreno S.M., Gazquez M.J., Barneto A.G., Bolivar J.P. Thermal characterization of new fire-insulating materials from industrial inorganic TiO<sub>2</sub> wastes [Text] // Thermochemica Acta.-2013.-Vol.552.-pp.114– 122.
338. Richter T.E. Ground Cover Fire Fighting for Structural Firefighters. Manual.- Fire protection publication Oklahoma State University, USA, 2014, 209 p.
339. Song J., Liu N., Li H. et al. The wind effect on the transportation and Burning of Firebrands // Fire technology, 2017, 53, P. 1555–1568.
340. Sut A., Greiser S., Jager C., Schartel B. Aluminium diethylphosphinate versus ammonium polyphosphate: A comprehensive comparison of the chemical interactions during pyrolysis in flame-retarded polyolefine/poly(phenylene oxide) [Text] // Thermochemica Acta.- 2016.- Vol. 640.- pp. 74–84.
341. Tomaka E.D., Baysal E., Peker H. The effect of some wood preservatives on the thermal degradation of Scots pine [Text] // Thermochemica Acta.- 2012.- Vol. 547.- pp. 76– 82.
342. Vila-Villardella L., Keeton W.S., Thomb D, Gyeltshend C., Tsheringe K., Gratzera G. Climate change effects on wildfire hazards in the wildland-urban-interface – Blue pine forests of Bhutan // Forest Ecology and Management, 461 (2020), P.117927-117940.
343. WildlandFireProgram (USA) [Электронный ресурс]. –URL: <https://www.fs.usda.gov/managing-land/fire> (Дата обращения 31.01.2021)
344. Di Xue, X. Hu, W. Cheng, J. Wei, Y. Zhao, L. Shen Fire prevention and control using gel-stabilization foam to inhibit spontaneous combustion of coal: Characteristics and engineering applications // Fuel 264 (2020) P.116903-116903.
345. Zhang P., Hu Y., Song L., Lu H., Wang J., Liu Q. Synergistic effect of iron and intumescent flame retardant on shape-stabilized phase change material [Text] // Thermochemica Acta.- 2009.- Vol. 487.- pp. 74–79.
346. Zhao J., Fu Y., Yin Z., Xing H., Lu S., Zhang H. Preparation of hydrophobic and oleophobic fine sodium bicarbonate by gel-sol-gel method and enhanced fire extinguishing performance // Materials & Design Volume 186, 15 January 2020, 108331
347. URL: <http://2018-2018.ru/zemelnoe-pravo/zemli-lesnogo-fonda.html>, Земли лесного фонда (дата обращения 15.03.2018 г.).
348. URL: [www.forestforum.ru/](http://www.forestforum.ru/) Значение леса (дата обращения 07.05.2018 г.).
349. URL: <http://integral-russia.ru/2016/05/26/zachem-vam-nuzhno-tehniko-ekonomicheskoe-obosnovanie/> (дата обращения 02.06.2018 г.).
350. URL: <https://studfiles.net/preview/3828684/page:26/> (дата обращения 02.06.2018 г.).



351. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902299293>, Рекомендации по оплате труда и материальному стимулированию работников, занятых на весенне-полевых работах, уборке урожая и заготовке кормов, Министерство сельского хозяйства и продовольствия российской федерации письмо от 11 мая 1995 года N 4-36/336 (дата обращения 25.06.2018 г.).

352. URL:[http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/wages/labour\\_costs/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/wages/labour_costs/) Сведения о заработной плате работников организаций по категориям персонала и профессиональным группам работников за октябрь 2017г. (обновлено 28.05.2018 г.), Федеральная служба государственной статистики (дата обращения 25.06.2018 г.).

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение А – Акт внедрения научно-исследовательской работы в ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

СОГЛАСОВАНО  
И.о. проректора по НИР  
ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ

Воротников И.Л.

« 19 » августа 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по НИР  
ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ

Ряднов А.А.

« 20 » августа 2022 г.

#### АКТ

#### о внедрении научно-исследовательской работы

На основании результатов выполнения научно-исследовательской работы в рамках направления «Природные пожары и борьба с ними» коллективом исполнителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ в составе к.х.н. доцента Панкина Кирилла Евгеньевича, к.с.х.н., доцента Козаченко Максима Анатольевича, к.т.н., доцента Бахтиева Рината Нягимовича, ст. преподавателя Тютин Александр Васильевича в 2017-2021г.реализовано внедрение в научную и образовательную деятельность ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ. Работа НИР выполнялась по лесопожарной и лесовосстановительной тематике.

Тушение лесных пожаров является одной из важных задач лесоуправляющих организаций регионов. Для защиты лесов от пожаров уже недостаточно разработанных и применяемых в производственном процессе противопожарных мер. Учеными ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ совместно с коллективом исполнителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ проводится работа по применению новых подходов к модернизации системы борьбы с лесными пожарами с поиском эффективных приемов и средств препятствования распространению лесных и ландшафтных пожаров и их тушению. При этом Волгоградским ГАУ приняты к использованию в учебном процессе по направлению подготовки «Лесное дело» и специальности «Пожарная безопасность» материалы опубликованных авторами научно-исследовательских работ, учебных пособий и монографий.

Совместно с кафедрами ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ реализованы следующие результаты научно-исследовательской работы по использованию в Волгоградской области:

- проведен теоретический анализ процессов возникновения и распространения лесных пожаров, а также действия огнетушащих средств для совершенствования приемов и средств предотвращения и тушения лесных пожаров;
- разработаны рекомендации по профилактике и тушению лесных и ландшафтных пожаров, в том числе по подготовке к пожароопасному сезону

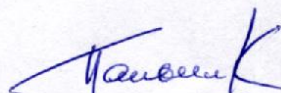
для лесопожарных служб. Для формирования заградительной полосы в лесостепной местности в качестве огнезащитного состава предлагается использовать гидрогель алюминия. Дозировка нанесения должна составлять 21 г/м<sup>2</sup> площади, покрытой травяным покровом с массой травостоя 0,9-1,1 кг/м<sup>2</sup>. Для защиты лесных массивов и населенных пунктов от ландшафтных пожаров рекомендуется применять штанговые опрыскиватели;

- проведена оценка огнезащитной и огнетушащей эффективности воды путем ее физической (тонкораспыленная вода и водяной пар) и химической модификации (водные растворы) воды с выявлением наибольшей пригодности к использованию и производительности;

- предложено для повышения эффективности лесного пожаротушения применять для доставки сил и средств к месту тушения лесного пожара мобильные комплексы пожаротушения на базе легковых автопоездов, которые комплектуются установками пожарными высокого давления, позволяющими снизить расход воды на тушение кромки низового пожара в 20-30 раз по сравнению с расходом лесопожарной автоцистерны. При тушении лесного низового пожара предлагается оснащать лесных пожарных носимыми ручными и механизированными установками пожаротушения: ранцевыми лесными огнетушителями (0,2-0,5 дм<sup>3</sup>/м); лесопожарными воздуходувками (0,1-0,2 дм<sup>3</sup>/м) применяющими воду, а качестве огнетушащего средства. Для тушения лесного низового пожара рекомендуется применять гидрогель алюминия, водный раствор, которого с концентрацией 3,5 г/л (52 г/15 л) позволяет снизить расход воды с применением ранцевых лесных огнетушителей для тушения лесного низового пожара до уровня 0,1-0,2 дм<sup>3</sup>/м.

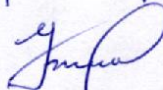
**Исполнители:**

К.х.н., доцент



Панкин К.Е.

К.с.х.н., доцент



Козаченко М.А.

К.т.н., доцент



Бахтиев Р.Н.

Ст. преподаватель



Тютин А.В.

# Приложение Б – Акт внедрения научно-исследовательской работы во ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ

СОГЛАСОВАНО  
И.о. проректора по НИР  
ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ

Воротников И.Л.

« 28 »

сентября 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по НИР  
ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ

Носов А.В.

« 29 »

сентября 2022 г.

АКТ

о внедрении научно-исследовательской работы

Научно-исследовательская работа на тему «Лесные пожары и борьба с ними» выполненная в ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ коллективом авторов в составе к.х.н. доцента Панкина Кирилла Евгеньевича, к.с.х.н., доцента Козаченко Максима Анатольевича, ст. преподавателя Тютин Александр Васильевича внедрена в ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ в 2018-2022 гг.

Внедрение реализовано путем использования результатов НИР по лесопожарной тематике в научно-исследовательскую, образовательную и производственную деятельность ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет».

Пензенским ГАУ приняты к использованию в учебном процессе по направлению подготовки «Лесное дело» материалы опубликованных авторами научно-исследовательских работ, учебных пособий и монографий.

Совместно с кафедрой «Растениеводство и лесное хозяйство» ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ реализованы следующие результаты научно-исследовательской работы по использованию в лесах Пензенской области:

- технологий по предупреждению и тушению лесных пожаров с использованием огнезащитных и огнетушащих составов разработки ученых ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, включая использование в качестве огнезащитного средства гидрогеля алюминия с дозировкой нанесения на травяной покров 21 г/м<sup>2</sup>;

- предложены технологические решения по использованию мобильных комплексов пожаротушения на базе легковых автопоездов, модернизации лесопожарной техники, использования технических решений по экономии воды при тушении лесных пожаров. Для тушения лесных низовых пожаров рекомендуется применять гидрогель алюминия, водный раствор, которого с концентрацией 3,5 г/л (52 г/15 л) позволяет снизить расход воды при тушении ЛНП до уровня 0,1-0,2 дм<sup>3</sup>/м;

- разработаны рекомендации по обустройству минерализованных полос и противопожарных барьеров для предотвращения распространения лесных пожаров;

- выявлены закономерности возникновения и развития лесных пожаров в пространстве и времени применительно к конкретным условиям; на этой основе выработаны рекомендации по подготовке к пожароопасному сезону и работе по ходу сезона для лесопожарных служб;

- описаны динамические сукцессионные процессы в лесах, нарушенных лесными пожарами; дана оценка естественного лесовосстановления на горях, что позволило повысить эффективность расходования средств на послепожарную реабилитацию лесов.

**Исполнители:**

К.х.н., доцент

К.с.х.н., доцент



Ст. преподаватель

Панкин К.Е.

Козаченко М.А.

Тютин А.В.

Приложение В – Акт внедрения научно-исследовательской работы в  
Министерство природных ресурсов и экологии Саратовской области

<p><b>СОГЛАСОВАНО</b></p> <p>И. о. проректора по НИР ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ</p> <p></p> <p>И.Л. Воротников 2021 г.</p>	<p><b>УТВЕРЖДАЮ</b></p> <p>Первый заместитель министра природных ресурсов и экологии Саратовской области - начальник управления лесного хозяйства</p> <p></p> <p>В.Г. Попов 2021 г.</p>
---	---

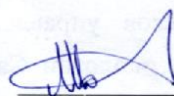
**АКТ ВНЕДРЕНИЯ**  
**результатов диссертационной работы**  
**в деятельность служб по обеспечению противопожарной защиты**  
**лесничеств Левобережной части Саратовской области**

Мы, нижеподписавшиеся первый заместитель министра природных ресурсов и экологии Саратовской области - начальник управления лесного хозяйства В.Г. Попов, начальник отдела лесовосстановления, охраны и защиты лесов управления лесного хозяйства министерства природных ресурсов и экологии Саратовской области М.А. Шепталов, представители ФГБОУ ВО Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова в лице и. о. проректора по НИР И.Л. Воротникова, научного руководителя диссертационной работы, кандидата химических наук К.Е. Панкина, декана факультета инженерии и природообустройства, кандидата технических наук, доцента А.В. Павлова, заведующего кафедрой «Техносферная безопасность и транспортно - технологические машины», кандидата технических наук, доцента Д.А. Колганова, составили настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы О.А. Ивченко внедрены в деятельность служб по обеспечению противопожарной защиты в лесничествах Левобережной части Саратовской области, путем создания огнезащитных полос обработкой защищаемой территории водными растворами гидрогеля алюминия, а также применения гидрогеля для тушения кромки низового пожара.

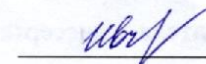
В диссертационной работе были получены следующие результаты:

- проведены лабораторные и полевые исследования эффективности действия гидрогеля алюминия при профилактике и тушении низовых пожаров, показавшие эффективные огнезадерживающие свойства для случаев распространения кромки низового пожара при скорости ветра не более 6 м/с и снижение расхода огнетушащего состава в 2-3 раза, по сравнению с водой при тушении кромки низового пожара;
- разработана технология тушения кромки пожара жидким огнетушащим препаратом (гидрогелем алюминия с концентрацией 3,5 г/дм<sup>3</sup>) с его подачей в зону горения из ранцевого огнетушителя;
- разработана технология применения гидрогеля алюминия для создания огнезащитной полосы (ручным и механизированным способом опрыскивания) с оптимальным расходом гидрогеля алюминия 21 г/м<sup>2</sup> при ручной (ручной опрыскиватель) или механизированной (штанговый опрыскиватель) его подаче в виде водного раствора на обрабатываемую территорию заселенную травянистыми растениями или покрытую растительными остатками.

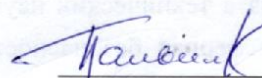
начальник отдела лесовосстановления,  
охраны и защиты лесов управления  
лесного хозяйства министерства  
природных ресурсов и экологии  
Саратовской области

  
М.А. Шепталов

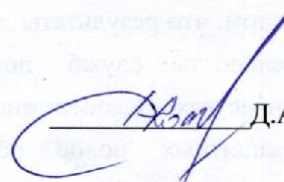
соискатель ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

  
О.А. Ивченко

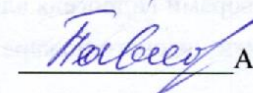
научный руководитель  
диссертационной работы,  
к. х. н., доцент

  
К.Е. Панкин

заведующий кафедрой  
«Техносферная безопасность и  
транспортно – технологические машины»,  
к. т. н., доцент

  
Д.А. Колганов

декан факультета  
инженерии и природообустройства,  
к. т. н., доцент

  
А.В. Павлов

Приложение Г – Акт внедрения научно-исследовательской работы в Главное управление МЧС России по Саратовской области

**СОГЛАСОВАНО:**

И.о. проректора по НИР  
ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ

  
И.Л. Воротников  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

**УТВЕРЖДАЮ:**

Заместитель начальника Главного  
управления МЧС России по  
Саратовской области (по ГПС)

  
А.В. Власов  
\_\_\_\_\_ 2021 г.

**АКТ**

**о внедрении законченной научно-исследовательской  
и опытно-конструкторской работы**

Мы, ниже подписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» в лице и.о. проректора по НИР Воротникова Игоря Леонидовича, научного руководителя НИР, д.т.н., профессора Соловьева Дмитрия Александровича и представителя от Главного управления МЧС России по Саратовской области, в лице начальника Управления организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ, полковника внутренней службы Фролова Дмитрия Михайловича, составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской работы по темам:

- «Разработка технологий и технических решений по предупреждению и тушению лесных низовых и ландшафтных пожаров в условиях лесостепной и степной зонах Поволжья»;

- «Подготовка и обучение личного состава управления организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Главного управления МЧС России по Саратовской области профилактике и тушению лесных пожаров»;

выполненных ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ в 2011-2021 гг., внедрены в подразделениях Главного управления МЧС России по Саратовской области путем непосредственного использования результатов НИР.

В результате проведения НИР по данным темам получены следующие результаты:

- проведен анализ состояния технических средств и технологий, используемых Главным управлением МЧС России по Саратовской области для привлечения к тушению лесных и ландшафтных пожаров. Разработаны рекомендации по их эффективному применению во взаимодействии с силами и средствами Министерства природных ресурсов и экологии Саратовской области, Управления обеспечения безопасности жизнедеятельности населения Правительства Саратовской области и подразделениями добровольной пожарной охраны;

- предложены технические решения по модернизации и переоборудованию пожарной техники для тушения природных пожаров, включая использование водяных завес и оборудования для фронтального тушения и пролива зоны природных пожаров, мобильных средств пожаротушения, прицепных комплексов для тушения лесных пожаров. Рекомендуется комплектовать пожарную технику установками пожарными высокого давления, позволяющими снизить расход воды на тушение кромки низового пожара в 20-30 раз по сравнению с расходом пожарной автоцистерны;

- при тушении лесного низового пожара необходимо оснащать пожарных носимыми ручными и механизированными установками пожаротушения: ранцевыми лесными огнетушителями (0,2-0,5  $\text{дм}^3/\text{м}$ ); лесопожарными воздуходувками (0,1-0,2  $\text{дм}^3/\text{м}$ ) применяющими воду, а качестве огнетушащего средства. Производительность таких средств в 5-10 раз выше других типов ручных средств тушения пожара (лопат, грабель, хлопущек) при значительной экономии воды. Перспективно также использовать установку по получению переохлажденного пара с расходом воды на тушение 0,1-0,2  $\text{дм}^3/\text{м}$ ;

- для тушения лесного низового пожара рекомендуется применять гидрогель алюминия, водный раствор, которого с концентрацией 3,5 г/л (52 г/15 л) позволяет снизить расход воды с применением ранцевых лесных огнетушителей для тушении лесного низового пожара до уровня 0,1-0,2  $\text{дм}^3/\text{м}$ ,



что дает экономию воды в полевых условиях в 2-2,5 раза по сравнению с применением водопроводной воды;

- проведено обучение и повышение квалификации личного состава Главного управления МСЧ России по Саратовской области, привлекаемого для тушения лесных и ландшафтных пожаров.

От ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ

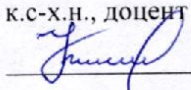
д.т.н., профессор кафедры  
«Техносферная безопасность и  
транспортно-технологические  
машины»

 /Соловьев Д.А./

к.х.н., доцент

 /Панкин К.Е./

к.с.-х.н., доцент

 /Козаченко М.А./

к.т.н., доцент

 /Бахтиев Р.Н./

Ст. преподаватель

 /Тютин А.В./

От Главного управления  
МСЧ России по Саратовской обл.  
Начальник управления организации  
пожаротушения и проведения  
аварийно-спасательных работ  
полковник внутренней службы

 /Фролов Д.М./

Приложение Д – Акт внедрения научно-исследовательской работы в работу службы по обеспечению противопожарной защиты с. Мироновка Питерского района Саратовской области

СОГЛАСОВАНО

И. о. проректора по НИР  
ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ

И.Л. Воронников

« 9 » сентября 2021 г.



УТВЕРЖДАЮ

Глава администрации Мироновского МО  
Питерского Муниципального района  
Саратовской области

В. В. Машенцев

« 21 » сентября 2021 г.



**АКТ ВНЕДРЕНИЯ**

**результатов диссертационной работы в деятельность  
службы по обеспечению противопожарной защиты  
с. Мироновка Питерского района Саратовской области**

Мы, ниже подписавшиеся, представители ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» в лице проректора по НИР Воронникова Игоря Леонидовича, научного руководителя диссертационной работы, кандидата химических наук Панкина Кирилла Евгеньевича, декана факультета инженерии и природообустройства, кандидата технических наук, доцента Павлова Андрея Владимировича, заведующего кафедрой «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», кандидата технических наук, доцента Колганова Дмитрия Александровича и представители администрации Мироновского муниципального образования Питерского муниципального района Саратовской области в лице главы администрации Машенцева Валерия Владимировича и ведущего специалиста Дьяковой Елены Николаевны, составили настоящий акт в том, что результаты диссертационной работы Ивченко Ольги Александровны внедрены в деятельность служб по обеспечению противопожарной защиты на территории с. Мироновка Питерского района Саратовской области путем непосредственного использования результатов применения гидрогеля алюминия для создания огнезащитных полос предотвращающих возникновение и распространение пожаров вблизи населенных пунктов и сельхозугодий.

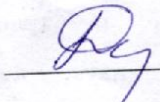
В диссертационной работе были получены следующие результаты:

- проведены лабораторные и полевые исследования эффективности действия гидрогеля алюминия при профилактике и тушении низовых пожаров, показавшие эффективные огнезадерживающие свойства для случаев распространения кромки низового пожара при скорости ветра не более 6 м/с и снижение расхода огнетушащего состава в 2-3 раза, по сравнению с водой при тушении кромки низового пожара;

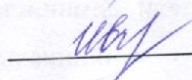
- разработана технология тушения кромки пожара жидким огнетушащим препаратом (гидрогелем алюминия с концентрацией 3,5 г/дм<sup>3</sup>) с его подачей в зону горения из ранцевого огнетушителя;

- разработана технология применения гидрогеля алюминия для создания огнезащитной полосы (ручным и механизированным способом опрыскивания) с оптимальным расходом гидрогеля алюминия 21 г/м<sup>2</sup> при ручной (ручной опрыскиватель) или механизированной (штанговый опрыскиватель) его подаче в виде водного раствора на обрабатываемую территорию заселенную травянистыми растениями или покрытую растительными остатками.

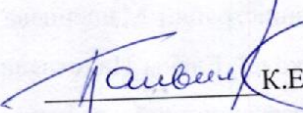
Ведущий специалист администрации  
Мироновского МО  
Питерского Муниципального района  
Саратовской области

 Е.Н. Дьякова

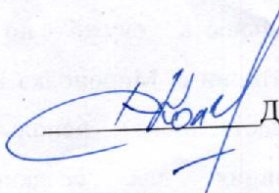
соискатель ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

 О.А. Ивченко

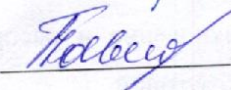
научный руководитель  
диссертационной работы,  
к. х. н., доцент

 К.Е. Панкин

заведующий кафедрой  
«Техносферная безопасность и  
транспортно – технологические машины»,  
к. т. н., доцент

 Д.А. Колганов

декана факультета  
инженерии и природообустройства,  
к. т. н., доцент

 А.В. Павлов