

Федеральное бюджетное учреждение
«Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного
хозяйства»

На правах рукописи

Ерицов Андрей Маркелович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ СОЗДАНИЯ
ЗАГРАДИТЕЛЬНЫХ И ОПОРНЫХ ПОЛОС ПРИ ТУШЕНИИ
ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В ЗОНАХ ЛЕСОАВИАЦИОННЫХ РАБОТ**

Специальность: 06.03.03 – агролесомелиорация, защитное
лесоразведение и озеленение населенных пунктов, лесные пожары и
борьба с ними

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
д-р с.-х. наук В.Г. Гусев

Санкт-Петербург – 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	14
1.1. Горимость лесов в Российской Федерации	14
1.2. Лесопожарная политика и экологическая роль огня.....	17
1.3. Лесоавиационные работы по тушению лесных пожаров	21
1.4. Авиационное сливное оборудование и параметры создаваемых заградительных полос.....	38
Выводы.....	57
2 ПРОГРАММА, РАМКИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	59
2.1. Программа и рамки исследований.....	59
2.2. Методы проведения лётных исследований параметров противопожарных заградительных полос	61
2.3. Методы экспериментальных исследований огнезадерживающей способности противопожарных заградительных полос	67
2.4. Методы физико-математического моделирования лесных пожаров	71
2.5. Методика проведения экспериментальных исследований способа создания минерализованных полос с помощью взрывчатых веществ	76
Выводы.....	81
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ЗАГРАДИТЕЛЬНЫХ И ОПОРНЫХ ПОЛОС	83
3.1. Вертолётное оборудование для прокладки противопожарных заградительных полос растворами огнетушащих составов и пеной	83

3.2. Огнестойкая быстротвердеющая пена для создания противопожарных полос долговременного действия и средства её подачи.....	105
3.3. Противопожарные огнезащитные экраны из кремнезёмной ткани.....	127
3.4. Взрывчатые вещества для создания противопожарных минерализованных полос	136
Выводы.....	153
4 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОКЛАДКИ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ЗАГРАДИТЕЛЬНЫХ И ОПОРНЫХ ПОЛОС В ЗОНАХ ЛЕСОАВИАЦИОННЫХ РАБОТ	156
4.1. Рекомендации по применению вертолётного сливного устройства ВСУ-5А с системой СДП-1 для прокладки противопожарных заградительных полос растворами огнетушащих составов и пеной.....	156
4.2. Возможности применения вертолётного водопеносливного устройства ВВСУ с УКТП «Пурга» и десантируемых наземных технических средств для прокладки заградительных и опорных полос быстротвердеющей пеной	164
4.3. Практические рекомендации по применению противопожарных огнезадерживающих экранов из кремнезёмной ткани для остановки лесных пожаров и пуска отжига	174
4.4. Рекомендации по применению детонирующего шнура ДШН-80 для борьбы с лесными пожарами в зонах лесоавиационных работ.....	179
Выводы.....	185
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	188
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	193

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Леса имеют большое значение для социально-экономического развития более чем 40 субъектов Российской Федерации. Лесные пожары являются наиболее дестабилизирующим фактором лесных экосистем. На охраняемой территории лесов России ежегодно регистрируются десятки тысяч лесных пожаров, охватывающих до нескольких миллионов гектаров покрытых лесом земель. Возрастает число вышедших из-под контроля крупных лесных пожаров, имеющих катастрофический характер. На их долю приходится свыше 70% площади лесов, пройденных огнём [1, 2, 3].

Ситуация с лесными пожарами в России создаёт угрозу национальной безопасности не только нашей страны, но и представляет определённую экологическую опасность для мирового сообщества. В первую очередь потому, что леса России составляют более 20% лесов мира и имеют огромное экологическое значение как кладовая углерода. В связи с этим приоритетной становится задача по предупреждению и ликвидации крупных лесных пожаров, которые в основном и создают повышенную экологическую опасность для устойчивого развития лесных экосистем, а также часто представляют непосредственную угрозу объектам экономики, инфраструктуры, жизни и здоровью людей [4, 5, 6].

Таким образом, сохранение лесов, как важнейшего компонента биосферы и стабилизатора крупномасштабных природных процессов является необходимым условием устойчивого социально-экономического развития нашей страны и всего мирового сообщества [7-10]. Охрана лесов от пожаров должна стать важным направлением государственной политики, обеспечивающей экологическую безопасность страны и сохранение ресурсного потенциала лесов. Поэтому организация эффективной охраны лесов от пожаров является стратегически важной проблемой [11-17].

Приведённый в главе 1 краткий анализ горимости лесов Российской Федерации и основных показателей состояния системы их охраны полностью подтверждает актуальность лесопожарной проблемы и необходимость её

решения. По всем базисным критериям оценки горимости лесов в России наблюдается её увеличение. Особенно тревожные показатели за 2014 г. и 2015 годы, которые говорят о резком увеличении средней площади лесного пожара и доли крупных лесных пожаров в их общем количестве, то есть о снижении уровня охраны лесов от пожаров в регионах РФ. Это свидетельствует, в первую очередь, об ослаблении потенциала лесопожарных служб, уменьшении активно охраняемой территории лесного фонда и объёмов профилактических мероприятий, а также о снижении оперативности борьбы с лесными пожарами. Одной из основных проблем является устаревшая технологическая и материально-техническая база.

С принятием в 2006 г. в России нового Лесного кодекса РФ и передачей основных функций по борьбе с лесными пожарами на региональный уровень. Вместе с наделением субъектов РФ полномочиями в области охраны лесов от пожаров им была передана и вся ответственность за техническое обеспечение этих полномочий [13].

Из-за недостаточного финансирования государственных программ Российской Федерации «Охрана лесов от пожаров» на 1993-1997, на 1999-2005 гг. и государственной программы Российской Федерации «Охрана окружающей среды» на 2012-2020 годы, предусмотренные в них организационно-технические и инвестиционные мероприятия, были реализованы и реализуются лишь частично.

В тоже время, в условиях систематического дефицита финансирования лесного хозяйства, собственное финансирование субъектов РФ, большинство из которых дотационные, не может обеспечить необходимый уровень инвестиций в технологическое перевооружение охраны лесов.

В целях поддержки обеспечения регионов современной противопожарной техникой и оборудованием Правительством Российской Федерации было принято решение от 23.09.2010 № ВП-П9-6592 о дополнительном выделении средств федерального бюджета в виде субсидий 8,5 млрд. рублей. Во исполнение принятого Правительством Российской Федерации решения Рослесхозом был

проработан вопрос по оснащению пожарно-химических станций субъектов Российской Федерации, наиболее нуждающихся в обновлении парка техники. В 2011 году по данным Рослесхоза за счет средств федерального бюджета оснастили 135 ПХС-3, для которых закупили 540 пожарных машин, 270 бульдозеров, 405 тяжелых лесопожарных тракторов. Всего же в 2011-2012 годах было приобретено 6048 единиц лесопожарной техники и оборудования [15]. Было предусмотрено также софинансирование из бюджетов субъектов Российской Федерации, в рамках которого субъект Российской Федерации мог дополнительно приобретать технику и оборудование, входившее в перечень комплектации ПХС-3 (малые лесопатрульные комплексы, мотопомпы и т.д.). Всё это позволило несколько улучшить ситуацию в зоне наземной охраны лесов, но никак не улучшило положение в зоне авиационной охраны лесов. Для полного решения проблемы финансового обеспечения технологического перевооружения охраны лесов от пожаров необходимо осуществление целенаправленных, скоординированных действий федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов РФ, арендаторов участков лесного фонда, других министерств и ведомств, заинтересованных в укреплении системы охраны лесов от пожаров, способной адаптироваться к непрерывно изменяющейся лесопожарной обстановке в различных лесорастительных зонах страны.

Важнейшее направление технологического перевооружения – использование инновационных технологий, которое должно существенно повысить уровень охраны лесов. Рассматривая инновационное развитие технического оснащения охраны леса от пожаров, следует выделить два основных его направления: а) инновации в сфере разработок новых машин, технических средств и огнетушащих химических составов и б) инновации в сфере технологических решений по борьбе с лесными пожарами с учетом лесорастительных условий.

Инновации в сфере разработок новых машин, технических средств и оборудования необходимо рассматривать с учетом их современного состояния, а также с учетом вступления России во Всемирную торговую организацию (ВТО).

Современное состояние парка технических средств в лесном хозяйстве показывает его значительный моральный и физический износ. Поэтому основными этапами инновационного развития являются:

- поэтапное сокращение парка устаревшей техники, машин и оборудования и замена их на более совершенные модели;
- совершенствование старых и создание новых эффективных лесопожарных технологий, адаптированных к условиям наиболее горимых лесорастительных зон.

Современные тенденции технологического развития в охране лесов от пожаров позволяют выделить в качестве основного пути развития стимулирование отечественных разработок.

Таким образом, актуальность темы диссертации с одной стороны обусловлена ростом горимости лесов и расходов на их охрану, а с другой стороны необходимостью повышения эффективности охраны и рентабельности использования выделяемых ассигнований путём совершенствования научно-методической основы и инноваций в сфере лесопожарных технологий.

Степень разработанности темы. Диссертационная работа является продолжением и развитием теоретических и экспериментальных исследований, проводимых в течение ряда лет ФБУ «Авиалесоохрана», ФБУ «СПбНИИЛХ», ОАО НПК «ПАНХ», ООО «АСТРА», НПО «СОПОТ». О степени разработанности темы можно судить по целому ряду отечественных и зарубежных работ. Они и стали основополагающими литературными источниками при выполнении диссертационной работы. В частности, диссертант опирался на труды таких отечественных учёных, как Е.С. Арцыбашев, В. П. Асовский, Э. Н. Валендик, А. М. Гришин, В. Г. Гусев, С. И. Душа-Гудым, Э. В. Конев, Г. Н. Коровин, Н. П. Курбатский, П. М. Матвеев, М. А. Софронов, А. Г. Судаков, В. В. Фурьев, Е. А. Щетинский, Давыденко Э.П. и других.

Наряду с отечественными работами автор использовал также некоторые труды зарубежных учёных, таких как F. A. Albin, M. E. Alexander, H. E. Anderson, J. G. Goldammer, B. D. Lawson, B. J. Stocks, C. E. Van Wagner, C. W. George, A. D.

Blakely, G. M. Johnson и других.

В трудах этих учёных рассматривались принципы, методы и средства создания опорных и заградительных полос при борьбе с лесными пожарами. Тем не менее, задачи повышения эффективности создания противопожарных полос в зонах лесоавиационных работ путём использования соответствующих инновационных технологий объектом отдельного исследования ещё не были.

Многие вопросы, касающиеся исследования закономерностей остановки огня препятствиями в различных лесорастительных зонах лесоавиационных работ и представляющие интерес, как в практическом, так и в теоретическом плане, реально не изучены, что в итоге обусловило выбор и актуальность темы диссертации.

Цель работы и задачи исследования. Цель диссертационной работы заключается в совершенствовании существующих и создании новых технологий прокладки противопожарных заградительных и опорных полос в зонах лесоавиационных работ в зависимости от лесорастительных условий.

Достижение поставленной цели обусловлено решением следующих задач:

1. Проанализировать перспективные способы и средства создания противопожарных заградительных и опорных полос в зонах лесоавиационных работ;
2. Исследовать экспериментальными методами параметры противопожарных заградительных полос, создаваемых с воздуха с применением новых и усовершенствованных технологий;
3. Провести натурные экспериментальные исследования огнезадерживающей способности противопожарных заградительных полос;
4. Научно обосновать эффективность применения новых и усовершенствованных технологий создания противопожарных заградительных и опорных полос в зонах лесоавиационных работ, по результатам проведённых экспериментальных и теоретических исследований;
5. Разработать рекомендации по ограничению распространения огня в зонах лесоавиационных работ и провести их апробацию.

Методы исследований

Для проведения исследований использовалась совокупность хорошо апробированных методов, основанных на фундаментальных законах природы. В частности, при решении теоретических и экспериментальных задач использовались физические и химические методы, а также методы, принятые в лесной пирологии и метеорологии. Отдельные методы выполнения экспериментальных работ разработаны автором диссертации. Перед проведением огневых опытов прогнозировались параметры экспериментальных лесных пожаров с помощью хорошо апробированных математических моделей, разработанных ФБУ «СПбНИИЛХ».

Научная новизна

В ходе проведения исследований получены новые научные результаты:

а) теоретического характера:

- разработана методика применения системы дозированной подачи жидких огнетушащих составов СДП-1 в комплексе с вертолётным сливным устройством ВСУ-5А;

- обоснованы принципы применения новых огнестойких материалов, огнетушащих химических составов и взрывчатых веществ для оперативной борьбы с лесными пожарами;

- разработана методика применения быстротвердеющей негорючей пены для создания заградительных и опорных полос в лесах;

- обоснована эффективность противопожарного экрана при борьбе с низовыми лесными пожарами

б) прикладного характера:

- разработаны новые и усовершенствованы существующие авиационные и наземные технологии локализации лесных пожаров;

- разработаны научно-обоснованные рекомендации по применению инновационных технологий для локализации лесных пожаров и защиты от огня населённых пунктов и объектов инфраструктуры, граничащих с лесами.

Практическая ценность

Практическая ценность диссертационной работы заключается в том, что её результаты позволяют:

- использовать усовершенствованные и вновь разработанные технологии создания противопожарных опорных и заградительных полос в зонах лесоавиационных работ;
- повысить оперативность борьбы с лесными пожарами с помощью новых технических средств;
- повысить эффективность применения авиации на тушении лесных пожаров за счёт использования нового противопожарного оборудования и новых химических средств;
- организовать защиту от огня населённых пунктов и объектов инфраструктуры, граничащих с лесами.

Реализация и внедрение результатов исследований

Теоретические выводы автора использованы при подготовке лесопожарных специалистов в Авиационном учебном центре ФБУ «Авиалесоохрана», в Инструкции по применению водосливного устройства ВСУ-5А в комплексе с системой дозированной подачи жидких химических добавок СДП-1, Регламенте ФБУ «Авиалесоохрана» по применению взрывчатых материалов на тушении лесных пожаров.

Все рекомендации автора апробированы им совместно со специалистами по охране лесов от пожаров организаций по авиационной и наземной охране лесов: ВСУ 5-А с системой подачи смачивателей в Республике Марий Эл, Чукотском и Ханты-Мансийском автономном округах; ВВСУ УКТП «Пурга» с твердеющей пеной в Ханты-Мансийском автономном округе; Огнезащитный экран на территориях республик Марий Эл, Бурятия, а также в Ленинградской, Ульяновской областях и Краснодарском крае; Технологии с применением взрывчатых материалов ДШН-80 на территории Ханты-Мансийского автономного округа- Югра, по результатам которых в настоящее время принято

решение об их применении ФБУ «Авиалесоохрана» в удаленных районах Сибири и Дальнего Востока.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1. Результаты лётных исследований и рекомендации по применению вертолётного сливного устройства ВСУ-5А с системой дозированной подачи жидких огнетушащих составов СДП-1.

2. Результаты лётных исследований и рекомендации по применению вертолётного водопеносливного устройства ВВСУ с УКТП «Пурга» и десантируемых наземных технических средств для прокладки противопожарных заградительных и опорных полос быстротвердеющей пеной.

3. Результаты натурных экспериментальных исследований и рекомендации по применению противопожарных огнезадерживающих экранов из кремнезёмной ткани для пуска отжига и локализации лесных пожаров.

4. Результаты натурных экспериментальных исследований и рекомендации по применению детонирующего шнура ДШН-80 для борьбы с лесными пожарами в зонах лесоавиационных работ.

Степень достоверности и апробация результатов.

Достоверность результатов исследований обусловлена всесторонним анализом исследуемых процессов, использованием апробированного научно-методического аппарата, большим количеством экспериментальных данных, полученных в ходе многолетних исследований, апробацией результатов исследований. Автору принадлежит выбор направления исследований, постановка задач, разработка программы и методики проведения работ. Соискателем лично, или при его непосредственном участии, выполнены подбор объектов исследования, сбор, обработка и анализ полученного экспериментального материала. В научных публикациях [3-6,39,40,148,157,159, 167-172], подготовленных в соавторстве, диссертанту принадлежит обработка и анализ результатов экспериментов и испытаний. В публикациях [2-11,15-18, 22,24,25,31,39,40,41,148-150,152,153,156-160,167-175], подготовленных лично и в соавторстве, отражены цели, задачи и методы диссертационных исследований,

сформулированы основные выводы. При участии соискателя проведены апробации и внедрения результатов исследований.

Материалы диссертации докладывались на международных и всероссийских научно-практических конференциях, симпозиумах, секции охраны и защиты лесов научно-технического совета Рослесхоза, заседаниях группы консультантов по лесным пожарам Европейской экономической комиссии ЕЭК / ФАО, совещаниях международной авиационной лесопожарной рабочей группы, в том числе: на Международном семинаре «Природные пожары и безопасность населения» (6-8 октября 2009, Чернобыль, Украина); на Международной научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы охраны и защиты лесов в системе устойчивого развития» (9-11 октября 2013, Гомель); на Международном Паназиатском совещании по природным пожарам «Региональное развитие управления лесными пожарами 2010-2013 (22-24 октября 2013, Сеул, Республика Корея); на 31 заседании экспертной группы Европейской Комиссии по лесным пожарам в объединенном исследовательском центре Евросоюза «Совершенствование охраны лесов от пожаров в России» (11-12 ноября 2013, Брюссель, Бельгия); на Международной конференции «Горючие материалы и поведение пожаров» (1-4 июля 2013, Санкт-Петербург; IV Всероссийском съезде по охране окружающей среды, «Экологические аспекты устойчивого лесопользования» (2-4 декабря 2013, Крокус-Экспо, Москва); IV Международной научно – практической конференции «Инновации и технологии в лесном хозяйстве» – ITF-2014 (27-28 мая 2014, Санкт–Петербург); на IV Международном полевым симпозиуме «Торфяники западной Сибири и Цикл углерода: Прошлое и настоящее» (4-17 августа 2014, Новосибирск); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса» XIX Международной выставки «Российский лес» (3-5 декабря 2014, Вологда); на Международных конференциях по применению авиации на тушении лесных пожаров (21-22 октября 2008, Афины, Греция; 19-20 февраля 2009, Аннахейм, Калифорния, США; 5 ноября 2009, Рим, Италия; 10 марта 2010, Ванкувер, Канада; 25-29 августа 2011, Виктория, Австралия; 10-11

апреля 2013, Экс-ан-Прованс, Франция; 29-30 апреля 2015, Задар, Хорватия); VIII Международной научно-практической конференции «Современная биология: актуальные вопросы» (22-23 мая 2015, Санкт-Петербург); на Всемирном лесном конгрессе (7-11 сентября 2015, Дурбан, ЮАР); на VI Международной конференции ООН по природным пожарам (12 - 16 октября 2015, Пхенчхан, Южная Корея); V Международной научно-практической конференции «Инновации и технологии в лесном хозяйстве» (31 мая – 2 июня 2016, Санкт-Петербург); 3-й Международной выставке-конференции «Применение авиации на тушении пожаров в Азиатско-Тихоокеанском регионе» (5-6 сентября 2016, Аделаида, Австралия).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы изложены в 66 научных работах общим объемом 254 авторских листов. Из них 6 статей в научных изданиях, включенных в Перечень ВАК Российской Федерации, 60 публикаций в других изданиях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, основной части, представленной четырьмя главами, заключения, библиографического списка из 175 наименований, в том числе 44 на иностранных языках. Работа изложена на 215 страницах машинописного текста, проиллюстрирована 66 рисунками и 26 таблицами.

Благодарности. Диссертант выражает благодарность научному руководителю, д-ру с.-х. наук В.Г. Гусеву, а также д-ру техн. наук А.Г. Судакову, д-ру техн. наук В.П. Асовскому, канд. техн. наук Г.Н. Куприну, канд. с.-х. наук Давыденко Э.П., зам. нач. управления АО НМЗ «Искра» О.В. Титковой за ценные советы и предложения при выполнении диссертационной работы. Кроме того, автор благодарит сотрудников ФБУ «Авиалесоохрана», Ханты-Мансийской базы авиационной и наземной охраны лесов, сотрудников отдела охраны и защиты леса ФБУ «СПбНИИЛХ», сотрудников ООО «СОПОТ», сотрудников ОАО НПК ПАНХ и сотрудников АО НМЗ «Искра», оказавших содействие и практическую помощь при проведении экспериментальных исследований и испытаний лесопожарных инновационных технологий.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Горимость лесов в Российской Федерации

По масштабам и характеру воздействия пожары являются одним из важнейших факторов, определяющих структуру и динамику развития лесов. Их горимость постоянно растёт. Это связано как с объективно протекающими процессами, такими как увеличение уровня хозяйственного освоения лесных территорий и глобальное потепление климата, так и с низкой экологической культурой населения. В то же время, значительное увеличение среднегодовой выгоревшей площади и средней площади лесного пожара говорит о снижении уровня охраны лесов. В таблице 1.1 приведены усреднённые характеристики лесных пожаров в Российской Федерации за 1985-2004 гг., разбитые на два периода по 10 лет [1]. Сравнение показывает, что произошёл рост таких статистических показателей, как среднегодовое количество пожаров – в 1,6 раза, среднегодовая лесная площадь, пройденная огнём – в 1,7 раза и средняя лесная площадь одного пожара – в 1,1 раза.

За последние годы в Европейской части России самые худшие результаты пожароопасного сезона в лесах были зарегистрированы в 2010 году. Это было очень жаркое лето, в течение которого (в период с 21 июня до 19 августа) было зарегистрировано несколько температурных рекордов.

Таблица 1.1 – Характеристики лесных пожаров в Российской Федерации

Год	Среднегодовое и годовое количество пожаров, тыс. шт.	Среднегодовая и годовая лесная площадь пожаров, тыс. га	Средняя лесная площадь пожара, га
1985-1994	19,8	804,6	40,7
1989*	21,9	1628	74,3
1995-2004	30,9	1361,1	44,1
1998*	26,7	2497	93,5
2014	17,2	3700	215,1
2015 [2]	12,2	2874	234,8

* Год, в котором наблюдался пожарный максимум по площади за указанный выше период.

Сильная засуха, сопровождаемая высокими температурами воздуха (до 40⁰С) и сильные ветры (более 30 м/с) способствовали тому, что лесные пожары вышли из-под контроля. В общей сложности в стране 2,3 млн га было пройдено пожарами на активно охраняемой лесной территории, а всего было зарегистрировано 32,3 тыс. пожаров. По данным спутникового мониторинга площадь природных пожаров в России в этот год составила более 6 млн га. Пожары унесли жизни 62 человек, в т. ч. 3 пожарных, остальные местные жители сел и деревень, не успевшие покинуть свои дома, когда сгорали целые поселки. Около 100 000 человек было эвакуировано, огнем было уничтожено более 3 000 домов, в более чем 100 населенных пунктах в 19 регионах России. Такие города как Москва, Нижний Новгород, Чебоксары, Новочебоксарск, а также другие небольшие населенные пункты находились в зоне задымления около 3 недель. Из-за задымленности городов и поселков у местного населения обострились легочные заболевания и болезни сердца, увеличилась смертность [18].

Большинство пожаров возникло по вине людей. На тушение пожаров было привлечено более чем 200 тыс. пожарных, 30 тыс. пожарных машин и тракторов, приблизительно 200 воздушных судов. 14 государств оказали помощь в тушении лесных пожаров. Ими было выделено 13 воздушных судов, более чем 100 пожарных машин и 560 пожарных. На основании принятой государством программы к 1 декабря 2010 года все уничтоженные дома были заменены на новые. Ущерб от лесных пожаров составил более 100 млрд рублей [19].

По данным, приведённым руководителем Рослесхоза И.В. Валентиком 23.12.2014 на селекторном совещании в ситуационном центре Правительства РФ по вопросу предупреждения и ликвидации лесных пожаров на территории нашей страны, площадь лесных пожаров в 2014 г. превзошла не только средние, но и максимальные её значения за указанные в таблице 1 периоды: по сравнению с I периодом – в 2,3 раза, со II периодом – в 1,5 раза. Небывало возросла также средняя площадь лесного пожара относительно максимального значения: за I период – в 2,9 раза, а за II период – в 2,3 раза.

По данным заместителя Министра природных ресурсов и экологии, руководителя Федерального агентства лесного хозяйства, И.В. Валентика, по итогам селекторного совещания по проблемам пожароопасного сезона 2015 г., которое провели заместители Председателя Правительства РФ А.Г. Хлопонин и Д.О. Рогозин 29 сентября 2015 г. в Доме Правительства РФ всего с начала пожароопасного сезона 2015 г. на территории РФ возникло более 11,5 тыс. лесных пожаров на площади 2,5 млн га. При этом средняя площадь лесного пожара, характеризующая эффективность работы лесопожарных служб, превзошла уровень 2014 года и составила 217,4 га. В частности, в Иркутской области она равнялась 255 га, в Республике Бурятия – 487 га, а в Забайкальском крае – 655 га (48% лесных пожаров перешли в разряд крупных и катастрофических, нередко приводящих к гибели людей, пожарам в населённых пунктах и на объектах инфраструктуры). Сравнительно небольшая по площади Республика Бурятия в 2015 году дала 30% лесных пожаров в стране – хотя ещё в 2014 году она была признана лучшей по подготовке к пожароопасным ситуациям. Пожары возникали в непосредственной близости к населённым пунктам и зонам отдыха людей. Это вызвало большой общественный резонанс и драматичность оценки последствий.

Таким образом, наблюдается существенное увеличение по главным критериям оценки горимости в лесах. Особенно тревожит резкое увеличение средней площади лесного пожара и соответственно доли крупных лесных пожаров в 2014 и 2015 годах, свидетельствующее о снижении уровня охраны лесов от пожаров в регионах Российской Федерации, то есть об ослаблении потенциала лесопожарных служб, уменьшении объёмов профилактических мероприятий и снижении оперативности борьбы с лесными пожарами.

Приведённый краткий анализ горимости лесов Российской Федерации и основного показателя состояния системы их охраны полностью подтверждает актуальность лесопожарной проблемы и необходимость её решения.

1.2 Лесопожарная политика и экологическая роль огня

Лесопожарная политика в нашей стране традиционно сводится к активной борьбе с огнём на всей доступной для этого территории лесного фонда. Она сопровождается постепенным наращиванием лесопожарных ресурсов и соответственно увеличением ассигнований на охрану лесов от пожаров. Эти всё возрастающие затраты становятся обременительными в условиях дефицита федерального бюджета, тем более что при этом не наблюдается статистически значимого снижения горимости лесов. Сейчас нет достаточного научного обоснования требуемого уровня охраны лесов от пожаров в зависимости от природно-экономических условий и соответственно рационального использования ресурсов, выделяемых на борьбу с огнём.

В подавляющем большинстве регионов скорость накопления отмершей растительности и живых горючих материалов в лесах выше скорости их разложения. Предусмотренным природой механизмом быстрой минерализации отмерших органических остатков растений в лесах (фактически отходов жизнедеятельности лесов) является низовой пожар. Минерализуя опад, валёж, сухостой, тонкомерные и фаутные деревья, разросшийся мохово-лишайниковый покров, он способствует снижению пожарной опасности насаждений и лесовозобновлению. Низовой пожар сопровождается также прогревом почвы и таянием верхнего горизонта вечной мерзлоты, увеличивая толщину корнеобитаемого слоя, всхожесть семян и последующий прирост насаждения.

Есть данные [20], что в послепожарный период в сосняках повышается урожайность брусники, уменьшается численность мышевидных грызунов, основных потребителей семян хвойных пород, снижается численность кровососущих насекомых из-за уничтожения огнём их личинок, находящихся в напочвенном покрове. При смене пород увеличиваются запасы веточного корма, что способствует увеличению численности промысловых птиц и зверей.

Продолжительность межпожарных интервалов в светлохвойных таёжных лесах обычно колеблется в диапазоне от 5 до 30 лет. Например, по данным

исследований В.В. Фурьева в спелых сосняках Западной Сибири эта продолжительность составила 11 лет [21]. За этот период возможно были и другие слабые низовые пожары, которые не оставляют выраженных пожарных подсушин, поэтому они в расчёт не принимались. Таким образом, наши светлохвойные леса представляют собой сплошной горельник, пройденный многократно в разные годы лесными пожарами.

По статистическим данным Рослесхоза [1] в среднем за 15 лет (с 1990 по 2004гг.) распределение покрытой лесом площади Российской Федерации, пройденной пожарами, по видам пожаров показывает, что на долю низовых приходится 86,1 % площади, на долю верховых – 13,6 %, а на долю подземных (торфяных) – 0,3 %. То есть в лесах преобладают низовые пожары, для которых характерна низкая или средняя интенсивность горения, поэтому их распространение в лесу можно контролировать, не допуская переходов низового пожара в верховой или почвенный (подземный).

В тоже время представляют опасность и низовые пожары высокой интенсивности (более 100 кВт/м, внешние признаки: высота пламени более 1,5 м, высота нагара на стволах более 3 м). Они вызывают ожоги хвои в кронах и её пожелтение. В целом может произойти заметное усыхание и изреживание леса из-за последующего отпада древостоя. На фоне долговременной засухи высокоинтенсивные лесные пожары могут возникать и в заболоченных темнохвойных лесах (это особенно характерно для Западной Сибири). Эти пожары носят разрушительный характер. Полностью сгорает лесная подстилка, уничтожается древостой, естественное восстановление леса идёт через смену пород и задерживается на сотни лет. Таким образом, высокоинтенсивные низовые лесные пожары тоже не следует допускать.

Настало время для осознания сложности экологической роли огня в лесу, невозможности и нецелесообразности его полного исключения из жизни леса и признания необходимости изменения существующей лесопожарной политики.

Давно уже известно, что чем интенсивнее осуществляется тушение лесных пожаров, тем выше в конечном итоге пожарная опасность на данной охраняемой

лесной территории. Поэтому любой объём финансирования пожарной охраны на определённом этапе оказывается недостаточным.

Пожароуправление в лесу – это баланс между практическими задачами охраны их от пожаров и необходимостью выполнения пожарами их природной роли. Система пожароуправления менее затратная и более эффективная, поскольку держать низовые пожары слабой и средней интенсивности в определённых границах, где они не приносят существенного экономического и экологического ущерба, легче и с точки зрения снижения пожарной опасности более правильно, чем полная ликвидация всех пожаров на этой территории.

Основным инструментом системы пожароуправления является повышение пожароустойчивости лесов, в которых возможны высокоинтенсивные низовые, верховые или почвенные (подземные) пожары. В целях сохранения таких лесов, капитальные вложения на их охрану в значительно большем объёме должны расходоваться на своевременное проведение лесоводственных мероприятий и реализацию мер противопожарного обустройства лесов. Последние должны быть направлены на профилактику и раннее обнаружение лесных пожаров, снижение интенсивности процессов горения, предотвращение переходов низовых пожаров в верховые или почвенные (подземные). В соответствии с частью 2 статьи 53.1 Лесного кодекса РФ от 14.12.2006 N 200-ФЗ и постановлением Правительства РФ от 16.04.2011 N 281 «О мерах противопожарного обустройства лесов» эти меры следующие:

- изменение в породном составе древостоя, подлеска и подроста;
- уменьшение запаса лесных горючих материалов;
- создание и эксплуатацию дорог противопожарного назначения; посадочных площадок для самолётов и вертолётов, искусственных противопожарных барьеров, пожарных наблюдательных и диспетчерских пунктов, пожарных водоёмов, оборудованных подъездами для забора воды, пропускных постов, обеспечивающих ограничение пребывания граждан в лесах;
- проведение гидролесомелиоративных работ;
- благоустройство зон отдыха граждан;

- установка и обеспечение сохранности средств наглядной противопожарной пропаганды в лесах.

Другим важным инструментом системы пожароуправления являются контролируемые выжигания. Это наиболее дешёвый способ сокращения запаса лесных горючих материалов, содействия естественному лесовозобновлению, улучшения санитарного состояния лесов. Профилактические выжигания рекомендуется применять на лесных участках, наиболее часто подвергающихся воздействию лесных пожаров со значительным или полным уничтожением древостоя, либо расположенных вблизи ценных лесных массивов, населённых пунктов и объектов инфраструктуры. К ним относятся полосы вдоль железных, лесовозных, шоссейных и прочих дорог с интенсивным движением; вдоль трасс высоковольтных линий электропередач, нефте- и газопроводов; вдоль границ лесов с полями, лугами и пастбищами; вокруг населённых пунктов, буровых установок и других объектов хозяйственного значения; по границам наиболее пожароопасных участков хвойных молодняков и лесных культур; на противопожарных разрывах и заслонах, на лесопокрытых участках, нуждающихся в снижении пожарной опасности. Однако выжигания следует тщательно планировать с учётом погодных условий, рельефа местности, целевого назначения лесов, типа леса, возраста и густоты древостоя, состава подроста и подлеска, фактической горимости территории, допустимой интенсивности горения. Лучше всего их проводить в осенний период, когда не нарушаются условия гнездования птиц и другие условия функционирования лесной флоры и фауны. При проведении контролируемых выжиганий не должно быть низового пожара высокой интенсивности и переходов низового пожара в верховой или почвенный (подземный). Выжигания должны проводиться в плановом порядке специалистами, прошедшими специальную подготовку и обеспеченными необходимыми техническими средствами.

Современная лесопожарная политика предусматривает постепенный переход к концепции пожароуправления, который сопряжён с решением ряда проблем. В частности, необходимо снижение запасов лесных горючих

материалов и повышение устойчивости лесных экосистем; умение прогнозировать вероятность возникновения, возможные виды, интенсивности и последствия лесных пожаров, а также ущерб от них; осуществление технического перевооружения охраны лесов; установление и поддержание необходимого уровня охраны лесов; принятие управленческих решений по приостановке (прекращению) тушения пожаров в удаленных и труднодоступных районах (в зоне контроля) в зонах осуществления лесоавиационных работ в случае, если пожары не представляют угрозы населенным пунктам и объектам экономики и предполагаемый ущерб от пожаров будет ниже, чем затраты на мероприятия по их тушению [22].

Уже сейчас предусмотрено прекращение (приостановка) работ по тушению лесного пожара в зоне контроля лесных пожаров (при отсутствии угрозы населенным пунктам или объектам экономики) в случаях, когда прогнозируемые затраты на тушение лесного пожара превышают прогнозируемый ущерб, который может быть им причинен. Оно осуществляется на основании решения Комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности органа исполнительной власти субъекта Российской Федерации [23].

Новая лесопожарная политика должна позволить оптимизировать расходы на борьбу с лесными пожарами и одновременно усилить защиту населённых пунктов, объектов инфраструктуры, ценных лесных насаждений от лесных пожаров.

1.3 Лесоавиационные работы по тушению лесных пожаров

Использование авиации для оперативной охраны лесов от пожаров в мире началось на рубеже 30-х годов прошлого века: самолеты участвовали в патрулировании лесов, контролировали пожарную ситуацию и десантировали пожарных для борьбы с огнем. Проводились эксперименты и по сливу воды с самолетов на очаг горения, но при малой грузоподъемности самолетов и объемах

сбрасываемой жидкости в условиях отсутствия единой системы борьбы с лесными пожарами такое использование самолетов было малоэффективным [24, 25].

Вертолеты, как класс летательных аппаратов, появились позже самолетов и первые опыты по их применению для тушения пожаров относятся к началу 50-х годов прошлого века. В частности, в США, в ходе операции «Остановим огонь», были задействованы вертолеты S-55 и Bell-47, использующие напорную подачу жидкости через брандспойты из бортовых и наземных емкостей [26]. В это же время аналогичные экспериментальные работы выполнялись и в СССР с вертолетом Ми-4. С 1958 года в США также проводились опыты, и началось практическое применение вертолетов, использующих на внешней подвеске ковшеобразные водосливные устройства. Данные устройства заполнялись при зависании вертолета над открытым водоемом и окунании устройства в воду, а слив выполнялся при открытии створок. Это направление оказалось чрезвычайно перспективным и до настоящего времени является основным способом использования вертолетов на тушении пожаров [26].

Сейчас, по мере развития авиационных технических средств, совершенствуются и технологии тушения лесных пожаров с воздуха. Востребованность этого способа борьбы с лесными пожарами связана с труднодоступностью большинства лесных территорий для наземной техники и наземных пожарных формирований или с отсутствием водоисточников, радиоактивным загрязнением, наличием скальных грунтов и вечной мерзлоты. Как известно, авиационные средства борьбы с пожарами обладают большим радиусом действия и высокой скоростью доставки в район пожара десантников и лесопожарного оборудования. Они позволяют существенно сократить промежуток времени между обнаружением и началом тушения лесного пожара. Огромная лесная территория России и слабо развитая инфраструктура определяют авиационную стратегию борьбы с лесными пожарами (обслуживаемая с применением авиации территория составляет 92 % всей охраняемой территории лесного фонда Российской Федерации).

Актуальность проблемы своевременного тушения пожаров на удалённых от транспортных путей или труднодоступных (например, в горной местности) лесных территориях заключается в том, что при недостаточно оперативной борьбе с огнём, лесной пожар может быстро перейти в разряд крупных. При этом возникает чрезвычайная ситуация, требующая уже гораздо больших сил и средств для её ликвидации, чем тушение пожара на начальном этапе его развития.

В соответствии с Порядком организации и выполнения лесоавиационных работ по охране и защите лесов, утвержденным приказом Рослесхоза от 03.11.2011 N 470, они осуществляются на территориях, где обнаружение и тушение лесных пожаров наземными средствами затруднено либо невозможно.

Зоны осуществления лесоавиационных работ (территории, в границах которых осуществляются охрана и защита лесов авиационными методами) определяются Федеральным агентством лесного хозяйства по согласованию с органами государственной власти субъектов Российской Федерации.

Зона авиационного мониторинга разделяется на районы, в которых тушение пожаров производится с применением авиационных средств, и районы, где должны использоваться наземные средства. Лесоавиационные работы по тушению лесных пожаров обычно осуществляются на начальном этапе тушения, до подхода наземных средств пожаротушения, с целью остановки распространения лесного пожара или в целях оказания помощи наземным лесопожарным формированиям.

При организации лесоавиационных работ органы государственной власти проводят районирование охраняемой территории в пределах зон авиационного мониторинга на районы авиационной и наземной охраны лесов. В соответствии с Правилами тушения лесных пожаров [23], районы применения авиационных сил и средств пожаротушения устанавливаются в лесах, расположенных на территориях со слаборазвитой или отсутствующей транспортной сетью, на которые прибытие наземных сил и средств пожаротушения невозможно в течение 3 часов с момента обнаружения лесного пожара. В районе применения

авиационных сил и средств пожаротушения могут устанавливаться зоны контроля лесных пожаров. Они устанавливаются органами исполнительной власти, в пределах их полномочий.

При выполнении лесоавиационных работ по тушению лесных пожаров осуществляются:

- обследование лесного пожара с использованием авиационных средств в целях уточнения вида и интенсивности лесного пожара, его границ, направления его движения, выявления возможных границ его распространения и локализации, источников противопожарного водоснабжения, подъездов к ним и к месту лесного пожара, а также других особенностей, определяющих тактику тушения лесного пожара;

- доставка людей и средств тушения лесных пожаров к месту тушения лесного пожара и обратно;

- локализация, ликвидация лесного пожара авиопожарными средствами, а также с помощью специальной авиационной техники (использование танкерной технологии, искусственного вызывания осадков и других технических средств, а также взрывчатых материалов);

- наблюдение за локализованным лесным пожаром и его дотушивание;

- предотвращение возобновления лесного пожара (окарауливание).

В районах осуществления лесоавиационных работ по тушению лесных пожаров для каждого пожара должен быть установлен ежедневный авиационный мониторинг с момента обнаружения и до полной его ликвидации.

Особое место в системе охраны лесов от пожаров принадлежит специализированной государственной службе ФБУ «Авиалесоохрана». Она функционирует на 60% территории государственного лесного фонда России (около 637 млн га), причём большая часть этой территории отнесена к районам преимущественного применения авиационных сил и средств. Более 30 % ежегодно возникающих лесных пожаров ликвидируется силами парашютно-десантной службы авиалесоохраны [25]. Это фактически специализированная служба быстрого реагирования, позволяющего подавлять лесные пожары на

ранних стадиях их развития. На неё также возложены функции профилактики и обнаружения лесных пожаров. Для выполнения полетов авиабазами ежегодно арендуется около 300 самолетов и вертолетов. Кроме того, имеется 17 единиц своей авиации [4]. По данным И.В. Валентика: «только в течение августа 2015 года на территориях Забайкальского края, Республик Бурятия, Тыва и Иркутской области был задействован беспрецедентный по количеству федеральный и межрегиональный резерв сотрудников авиалесоохраны – 1600 работников».

Основные характеристики самолётов, использовавшихся в нашей стране для борьбы с лесными пожарами, представлены в таблице 1.2 [27-30 и др.] В настоящее время Авиационная охрана лесов в Российской Федерации фактически располагает в основном самолётами Ан-2, ресурс эксплуатации которых в ближайшие годы истекает, легкомоторными самолетами Як 18Т, Аэропракт А 22, Цесна 172 и 182, Вильга 135 для обнаружения лесных пожаров. Летно-технические характеристики отечественных серийных вертолётов, применяющихся для авиационной охраны лесов, приведены в таблице 1.3 [27, 29, 30]. Фактически авиалесоохрана располагает вертолётами Ми-8 и Ми-2 и вертолета иностранного производства R-44, R-66, AS-350, AS-355, BK-117. Следует отметить, что при возникновении чрезвычайных ситуаций, обусловленных лесными пожарами, воздушные суда, отмеченные в таблицах значком * (Ка-32, Ми-26Т, Ми-8МТВ, Бе-200, Ил-76ТП) могут быть задействованы или арендованы в авиапредприятиях МЧС России и гражданской авиации. Основной объем лесоавиационных работ по борьбе с лесными пожарами обычно осуществлялся, когда авиапатрулирование лесов выполнялось с совмещением этим же воздушным судном транспортных операций по доставке сил и средств пожаротушения [27]. Данная патрульно-транспортная схема выполнения лесоавиационных работ позволяет сразу после обнаружения лесного пожара приступить к его ликвидации, находящейся на борту воздушного судна группой пожаротушения.

Таблица 1.2 – Основные летно-технические характеристики отечественных серийных самолётов для борьбы с лесными пожарами

Тип самолёта	Ан-2	Ан-3Т	Ан-24	Ан-26Б	Ан-32П	Ил-103	Бе-12П	Бе-200*	Ил-76ТП*
Год внедрения	1949	2000	1969	1974	1995	1996	1992	2003	1977
Количество и тип двигателей	АШ-62ИР	ТВД-20-01	2 х АИ-24РВ	2 х АИ-24ВТ	801Е АИ-20Д	1 х Ю-360ЕS	2 х АИ-20Д	2 х Д-436ТП	4 х Д-30КП
Взлетная мощность двигателя, л.с.	1000	1375	2550	2820	5180	210	5500	7500	12000
Взлетная масса, т	5,50	5,80	21,8	24,00	28,5	1,31	36,0	43,0*	170,0
Масса снаряженного, т	3,65	3,60	14,6	16,30	17,4	0,85	24,5	27,2	85,0
Коммерческая нагрузка, т									
- максимальная	1,50	1,80	5	5,5	7,5	0,31	6,0*	12*	43,4
- при максимальном запасе топлива	0,95	1,29	2,4	2,20	5,58	0,31	-	7,5*	0,4
Устройство пожаротушения	Есть	есть	нет	Нет	Есть	нет	есть	есть	есть
Максимальный объем огнегасящей жидкости, л	1200	1950	-	-	7500	-	6000	12000	42000
Максимальный секундный расход, л/с	465	485	-	-	-	-	-	7500	4000

Окончание таблицы 1.2

Тип самолёта	Ан-2	Ан-3Т	Ан-24	Ан-26Б	Ан-32П	Ил-103	Бе-12П	Бе-200*	Ил-76ТП*
Практическая дальность полета, км									
- при макс. коммерческой нагрузке	300	440	730	660	1000	1070	3200	1800	3200
- при макс. запасе топлива	1025	900	2460	1970	2000	1070	4200	3850	8020
Крейсерская скорость, км/ч	180	230	440	394-430	500-530	250	470	530	768-825
Длина ВПП (МСА), м	650	700-800	1650	1800	1900	690	2300*	1800	2700
Часовой расход топлива, кг/ч	140	200	853	913	1324	39,9	1500	1600	8536
Длина ВС, м	12,73	13,65	23,53	23,80	23,68	8	30,17	32,05	46,6
Размах крыла, м	18,19	18,19	29,2	29,20	29,20	10,56	29,71	32,78	50,5
Высота ВС, м	5,35	5,35	8,32	8,58	8,75	3,14	7,0	8,9	14,8
Диаметр несущего винта, м	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Длина грузовой кабины, м	4,10	4,56		11,5 (14,9)	12,48 (15,6)	2,65	-	18,7	20 (24,4)
Ширина грузовой кабины, м	1,60	1,60		2,4/2,7	2,3/ 2,78	1,3	-	2,5	3,45
Высота грузовой кабины, м	1,80	1,85		1,91	1,74	1,27	-	1,9	3,4
Объем грузовой кабины, м ³	11,8	13,1		60	60				321

* Типы самолётов, имеющиеся в МЧС.

Таблица 1.3 – Основные летно-технические характеристики отечественных серийных вертолётов для авиационной охраны лесов

Тип вертолётa	Ми-2	Ми-8Т	Ми-8МТВ*	Ми-26Т*	Ка-32*
Год внедрения	1980	1967	1990	1988	1988
Количество и тип двигателей	2 ГТД-350	2 ТВ2-117А	2 ТВ3-117ВМ	2 Д-136	2 ТВ3-117 ВМА
Взлетная мощность двигателя, л.с.	400	1500	1900	10000	2200
Взлетная масса, т	3,55	12,0	13,0	56,0	12,6
Масса снаряженного, т	2,47	7,26	7,55	28,7	7,17
Коммерческая нагрузка, т					
- максимальная	0,8	3,0	4,0	20,0	5,0
- при макс. запасе топлива	0,169	2,47	3,4	17,7	3,5
Устройство пожаротушения	нет	есть	есть	есть	есть
Максимальный объем огнегасящей жидкости, л	-	2500	4500	15000	5000
Максимальный секундный расход, л/с	-	900	900	1000	900
Практическая дальность полета, км					
- при макс. коммерческой нагрузке	135	50	310	464	20
- при макс. запасе топлива	547	566	490	673	380

Окончание таблицы 1.3

Тип вертолѐта	Ми-2	Ми-8Т	Ми-8МТВ*	Ми-26Т*	Ка-32*
Крейсерская скорость, км/ч	180	205	215	235	230
Часовой расход топлива, кг/ч	232	608	658	2552	695
Длина ВС, м	17,42	25,24	25,35		15,9
Высота ВС, м	4,52	5,65	5,55		5,45
Диаметр несущего винта, м	14,56	21,29	21,29	32,00	15,9
Длина грузовой кабины, м	2,8	5,34	5,34		
Ширина грузовой кабины, м	1,45	2,06	2,06		1,3
Высота грузовой кабины, м	1,45	1,80	1,80		1,32
Объем грузовой кабины, м ³	5,89	23,0	23,0		7,3

* Типы вертолѐтов, отсутствующие у авиалесоохраны, но имеющиеся у МЧС России.

Часто авиационное пожаротушение является только поддержкой работников непосредственно участвующих в локализации пожаров, таким образом, успех оперативного тушения пожаров зависит от согласованных действий экипажей воздушных судов и пожарных на земле.

На удаленных и труднодоступных территориях авиация применяется также для оперативной доставки работников парашютно-десантной пожарной службы (ПДПС). Их количество по данным ФБУ «Авиалесоохрана» в середине 80-х составляло около 8 тыс. человек. В настоящее время в России их количество около 4 тыс., в том числе 725 работников федерального резерва ФБУ «Авиалесоохрана» для оказания помощи субъектам Российской Федерации при ликвидации ЧС, вызванных лесными пожарами. Работники ПДПС могут участвовать в авиационном патрулировании (преимущественно на самолетах Ан-2) и оперативно высаживаться к местам возникающих лесных пожаров для их своевременной ликвидации [31]. В последние годы применяется схема патрулирования на легких воздушных судах, а работники ПДПС доставляются в случае обнаружения пожаров на самолетах Ан-2 с последующей их высадкой на парашютах, либо перебрасываются на вертолетах Ми-8. Для оперативной ликвидации пожаров работники ПДПС используют мобильные средства пожаротушения (ранцевые огнетушители, ручные инструменты). В соответствии с Правилами тушения лесных пожаров [23]:

- локализация лесного пожара достигается путем выполнения комплекса действий, направленных на предотвращение возможности дальнейшего распространения горения;

- первоначальным этапом локализации лесного пожара является остановка его распространения, включающая в себя действия лесных пожарных, направленные на остановку распространения кромки пожара, в первую очередь, на опасных и критических направлениях, на которых может возникнуть угроза ценным насаждениям, населенным пунктам и объектам экономики.

- локализованным считается лесной пожар, при котором созданы условия для его нераспространения путем ограничения его по всему периметру

заградительными полосами, потушенными участками кромки горения и естественными преградами;

- выбор тактических приемов, методов и способов тушения лесных пожаров осуществляется руководителем тушения и старшими работниками подразделений лесопожарных организаций с учетом особенностей лесной растительности, рельефа местности, типов почв, вида пожара, его интенсивности и размера, текущих и прогнозируемых погодных условий, наличия сил и средств пожаротушения, обеспечения безопасного проведения работ, а также особенностей тушения пожаров на лесных участках, загрязненных радионуклидами.

В соответствии со статьей 53.4 Лесного кодекса РФ от 04.12.2006 N 200-ФЗ [32] при тушении лесных пожаров используют два метода – прямой и косвенный. Прямой метод применяется, в основном, при тушении низовых лесных пожаров слабой и средней интенсивности в случаях, когда есть возможность непосредственно потушить кромку лесного пожара и создать у кромки лесного пожара заградительную полосу. Косвенный метод применяется при тушении низовых сильных и верховых лесных пожаров, когда линия остановки огня выбирается на определенном расстоянии от кромки лесного пожара.

При тушении лесных пожаров применяются следующие способы и технические средства:

- захлестывание огня (сбивание пламени) по кромке лесного пожара;
- засыпка кромки лесного пожара грунтом;
- прокладка заградительных и опорных минерализованных полос;
- отжиг горючих материалов перед кромкой лесного пожара;
- тушение водой и огнетушащими растворами химических составов, в том числе с применением авиации. Наиболее распространены в зоне авиационной охраны лесов следующие способы тушения лесных пожаров [23]:

- захлестывание огня по кромке пожара ветвями;
- засыпка кромки грунтом с помощью лопат;

- прокладка минерализованных опорных и заградительных полос с помощью ручных орудий (бензопил, лопат, мотыг, граблей) или взрывчатых материалов;

- пуск отжига от опорной полосы;

- тушение горячей кромки водой или растворами химикатов; прокладка заградительных (опорных) полос растворами огнезадерживающих химических составов;

- подавление очагов горения путём слива огнетушащей жидкости или пены с воздуха;

- искусственное вызывание осадков из облаков.

Захлестывание (сбивание пламени, как правило, ветками) по кромке лесного пожара применяют для остановки продвижения огня при тушении низовых лесных пожаров слабой и средней интенсивности.

Засыпка кромки лесного пожара грунтом с помощью лопат используется на легких песчаных и супесчаных слабозадерненных почвах, когда применение захлестывания огня малоэффективно, а быстрая прокладка заградительных полос невозможна.

Прокладка заградительных и опорных полос в зонах лесоавиационных работ обычно производится в целях:

- локализации лесных пожаров непосредственным воздействием на кромку без предварительной остановки их распространения;

- локализации лесных пожаров, распространение которых было приостановлено;

- применения отжига от опорных полос.

Заградительные и опорные полосы должны своими концами упираться в естественные или искусственные противопожарные барьеры (дороги, ручьи, минерализованные полосы) [33]. При отсутствии механизированных средств либо невозможности их применения (трудностей маневрирования из-за густоты древостоя, заболоченности местности, горного рельефа, отсутствия транспортных

путей и др.) минерализованные полосы прокладываются ручным способом или с помощью взрывчатых материалов.

Негорючие заградительные (опорные) полосы кратковременного или длительного действия могут также создаваться с применением химических огнетушащих составов (антипиренов, пенообразователей, смачивателей). При этом типовые технические средства тушения – ранцевые лесные огнетушители типа РП-18 «Ермак», ОР-1 или РЛЮ-М. Они имеют близкие технические характеристики (емкость резервуара 18 л, производительность 3 л/мин, длина компактной струи 10-11 м, длина распыленной струи 6-6,5 м), но к огнетушителям РП-18 «Ермак» изготавливают пенные насадки. Эти же огнетушители используются при дотушивании оставшихся очагов и окарауливании периметра пожара [34, 35].

Когда есть возможность работы на безопасном расстоянии от кромки горения, применяется прямое её тушение водой и огнетушащими растворами химических веществ. При этом используются огнетушащие составы, имеющие сертификат, подтверждающий экологическую и санитарную безопасность их применения для работающих в зоне лесного пожара людей и окружающей среды. Для тушения в зонах лесоавиационных работ применяют легкие (массой менее 10 кг) высоконапорные мотопомпы МЛ 1/1,0 и МЛ-1СО. При расходе жидкости 1 л/с и напоре 70 м вод. ст., они обеспечивают создание распыленных струй, обладающих высоким огнетушащим эффектом. Мотопомпа может также устанавливаться на малогабаритное десантируемое транспортное средство, на котором может размещаться и емкость со смачивателем или пенообразователем. Для тушения пеной применяются пенообразователи, которые при концентрации в воде в 1 % и более обеспечивают создание воздушно-механической пены, а при концентрации 0,5 % образуют водный раствор, хорошо смачивающий опад, мхи и лишайники. Для получения воздушно-механической пены можно применять пенное оборудование ОВП-10 в комплекте с мотопомпой МЛВ-2/1,2 [33].

Высокой эффективностью при остановке кромки беглого низового пожара в травяных (весной и осенью) и мертвопокровных группах типов леса обладают

воздуходувки-опрыскиватели ВЛП-20 и ВЛП-2,5 на базе двигателей бензопил «Штиль-0,26» и «Тайга-245». Они обеспечивают тушение пламени высокоскоростной воздушной, воздушно-жидкостной или пенной струей.

Отжиг производится в целях тушения низовых лесных пожаров высокой и средней интенсивности, а также верховых лесных пожаров всех видов. Пуск отжига производится от естественных и (или) искусственных опорных полос шириной 0,3 – 0,9 м. Для ускорения выжигания от опорной полосы используются различные ускоренные способы отжига (гребенкой, опережающего огня) [23, 33, 35].

Способ «опережающего огня» заключается в следующем. Вначале поджигают напочвенный покров у самой опорной полосы, и когда выжженная полоса достигнет ширины 2-3 м, поджигают снова, отступив от первой полосы на расстояние 4-6 м. Общая ширина выжженной полосы между опорной линией и фронтальной кромкой пожара должна быть не менее 80-100 м.

При применении способа «гребенки», поджигание лесных горючих материалов ведется от опорной полосы и перпендикулярно к ней через каждые 6-8 м. Протяженность перпендикуляров зависит от скорости ветра, но при штилевой погоде она не превышает 6-8 м.

Для выполнения отжига применяют зажигательные аппараты АЗ-1, АЗ-4 или АЗ «Ермак». Они имеют практически одинаковые технические характеристики и обеспечивают скорость пуска отжига 1,2-1,3 км/ч [35].

При тушении верховых лесных пожаров производится выжигание напочвенных горючих материалов в полосе, равной расстоянию двух возможных скачков верхового пожара (продвижений горения при порывах ветра по пологу древостоя без поддержки низового огня, обычно до 600 метров) [23].

Торфяные лесные пожары возникают летом и осенью после длительной засухи на марях, осушенных болотах и в насаждениях на торфянистых почвах. Они начинаются с загорания напочвенного покрова (камыша, травы, сфагнума), по которому огонь распространяется со скоростью беглого низового пожара.

Заглубляясь в торфяной горизонт, чаще всего у корневых лап крупных деревьев, торфяной пожар приобретает характер многоочагового.

При выпадении кратковременных осадков, когда горение поверхности прекращается, очаги продолжают действовать, очень медленно распространяясь вглубь и в стороны, образуя так называемые «печки». Даже продолжительные осадки не ликвидируют торфяные пожары, и горение в этих «печках» продолжается до образования снежного покрова, а при глубоких слоях торфа (от 2,5 м и выше) – и зимой [36].

Обычная вода имеет сравнительно высокое поверхностное натяжение (72 дин/см), поэтому плохо смачивает торф, в связи с этим для тушения торфяных пожаров применяют растворы смачивателей малой концентрации (0,3-0,5%). Оптимальная концентрация рабочих растворов определена опытным путем. Увеличение концентрации, выше установленной не приводит к снижению поверхностного натяжения воды ниже достигнутого порогового значения (35 дин/см) [35, 37].

Механизм тушения торфяных пожаров заключается в создании перед горячей кромкой преграды из торфяной массы, смоченной раствором смачивателя. Для этого, отступая от кромки 0,5-0,7 м, специальным торфяным стволом-пикой протыкают слои торфа с интервалом 30-40 см по всему периметру очага и нагнетают раствор смачивателя под давлением 4-6 атм. После первого ряда, отступая на 0,5-0,7 м, делают второй ряд скважин до минерального слоя или уровня грунтовой воды, располагая их по отношению к первому ряду в шахматном порядке [33, 35].

Тушение лесного пожара с воздуха производится в целях приостановления распространения горения до прибытия наземных сил и средств пожаротушения или с целью снижения интенсивности горения на кромке лесного пожара, чтобы наземные команды могли перейти от косвенного к прямому методу его тушения. Решение о целесообразности использования на тушении лесного пожара самолетов-танкеров и вертолетов с водосливными устройствами принимает руководитель тушения [23]. Применение авиации организуется в соответствии с

реализуемой руководителем тушения лесного пожара тактикой и стратегией тушения. Авиационное тушение лесных пожаров производится при непосредственном взаимодействии экипажа воздушного судна с руководителем наземных сил и средств. При нахождении на кромке лесного пожара наземных команд пожаротушения, запрещается производить авиационное тушение (сливы) с самолетов-танкеров и вертолетов с водосливными устройствами при отсутствии радиосвязи между экипажем воздушного судна и данным наземным подразделением лесопожарного формирования.

При доставке работников ПДПС к местам лесных пожаров, успех своевременной локализации очагов зависит от наличия у этих команд современных средств для прокладки опорных и заградительных полос.

Во многих странах Европы, в США, Канаде для прокладки опорных полос широко применяется технология Hot-Shot crew (команд быстрого реагирования). Технология заключается в оперативной доставке команды, состоящей из двадцати человек к местам лесных пожаров, где вся группа цепочкой прокладывает полосу с использованием различных ручных инструментов и бензопил. Первым идет сигнальщик, указывая сигнальными лентами место полосы, за ним бензопильщики с помощниками, спиливая и подрубая подрост и кустарник, далее два-три работника с топор-мотыгами, затем два-три работника с граблями или лопатами и т.д. Таким образом, команда из двадцати человек может эффективно прокладывать опорные полосы в различных лесорастительных условиях [38].

В 2000-2002 годах по инициативе автора диссертации такие команды были созданы в г. Владимир и в Красноярском крае, которыми потушены пожары на территории Республики Саха-Якутия и Магаданской области с участием специалистов из лесной службы США. Тем не менее данная технология не нашла широкого применения в России, так как необходимы значительные авиационные ресурсы по доставке команд к местам пожаров в условиях отсутствия дорог (в отличие от Европейских стран и Северной Америки).

Для решения задачи создания опорных полос в условиях отсутствия естественных преград ФБУ «СПБНИИЛХ», в рамках выполнения тематики НИР

Рослесхоза, в последние годы разработало и испытало огнезащитный экран, который может легко оперативно доставляться к местам пожаров. Он прост в применении и эффективен для пуска отжига и остановки низовых пожаров [39, 40].

В 1980-е годы для создания заградительных и опорных полос в нашей стране широко применялись шланговые взрывчатые вещества (ПЖВ-20, ЭШ -1П) [27]. Однако в настоящее время практически не применяется данная технология за исключением единичных случаев в Республике Саха Якутия и Ханты-Мансийском автономном округе. В то же время имеются совершенно новые взрывчатые вещества, предлагаемые отечественными производителями, которые существенно превосходят по характеристикам ранее использовавшиеся взрывчатые материалы [41].

При определённых метеорологических условиях может применяться также метод искусственного вызывания осадков из облаков. Он особенно эффективен для тушения крупных (катастрофических) лесных пожаров, борьба с которыми обычными средствами невозможна или малоэффективна, а также для тушения в отдаленных лесхозах (или районах) одновременно действующих мелких очагов, в случаях массового их возникновения. Преимущества метода следующие [42]:

- кучевые облака, иногда проходящие над зоной лесных пожаров, имеют огромный запас влаги в виде переохлаждённых капель;
- транспортировка влаги в зону пожара осуществляется за счёт энергии воздушных масс и гравитации;
- масштабность явления выпадения осадков из мощных кучевых облаков и их интенсивность соизмеримы с площадями крупных лесных пожаров и интенсивностью процессов горения.

Однако применение указанного способа возможно лишь при наличии в районе действующих пожаров мощных переохлажденных кучевых облаков. В вершины таких облаков с самолета вводятся специальные реагенты (в настоящее время применяют йодистый свинец в пиротехническом составе С-55, йодистое серебро, порошкообразную сернистую медь, цемент), мельчайшие частицы

которых становятся ядрами кристаллизации переохлажденной воды. Реагенты вводят из расчета 10-14 г йодистого свинца или 100-120 г сернистой меди на 8-10 км³ облачной массы. Технология искусственного вызывания осадков предусматривает введение реагентов в облака с базового самолёта авиалесоохраны Ан-2, но они могут вводиться в облака и с помощью ракет, запускаемых с земли [42]. Затраты определяются стоимостью лётного часа авиационного средства, которая учитывает все необходимые расходы.

1.4 Авиационное сливное оборудование и параметры создаваемых заградительных полос

Ситуация в мире в области применения авиации для тушения пожаров с воздуха коренным образом изменилась в конце 40-х годов двадцатого века. Особенно это коснулось США, где оставшиеся в большом количестве бомбардировщики продавались частным компаниям по бросовым ценам, а правительство было обеспокоено растущим ущербом от лесных пожаров. Переоборудовать бомбардировщик под сброс воды оказалось делом не очень сложным, и в 50-х годах за рубежом (в США, Канаде, ФРГ, Франции, Испании и др.) появилась целая воздушная армия таких самолетов (DC-4, DC-6, C-130, «Фоккер-27» и др.) [43]. Появилось несколько специализированных компаний, которые снимали с самолета все вооружение и ненужное оборудование, а в его бомбоотсеке размещали бак для воды или огнегасящей жидкости вместе с системой слива. С целью более легкого опознавания самолет окрашивался в красно-белый цвет. На протяжении двадцати послевоенных лет рынок успешно заполнялся самолетами типа DC-4 или DC-6. В начале 60-х годов этого стало недостаточно, и в 1967 году в Канаде совершил свой первый полет самолет-амфибия CL-215, специально разработанный для тушения лесных пожаров с воздуха [44]. Характерно, что компания-разработчик «Canadair» ориентировалась при создании этого пожарного самолета в основном на местную гидрографическую сеть. Главным отличием CL-215 от других существующих в

тот момент пожарных самолетов стала возможность забора воды при глиссировании по поверхности озера или реки, когда из днища фюзеляжа выдвигались заборные патрубки и вода через них поступает прямо в специальные баки, расположенные в грузовой кабине самолета. Слив жидкости осуществлялся через створки в днище, открываемые по команде пилота. При одновременном сливе всего объема жидкости площадь орошения на земле составляла 85x20 м с максимальной дозировкой жидкости 2 л/м² в центре смоченной полосы [43]. Амфибия CL-215 в случае близости водоема к зоне пожара имел серьёзные преимущества по сравнению с самолетами наземного базирования. «Челночные» полеты CL-215 от места пожара до водоема значительно сокращали время оборота самолета, и если для обычных самолетов приходилось затрачивать не менее 30 минут на полет от зоны пожара, посадку, заправку водой, взлет и возвращение, то CL-215, используя возможность набора воды с глиссирования, мог уложиться в 10 минут. Поставив 3-4 самолета CL-215 «в круг» над пожаром, можно было добиться практически непрерывного «полива».

По мере накопления опыта эксплуатации выявлялись возможности доработки самолета, и в конце 80-х появилась его модификация с турбовинтовыми двигателями CL-215T, а в 1994 году – CL-415, усовершенствованный вариант с более мощными двигателями, модернизированной системой слива и увеличенным до 6130 л объемом баков [45]. К настоящему моменту построено более 200 экземпляров CL-215/415. Наиболее активно самолет используется в Канаде. Франция, Испания, Греция и Югославия также закупили и применяют этот самолет для тушения лесных пожаров. С начала 70-х годов прошлого века использование авиации для борьбы с лесными пожарами с воздуха ещё более расширилось. Это связано с появлением специальных огнегасящих жидкостей – водных растворов антипиренов, смачивателей и пенообразователей, которые существенно превосходят воду по огнетушащей способности. В настоящее время в США и в Европе наиболее широко применяются производимые в США самолёты компании Air Tractor, особенно самолёт AT-802F и его модификации [46]. Это скоростной одномоторный воздушный танкер (рисунок 1.1), разработанный для оперативной

борьбы с лесными пожарами. Надёжный мощный газотурбинный двигатель обеспечивает самолёту быстрый взлёт и крейсерскую скорость 322 км/ч. Турбина двигателя не требует прогрева, поэтому самолёт АТ-802F уже через 5 минут после получения задания пилотом может подняться в воздух.



Рисунок 1.1 – Самолёт АТ-802F только аэродромного базирования.

Полная полезная нагрузка 3100 л огнетушащего раствора. Самолёт может базироваться на небольших аэродромах сельскохозяйственной авиации, взлетать и садиться на сравнительно коротких грунтовых полосах и автомобильных дорогах (для взлёта самолёта требуется примерно 900 м относительно ровной полосы), приводняться на поплавах, на близлежащих водоёмах.

Используя компьютерные технологии управления и гидросилители, система интерфейса пилота и запатентованного механизма створок бункера самолёта позволяет пилоту определять плотность покрытия раствором смоченной полосы, количество сбрасываемого раствора и путевую скорость. Компьютер непрерывно контролирует угол и время открытия створок бункера. Установленная на самолёте высокопроизводительная система заправки раствором антипирена сокращает время на подготовку к повторному вылету (для полной заправки раствором требуется не более 3 минут). Последняя модификация самолёта АТ-802F – самолёт-амфибия АТ-802F Fire Boss (рисунок 1.2) с возможностью посадки, забора воды и взлёта на водоёмах. Самолёт-амфибия АТ-

802F Fire Boss способен обеспечить прицельный слив огнетушащей жидкости или пены, и имеет компьютерную систему диспергирования огнетушащей жидкости.



Рисунок 1.2 – Самолёт-амфибия АТ-802F Fire Boss.

Он может совершать сравнительно низкие и медленные полёты среди деревьев, линий электропередачи, башен, ирригационных конструкций. Самолёт-амфибия оборудован поплавками, но дополнительно может иметь обычное шасси и химический бак.

Эффективность использования самолёта основана на сочетании его возможностей точного сброса с высокой маневренностью, улучшенным обзором для пилота и экономичностью. Он особенно эффективен в условиях узких воздушных коридоров и на ограниченных территориях горной или холмистой местности, вблизи строений и населённых пунктов. Самолёты-амфибии рекомендуется применять на территориях с высокой концентрацией водоёмов или в радиусе до 40 км от берегов морей и крупных озёр. Это резко сокращает длительность цикла тушения и повышает его эффективность в указанной зоне, поскольку эти самолёты могут набирать, глиссирюя по поверхности воды, более 3000 л воды за 30 с и всего через несколько минут быть у очага горения.

Преобладающее большинство типов авиационного сливного оборудования действует по принципу свободного слива. Это наиболее простое и универсальное оборудование. При этом слив осуществляется путём опрокидывания ёмкостей,

открытием донных створок или клапанов. Иногда имеется возможность регулировки расхода сливаемой жидкости путём изменения размеров сливного отверстия. Управление сливом обычно осуществляется дистанционно из кабины пилота с помощью электрического, пневматического или гидравлического привода.

Недостатками лесопожарных самолётов-танкеров является сравнительно низкая точность попадания и слишком большие потери огнетушащей жидкости в воздухе из-за большой по сравнению с вертолётom минимально допустимой высоты и скорости полёта при сливе.

Вертолётное оборудование для первой атаки и локализации лесных пожаров с воздуха представляет собой резервуары различной формы и вместимости, изготовленные из мягких или жёстких материалов. Основные характеристики авиационного сливного оборудования рассмотрены в работах [37, 47 и др.].

Развитие применения вертолетов для тушения пожаров в России происходило аналогично зарубежному опыту, в частности, в 1961 году были проведены опыты по тушению пожаров вертолетами Ми-4 с внутрифюзеляжным пожарным оборудованием, в 1966 году – вертолетом Ми-6 с аналогичным оборудованием АПМ-2, с 1971 года испытывался и проходил производственную проверку вертолет Ка-26 с металлическим водосливным устройством емкостью 600 л на внешней подвеске, в середине 70-х годов прошлого столетия начались работы по созданию аналогичных устройств для вертолета Ми-8 [48].

В настоящее время наиболее распространенным специальным оборудованием вертолетов в России в настоящее время являются водосливные устройства (ВСУ) размещенные на внешней подвеске, что в целом соответствует общемировым тенденциям [49, 50]. Изменяемый объём мягкой ёмкости, малый вес, хорошая транспортабельность обеспечивают широкое применение в ФБУ «Авиалесоохрана» разработанного в 1995 году мягкого водосливного устройства ВСУ-5 и его модификаций (ВСУ-5А, ВСУ-5М). Объём мягкой ёмкости изменяется от 1,3 до 2,5 м³ для внешней подвески вертолётom типа Ми-8Т (МТ, МТВ, АМТ) и от 3 до 4,5 м³ для вертолётom Ка-32. ВСУ-5 легко разбирается на

составные элементы, каждый из которых имеет массу не более 40 кг. За счёт отсутствия жёсткости оболочки в продольном направлении и оригинальной системы заполнения водой, оно обеспечивает забор воды из достаточно мелких водоёмов (глубиной 0,7-1,0 м) [24, 51, 52]. Отечественные ВСУ во многом являются аналогами имеющихся зарубежных устройств. Учитывая, что на внешней подвеске отечественных вертолетов могут использоваться различные устройства (без доработки конструкции вертолетов), в таблице 1.4 представлены общие технические характеристики зарубежных аналогов отечественных ВСУ фирм SEI Industries Ltd [53].

Таблица 1.4 – Данные мягких ВСУ типа Bambi-Bucket фирмы SEI Industries Ltd.

Модель	Рабочий объем, л	Масса устройства, кг		Стоимость устройства, USD	Удельный объем, л/кг	Удельная стоимость, USD/кг
		Полного	Пустого			
8096	365	395	30	4 610	12,17	153,7
9011	410	440	30	4 770	13,67	159,0
1012	455	490	35	5 030	13,00	143,7
1214	545	580	35	5 330	15,57	152,3
1518	680	715	35	6 180	19,43	176,6
1821	795	835	50	7 110	15,90	142,2
2024	910	960	50	7 430	18,20	148,6
2732	1225	1280	55	7 610	22,27	138,4
3542	1590	1655	65	8 730	24,46	134,3
4453	2000	2065	70	10 380	28,57	148,3
5566	2500	2585	90	12 200	27,78	135,6
7590	3405	3510	110	14 380	30,95	130,7
HL5000	5000	5115	120	16 500	41,67	137,5
HL7600	7570	7690	135	21 340	56,07	158,1
HL9800	9840	9985	165	25 170	59,64	152,5

На вертолётах (в основном зарубежных) как и на самолётах может устанавливаться комплект съёмного внутрифюзеляжного оборудования, включающего в себя ёмкость для огнегасящей жидкости, ёмкость для

смачивателей или пенообразователей, систему заправки емкостей, систему напорного или залпового слива жидкости, а также насосные агрегаты и систему управления устройством [54]. Основным производителем такого оборудования для вертолетов в настоящее время является фирма Simplex Manufacturing Company (США). Она предлагает широкий модельный ряд оборудования как для зарубежных (легких Bell-206, модель 10300; тяжелых S-64E, модель 307), так и для отечественного вертолета Ка-32А (модель 10900-50) [54].

В таблице 1.5 для примера представлены основные технические характеристики разновидностей съёмного оборудования фирмы Simplex для различных типов вертолетов [54, 55 и др.].

Таблица 1.5 – Технические характеристики ряда моделей съёмного вертолетного оборудования фирмы Simplex Manufacturing Company

Модель оборудования	10300	10400	10600	11000	10900-050
Тип вертолета	Bell 206L, L1, L3	Bell 205, 212	Eurocopter AS350B,C,D	Eurocopter BK117	Ка-32
Размеры бака, м					
- высота	0,41	0,46	0,56	0,25	0,79
- ширина	1,45	1,47	1,24	1,75	1,31
- длина	2,54	3,66	2,44	2,69	4,51
Масса, кг	136,2	290,6	131,7	129,8	293,3
Полезный объем, л	597	1 386	597	812	1 382
Объем антипирена, л	54	96	77	77	339
Подача забора, л/с	7,70	24,38	7,70	7,70	51,33
Время забора, с	78	58	78	106	64
Тип привода	Электри- ческий	Гидравли- ческий	Электри- ческий	Электри- ческий	Электри- ческий

Достоинствами съёмного вертолётного оборудования является повышение маневренности и в некоторых случаях скорости полета в сравнении с использованием водосливного устройства (ВСУ) на внешней подвеске, расширение возможностей тушения пожаров при отсутствии пригодных для ВСУ водоемов, приготовление огнегасящих рабочих жидкостей в полете при активном

насосном перемешивании воды и смачивателей (пенообразователей), слив жидкости под давлением (уменьшение потерь жидкости при сливе, улучшение прохождения жидкости через полог древостоя), гибкое регулирование секундного расхода жидкости при прокладке заградительных полос, возможность создания пенных полос и некоторые другие.

К недостаткам можно отнести существенное усложнение и удорожание оборудования. Кроме того, съёмное бортовое оборудование, в сравнении с подвесным соответствующего объема, имеет значительно большую массу. При полезных объемах 3-4 м³, характерных для отечественных вертолетов типа Ми-8МТВ и Ка-32, это эквивалентно снижению рабочей грузоподъемности, например, вертолетов типа Ка-32 до 1,0-1,5 т.

Использование систем «самозаправки» связано с дополнительным отбором мощности на достаточно напряженном режиме висения вертолета (для вертолета типа Ка-32 порядка 8-10 кВт). Большая трудоемкость монтажа и демонтажа оборудования в сравнении с подцепкой и отцепкой ВСУ на внешнюю подвеску, дополнительные затраты на техническое обслуживание и хранение съёмного оборудования также препятствуют его распространению, в том числе в России.

В США и Канаде для охраны лесов от пожаров используется обширный перечень различных самолетов и вертолетов, которые по своему назначению, подразделяются на две основные функциональные группы.

Первую группу образуют самолеты и вертолеты, предназначенные для тушения лесных пожаров посредством слива огнегасящей жидкости в зоне пожара («авиатанкеры» по принятой в США терминологии). Отдельные летно-технические данные наиболее характерных зарубежных самолетов и вертолетов, используемых для тушения лесных пожаров, представлены в таблице 1.6 [44, 45, 56, 57, 58, 59 и др.].

Таблица 1.6 – Летно-технические характеристики зарубежных воздушных судов, используемых для тушения лесных пожаров с воздуха

Тип ВС	Bell 205A	Bell 412HP	S-70	BV-234LR	CH-53E	AT-802F	CL-215	CL-415	DASH-8-400	BA-e-146-300F	L-100-30F(C-130)	LC-10-30F	B747-200F
Год внедрения	1968	1990	1985	1981	1981	1993	1967	1993	2000	1989	1970	1972	1972
Количество и тип двигателей	1хГТД Lyc.T5 313B	2хГТД PT6T-3B	2хГТ ДСТ7-2C	2хГТД AL 5512	3хГТД T64-GE4	1хГТД PT6A-67AG	2хПД PWR-2800	2хГТ ДPW-123A	2хГТД PW-150A	4хГТД ALF50 2-RS	4хГТДА LCO-501D2	3хГТД CF6-50CT	4хГТД JT9D-7R-4G2
Взлетная мощность двигателя, л.с.	1400	900	1625	4075	4380	1350	2100	2380	4580	3162	4508	23850	24835
Взлетная масса, т	4,31 / 4,76	5,40	9,18	22,00 / 23,13	31,64 / 33,34	7,26	19,70	19,89	28,917	44,23	70,31	259,46	377,85
Масса снаряженного, т	2,41	3,06	4,70	11,75	16,08	3,20	12,20	12,86	17,15	23,13	35,26	110,22	155,13
Коммерческая нагрузка, т													
- максимальная	1,36 / 2,26	2,02 / 2,04	3,22 / 3,63	4,58 / 11,22	14,44 / 16,33	3,63	5,40	6,20	8,48	12,71	23,16	71,67	112,49
- при макс. запасе топлива	1,16	1,25	3,22	3,71	8,28	3,14	2,40	3,86	6,34	11,74	14,30	36,29	58,03
Максимальный объем огнегасящей жидкости, л	1400	2000	3500	9464	11550	3157	4900	6140	7500	11550	15400	45000	91000
Крейсерская скорость, км/ч	204	230	268	268	278	322	291	375	649	698-794	516-583	870-890	900-940

Окончание таблицы 1.6

Тип ВС	Bell 205A	Bell 412HP	S-70	BV-234LR	CH-53E	AT-802F	CL-215	CL-415	DASH-8-400	BA-e-146-300F	L-100-30F(C-130)	LC-10-30F	B747-200F
Практическая дальность полета, км - при макс. коммерч. нагрузке - при макс. запасе топлива	237	-	425	1000	-	350	1200	1400	1383	1927	2470	740	6450
	398	628	425	1209	880	1280	2094	2425	2598	2185	5780	10186	10700
Длина ВПП (МСА), м	-	-	-	-	-	600	1600	1500	1285	1585	2400	3000	3185
Часовой расход топлива, кг/ч	267	280	500	1122	1778	265	800	870	937	2154	2120	9343	12378
Длина ВС, м	17,46	17,13	19,76	30,18	30,19	10,89	19,82	19,82	22,84	30,99	34,37	55,06	70,66
Размах крыла, м	-	-	-	-	-	18,07	28,60	28,63	28,42	26,34	40,41	50,39	59,64
Высота ВС, м	4,39	4,6	5,13	5,69	8,66	3,36	8,98	8,98	8,34	8,61	11,66	17,70	19,33
Диаметр несущего винта, м	14,63	14,02	16,36	18,29	24,08	-	-	-	-	-	-	-	-
Длина грузовой кабины, м	2,33	2,34	3,84	9,2	9,14	-	-	-	-	18,23	14,26	36,88	56,40
Ширина грузовой кабины, м	2,44	2,44	2,34	2,29	2,29	-	-	-	-	3,23	3,11	5,72	5,90
Высота грузовой кабины, м	1,32	1,32	1,37	1,98	1,98	-	-	-	-	2,02	2,74	2,59	2,54
Объем грузовой кабины, м ³	7,02	7,018	11,48	45,45	42,00	-	-	-	-	128,7	171,5	528	714

Основной функциональной характеристикой авиатанкеров является объем доставляемой к месту пожара жидкости и по данному показателю эти воздушные суда в США делятся на категории в соответствии с таблицей 1.7 [57].

Таблица 1.7 – Классификация авиатанкеров по объему жидкости

Категория ВС	Тип ВС	Объем жидкости, л	
		Самолеты	вертолеты
Легкие	III	< 3800	340-730
Средние	II	3800-38000	730-2043
Тяжелые	I	38000-76000	3632-13620
Сверхтяжелые	I	> 76000	> 13620

Другую группу самолетов и вертолетов, используемых в зарубежных странах для охраны лесов от пожаров, образуют воздушные суда вспомогательного назначения, реализующие функции:

- патрулирования и контроля лесопожарных мероприятий;
- целеуказания (лидеровщики) для захода, сброса жидкости авиатанкерами;
- оперативной доставки тактических групп пожаротушения и иного персонала.

Самолеты для тушения лесных пожаров в США по функциональному назначению распределяются следующим образом:

- средние и тяжелые авиатанкеры – 407 самолетов (32 %), включая 23 тяжелых самолета C-130 национальной гвардии США с модульной противопожарной системой MAFFS;
- легкие однодвигательные авиатанкеры – 60 единиц (5 %);
- легкие однодвигательные и двухдвигательные самолеты-лидеровщики – 118 единиц (8 %);
- патрульные легкие и средние самолеты – 735 единиц (41 %);
- самолеты тактических групп пожаротушения – 86 единиц (5 %);
- другие легкие вспомогательные самолеты – 162 единицы (9 %) соответствии с отечественной классификацией авиатанкеров по объему жидкости к первой группе до 3 тыс. л можно отнести зарубежные сельскохозяйственные самолеты

типа PZL М-18 «Дромадер», МАС-6 «Филдмастер», Пилатус «Турбо-Портер» и отечественный Ан-2(П). Они могут использоваться для борьбы с начинающимися пожарами, недалеко от аэродрома базирования.

Ко второй, наиболее распространённой группе от 3 до 6 тыс. л, по отечественной классификации, можно отнести самолёты CL-215/415 и переоборудованные под пожарные самолеты Грумман «Трэккер», Локхид «Нептун», ВАН 748, С-119 «Флаинг Бекскар», а также отечественные Ан-32П и Бе-12.

Их применение возможно, как на начинающихся пожарах, так и на уже действующих. Для борьбы с лесными пожарами средней и высокой интенсивности обычно используется тактика прокладки заградительных полос. Огнетушащая жидкость или пена, сбрасывается перед надвигающимся фронтом пожара, что позволяет остановить его и выиграть время для развертывания наземных сил и средств пожаротушения.

Третья группа по отечественной классификации – тяжелые пожарные самолеты-танкеры с объемом баков более 6000 л, – очень немногочисленна. Они используются при всех типах лесных пожаров – от малых возгораний, когда огонь гасится при первом же сбросе, до крупных и катастрофических, когда необходима быстрая прокладка заградительных полос максимально возможной длины. В эту группу можно включить Локхид С-130 «Геркулес», летающую лодку Мартин «Марс» и отечественные самолеты Бе-200 и Ил-76ТП.

Из всего арсенала авиатанкеров в настоящее время самым большим в мире серийным самолётом-танкером является Ил-76ТП, имеющим баки суммарной емкостью 42 м³ [60]. Однако существует экспериментальный опыт применения для этих целей и более тяжелых самолетов, например, противопожарной модификации самолета Боинг-747 с емкостью баков 91 м³ [56].

Основные технические характеристики специального оборудования для слива огнегасящей жидкости с отечественных самолетов-танкеров в соответствии с [61-67] приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 - Технические характеристики отечественных самолетных сливных устройств

Тип ВС	Ан-2	Ан-3	Бе-200	Ил-76ТП
Рабочий объем жидкости, л	1200	1950	12000	42000
Время слива, с	2,6	4,0	1,6 -1,8*	10,5
Средний расход, л/с	465	485	6700-7500*	4000
Параметры смоченной полосы при скорости полета, км/ч	160	150	260	280
и при высоте полета, м	30-40	40	60	80
- длина, м	140	136	180-250	550
- ширина, м	14-16	16-20	50-60	100
- средняя дозировка жидкости на полосе, л/м ²	0,4-0,5	0,42	0,8-1,2	0,8
- максимальная дозировка жидкости на полосе, л/м ²	1,1-1,6	1,5	7,0-8,5	5,2

* При залповом сбросе.

Наиболее эффективным отечественным самолётом-танкером является самолёт Бе-200 в пожарном варианте. Его система пожарного оборудования включает в себя следующие основные элементы [68, 69]:

- баки общей емкостью 12 м³ для размещения воды;
- баки объемом 1,2 м³ для размещения огнегасящих добавок;
- заборные патрубки для заправки баков на режиме глиссирования;
- систему управления и программируемого сброса жидкости из баков.

Баки для размещения воды состоят из 8 секций баков емкостью по 1,5 м³ каждый, которые расположены в нижней части фюзеляжа под полом грузовой кабины. Каждая секция баков имеет собственные створки, обеспечивающие при программируемом их открытии сброс находящейся в баке воды. Для увеличения эффективности тушения пожаров в основные баки с помощью центробежных насосов из специальных дополнительных баков могут добавляться химические огнегасящие добавки. На борту самолета установлено 6 дополнительных баков общим объемом 1,2 м³. Два убирающихся заборных патрубка, размещенных по бокам нижней части фюзеляжа, обеспечивают заправку жидкости в основные баки

на открытом водоеме в режиме глиссирования. Система управления и программируемого сброса жидкости обеспечивает экипажу самолета возможность:

- выпуска и уборки заборных патрубков для заправки воды;
- контроля заполнения баков при их заправке жидкостью;
- дозированной подачи специальных добавок в основные баки;
- программирования режима слива и его реализацию.

Сброс воды может выполняться как одновременно из всех баков (залпом), так и последовательным открытием створок водяных баков и их групп (с учетом требований обеспечения центровки самолета). Увеличенный объем воды на борту и повышенный секундный расход жидкости (до $7,5 \text{ м}^3/\text{с}$) при залповом сбросе позволяет существенно увеличить максимальную дозировку огнетушащей жидкости на смоченной полосе в сравнении с другими пожарными самолетами (таблица 1.8), что делает этот самолет перспективным для тушения лесных пожаров высокой интенсивности.

Реализация в системе схемы последовательного слива жидкости из отдельных баков и их групп позволяет самолету прокладывать заградительные полосы со средней поверхностной плотностью жидкости на заградительной полосе по линии пролета самолета $3-4 \text{ л}/\text{м}^2$, что значительно расширяет возможности авиационной борьбы с лесным пожаром.

В качестве сливного оборудования самолета ИЛ-76ТП служит выливной авиационный прибор ВАП-2. Он предназначен для тушения лесных пожаров и представляют собой легкоъемную, монтируемую в течение 2 часов в грузовой кабине самолета танкерную систему, заполненную огнегасящей жидкостью объемом до 42 м^3 [18, 47]. Два бака длиной 21 м и общей массой 5 т обеспечивают размещение в них воды или специально подготовленного раствора огнегасящей жидкости и свободное истечение жидкости при открытии запорных створок. Слив огнегасящей жидкости осуществляется через сливную систему, выполненную в виде лотков, при открытом заднем люке и рампе. Наземная заправка системы осуществляется в течение примерно 40 минут на аэродроме через рукава, заведенные в грузовую кабину от гидрантов или пожарных систем типа АА-60

«Ураган» с расходом воды не менее 30 л/с и давлением не менее 4 кг/см². С целью обеспечения приготовления растворов антипиренов в комплект системы входит специальный растворный узел РУ Сб 02, который способен осуществить пятикратную заправку 5 самолетов в сутки и транспортируется в разобранном виде в инструментальном отсеке самолета. Устройство ВАП-2 ввиду очевидных ограничений конструкции самолета (слив через открытый грузовой люк) и габаритов сливных лотков имеет несколько меньший секундный расход жидкости при сливе (4000 л/с) в сравнении с самолетом Бе-200 и, соответственно, меньшую при сопоставимых скоростях, максимальную дозировку жидкости на смоченной полосе (таблица 1.8). Тем не менее, за счет большего объема баков этот авиатанкер обеспечивает увеличенные размеры смоченной полосы (при последовательном сливе длина до 700 м и ширина до 65 м) [70]. Отмеченные параметры заградительной смоченной полосы определяют возможность использования самолета Ил-76ТП для борьбы с лесными пожарами [71].

С целью получения оптимальных параметров противопожарной заградительной полосы на земле в некоторых зарубежных системах управления сливом имеется возможность регулировки расхода и диспергирования сливаемой жидкости. Расход регулируется бортовым компьютером в зависимости от режима полёта воздушного судна при сливе [72]. Например, авиатанкер большой грузоподъемности Боинг 747 оборудован новейшей системой слива с регулировкой давления, способной распылять огнетушащую жидкость или сливать ее с эффектом капельного дождя. Кроме того, можно дозировать слив, сливая частями, несколько раз в течение одного вылета. У Боинга 747 длина смоченной огнетушащей жидкостью полосы достигает 7600 м [66], что более чем в десять раз превосходит возможности авиатанкера ИЛ-76ТП.

Общие технические характеристики основных отечественных ВСУ, использовавшихся для тушения вертолетами лесных пожаров представлены в таблице 1.9.

Таблица 1.9 – Технические характеристики отечественных вертолетных водосливных устройств, транспортируемых на внешней подвеске

Тип ВСУ	ВСУ-2	ВСУ 1,8	ВСУ-5А	ВСУ-15А
Тип вертолета	Ми-8, Ми-8Т	Ми-8, Ми-8Т	Ми-8МТВ, Ка-32	Ми-26Т
Рабочий объем*, л	2000	1800 (1400, 1000)	4500 (2500)	15000 (7000, 8000, 9000, 10000, 12500, 13500)
Время наполнения, с	13 – 15	3-6	12 – 14	10-15
Секундный выпуск, л/с	247	326-346	900	700-1000
Длина подвески, м	10	20,30	20,30	20,30
Масса, кг	250	130	160	305
Эффективные параметры смоченной полосы при скорости полета, км/ч и при высота полета, м				
- длина полосы, м	30	60-80	60	60
- ширина полосы, м	30	40	40	40
- максимальная дозировка, л/м ²	40-60	80 - 120	94	250
- длина полосы, м	10-14	10-16	12,8	12,8
- ширина полосы, м	1,3-2,3	2,5 - 3,5	3,7	4,5
Скорость транспортирования, км/ч:				
- пустого	160	130	160	160
- заполненного	180	160-170	180	180

* В скобках указаны варианты рифления емкости.

Как уже ранее отмечалось, самым важным этапом развития ВСУ у нас в стране стало создание в начале 1990-х годов системы ВСУ-5 с рабочей емкостью до 4,5 м³ для вертолетов типа Ми-8МТВ и Ка-32, которая во многом была аналогична получившей широкое распространение к этому времени канадским системам Vambi-Bucket [49, 73].

В типовой комплект поставки ВСУ-5 входят: мягкая емкость (оболочка, пояс рифления, балластные полукольца, центральный и боковые троса), устройство управления (механизм и пульт управления, соединительные электрожгуты), стропа ленточная ЛС-5 с металлическими переходниками, а также крепеж, ЗИП, упаковочная тара (мешки) и комплект документации [74].

После зависания вертолета над водоемом ВСУ-5А опускается в воду с вертикальным складыванием оболочки, при этом натяжение центрального троса ослабевает, и клапан сливного патрубка под воздействием давления воды открывается, мягкая емкость заполняется водой через сливной патрубок. Окончательное заполнение емкости происходит после незначительного погружения в воду верхнего обода. При этом мягкая емкость, погружаясь под действием веса нижнего обода и балластных полуколец, восстанавливает свой вертикальный размер, центральный трос натягивается и закрывает клапан сливного патрубка. Заполненное водой ВСУ-5А поднимается вертолетом из воды и транспортируется к месту пожара. При достижении точки слива воды бортоператор нажимает на пульте управления кнопку открытия замка, при этом шариковый замок механизма управления освобождает вкладыш стального троса, связанного через центральный трос с клапаном сливного патрубка. Под действием веса воды сливной патрубок опускается, а его клапан открывается. Происходит слив воды [22,75].

После освобождения мягкой емкости от воды сливной патрубок втягивается внутрь мягкой емкости под действием возвратной пружины, находящейся в механизме управления. При этом бортоператор нажимает на пульте управления кнопку подготовки, после чего (через 7-8 с) механизм управления приходит в исходное положение и ВСУ-5А готово к новому циклу работы.

Системы ВСУ-15А в настоящее время отсутствуют в лесной авиации (ввиду отсутствия в парке вертолетов Ми-26Т), однако находятся на эксплуатации в авиапредприятиях МЧС России и гражданской авиации, причем имеющийся опыт показывает высокую эффективность тушения лесных пожаров с применением ВСУ-15А [49, 76].

Как отмечалось ранее, отечественные системы типа ВСУ-5А и ВСУ-15А во многом являются аналогами имеющихся зарубежных устройств. Тем не менее, современные отечественные ВСУ-5А и ВСУ-15А для вертолетов типа Ми-8МТВ, Ка-32 и Ми-26Т ни в чем не уступают зарубежным аналогам [77, 78]. Характерно также, что проведенные на отечественных вертолетах Ми-8МТВ, Ка-32 и Ми-26Т

летные испытания систем Vambi-Bucket, в целом не выявили каких-либо преимуществ данных систем в сравнении с ВСУ-5А и ВСУ-15А [79, 80].

ВСУ находятся в процессе постоянного совершенствования конструкции и приемов эксплуатации. Их применение на вертолетах типа Ми-8МТВ и Ка-32 происходит в разнообразных лесорастительных условиях как у нас в стране [70, 49, 50], так и за рубежом [49, 76, 81].

Анализ патентной информации показал [82], что во многих зарубежных странах в последнее время для повышения эффективности борьбы с лесными пожарами широко применяются специальные добавки (смачиватели и пенообразователи типа сульфонол НП-1, ПО-6НП, ПО-6ЦТ, PHOS СНЕК WD-884, Файрэкс, антипирены типа бишофит, ОС-5 и др.), увеличивающие огнегасящие свойства водных растворов и надежность подавления очага пожара.

В связи с этим возникла задача подачи химических добавок в емкость сливного устройства, после его заполнения водой из водоёма. С этой целью к вертолетам типа Ми-8 и Ка-32 была разработана бортовая система СПС-1 для подачи смачивателя в ВСУ-5 [83]. Она представляла собой устанавливаемую на пол вертолета в районе люка внешней подвески раму с ложементами, на которых размещалась емкость для смачивателя, шаровой кран с электромеханизмом, уровнемер, счетчик дозирования и соединительная арматура. Для дозированной подачи смачивателя от СПС-1 в емкость ВСУ был предусмотрен гибкий трубопровод, присоединённый к мягкой подвеске ВСУ. При емкости бака СПС-1 около 200 л и среднем объеме одноразовой добавки смачивателей в пределах 10-30 л в рабочем цикле, в зависимости от типа химической добавки, обеспечивалось от 6 до 20 сливов огнетушащего раствора из ВСУ-5 при борьбе с лесными пожарами [83].

Недостатком системы СПС-1 являлось размещение бака со смачивателем в грузовой кабине вертолётa (обычно вместо запасного топливного бака), что уменьшало дальность полётa вертолётa без дозаправки. Кроме того, были большие потери времени и трудозатраты при монтаже и демонтаже этой системы.

Наряду с огнегасящими жидкостями очень эффективным огнетушащим средством является пена, благодаря своему изолирующему, смачивающему и охлаждающему действию. Пена позволяет тушить пожары быстрее, чем водой, образует меньше пара и даёт меньшее число повторных загораний. Количество требуемой воды сокращается на 25 %. Приготавливается пена с помощью воздушно-пенного ствола путём подачи сжатого воздуха в распылённый раствор пенообразователя. В США для целей пожаротушения ежегодно приобретается 10 тыс. м³ различных пенообразователей на сумму 25 млн. долларов [84].

Однако для создания пены в ёмкости должно быть избыточное давление, а преобладающее большинство типов авиационного сливного оборудования действовало по принципу свободного слива жидкости. В связи с этим в середине 80-х годов прошлого века начали проводиться опыты по использованию для прокладки противопожарных заградительных полос лёгких жёстких емкостей из композитных материалов, транспортируемых на внешней подвеске вертолётa. Подача жидкости из них в пеногенератор или сливной патрубков осуществлялась под повышенным давлением. При этом получались существенно лучшие характеристики противопожарных заградительных полос за счёт значительного уменьшения потерь огнетушащего агента из-за его дробления набегающим потоком воздуха и нисходящим потоком от винта вертолётa [37, 85].

В 1998 г. ФЦДТ «Союз», ФБУ «СПбНИИЛХ», ФБУ «Авиалесоохрана» и ООО НПО «СОПОТ» испытали на территории Геленджикского лесхоза опытный образец жесткой ёмкости с пеногенерирующим устройством «Пурга», позволяющим создавать воздушно-механическую пену низкой и средней кратности. Результаты лётных испытаний показали, что опытный образец напорного сливного оборудования ёмкостью 2 м³ с пеногенерирующим устройством «Пурга» позволяет за один слив пены с вертолётa создавать заградительную полосу длиной до 350 м, шириной 2-8 м с высотой слоя пены 2-10 см за время 1,2-1,5 минуты [37, 85].

Таким образом, анализ различных способов и устройств слива огнетушащей жидкости с самолётov и вертолётov при борьбе с лесными пожарами показывает,

что наибольший эффект достигается в результате применения вертолётных сливных устройств, поскольку только вертолёты могут обеспечить минимальную высоту и оптимальную скорость полёта в процессе слива огнетушащей жидкости. Качество противопожарных заградительных полос может быть улучшено как путём создания нового, более совершенного, сливного оборудования, так и за счёт улучшения огнезадерживающих и других свойств сливаемого химического раствора.

Выводы

1. Анализ статистических данных по лесным пожарам показывает существенный рост горимости лесов Российской Федерации. В последние годы наблюдается резкое увеличение доли крупных лесных пожаров и, соответственно, увеличение средней площади лесного пожара, что свидетельствует о снижении уровня охраны и оперативности борьбы с лесными пожарами. Выявленные тенденции полностью подтверждают актуальность лесопожарной проблемы и необходимость её решения.

2. Современная лесопожарная политика предусматривает повышение эффективности использования ресурсов, выделяемых на охрану лесов от пожаров, и переход к концепции пожароуправления, который сопряжён с решением ряда проблем. В частности, необходимо уметь прогнозировать вероятность возникновения, возможные виды, интенсивности и последствия лесных пожаров, осуществить техническое перевооружение наземной и авиационной охраны лесов, научиться прогнозировать экономический ущерб от лесных пожаров и затраты на их тушение, установить и поддерживать необходимый уровень охраны лесов от пожаров.

3. Несмотря на существование сравнительно большого количества технических средств для создания противопожарных барьеров в лесах, задача оперативной локализации лесных пожаров заградительными полосами на удалённых и труднодоступных лесных территориях технически обеспечена

недостаточно. В связи с этим остаётся потребность в разработке новых, более эффективных, авиационных средств для их создания.

4. Анализ различных способов и устройств слива огнетушащей жидкости с самолётов и вертолётов при борьбе с лесными пожарами показывает, что наибольший эффект достигается в результате применения вертолётных сливных устройств. Качество противопожарных заградительных полос может быть улучшено как путём создания нового, более совершенного, сливного оборудования, так и за счёт улучшения огнезадерживающих и других свойств сливаемого химического агента.

ГЛАВА 2. ПРОГРАММА, РАМКИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Программа и рамки исследований

На основе анализа состояния проблемы сформулирована главная цель исследования. Она заключалась в снижении горимости и предупреждении крупных пожаров в лесах за счёт совершенствования технологий прокладки противопожарных заградительных и опорных полос в зонах лесоавиационных работ. Для достижения поставленной цели диссертационной работы, требовалось решить ряд задач. Эти задачи, расположенные в определённой последовательности, перечислены в следующей программе исследований:

- 1) исследовать экспериментальными методами параметры противопожарных заградительных полос, создаваемых с воздуха с применением новых и усовершенствованных технологий;
- 2) провести натурные экспериментальные исследования огнезадерживающей способности противопожарных заградительных полос;
- 3) проанализировать методы моделирования лесных пожаров и выбрать физико-математические модели для прогнозирования их параметров;
- 4) проанализировать перспективные способы и средства создания противопожарных заградительных и опорных полос в зонах лесоавиационных работ;
- 5) научно обосновать эффективность применения новых и усовершенствованных технологий создания противопожарных заградительных и опорных полос в зонах лесоавиационных работ по результатам проведённых экспериментальных и теоретических исследований;
- 6) разработать рекомендации по ограничению распространения огня в зонах лесоавиационных работ и провести их апробацию.

Для реализации технологии создания заградительных химических полос и определения их огнезадерживающей эффективности в различных лесорастительных условиях ОАО «СОПОТ» был осуществлён выпуск опытно-

промышленных партий новых технических средств подачи растворов огнетушащих составов, воздушно-механической и огнестойкой быстротвердеющей пены (вертолётного водопеносливного устройства ВВСУ «Пурга» 30х2, огнетушителей ВП-50-СКДП, передвижных пожарных модулей с УКТП «ПУРГА», гусеничных плавающих пожарных установок на шасси МТ-ЛБу «Ямал-201», гусеничных пожарных установок на шасси МТ-ЛБв «Ямал 30ТП»). Для этих же целей ООО «Техноэкос» была изготовлена опытная партия вертолётных систем дозированной подачи жидких огнетушащих составов СДП-1 к ВСУ-5А. ФБУ «СПбНИИЛХ» был изготовлен опытный образец огнезащитного экрана из кремнезёмной ткани для проведения его исследовательских испытаний и апробации в различных субъектах Российской Федерации.

Ввиду очень большого разнообразия лесорастительных условий России, исследования по теме диссертации были ограничены в основном широко представленными и наиболее пожароопасными сосновыми лесами.

Эксперименты и апробации проводились в сосновых лесах Лужского района Ленинградской области (подзона южной тайги), в Ханты-Мансийском АО, Геленджикском лесничестве, Республике Марий Эл, Ульяновской области, в Бурятии и др.

Напочвенный покров на опытных участках в основном был представлен лишайниками, зелеными мхами, травами и вереском. Запас лесных горючих материалов в напочвенном покрове соответственно изменялся в пределах 0,4-0,9; 0,8-1,4; 0,2-0,5 и 0,8-2,2 кг/м², а запас подстилки – 0,2-0,8; 0,9-2,5; 1,3-2,0 и 0,3-0,9 кг/м². С увеличением полноты на 0,1 запас лесных горючих материалов в мохово-лишайниковом напочвенном покрове возрастал на 15-20 %.

Как правило, огневые эксперименты проводились в приспевающих, спелых и перестойных одновозрастных насаждениях высотой 21 м и более с развитой подстилкой при влажности напочвенного покрова 10-15 %. В них обычно возникали низовые пожары средней и высокой интенсивности. При этом часто наблюдалось факельное сгорание групп подроста и сухостойных деревьев.

2.2. Методы проведения лётных исследований параметров противопожарных заградительных полос

Лётные исследования состояли из двух частей:

- исследования, проводившиеся с помощью вертолёт Ми-8Т (Ми-8 МТВ), оснащённого штатной системой внешней подвески, водосливным устройством ВСУ-5А и системой дозированной подачи жидких огнетушащих составов СДП-1;

- исследования с помощью вертолётного водопеносливного устройства ВВСУ «ПУРГА» 30х2 на внешней подвеске, разработанного ООО НПО «СОПОТ». Исследовательские полёты со сливом воды, растворов смачивателя или пенообразователя (с разными концентрациями), выполнялись с целью определения дозировок растворов смачивателя или пенообразователя на создаваемой с воздуха смоченной полосе при разных режимах полёта вертолёт. Они проводились ФГУ «СПбНИИЛХ» с участием специалистов Центральной базы авиационной охраны лесов ФБУ «Авиалесоохрана» и НПК «ПАНХ» в период с 2000 по 2015 гг. в Краснодаре, Сортавале, Петрозаводске, Геленджике и Сургуте. Исследования проводились с помощью вертолёт Ми-8Т (МТВ), оснащённого штатной системой внешней подвески, водосливным устройством ВСУ-5А и системой дозированной подачи жидких огнетушащих составов СДП-1. Для определения параметров заградительных полос вдоль взлётно-посадочной полосы на грунте с травяным покрытием оборудовался контрольно-измерительный полигон (КИП) длиной 100-500 м и шириной не менее 30 м (рисунок 2.1).

На нём через каждые 10 м размечались поперечные (относительно направления полёта вертолёт при сливе) учетные линии, на которых с шагом 1-2 м устанавливались водоприёмники. В зависимости от режима полёта вертолёт указанные расстояния могли быть изменены. Начало и конец КИП были отмечены створными знаками (цветными полотнищами), а углы и ось полигона – флагами. Для количественной оценки влияния полога древостоя сливы жидкости при лётных исследованиях выполнялись в древостоях низкой (< 0,5), средней (0,5-0,7),



Рисунок 2.1 – Контрольно-измерительный полигон (КИП) для определения параметров противопожарных заградительных полос

высокой ($> 0,7$) полноты и на вырубке. Участки таких древостоев, с учетом общих требований безопасности полетов вертолетов с внешней подвеской и удобства проведения учетных работ, выбирались по согласованию с администрацией и соответствующими лесничествами.

В процессе лётных исследований использовался механизированный способ заправки поверхностно активных добавок (смачивателей, пенообразователей) в ёмкость СДП-1. При этом применялась мотопомпа для вязких жидкостей с расходомером.

После заправки сливного устройства водой (в режиме висения вертолётa) в него подавалось заданное количество огнетушащего состава. Масса одноразовой добавки пенообразователя или смачивателя, приходящаяся на объём раствора V , ограниченный размером ёмкости ВСУ-5А, в зависимости от требуемой концентрации раствора, определялась с помощью равенства, формула (2.1):

$$M = (V K d_{\text{п}}) / 100, \quad (2.1)$$

где M – масса пенообразователя (смачивателя), кг;

V – объём раствора пенообразователя (смачивателя) в ёмкости ВСУ-5А, м³;

K – концентрация раствора пенообразователя (смачивателя), %;

$d_{\text{п}}$ – плотность пенообразователя (смачивателя), кг/м³.

Включение системы СДП-1 на подачу добавки в ёмкость ВСУ-5А выполнялось бортмехаником после забора в неё воды и набора высоты (по нижнему кольцу ёмкости) более 20 м. Подача добавок в ёмкость ВСУ-5А осуществлялась преимущественно на этапе горизонтального полёта со скоростью 50-60 км/ч (при более высоких скоростях возможно выдувание пенящегося огнетушащего раствора). Перемешивание добавок в ёмкости ВСУ-5А проявлялось в зрительно наблюдаемом циркуляционном движении воды, интенсивность которого нарастала при увеличении скорости транспортирования ВСУ-5А.

Полеты, как правило, выполнялись с зарифованной до 2,0 м³ ёмкостью ВСУ-5А и загрузкой СДП-1 до 200 кг. Сливы огнетушащих растворов проводились на скоростях 50-80 км/ч по прибору на высотах нижнего среза ёмкости ВСУ-5А над кронами лесных участков не менее 10 м и преимущественно против ветра с учетом направления его боковой составляющей. За 400-500 м до начала слива раствора на КИП устанавливался рабочий режим полёта (курс, скорость, высота), в соответствии с полётным заданием.

После каждого контрольного слива раствора смачивателя или пенообразователя на КИП производились измерения дозировки (объёма раствора на земле, приходящегося на единицу площади) с помощью мерной ёмкости. Пена, попавшая в водоприёмники, отстаивалась до превращения её в жидкий раствор.

По методике ПАНХ [86], огнетушащая жидкость из водоприёмника (банки) переливалась в мерную ёмкость с делениями (цилиндр) и определялся её объём V_1 в миллилитрах. Затем, по известной площади сечения S_1 отверстия банки, дозировка (поверхностная плотность) жидкости V_2 / S_2 на единице площади $S_2 = 1 \text{ м}^2$ заградительной полосы определялась равенством (2.2):

$$V_2 / V_1 = S_2 / S_1, \text{ откуда } V_2 / S_2 = V_1 / S_1, \quad (2.2)$$

где V_2 – объём огнетушащей жидкости, приходящийся на единицу площади (1 м^2) заградительной полосы, мл.

Очевидно, что для получения значения V_2 в литрах необходимо его значение в мл разделить на 1000, то есть окончательно, формула (2.3) принимает вид:

$$V_2 / S_2 = V_1 / (1000 S_1), \quad (2.3)$$

где V_2 / S_2 – объём огнетушащей жидкости, приходящийся на единицу площади (1 м^2) заградительной полосы, л/м².

Результаты замеров заносились в протокол-таблицу, где каждый водоприёмник имел свой порядковый номер в продольном и поперечном направлениях. Кроме того, туда заносились дата и время проведения эксперимента, номер полёта, режим полёта при сливе (курс, высота и скорость), количество заправленной жидкости, продолжительность слива, метеоусловия по данным аэродромной метеостанции. Режим полёта регистрировался бортовой аппаратурой. Геометрия струи и угол отклонения троса подвески определялись с помощью видео- и фотосъёмки.

При известном уровне потерь огнетушащей жидкости в ходе её слива на открытом полигоне и по полученным на земле дозировкам на лесных полигонах оценивалось влияние на этот процесс полога леса в зависимости от полноты древостоя. Таксационные описания КИП, соответствовали общему таксационному описанию выделов, на которых они располагались.

Методика лётных исследований возможности создания противопожарных заградительных полос из быстротвердеющей пены была основана на тактико-технических характеристиках вертолетного водопеносливного устройства (ВВСУ), разработанного ЗАО НПО «СОПОТ».

ВВСУ размещалось на внешней подвеске вертолетов К-32, Ми-8МТВ (рисунок 2.2). Оно предназначено для забора воды из открытых водоемов (рисунок 2.3), в том числе мелководных с глубиной 1,5-2м, доставки воды и пенообразователя к месту пожара, комбинированной подачи струй воздушно-механической пены низкой и средней кратности, а также распыленных или компактных струй воды.



Рисунок 2.2 – Вертолёт Ми-8МТВ с ВВСУ на внешней подвеске

В составе устройства имеется также система сброса всей массы огнетушащей жидкости за 5-8 с. Управление сливом воды, огнетушащих растворов и подачей струй пены осуществляется дистанционно с пульта управления оператора по радиоканалу или по проводной сети.



Рисунок 2.3 – Забор воды, путём опускания ВВСУ на поверхность воды

Основной задачей лётных испытаний нового авиационного способа борьбы с лесными пожарами было определение возможности прокладки противопожарной заградительной полосы путём подачи быстротвердеющей огнезащитной пены с ВВСУ «ПУРГА» 30х2 и оценка основных параметров проложенной при этом огнезадерживающей полосы.

Методика выполнения полётов вертолёт с ВВСУ «ПУРГА»30х2 на внешней подвеске была ранее отработана ООО НПО «СОПОТ» вместе с ОАО «ПАНХ», и использовалась в ходе лётных исследований. Полёты выполнялись в диапазоне высот 30-40 м от земли до сопла ВВСУ и при скорости полёта вертолёт 40-60 км/ч.

Методика выполнения наземных работ предусматривала создание контрольно-измерительного полигона (рисунки 2.1, 2.4). После каждого контрольного слива огнезадерживающей жидкости на КИП производились измерения дозировки (объёма жидкости на земле, приходящегося на единицу площади смоченной полосы).



Рисунок 2.4 – Слив быстротвердеющей огнестойкой пены на КИП

Для выявления влияния полога древостоя на дозировки пены на земле сливы производились как на вырубку, так и на полог древостоя в чистом сосняке. Для регистрации сливов велась фото- и видеосъёмка.

2.3. Методы экспериментальных исследований огнезадерживающей способности противопожарных заградительных полос

Методика проведения огневых экспериментов включала выбор, описание и подготовку экспериментального участка, обеспечение безопасности проведения работ, определение запаса и влагосодержания лесного напочвенного покрова, измерение скорости и направления ветра в лесу, прогнозную оценку интенсивности процессов горения, измерение скорости продвижения кромки горения, определение недожога.

Для обеспечения наиболее быстрого высыхания лесных горючих материалов и их хорошей горимости экспериментальные участки выбирались в наиболее пожароопасных типах леса (в кварталах с первым классом природной пожарной опасности лесных участков): сосняке лишайниковом, сосняке вересковом, сосняке лишайниково-вересковом, сосняке мохово-лишайниковом.

Выбор опытного участка производился по согласованию с руководством лесничества. Участок не должен был находиться в рекреационной зоне, вблизи водоёмов, вблизи объектов инфраструктуры. Там не должно было быть условий для выхода огня в полог древостоя или условий для возникновения верхового пожара.

Длина опытного участка должна была соответствовать длине противопожарной заградительной полосы, а ширина должна была быть не менее 15 м, для того, чтобы пущенная с помощью зажигательного аппарата кромка огня успела выйти на установившийся режим горения.

Для правильного выбора направления пуска кромки горения с помощью датчика направления и скорости ветра метеостанции М-49 устанавливалось его преобладающее направление (рисунок 2.5).

После выбора опытного участка производилась его разметка с помощью рулеток и колышков, а также намечалась линия прокладки заградительной полосы. По таксационным материалам лесничества составлялось таксационное описание участка.



Рисунок 2.5 – Датчик для измерения направления и скорости ветра

Запас и влагосодержание напочвенного покрова на опытном участке определялись сушильно-весовым методом: сушка в сушильном шкафу при температуре 100-105 °С до постоянного веса ($\pm 0,1$ г). Для определения запаса (горючей нагрузки в абсолютно сухом состоянии, приходящейся на единицу площади) основных проводников горения в напочвенном покрове брались образцы соответствующих лесных горючих материалов. Взятие образцов производилось металлическим кольцом с заточенным краем с одной стороны и буртиком – с другой. Кольцо позволяло вырезать напочвенный покров с подстилкой площадью 200 см² и высотой 14 см. В вырезанном образце напочвенного покрова с подстилкой не должно было содержаться включений, изменяющих его характерный вес и влажность (песка, камней, шишек, крупных корней, неразложившихся кусков гнилой древесины).

Образцы на запас брались не менее, чем в пяти характерных для данного горючего материала точках опытного участка.

Образцы напочвенного покрова для определения его влагосодержания брались непосредственно перед проведением эксперимента.

Для оценки суммарного содержания воды в лесном горючем материале используются понятия влажности и влагосодержания (или относительной и абсолютной влажности). Отношение m массы, содержащейся в лесном горючем материале воды $m_в$ к общей массе образца m_o , выраженное в процентах, принято называть влажностью (или относительной влажностью), формула (2.4):

$$m = m_в \cdot 100 \% / m_o \quad (2.4)$$

Величина m может изменяться в пределах от 0 до 100%.

Отношение M массы воды в лесном горючем материале $m_в$ к массе его сухого вещества m_c , выраженное в процентах или в килограммах воды на килограмм сухого вещества, обычно называется влагосодержанием (или абсолютной влажностью), формула (2.5):

$$M = m_в \cdot 100 \% / m_c \text{ или } M = m_в / m_c, \text{ кг/кг} \quad (2.5)$$

Между влажностью и влагосодержанием существует функциональная зависимость, формулы (2.6, 2.7) [37]:

$$m = M \cdot 100 \% / (100 + M) \quad (2.6)$$

или

$$M = m \cdot 100 \% / (100 - m) \quad (2.7)$$

Определение средней скорости продвижения кромки горения и высоты пламени производилось визуально и проверялось по видеозаписи.

По известным запасам лесных горючих материалов и другим лесорастительным условиям, а также классу пожарной опасности по условиям погоды с помощью математических моделей прогнозировалась возможная максимальная интенсивность низового пожара и опасность выхода огня в полог древостоя.

С помощью технических средств подачи огнетушащего (огнезадерживающего) состава с подветренной стороны опытного участка прокладывается противопожарная заградительная полоса. Пуск кромки горения производится с наветренной стороны опытного участка с помощью зажигательного аппарата (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Пуск кромки горения на заградительную полосу

В ходе эксперимента чашечным анемометром измерялась средняя скорость ветра, а также производилась фото- и видеорегистрация. При необходимости, для уточнения высоты пламени, после эксперимента измерялась высота нагара на стволах.

В ходе эксперимента определялась скорость ветра на высоте 2 м под пологом древостоя. А после эксперимента определялся недожог.

Чтобы предотвратить возможность возникновения верхового пожара на участке убирались сухостойные деревья (если они были) и поднимались низко опущенные кроны путём обрубания нижних веток до высоты 2 м.

Для обеспечения безопасности натуральных экспериментальных исследований проводились противопожарные профилактические мероприятия. Перед проведением огневых экспериментов опытные участки были оконтурены минерализованными полосами. Для этого обычно использовался трактор «Беларусь» с плугом ПКЛ-70. В день проведения эксперимента для обеспечения

безопасности и дотушивания лесного пожара всегда дежурила пожарная автоцистерна с экипажем.

2.4. Методы физико-математического моделирования лесных пожаров

Важным условием эффективной борьбы с лесным пожаром является прогнозная оценка его параметров, таких как скорость и направление распространения пожара, его вид и особенности, необходимые силы и средства тушения, потенциальный ущерб и некоторых других.

Принимая во внимание, что лесной пожар – чрезвычайно сложное многофакторное явление, такие оценки требуют использования и оперативной обработки значительного объема разнообразной информации и, как представляется, невозможны без использования современных компьютерных технологий.

В настоящее время имеется целый ряд математических моделей лесных пожаров [87-104], основанных на различных методах моделирования.

Методика моделирования лесного пожара, как правило, состояла из трёх взаимосвязанных этапов:

- описание физико-химических процессов, происходящих в зоне лесного пожара, - построение их физико-химической модели;
- создание математического описания, расчетных методов и алгоритмов для нахождения значений выходных параметров по заданным входным и внутренним;
- установление соответствия (адекватности) модели реальному лесному пожару.

При моделировании обычно учитывались следующие характеристики математических моделей лесных пожаров:

- степень детализации при описании физико-химических процессов горения и полнота учёта внутренних параметров лесного пожара;
- степень универсальности модели и её пригодности для различных природных условий;

- возможность определения всех входных параметров модели и прогнозных оценок выходных параметров до начала пожара.

В соответствии с принципами и методами моделирования математические модели лесных пожаров можно разделить на различные типы.

Одним из них являются вероятностно-статистические модели [105-110]. Эти модели чисто формально описывают процессы возникновения, распространения и развития лесных пожаров. Они не отражают фундаментальные физические законы сохранения вещества, импульса, энергии и наиболее существенные для динамики пожара физические явления, происходящие в зоне горения.

Другим распространённым типом моделей являются полуэмпирические [87, 92, 111-115]. Несмотря на содержательную и алгоритмическую простоту, такие модели основаны не только на физических законах, но и на эмпирических соотношениях, поэтому они тоже в полной мере не учитывают основные физико-химические процессы, происходящие в зоне пожара. Тем не менее, в рамках двумерных моделей этого класса успешно прогнозируется распространение контура низовых лесных пожаров [88, 116].

Важными для понимания физико-химических процессов, происходящих в зоне лесного пожара, являются теоретические (детерминированные) модели. Большой вклад в развитие теоретических моделей лесных пожаров внесён А.М. Гришиным и его учениками [88, 117-123 и др.]. Ими разработана и в некоторой степени апробирована наиболее полная *трехмерная модель лесных пожаров (3D)*, в которой лес является девятирусной (по высоте) многофазной (8 фаз) реакционно-способной средой, газовая фаза которой описывается системой трехмерных уравнений газовой динамики. К сожалению, несмотря на сравнительно полное описание объекта моделирования, не существует необходимых баз данных входных и внутренних параметров модели. Да и сам расчет выходных параметров реального лесного пожара продолжительностью несколько часов, а тем более суток, по этой трехмерной модели, даже с использованием суперкомпьютеров, на сегодняшний день представляется

трудноразрешимой задачей с ограниченными возможностями практического применения в лесном хозяйстве.

В работе [104] показано, что полная математическая модель сравнительно простого однофазного турбулентного горения является незамкнутой, то есть содержит неизвестных больше, чем уравнений, поэтому возникает необходимость в использовании эмпирических соотношений для её замыкания. Даже сложные математические модели не могут во всех деталях описать лесной пожар, и решение вопроса о необходимой степени адекватности её реальному объекту зависит от комплекса предъявляемых к модели требований, определяемых, в свою очередь, назначением и предполагаемым использованием математической модели.

Практически все теоретические (физико-математические) модели лесного пожара основаны на законах сохранения массы, движения и энергии для всех элементов системы (почва, лесные горючие материалы, воздух) и значительно различаются только по детальности описания отдельных процессов пожара. Основными процессами являются перенос тепла (теплопроводностью, конвекцией и излучением) и турбулентное течение газа. Сложные химические реакции пиролиза древесных материалов и горения с большим числом промежуточных компонентов заменяются, как правило, эффективными процессами образования твердых и газообразных продуктов горения. Примечательно в этой связи, что на практике используются как двумерные модели, так и трехмерные, причем выбор размерности (класса моделей) обусловлен только содержанием и оперативной реализуемостью конечных целей использования моделей.

В этом смысле 2D-описание процессов в вертикальной плоскости, соответствующее «линейному» пожару, может использоваться для сопоставления и (или) разработки моделей, но имеет ограниченную практическую ценность. 2D-«горизонтальная» модель, например [124], выводится в предположениях, что горючие материалы сосредоточены на поверхности и высота рассматриваемого слоя воздуха мала по сравнению с линейными масштабами, что применимо к

описанию низового лесного пожара. Эта модель, очевидно, не применима к описанию верховых пожаров, хотя с определенными ограничениями может применяться для описания перехода низового пожара в верховой.

Для математического моделирования верхового пожара требуется полная 3D-модель, сопряженная в случае сильного пожара с региональной моделью атмосферной динамики [125]. Сложность создания адекватной 3D-модели этого процесса определяется рядом факторов, в частности, необходимостью разработать модель трехмерного распределения лесных горючих материалов, включающую параметры, описывающие степень неравномерности распределения; описания хаотического характера как самого горения, так и атмосферных течений; многомасштабностью задачи.

В связи с большой сложностью полных теоретических моделей внутри этого типа широко представлен класс локальных моделей, в рамках которых изучаются отдельные явления, происходящие в зоне лесного пожара и в атмосфере над пожаром [88, 117-119, 126-131], например, явления поднятия термиков и образования конвективных колонок на основе двумерных осесимметричных моделей [88, 117-119, 126-128]. В работах последнего времени [130-131] на основе трехмерных моделей численно получены трехмерные когерентные вихревые структуры в атмосфере над лесным пожаром. В работах [132-134] рассматривается трехмерная однофазная газодинамическая модель лесных пожаров без учета химических реакций, в которой восходящие потоки тепловой энергии аппроксимируются аналитической формулой, а перенос излучения не учитывается. Особый интерес в этой связи представляют промежуточные двумерные модели (2D), в которых сделан акцент на углубленное описание отдельных процессов (механизмов) лесных пожаров. В частности, в [135-139] построены пригодные для численной реализации двумерные математические модели, назначение которых – описать динамику реальных лесных пожаров для экспертной оценки развития ситуации и выработки управленческих решений по тушению пожаров, а также для оценки ущерба от пожаров. В то же время эти модели отражают основные физические законы сохранения вещества, импульса,

энергии, и, в первом приближении, учитывают неоднородное распределение запасов лесных горючих материалов на местности и наиболее существенные для динамики пожара физические явления, происходящие в зоне пожара. Существенным ограничением применения этих моделей является отсутствие необходимых баз исходных данных.

Анализ существующих средств математического моделирования лесных пожаров показывает, что при разработке ориентированных на практическое применение моделей должны учитываться ряд положений и условий.

Развернутая модель описания лесного пожара должна создаваться как система иерархических моделей для разных масштабов. Простейшая связь между моделями – использование параметризации модели, разрешающей меньшие масштабы (многопараметрическая регрессия и т.п.) для замыкания более «грубой». Перспективным представляется адаптивное использование моделей, например, процессы догорания в очаге пожара могут описываться более простыми средствами, чем фронт. Хаотический характер эволюции пожара требует рассмотрения ансамбля вариантов расчета для оценки вероятности прогноза. Наконец, для моделирования реального лесного пожара как способа поддержки принятия практических решений необходима корректировка результатов расчетов текущими данными дистанционного зондирования [140], поэтому важным элементом предлагаемой системы должна стать процедура ассимиляции экспериментальных данных в расчетную модель.

Верификация модели должна включать два этапа: проверку точности численного решения уравнений и оценку соответствия модели реальности. Последнее в случае лесных пожаров представляет серьезные трудности. Лабораторные эксперименты по горению лесных материалов [141,142], безусловно, необходимы и позволяют, например, определить необходимые параметры модели горения однородного слоя топлива в отсутствие ветра на горизонтальной поверхности [143]. Эти данные, однако, не могут быть использованы для верификации полномасштабной модели лесного пожара. Непосредственные полевые исследования динамики пожара, к сожалению, редки

[144].

Использование модели возможно, во-первых, для исследования эффективности мер предупреждения и тушения лесных пожаров, во-вторых, для принятия оперативных решений. В последнем случае, очевидно, необходимо моделирование в реальном времени и использование многопроцессорных вычислительных комплексов неизбежно. Вынужденная и естественная конвекция, турбулентный перенос, нестационарные режимы, радиационный перенос, тепловыделение и утилизация тепла, массообмен, физико-химические превращения в процессе лесного пожара делают решение рассматриваемых задач комплексным и трудоемким. Указанные процессы являются разномасштабными по времени и пространству, что еще более усложняет решение задач, предъявляя высокие требования к их дискретизации. Также следует отметить незавершенность разработок многих математических моделей из-за недостаточного уровня исследования процессов, протекающих в зоне лесного пожара.

В связи с этим в настоящее время для практического применения наиболее перспективными представляются упрощённые комбинированные модели, которые могут сочетать в себе результаты, полученные теоретическими, эмпирическими и статистическими методами. При постановке натурных огневых опытов необходимо прогнозировать параметры создаваемых при этом лесных пожаров. Это особенно важно для обеспечения пожарной безопасности в лесу и создания лесного пожара необходимого вида и нужной интенсивности. Для прогнозных оценок параметров опытных пожаров использовались физико-математические модели, содержащиеся в работе [37].

2.5. Методика проведения экспериментальных исследований способа создания минерализованных полос с помощью взрывчатых веществ

В зоне лесоавиационных работ, где обычно ограничено или невозможно применение землеройной техники, перспективно применение взрывчатых

веществ (ВВ). Это объясняется тем, что в процессе взрыва 1 кг ВВ средней мощности выделяется огромное количество энергии (400000 кгс м), что имеет большое значение при относительно дорогой авиационной доставке к месту лесного пожара единицы массы груза. Кроме того, при взрыве ВВ в грунте сочетаются сразу два процесса – дробление и выброс грунта, что делает их мощным и эффективным средством минерализации поверхности земли (рис. 2.7). [31,37].

Опытные взрывы проводились с целью:

- оценки технической и экономической эффективности применения детонирующего шнура ДШН-80 при специальных взрывных работах по тушению кромки горения или локализации лесных пожаров методом прокладки заградительных и опорных полос перед кромкой пожара;
- оценки безопасности и технологичности использования детонирующего шнура ДШН-80 в производственных условиях;
- расширения области применения шнура ДШН-80.



Рис. 2.7. Процесс выброса и дробления грунта в результате взрыва

Методика проведения экспериментов с применением детонирующего шнура включала выбор, описание и подготовку лесного участка для проведения взрывных работ, обеспечение безопасности проведения работ, определение погодных условий. Выбор опытного участка производился совместно с

руководством лесничества и по разрешению Госгортехнадзора Ханты-Мансийского автономного округа-Югры. Участок должен был находиться в труднодоступной местности, исключающей возможность нахождения в районах проведения взрывных работ случайных людей. К выполнению работ допускались специалисты, имеющие допуск к выполнению взрывных работ, взрывники и ответственный руководитель взрывных работ. В соответствии с методикой проведения работ подбирались участки леса с различной мощностью лесной подстилки и захламленностью. Проводилась предварительная воздушная и наземная разведка района проведения взрывных работ; осуществлялась доставка детонирующего шнура ДШН-80 в заводской упаковке в коробках (рисунок 2.8), а также в брезентовых мешках по 3 бухты в упаковке как с доставкой посредством посадки вертолета на подбираемые с воздуха площадки, так и сбрасывая при зависании над кронами деревьев на места предполагаемой прокладки опорной полосы. При этом после сбрасывания определялись целостность упаковки, катушки ДШН-80 и детонирующего шнура.



Рисунок 2.8 – Заводская упаковка детонирующего шнура ДШН-80

На каждом участке прокладка заградительных и опорных полос производилась взрыванием детонирующего шнура ДШН-80, размотанного в линию. В ходе экспериментов варьировалось количество детонирующих шнуров в линии и расстояние между ними. Определялась зависимость от этих переменных параметров создаваемых минерализованных полос.

Протяженность линий при каждом подрыве не должна была превышать 200 метров. При наличии на линии взрыва лежащих и наклоненных деревьев проводилось измерение диаметра деревьев, их обматывание шнуром для подрыва (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 – Прокладка детонирующего шнура ДШН 80 при наличии поваленных деревьев

Отрабатывались технологические операции прокладки шнура ДШН-80 с катушки и соединения его линий скотчем (рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 – Соединение нескольких линий детонирующего шнура ДШН-80 скотчем

С помощью секундомера проводился хронометраж общего времени создания опорной полосы с момента доставания ВВ из упаковок, а также времени выполнения отдельных технологических операций (прокладки линии, отхода в укрытие, взрывания (рисунок 2.11), контрольного осмотра минерализованной полосы после взрывания).



Рисунок 2.11 – Взрывание линии ДШН-80 путём поджога огнепроводного шнура

Выполнение всех технологических операций фиксировалось фото и видеосъемкой. Ширина и глубина (рисунок 2.12) опорной полосы измерялась рулеткой. Хронология времени прокладки шнуров, отход в укрытие, проведение взрыва, осмотр минполосы осуществлялась секундомером.



Рисунок 2.12 – Измерение ширины и глубины опорной полосы, полученной в результате взрыва шнурового заряда

Выводы

1. Условия проведения натуральных огневых экспериментов по теме диссертации были ограничены широко представленными и наиболее пожароопасными сосновыми лесами. Как правило, они проводились в приспевающих, спелых и перестойных одновозрастных насаждениях высотой 21 м и более с развитой подстилкой при влажности напочвенного покрова 10-15%. В зависимости от задачи исследования в них создавались низовые пожары различной интенсивности. При этом часто наблюдалось факельное сгорание групп подроста и сухостойных деревьев.

2. Экспериментальные исследования проводились с использованием натуральных огневых экспериментов, исследовательских полётов вертолётов со сливным оборудованием, растворами огнетушащих составов и пеной, огнезадерживающих экранов из кремнезёмной ткани и взрывчатых веществ.

3. Анализ методов физико-математического моделирования лесных пожаров показал, что для практического применения наиболее перспективными представляются упрощённые комбинированные модели, которые могут сочетать в себе результаты, полученные теоретическими, эмпирическими и статистическими методами.

4. Методика проведения экспериментальных исследований способа создания минерализованных полос с помощью взрывчатых веществ предусматривала использование детонирующего шнура ДШН-80. В ходе экспериментов определялась зависимость параметров, создаваемых опорных (заградительных) полос от количества детонирующих шнуров в линии и расстояния между ними. Определялось время прокладки опорной полосы и эффективные способы доставки и размотки ВВ в линии.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ЗАГРАДИТЕЛЬНЫХ И ОПОРНЫХ ПОЛОС

3.1 Вертолетное оборудование для прокладки противопожарных заградительных полос растворами огнетушащих составов и пеной

Для обеспечения возможности использования огнетушащих составов при прокладке заградительных полос с помощью наиболее распространённого в России вертолётного водосливного устройства ВСУ-5А к вертолетам типа Ми-8МТВ и Ка-32 была разработана внутрифюзеляжная система СПС-1 [37, 145-147]. Расчётные оценки основных параметров системы, их экспериментальное определение и испытания опытных образцов осуществлялись совместно специалистами ФБУ «СПбНИИЛХ» и ФБУ «Авиалесоохрана» [17, 37, 148]. При расчётах параметров слива жидкого огнетушащего состава в ВСУ-5А из размещённой над ним ёмкости устройства дозированной подачи, предполагалось ламинарное течение жидкости по сливному трубопроводу постоянного диаметра d и длиной L через открытый электроклапан B . При заданных значениях разности уровней H_0 , параметров жидкости (удельный вес γ , кинематический коэффициент вязкости μ) и коэффициента сопротивления электроклапана ξ_B определялся расход огнетушащего состава Q через трубопровод при давлении в ёмкости P_0 .

Для определения Q использовалось известное уравнение Бернулли, (формула 3.1):

$$H_0 + P_0 / \gamma = 128 \mu L Q / (\pi g d^4) + \xi_B v^2 / (2g) + \alpha_L v^2 / (2g), \quad (3.1)$$

где v - средняя скорость жидкости при ламинарном режиме течения, м/с;

α_L - коэффициент Кориолиса, учитывающий неравномерность распределения скоростей в сечении потока жидкости (при ламинарном течении,

$\alpha_{л=2}$);

g - ускорение силы тяжести.

Первое слагаемое в правой части уравнения определяет потерю напора на сопротивлении трубопровода, второе слагаемое – потерю напора на электроклапане, третье – потерю напора на резкое расширение жидкости на входе в ёмкость ВСУ-5А. Средняя скорость жидкости связана с расходом равенством (формула 3.2):

$$v = Q/S = 4Q/(\pi d^2), \quad (3.2)$$

где S - сечение трубопровода.

Путём решения системы уравнений (3.1) и (3.2) оценивался расход Q и время подачи t определённого объёма жидкого огнетушащего состава V в водосливное устройство (формула 3.3):

$$t = V / Q \quad (3.3)$$

На основе результатов расчётов был разработан экспериментальный образец системы, размещаемый в грузовой кабине вертолёта Ми-8 [37, 145-148]. Однако в ходе его испытаний были выявлены существенные недостатки:

- значительное время монтажа и демонтажа;
- установка на месте запасного топливного бака, ограничивающая время полёта;
- сравнительно большие габариты и вес.

Для устранения указанных недостатков и широкого внедрения жидких огнетушащих составов в практику авиационной охраны лесов ФБУ «СПБНИИЛХ», ООО «Техноэкос» и ФБУ «Авиалесоохрана» разработали и изготовили вертолетную систему дозированной подачи жидких огнетушащих составов СДП-1, в корне отличающуюся от предыдущей [17, 37, 148]. Её основу составляет мягкая емкость из водонепроницаемой ткани, которая закреплена на

внешней подвеске, выше замка водосливного устройства ВСУ-5А (рисунки 3.1, 3.2) [149].



Рисунок 3.1 – Система дозированной подачи огнетушащих составов СДП-1

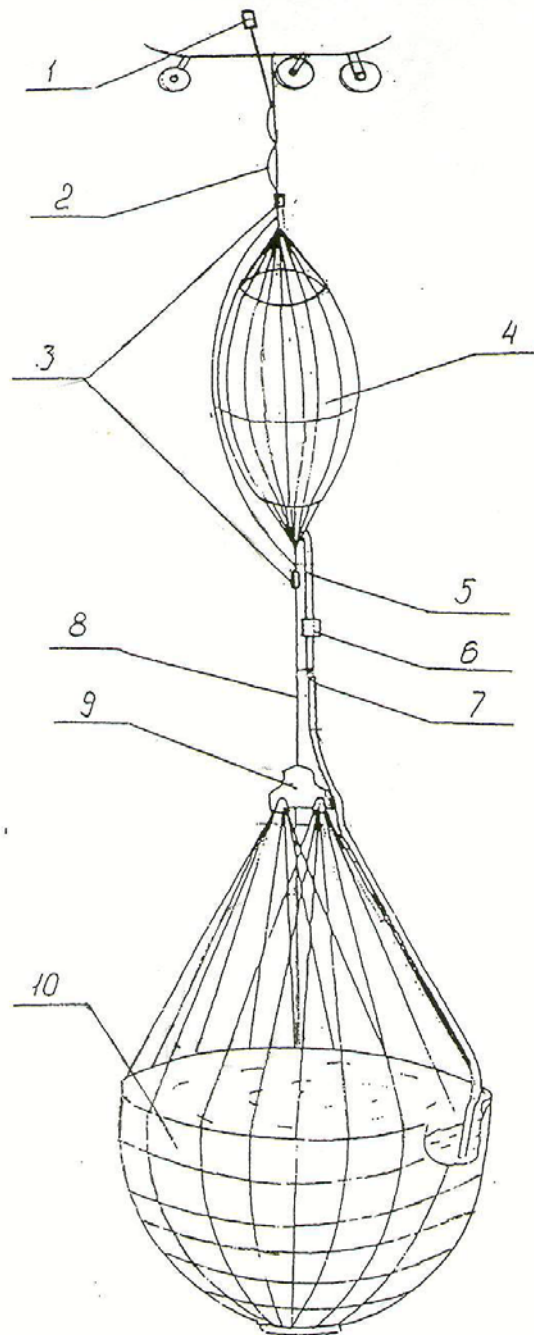


Рисунок 3.2 – Схема конструкции вертолетной системы СДП-1

в комплекте с ВСУ-5А

1 – пульт управления; 2 – электрокабель; 3 – переходник; 4 – мягкая оболочка СДП-1; 5 – шланг $L = 1$ м; 6 – электроклапан; 7 – шланг $L = 16$ м; 8 - ленточная стропа ЛС-5А; 9 – механизм управления; 10 – мягкая емкость ВСУ-5А

Ёмкость изготовлена из двух оболочек. Внешняя оболочка имеет продольный и кольцевой каркасы и является силовой, а внутренняя – водонепроницаемой.

Дозированный слив жидкого огнетушащего состава из мягкой емкости СДП-1 в емкость ВСУ-5А осуществляется по рукаву под действием гидростатического избыточного давления, возникающего при обжатии мягкой ёмкости стропами в процессе заполнения водой ВСУ-5А. Для дозирования подаваемого жидкого огнетушащего состава применяется электроклапан, управляемый с пульта дистанционного управления из кабины вертолёта. Пульт управления содержит таймер, расходомер и совмещен с пультом управления водосливным устройством ВСУ-5А. Основные характеристики вертолетной системы СДП-1 приведены в табл. 3.1 [37, 147, 149, 150].

Таблица 3.1 – Технические характеристики системы СДП-1

Техническая характеристика	Значение величины
Объем мягкой емкости, м ³	250
Длина мягкой емкости, м	1,3
Диаметр максимального поперечного сечения мягкой емкости, м	0,65
Время слива пенообразователя в ВСУ, мин.	1
Напряжение питания системы от бортовой сети вертолета, В	27 ± 3
Потребляемый ток системы, А	5
Масса системы, кг	20
Срок службы, лет, не менее	5

Впервые летные исследования работы дозирующей системы СДП-1 в комплекте с ВСУ-5А проводились в 2003 г. на аэродроме «Пески» в Петрозаводске на контрольно-измерительном полигоне (КИП), оборудованном пробоотборниками. Исследования проводились ФБУ «СПбНИИЛХ», ООО «Техноэкос» и ФБУ «Авиалесоохрана» под руководством и при непосредственном участии автора.

В качестве огнетушащей жидкости применялись водные растворы пенообразователей Фос-Чек ВД-881 (США) и Файрэкс (Россия) с концентрацией 0,5 %, оптимальной при их работе в качестве смачивателя. Для контроля применялась вода. Подача заданной дозы пенообразователя (10 л) производилась автоматически по команде оператора со сдвоенного пульта дистанционного управления ВСУ-5А-СДП-1. Получение однородного раствора в емкости ВСУ-5А обеспечивалось через 1,5-2 мин после подачи пенообразователя, за счет турбулентного движения в ней воды. Слив раствора пенообразователя Файрэкс показан на рисунке 3.3 [149, 150]. Водосливное устройство ВСУ-5А было настроено на забор воды в объеме 2 м³.



Рисунок 3.3 – Слив раствора пенообразователя из вертолетного водосливного устройства ВСУ-5А в комплекте с системой СДП-1

В основу методики наземной части лётных исследований по прокладке вертолётном Ми-8Т с водосливным устройством ВСУ-5А и системой СДП-1 противопожарных заградительных полос была положена отработанная ранее методика измерения (раздел 2, подраздел 2.2) дозировки жидкости на заградительной полосе с помощью заранее размещенных на контрольно-измерительном полигоне пробоотборников.

В ходе выполненных исследований на безлесном КИП были определены параметры эффективных противопожарных заградительных полос (смоченных полос с дозировкой раствора пенообразователя на них не менее 1 л/м²). Усреднённые результаты лётных исследований представлены в таблицах 3.2 и 3.3.

Таблица 3.2 – Параметры эффективной смоченной полосы при сливе 1800-2000 л водного раствора пенообразователя Файрэкс из ВСУ-5А в зависимости от скорости вертолёт Ми-8Т при фиксированной высоте полета

Параметры эффективной смоченной полосы	Скорость полёта вертолёт, км/ч			
	50	60	70	80
Эффективная длина, м	45	55	65	75
Эффективная ширина, м	8,7	7,2	6,1	5,3
Средняя дозировка, л/м ²	3,3	2,7	2,3	2,0

Примечания:

- 1 Под эффективной длиной смоченной полосы понимается длина полосы с пороговой дозировкой раствора пенообразователя не менее 1 л/м²;
- 2 Под эффективной шириной смоченной полосы понимается ширина полосы с пороговой дозировкой раствора пенообразователя не менее 1 л/м²;
- 3 Средняя дозировка – дозировка раствора пенообразователя на эффективной смоченной полосе, полученная путём усреднения данных с пробоотборников;
- 4 Параметры смоченной полосы приведены для высоты полёта 50 м и длины внешней подвески 22 м.

Кроме того, было установлено, что параметры заградительных полос, проложенных растворами пенообразователей и водой, незначительно отличались друг от друга, однако, огнестойкость полос, смоченных раствором

пенообразователя, существенно выше из-за низкого поверхностного натяжения раствора и, соответственно, высокой смачиваемости им пористых лесных горючих материалов.

С увеличением концентрации раствора пенообразователя до 1% и более начиналось пенообразование в ёмкости ВСУ-5А и во время слива раствора. При этом огнезащитные свойства полосы ещё более возрастали за счёт изолирующего действия пены.

Таблица 3.3 – Параметры эффективной смоченной полосы при сливе 2800-3000 л водного раствора пенообразователя Файрэкс из ВСУ-5А в зависимости от скорости вертолёта Ми-8МТВ при фиксированной высоте полёта

Параметры эффективной смоченной полосы	Скорость полёта вертолёта, км/ч			
	50	60	70	80
Эффективная длина, м	50	60	70	80
Эффективная ширина, м	10,0	9,2	7,7	6,6
Средняя дозировка, л/м ²	4,4	3,7	3,1	2,7

Примечание - Параметры эффективной смоченной полосы приведены для высоты полёта вертолёта 50 м и длины внешней подвески 22 м.

Эпюры средних дозировок огнетушащей жидкости на противопожарных заградительных полосах, прокладываемых с вертолёта Ми-8МТВ, оборудованного водосливным устройством ВСУ-5А и системой дозированной подачи огнетушащих составов СДП-1, представлены на рисунках 3.4 и 3.5.

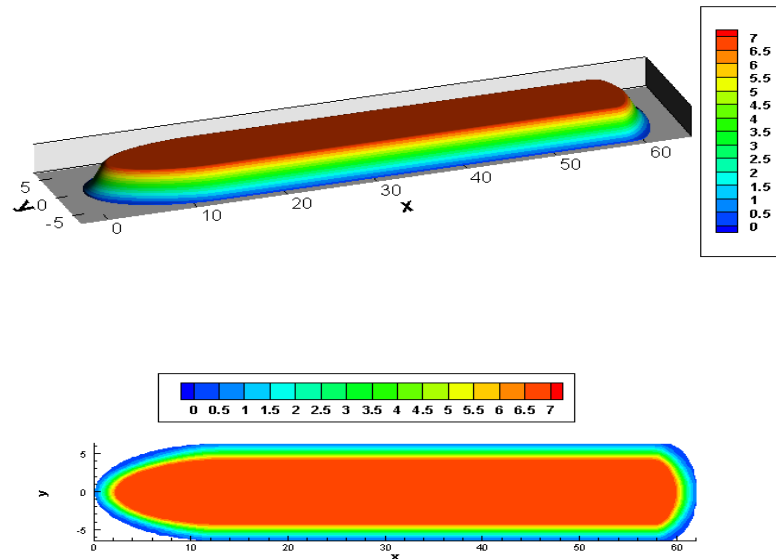


Рисунок 3.4 – Средние дозировки огнетушащей жидкости на смоченной полосе при высоте полёта вертолётa 50 м и скорости полёта 60 км/ч

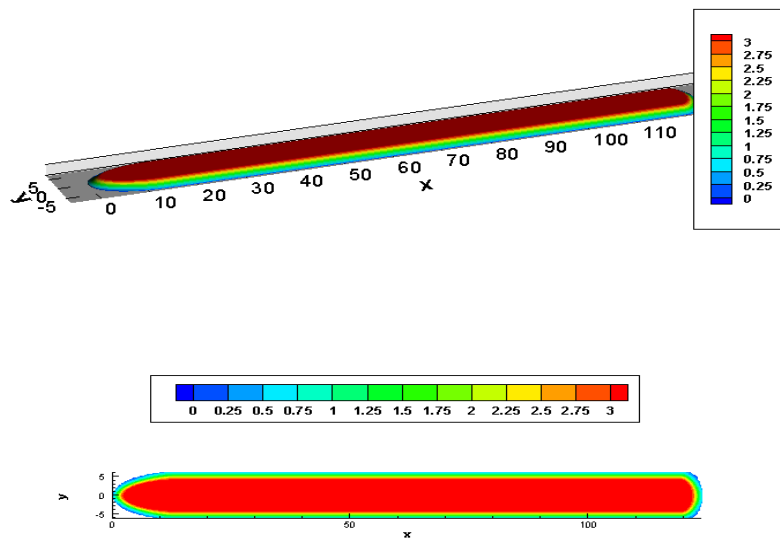


Рисунок 3.5 – Средние дозировки огнетушащей жидкости на смоченной полосе при высоте полёта вертолётa 50 м и скорости полёта 100 км/ч

Очевидно, что с увеличением скорости полёта вертолётa происходит удлинение смоченной полосы и уменьшение средних дозировок огнетушащей жидкости на ней.

На рисунке 3.6 показана пенная полоса, созданная на лесном КИП, в результате слива на него раствора пенообразователя Файрэкс с пенообразующей концентрацией (более 1 %).



Рисунок 3.6 – Пенная заградительная полоса, проложенная в лесу путём слива с вертолётa Ми-8Т водного раствора пенообразователя Файрэкс

Воздушно-механическая пена, в зависимости от погодных условий держится на заградительной полосе до 1-2 часов, постепенно разрушаясь и превращаясь опять в исходный раствор. При этом раствор стекает с деревьев на растительный напочвенный покров, дополнительно увлажняя лесную подстилку.

В таблице 3.4 приведены средние значения параметров заградительных полос, полученных на лесном КИП по результатам лётных исследований системы ВСУ-5А и СДП-1 с раствором огнетушащего состава Файрэкс в смачивающей (0,5%) и пенообразующей (1%) концентрации. В обоих случаях при сливе жидкости вертолёт летел на высоте 50 м, со скоростью 50 км/ч.

Таблица 3.4 – Средние значения показателей сливов раствора Файрэкс на лесной КИП и параметров заградительных полос при разных пороговых дозировках раствора на полосе

Показатели сливов и параметры заградительной полосы при высоте и скорости полёта вертолёта соответственно 50 м и 50 км/ч	Значения показателей сливов и параметров полосы при концентрации раствора Файрэкс, %	
	1,0	0,5
Время слива, с	4,2	4,3
Расход раствора при сливе, л/с	439	427
Длина полосы, м при пороговой дозировке 0,1 л/м ²	55	60
Длина полосы, м при пороговой дозировке 1,0 л/м ²	40	45
Ширина полосы, м при пороговой дозировке 0,1 л/м ²	25	26
Ширина полосы, м при пороговой дозировке 1,0 л/м ²	13	12
Дозировка раствора на полосе, л/м ² : - максимальная	3,4	3,1
- средняя		
при пороговой дозировке 0,1 л/м ²	1,0	1,0
при пороговой дозировке 1,0 л/м ²	1,8	1,7
Объём раствора на полосе, л при пороговой дозировке 0,1 л/м ²	872	905
при пороговой дозировке 1,0 л/м ²	578	593

Примечание – Сливаемый из ВСУ-5А объём раствора Файрэкса – 1800 л.

Из таблицы следует, что концентрация раствора Файрэкс на параметры заградительной полосы влияет незначительно и поэтому не требуется изменять тарировку системы СДП-1 при переходе от раствора только со смачивающими свойствами (0,5 %) к пенообразующему раствору (1 %).

Кроме того, проведённые исследования показали, что объём раствора на напочвенном покрове заградительной полосы лесного КИП составлял 50-55% от всего слитого объёма раствора. Это объясняется потерями раствора в воздухе за

счёт дробления, сноса воздушными потоками и испарения, а также задержкой раствора кронами древостоя. При фиксированных значениях скорости и высоты полёта ощутимое влияние на параметры заградительной полосы оказывают – скорость и направление ветра, а также объём сливаемого раствора. С увеличением объёма раствора с 1,8 до 3 м³ длина заградительной полосы возрастает в 1,5 раза, а потери раствора в воздухе уменьшаются на 7-11%.

Исследовательские полеты в Геленджике в 2011 г. выполнялись в прибрежной черте Голубой бухты в диапазоне температур и давлений наружного воздуха соответственно +8...+16 °С и 753-765 мм рт. ст. при видимости 8-12 км и нижней границе облачности более 500 м в условиях средней турбулентности, сопровождаемых кратковременными осадками и усиленным ветром до 6-8 м/с порывами 10-12 м/с. Полетная масса вертолета в процессе полетов была в пределах 9,0-11,0 т. Для выполнения лётных исследований вертолет был оснащен водосливным устройством ВСУ-5А и системой дозированной подачи огнетушащего состава СДП-1. Полеты выполнялись с зарифованной до 2,0 м³ емкостью ВСУ-5А и загрузкой СДП-1 до 200 кг на приборных скоростях до 150 км/ч, с кренами до ± 20° и скороподъемностью до ± 3 м/с. Сливы рабочей жидкости проводились на скоростях 60-100 км/ч по прибору на высотах нижнего среза ВСУ-5А над вершинами лесных участков не менее 10 м и преимущественно против ветра. Схема КИП представлена на рисунке 3.7. В процессе летных исследований в Геленджике [4, 86, 151, 152] в общей сложности было выполнено 32 слива морской воды, водных растворов смачивателя ТПМ-1 и пенообразователя Файрэкс.

Распределение сливов по полноте сосняков и по рабочей жидкости при летных исследованиях было следующим:

а) по полноте_сосняков

- низкая (0,4) – 10;
- средняя (0,6) – 12;
- высокая (0,8) – 10;

б) по рабочей жидкости

- вода без добавок – 7;
- раствор пенообразователя Файрэкс – 19;
- раствор смачивателя ТПМ - 6.

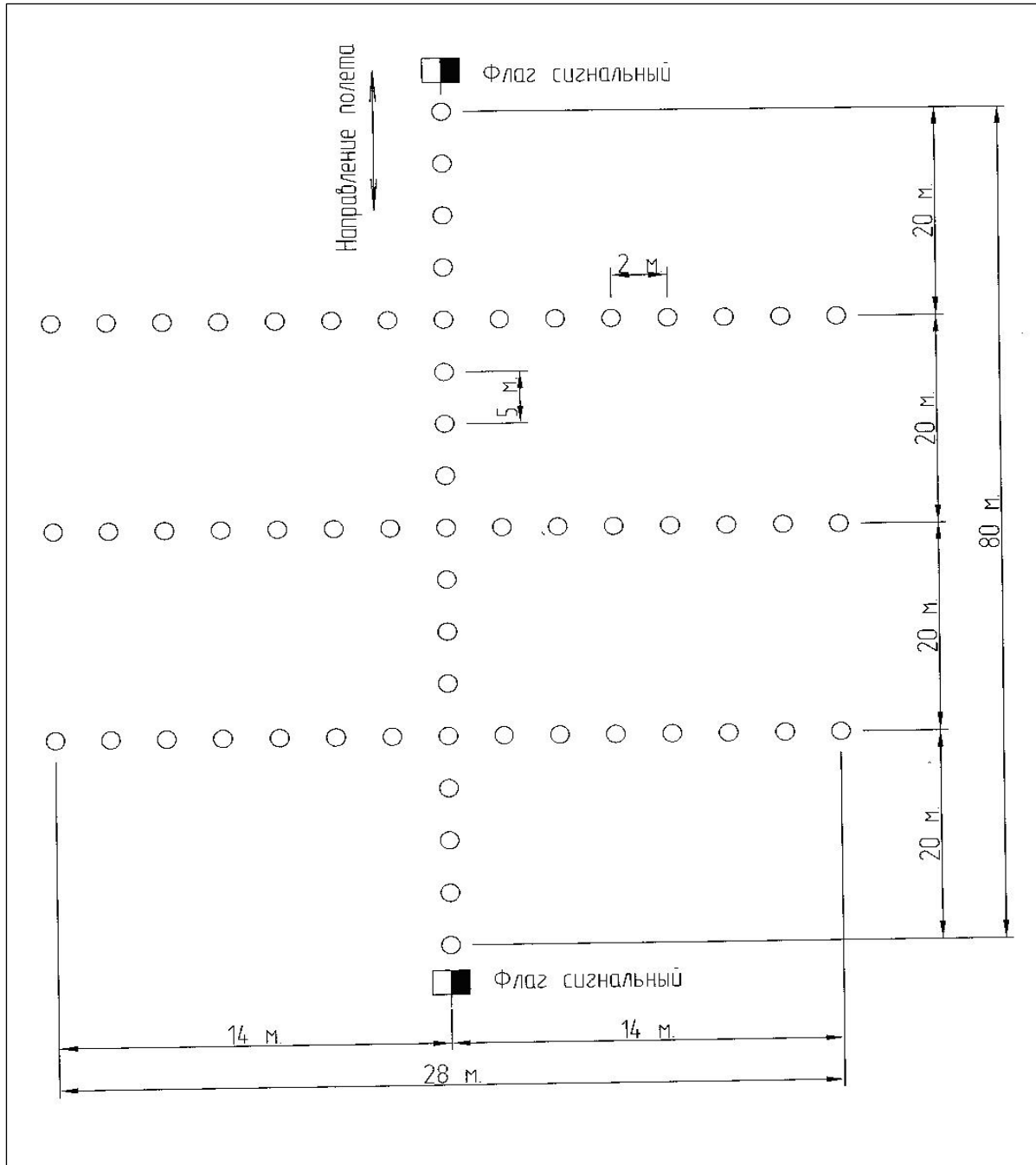


Рисунок 3.7 – Схема контрольно-измерительного полигона

Условия выполнения сливов представлены в таблице 3.5. Результаты сливов огнетушащей жидкости представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.5 – Условия выполнения сливов огнетушащей жидкости

Номер слива	Полнота древостоя	T, °C	P, мм рт. ст.	B, %	W, м/с	Вид жидкости	K, %	V, км/ч	H, м
1	0,6	16	756	68	4,0	Вода	0	60	20
2	0,4	16	756	68	3,0	Вода	0	60	20
3	0,8	15	757	68	3,5	Вода	0	60	20
4	0,6	11	758	75	4,0	Файрэкс	0,35	60	20
5	0,4	11	758	75	4,0	Файрэкс	0,35	60	20
6	0,8	11	758	76	4,0	Файрэкс	0,35	60	20
7	0,6	11	758	76	4,0	Файрэкс	0,35	60	30
8	0,8	11	759	76	4,0	Файрэкс	0,35	80	30
9	0,4	11	759	77	4,0	Файрэкс	0,35	100	30
10	0,6	10	760	80	5,0	Файрэкс	0,35	60	10
11	0,4	10	760	80	5,0	Файрэкс	0,35	60	20
12	0,8	10	760	80	5,0	Файрэкс	0,35	60	20
13	0,6	10	760	81	5,0	Вода	0	60	10
14	0,4	10	760	81	5,0	Вода	0	60	20
15	0,8	10	760	81	5,0	Вода	0	60	20
16	0,6	10	760	81	5,0	Вода	0	60	20
17	0,6	5	768	70	7,0	ТПМ	0,05	60	20
18	0,4	5	768	70	7,0	ТПМ	0,05	60	20
19	0,8	6	768	70	7,0	ТПМ	0,05	60	20
20	0,6	6	768	70	7,0	ТПМ	0,05	60	30
21	0,4	6	768	69	7,0	ТПМ	0,05	80	30
22	0,8	6	768	69	7,0	ТПМ	0,05	100	30
23	0,6	8	769	67	6,0	Файрэкс	0,70	60	20
24	0,4	8	769	67	6,0	Файрэкс	0,70	60	20
25	0,8	8	769	67	6,0	Файрэкс	0,70	60	20
26	0,6	8	769	67	6,0	Файрэкс	0,70	100	30
27	0,4	7	769	67	6,0	Файрэкс	0,70	60	30
28	0,8	7	769	67	6,0	Файрэкс	0,70	80	30
29	0,6	5	769	75	5,0	Файрэкс	1,00	60	20
30	0,4	5	769	75	5,0	Файрэкс	1,00	60	20
31	0,8	6	769	75	5,0	Файрэкс	1,00	60	20
32	0,60	6	769	75	5,0	Файрэкс	2,00	60	20

Примечание – T – температура воздуха, °C; P – давление воздуха, мм рт. ст.; B – влажность воздуха, %; W – величина скорости ветра, м/с; K – концентрация раствора, %; V – приборная скорость вертолета при сливе, км/ч; H – высота сопла ВСУ-5А над землей при сливе, м.

Таблица 3.6 – Результаты сливов огнетушащей жидкости из водосливного устройства ВСУ-5А с системой СДП-1

Номер слива	Р	V, км/ч	Н, м	t, с	Wo, л	Kw	qc, л/м ²	q=0,8 л/м ²		q=1,5 л/м ²	
								Lq, м	Pq, м	Lq, м	Pq, м
1	0,6	60	20	3,3	1 477	0,739	6,79	65	7,5	55	4,3
2	0,4	60	20	3,2	1 537	0,769	4,88	45	7,9	35	6,6
3	0,8	60	20	3,3	1 424	0,712	3,77	60	10,3	40	4,8
4	0,6	60	20	3,2	1 665	0,833	8,14	75	7,7	65	6,2
5	0,4	60	20	3,2	1 678	0,839	3,49	60	11,3	40	6,3
6	0,8	60	20	3,2	1 605	0,802	3,49	65	11,2	50	8,0
7	0,6	60	30	3,6	1 612	0,806	3,95	60	12,5	45	8,7
8	0,8	80	30	3,5	1 601	0,801	3,49	65	11,2	50	8,0
9	0,4	100	30	3,5	1 536	0,768	4,65	80	9,0	70	7,1
10	0,6	60	10	3,8	1 547	0,774	11,16	50	7,6	50	6,0
11	0,4	60	20	3,7	1 679	0,839	7,91	50	9,6	40	9,3
12	0,8	60	20	3,7	1 222	0,611	4,19	20	11,8	20	10,3
13	0,6	60	10	3,6	1 502	0,751	10,00	65	8,9	55	6,0
14	0,4	60	20	3,8	1 491	0,746	12,09	60	10,2	50	7,0
15	0,8	60	20	4,1	1 627	0,814	10,47	40	9,9	40	8,0
16	0,6	60	20	3,7	1 507	0,753	14,65	50	8,8	40	7,8
17	0,6	60	20	3,3	1 301	0,651	8,84	40	11,6	35	8,6
18	0,4	60	20	3,4	1 407	0,704	6,05	55	9,8	35	8,3
19	0,8	60	20	3,2	1 240	0,620	9,53	45	9,1	35	7,4
20	0,6	60	30	3,2	1 267	0,634	12,56	40	10,1	30	9,0
21	0,4	80	30	3,3	1 361	0,681	5,12	60	7,0	50	5,6
22	0,8	100	30	3,2	1 382	0,691	5,12	50	10,2	35	7,7
23	0,6	60	20	3,4	1 495	0,747	6,98	40	13,3	35	10,9
24	0,4	60	20	3,5	1 554	0,777	3,72	40	12,3	30	11,7
25	0,8	60	20	3,4	1 418	0,709	5,81	70	9,0	45	8,0
26	0,6	100	30	3,4	1 475	0,738	4,19	50	12,7	45	8,2
27	0,4	60	30	3,4	1 804	0,902	4,65	55	14,2	45	9,8
28	0,8	80	30	3,6	1 372	0,686	6,51	50	10,8	35	7,7
29	0,6	60	20	3,8	1 421	0,710	6,74	45	7,3	35	7,4
30	0,4	60	20	3,7	1 457	0,729	9,07	40	11,0	35	7,1
31	0,8	60	20	3,8	1 389	0,694	5,81	60	9,8	45	7,1
32	0,6	60	20	3,7	1 417	0,708	8,14	45	6,9	40	6,3

Примечание – Р – полнота древостоя; V – скорость вертолета при сливе жидкости, км/ч; Н – высота сопла ВСУ-5А над землей при сливе, м; Т – время слива жидкости, с; Wo – объем слитой жидкости, л; Kw – отношение объема жидкости в полосе к слитому объему жидкости; qc, – средняя дозировка жидкости на полосе по данным с пробоотборников, л/м²; q – заданная пороговая дозировка жидкости на полосе, л/м²; Lq, - эффективная длина смоченной полосы (длина смоченной полосы с заданной пороговой дозировкой q), м; Pq - эффективная ширина смоченной полосы (ширина смоченной полосы с заданной пороговой дозировкой q), м.

Анализ полученных результатов позволил выделить некоторые характерные особенности. Например, дозировка жидкости на смоченной полосе в лесу тесно связана с режимом полета вертолета при сливе жидкости и внешними условиями. При этом, наряду со скоростью и высотой полёта вертолётá наибольшую роль играют полнота древостоя и скорость ветра.

По данным таблиц 3.5 и 3.6 в работе [86] получено многопараметрическое уравнение регрессии для коэффициента проникновения K_w в напочвенный покров слитой жидкости в виде (формула 3.4):

$$K_w = 0,97 - 0,147 P - 0,0005 V - 0,0024 H - 0,031 W, \quad (3.4)$$

где P – полнота древостоя

V – скорость вертолётá при сливе жидкости, км/ч

H – высота сопла ВСУ-5 над землей при сливе, м

W – величина скорости ветра в зоне выполнения слива, м/с.

Полученное выражение имеет достаточно высокий коэффициент детерминации $R^2 = 0,454$, т.е. прямо учитывает около половины значимых влияний, и, несмотря на отмеченную ранее стохастическую природу осаждения и проникновения слитой жидкости под полог леса, может быть использовано для оценки влияния режимов слива на величину K_w и выбора необходимых технологических параметров.

На рисунке 3.8 показаны расчетные по (3.4) зависимости степени проникновения K_w от полноты древостоя сосняков для разных технологических режимов полета при сливе (№ 1 – $V = 60$ км/ч; $H = 20$ м; № 2 – тоже при $H = 30$ м; № 3 – при $H = 40$ м; № 4 – $H = 50$ м).

Сплошными линиями показано проникновение огнетушащей жидкости под полог леса при безветрии, а штрихпунктирными – с учётом ветра [86].

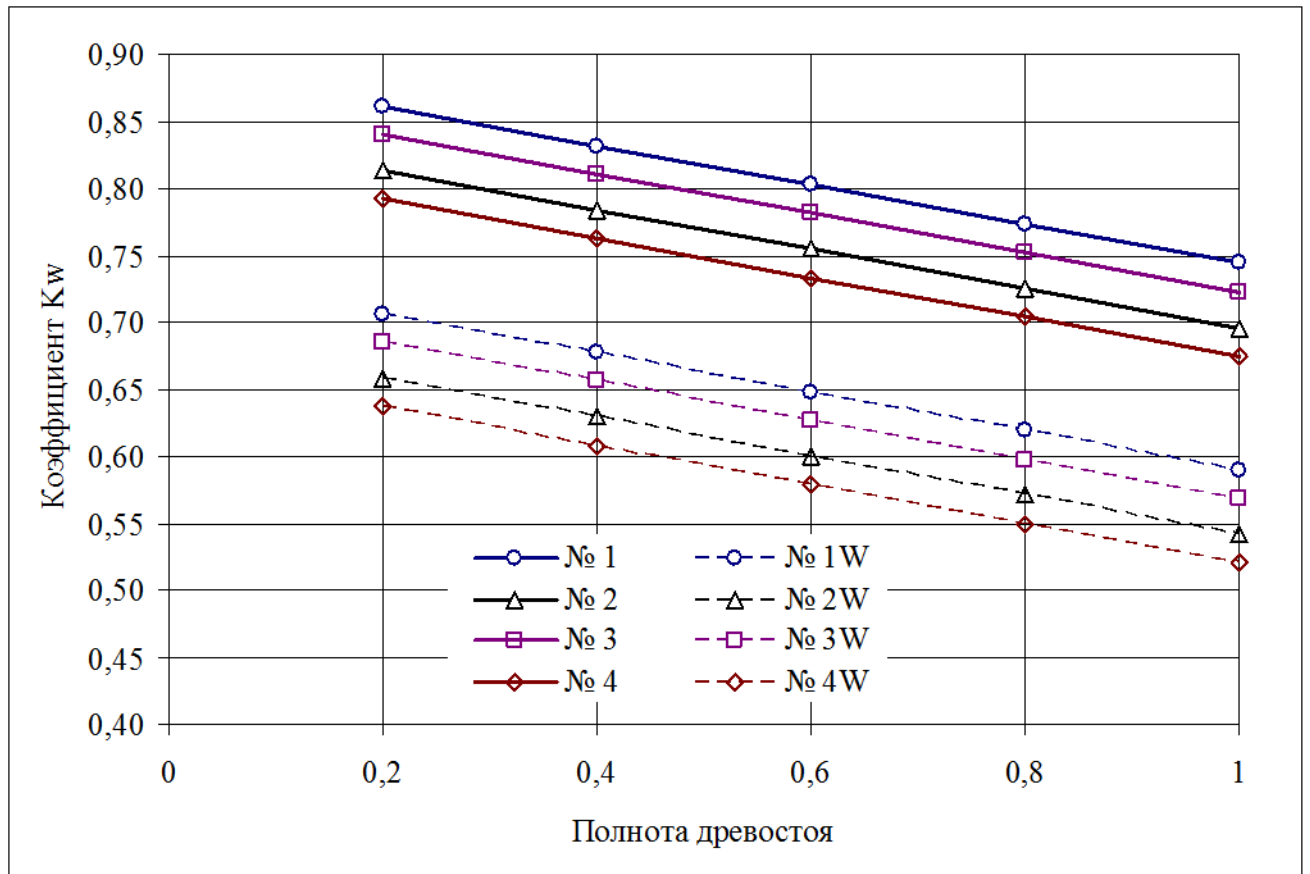


Рисунок 3.8 – Расчетно-экспериментальная зависимость коэффициента проникновения жидкости от полноты древостоя, режимов слива и скорости ветра

Как видно из результатов исследований, для заданного режима полета во время слива при увеличении полноты сосняков и скорости ветра происходит снижение относительного количества жидкости на смоченной полосе. Для повышения эффективности использования сливаемой жидкости при прокладке заградительных противопожарных полос целесообразно выполнять сливы из ВСУ-5А предпочтительно на малых скоростях и высотах полета, но, безусловно, с учетом ограничений по безопасности полетов.

В ходе выполненных исследований было установлено, что вертолетная дозирующая система на внешней подвеске имеет неоспоримые преимущества перед внутрифюзеляжным образцом, т.к. не требует для своей установки демонтажа дополнительного топливного бака, не занимает места в грузовой кабине вертолета и исключает загрязнение ее химикатом. Она полностью

адаптирована к серийной системе ВСУ-5А, меньше по весу и ниже по стоимости, проста в управлении и надежна в эксплуатации. Подготовка к вылету на пожар предельно упрощается, т.к. сводится лишь к заправке мягкой емкости химикатом и установке рифления ВСУ-5А на требуемый объем воды, зависящий от полезной грузоподъемности вертолета. Кроме того, применение системы СДП-1 повышает уровень безопасности полетов поскольку перенос емкости с пенообразователем из грузовой кабины на внешнюю подвеску стабилизирует положение порожней емкости ВСУ-5А в полете и исключает ее захлестывание на хвостовую балку вертолета.

Лётные исследования параметров противопожарных заградительных полос, создаваемых вертолётom Ми-8, оснащённым водосливным устройством ВСУ-5А и системой СДП-1, заправленной раствором высокоэффективного смачивателя ТПМ-1 с рабочей концентрацией раствора 0,1 %, проводились также в 2015 г. на территории Сургутского лесничества Ханты-Мансийского автономного округа. В ходе исследований были изучены возможности прокладки противопожарных заградительных полос с воздуха с применением напорного слива раствора пенообразователя, усовершенствованной рецептуры смачивателя и импортного антипирена.

Программа лётных исследований предусматривала напорные сливы раствора пенообразователя ПО-6ЦТ с рабочей концентрацией 6% и забором воды из водоёма. В другой части программы были предусмотрены исследовательские полёты летнабов с прицельным сливом огнетушащих растворов из водосливного устройства ВСУ-5А с системой СДП-1 на внешней подвеске вертолётa Ми-8АМТ. При этом использовалась система дозированной подачи химических добавок СДП-1 для создания в водосливном устройстве ВСУ-5А растворов смачивателя ТПМ-1 с рабочей концентрацией 0,1% и испанского антипирена FR CROS 134Т с рабочей концентрацией 20%.

Смачиватель ТПМ-1 (ТУ 2483-006-469669722006), разработан научно-производственной фирмой «РИВТ» (г. Санкт-Петербург). Он представляет собой вязкую гелеобразную жидкость зелёного цвета. Принцип действия смачивателя

ТПМ-1 заключается в том, что при введении его в воду, значительно увеличивается смачивающая способность образовавшегося раствора и тем самым резко возрастают глубина и скорость его проникновения в капиллярно-пористые материалы (например, в лесную подстилку и торф). Испанский антипирен FR CROS 134T на основе фосфорно-аммонийных солей является аналогом отечественного антипирена ОС-5, но его рабочий раствор имеет более высокую эффективную концентрацию и специальную окраску для лучшей его идентификации на земле (рисунок 3.9). Исследования параметров создаваемых противопожарных заградительных полос проводились в соответствии с методикой, представленной в разделе 2.



Рисунок 3.9 – Слив раствора антипирена FR CROS 134T

Сливы жидкости проводились при следующих погодных условиях: температура воздуха +14°C, скорость ветра – 6 м/с, направление ветра – 220°, давление воздуха – 753 мм рт. ст. При всех сливах высота ВСУ-5А относительно

земли – 30 м, скорость полета при сливе – 60 км/ч, расход огнегасящей жидкости – 800 л/с. Последний слив производился на лес (лесной участок в Сургутском участковом лесничестве, кв. 311, выдел 14, сосняк лишайниково-брусничный, состав 10 С, возраст 140 лет, H=15 м, D=22 см, полнота 0,7).

Результаты лётных исследований представлены в таблице 3.7 [153].

Таблица 3.7 – Результаты лётных исследований (Сургут, 2015 г.)

Номер слива	Высота слива, м	Скорость вертолёта при сливе, м	Огнетушащий агент	Концентрация раствора, %	Длина смоченной зоны, м	Ширина смоченной зоны, м	Средняя дозировка раствора, л/м ²
1	30	60	ТПМ-1	0,1	50	12	3,0
2	30	60	ТПМ-1	0,1	65	11	2,5
3	30	60	ТПМ-1	0,1	60	12	2,5
4	30	60	ТПМ-1	0,1	60	12	2,6
5	30	60	ТПМ-1	0,1	60	12	2,5
6	30	60	FR CROS 134T	20	55	11	3,0
7	30	60	FR CROS 134T	20	60	11	2,4

В качестве примера на рисунках 3.10 и 3.11 представлены эпюры результатов сливов. На рисунках объёмы жидкости в пробоотборниках (банках) указаны в миллилитрах.

Выполненные в Сургуте сливы огнезадерживающих растворов из ВСУ-5А с системой СДП-1 на внешней подвеске вертолёта Ми-8АМТ показали (таблица 3.8), что дозировки огнетушащих растворов в смоченной зоне на земле существенно превышают оптимальные значения. Это свидетельствует о том, что можно было увеличить длину смоченного пятна путём увеличения скорости полёта при сливе до 70-80 км/ч.

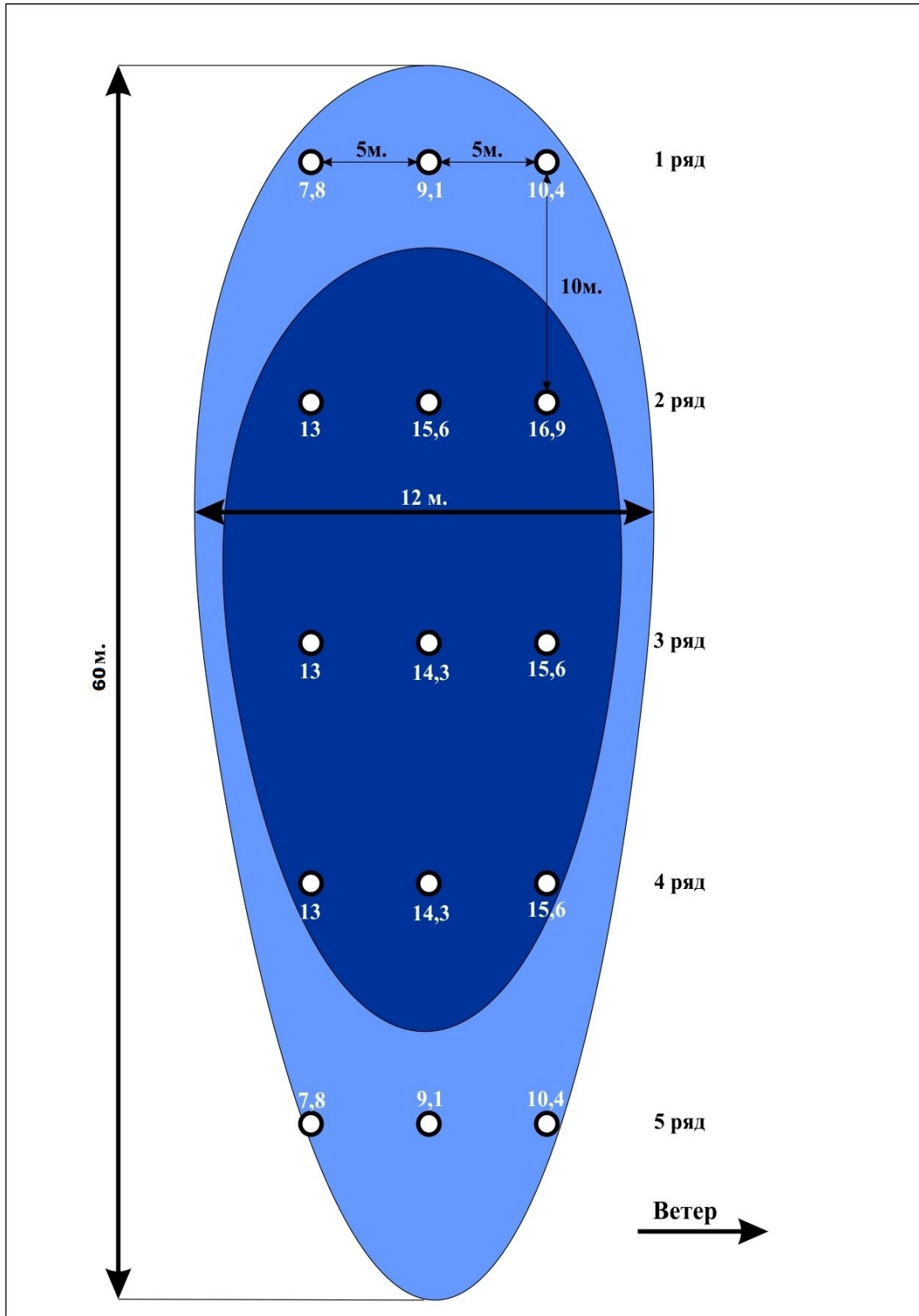


Рисунок 3.10 – Результаты слива раствора смачивателя ТПМ-1

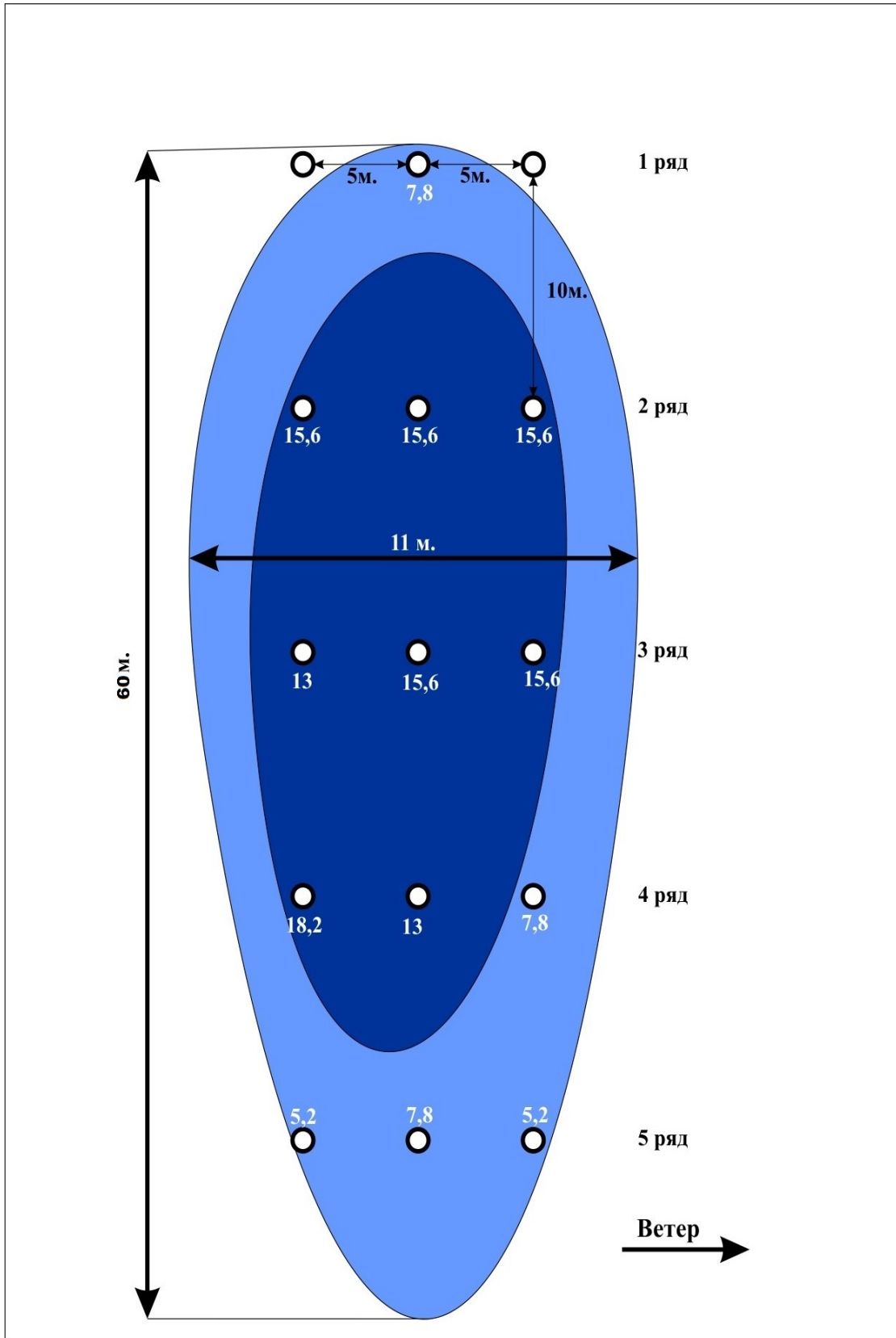


Рисунок 3.11 – Результаты слива раствора антипирена FR CROS 134T

3.2 Огнестойкая быстротвердеющая пена для создания противопожарных полос долговременного действия и средства ее подачи

Существенным недостатком воздушно-механической пены, применяемой при борьбе с лесными пожарами, является кратковременность её защитного действия при прокладке заградительных полос.

С целью устранения этого недостатка за рубежом была разработана новая инновационная технология создания пены CAFS [154], основанная на использовании насосно-компрессорного оборудования. Принцип работы системы CAFS следующий: в поток воды, подаваемый под давлением центробежным насосом, впрыскивается дозированное количество пенообразователя (ПО), потом в эту смесь нагнетается в определённых пропорциях воздух. В камере смешения происходит окончательное перемешивание состава и по напорным рукавам вместо жидкости подаётся готовая газонаполненная пена, которая в десятки раз легче водного раствора ПО, что позволяет подавать её на значительную высоту. В зависимости от содержания в пене сжатого воздуха различают «мокрую» и «сухую» пену. Последнюю ещё называют «липкой» пеной. Благодаря своей высокой адгезии «сухая» пена обладает способностью сравнительно долго удерживаться на вертикальных плоскостях, образуя эффективный огнезащитный слой. «Мокрая» пена обладает большей подвижностью и большей дальностью струи, поэтому её лучше использовать при тушении кромки горения.

Мобильную установку для получения газонаполненной пены УГНП-800 создали ФГБУ ВНИИПО МЧС России и ЗАО «УСПТК-Пожгидравлика» (г.Миасс). Это многофункциональная установка. Она может подавать одновременно и газонаполненную пену, и чистую воду, а также раствор любых жидких добавок с высокой точностью дозирования концентрации [154].

Дальнейшим усовершенствованием технологии CAFS является создание огнестойкой быстротвердеющей пены. Она является совместной разработкой ООО НПО «СОПОТ» и университета ИТМО, г. Санкт-Петербург и позволяет осуществлять контролируемое твердение пены за промежутки времени от 2 до 30

сек. [155]. Сформированная пена состоит из структурированных наночастиц геля кремнезема, повторяющих при этом морфологию диспергированных в растворе поверхностно активного вещества (ПАВ) воздушных пузырьков. Химическая структура позволяет развивать теплоизолирующую способность пены до очень большого значения удельной теплоёмкости, более 2,5 кДж/(кг °С). Уникальные свойства данной пены позволяют достичь удельного расхода огнетушащего средства при тушении пожаров на уровне 1 л/м², по сравнению с 5 л/м² огнетушащего средства, основанного на штатном серийно выпускаемом ПАВ. Автором, совместно с сотрудниками ФБУ «СПбНИИЛХ» и ООО «СОПОТ» исследованы возможности применения этой технологии при тушении пожаров в лесах.

В основу разработанной технологии положено использование нескольких компонентов, конечным продуктом которой является «Специализированная двухкомпонентная композиция для пожаротушения (СДКП-1)», состоящая из раствора пенообразователя (компонент А) и отвердителя (компонент Б). Она предназначена для тушения твёрдых горючих материалов (пожары класса А).

Согласно данным термического анализа [155], вспененный кремнезем в процессе внешнего теплового воздействия способен выдерживать воздействие температур до 1000°С с минимальным изменением механического состояния.

Высокая огнетушащая эффективность возникает, в том числе и благодаря высокой адгезии быстротвердеющей пены. Она хорошо прилипает к любым поверхностям, сохраняя поведение «сухой» пены и дополнительно увеличивая её огнестойкость и длительность действия за счёт затвердевания. Оба жидких компонента СДКП-1 являются водорастворимыми. Пена, образуемая при их смешении, также водорастворима. Созданные такой пеной противопожарные заградительные полосы являются устойчивыми к огню на протяжении практически всего засушливого периода пожароопасного сезона. Огнестойкая быстротвердеющая пена постепенно смывается только выпадающими осадками. Разработчиками получены Протокол испытаний биоразлагаемости этой

специализированной двухкомпонентной композиции для пожаротушения и Сертификат её соответствия нормативным требованиям.

Образование пены происходит при смешении компонентов А и Б между собой и с воздухом при подаче полученной смеси и сжатого воздуха через специальный пожарный ствол, разработанный ООО НПО «СОПОТ». Генерация огнестойкой быстротвердеющей пены возможна также с помощью установки комбинированного тушения пожаров (УКТП) «Пурга» разработки ООО НПО «СОПОТ» (рисунок 3.12).



Рисунок 3.12 – Генерация огнестойкой быстротвердеющей пены с помощью УКТП «Пурга»

Также ООО «НПО «СОПОТ» спроектировало и провело испытания вертолетного водопеносливного устройства (ВВСУ), размещаемого на внешней подвеске вертолетов К-32, Ми-8, Ми-26МТ. Данное устройство предназначено для забора воды из открытых водоемов (водохранилищ, озер, рек, или морей), доставки воды и пенообразователя к месту пожара [155].

Тушение и локализация пожаров осуществляется с помощью комбинированной подачи, под напором не менее 8 кг/см², струй пены низкой и средней кратности, а также распыленных или компактных струй воды. В составе устройства предусмотрена также система сброса всей массы воды за 5-8сек. Водосливное устройство с УКТП «Пурга» позволяет производить забор воды в

режиме висения из любых водоемов, в том числе мелководных с глубиной 1,5-2м. Управление сливом воды и подачей струй пены осуществляется дистанционно с пульта управления оператора по радиоканалу или по проводной сети [155]. Отличительной особенностью данного устройства с напорным сливом от существующих отечественных водосливных устройств со свободным сливом жидкости (ВСУ-5А, ВСУ-15А или HL7600 Канадского производства) является возможность создания качественной мелкодисперсной воздушно-механической пены различной кратности и генерации огнестойкой быстротвердеющей пены.

В комплект ВСУ с УКТП «Пурга» входит [155]:

- жесткие емкости для воды объемом 3,5-15 м³;
- емкость для пенообразователя объемом до 0,5 м³;
- установка комбинированного тушения пожаров УКТП «Пурга», производительностью до 60 л/с;
- оборудование для создания давления 8-10 кг/см² (насосный агрегат);
- аппаратура дистанционного управления сливом и работой насосного агрегата и напорных патрубков, в том числе по радиоканалу;
- источники электропитания насосных агрегатов;
- оборудование дозированной подачи раствора пенообразователя;
- оборудование забора и очистки воды из открытого водоема в режиме висения вертолета;
- система тросовой подвески к вертолету длиной 30м;
- пульт дистанционного управления водосливным устройством.

На рисунках 3.13 и 3.14 показан забор воды в ВВСУ в режиме висения вертолётá над водоёмом и слив воды для проверки работоспособности системы перед началом выполнения работ [155].

Сравнительные расчётные характеристики ВВСУ с УКТП «Пурга» при использовании с вертолётáми различных типов приведены в таблице 3.8 [153, 155].



Рисунок 3.13 – Забор воды, путём опускания ВВСУ на поверхность воды



Рисунок 3.14 – Проверочный слив воды в полёте

Таблица 3.8 – Сравнительные характеристики ВВСУ с УКТП «Пурга» адаптированной к вертолётам разной грузоподъёмности

Технические данные	ВСУ с УКТП «Пурга» для Ка-32	ВСУ с УКТП «Пурга» для Ми-8МТ	ВСУ с УКТП «Пурга» для Ми-26
Полная масса водосливного устройства, т	5	4	15
Объем емкости для воды, м ³	3,5-4	3-3,2	До 14
Объем емкости для пенообразователя, м ³	0,3-0,5	0,2-0,3	до 1
Средний расход воды при сливе, л/с	500-800	500-800	1000-1500
Время заполнения емкости водой при погружении устройства в водоем, с	8-10	5	10
Время опорожнения емкости через сливной клапан, мин	8-10	6	10-14
Время опорожнения емкости при работе УКТП «Пурга», с	80	50	230
Время закрытия сливного клапана, с	2-5	2-5	5-7
Максимально допустимая глубина водоема для использования водосливного устройства, м	1,5-2	1,5-2	2-2,5
Время подъема сливного патрубка из нижнего положения в верхнее, с	2-5	2-5	5-7

Окончание таблицы 3.8

Технические данные	ВСУ с УКТП «Пурга» для Ка-32	ВСУ с УКТП «Пурга» для Ми-8МТВ	ВСУ с УКТП «Пурга» для Ми-26
Возможность подачи комбинированных струй			
- воды	+	+	+
- пены низкой кратности	+	+	+
- пены средней кратности	+	+	+
Возможность подачи струй воды и пены под напором	+	+	+
Толщина слоя пены на поверхности горения	0,1	0,1	0,1-0,15
Ширина заградительной полосы, м	6	6	6-10
Длина заградительной полосы, м	200-300 в зависимости от типа пенообразователя	150-300 в зависимости от типа пенообразователя	700-1000 в зависимости от типа пенообразователя
Типы используемых пенообразователей	Все сертифицированные типы		
Длина внешней подвески вертолета, м	30	30	30
Время приведения в рабочее состояние, мин	ВСУ находится в собранном виде и в постоянной боевой готовности		
Стоимость, руб..	Определяется в процессе проведения ОКР		
Срок изготовления и поставки, раб. дней	90-120	90-120	90-120

Режим полёта при первом экспериментальном сливе огнестойкой быстротвердеющей пены (рисунок 3.15) был следующий [153]:

- высота сопла ВВСУ «ПУРГА» 30x2 относительно земли – 40 м;
- скорость полета при сливе – 60 км/ч;
- расход твердеющего пенообразователя – 60 л/с.

При заданном режиме полёта и пороговой дозировке $0,1 \text{ л/м}^2$ эффективная длина полосы за один слив составила 900 м, а эффективная ширина полосы – 9,5 м. Средняя дозировка пены на эффективной смоченной полосе составила $0,21 \text{ л/м}^2$. При такой дозировке пена слабо видна на лесном напочвенном покрове.



Рисунок 3.15 – Первый слив быстротвердеющей огнестойкой пены с ВВСУ «ПУРГА» 30x2 на КИП, оборудованный на вырубке, Сургутское лесничество, 26 мая 2015 г.

С целью увеличения дозировки быстротвердеющей огнестойкой пены на смоченной полосе при втором экспериментальном сливе режим полёта был изменён следующим образом:

- высота сопла ВВСУ «ПУРГА» 30x2 относительно земли – 30м;
- скорость полета при сливе – 40 км/ч;
- расход пенообразователей при сливе: 40 л/с твердеющего пенообразователя; 20 л/с обычного пенообразователя.

Кроме того, второй слив осуществлялся как на вырубку, так и на лесной КИП (рис. 3.16). В связи со снижением скорости полёта заградительная полоса стала короче, а из-за снижения высоты полёта уменьшилась и её ширина. При изменённом режиме полёта и пороговой дозировке $0,2 \text{ л/м}^2$ эффективная длина полосы за один слив составила более 500 м, а эффективная ширина полосы – 8 м [153].



Рисунок 3.16. Второй слив быстротвердеющей пены на лесной КИП с помощью ВВСУ с УКТП «Пурга 30x2»,

Средняя дозировка пены на эффективной смоченной полосе составила $0,46 \text{ л/м}^2$. Пена была хорошо видна на растительном покрове и подсыхала за 20-30 с.

Растительный покров после обработки быстротвердеющей огнестойкой пеной представлен на рисунках 3.17 и 3.18. За счёт высокой адгезии этой пены она

хорошо прилипает к любым поверхностям лесных горючих материалов, расположенным в различных плоскостях, и, затвердев, очень долго держится на них. Это хорошо видно на рисунке 3.18, где каждая хвоинка покрыта огнестойкой пеной и не может воспламениться. В результате выполненных исследований была доказана возможность создания огнестойкой заградительной полосы длиной до 500 м и шириной около 8 м со средней дозировкой пены на полосе около 0,5 л/м² [153].

Противопожарная заградительная полоса, созданная огнестойкой быстротвердеющей пеной, в отличие от заградительных полос, созданных растворами обычных пенообразователей и смачивателей, имеет долговременное действие (весь засушливый период пожароопасного сезона).



Рисунок 3.17 – Быстротвердеющая огнестойкая пена на бруснике и листьях



Рисунок 3.18. Быстротвердеющая огнестойкая пена на сухой и свежей хвое сосны

Сливаемая огнестойкая пена быстро твердеет на хвое и листьях, что предотвращает её разложение и стекание с обработанной поверхности. Особенно важно то, что она долго держится на кронах древостоя, защищая их от огня низового пожара, и препятствует распространению огня по пологу леса.

Пенные заградительные и опорные полосы могут создаваться не обязательно с воздуха. В зоне авиационной охраны лесов могут использоваться малогабаритные разборные технические средства, десантируемые в зону борьбы с природным пожаром. Для подачи быстротвердеющей огнестойкой пены ООО НПО «СОПОТ», помимо вертолётных, были разработаны малогабаритные наземные технические средства пожаротушения [153, 155]:

- огнетушитель ВП-50-СКДП (рисунок 3.19, 3.20);
- передвижной пожарный модуль с УКТП «ПУРГА» (рисунок 3.21, 3.22, 3.23).

Ранцевый огнетушитель ВП-50-СДКП состоит из основной емкости с компонентом А (пенообразователем), находящимся под давлением, и ранца с



Рисунок 3.19 – Огнетушитель ВП-50-СДКП



Рисунок 3.20 – Подача огнестойкой быстротвердеющей пены из огнетушителя ВП-50-СДКП



Рисунок 3.21 – Общий вид передвижного пожарного модуля



Рисунок 3.22 – Подача быстротвердеющей пены при низком угле наклона лафетного ствола Пурга-2, установленного на передвижном пожарном модуле



Рисунок 3.23 – Подача быстротвердеющей пены при высоком угле наклона лафетного ствола Пурга-2, установленного на передвижном пожарном модуле

компонентом Б (огнестойким отвердителем). Также в комплектацию огнетушителя входят: спусковое устройство (пистолет), специальный эжектор и ствол пенный низкой кратности. При осуществлении подачи компонента А через ствол огнетушителя компонент Б эжектируется в струю компонента А, где и происходит смешение двух компонентов между собой и в стволе с воздухом. На выходе из ствола образуется огнестойкая быстротвердеющая пена.

Огнетушащий состав – специализированная двухкомпонентная композиция для пожаротушения (СДКП) – ТУ 2641-001-52142821-2015, объём 30 л.

Передвижной пожарный модуль (ППМ) со стационарной установкой УКТП «ПУРГА», имеет сравнительно высокую проходимость в лесах. Он может передвигаться по лесным дорогам, просекам и широким минерализованным полосам. ППМ с УКТП «Пурга» и двумя ранцевыми устройствами пожаротушения (РУП УКТП «Пурга-2») предназначен для тушения лесных и других природных пожаров водой, воздушно-механической и огнестойкой

быстротвердеющей пеной, а также для доставки к месту пожара мотопомп, воды, пенообразователя, пожарного оборудования и инструмента.

ППМ может обеспечивать забор и подачу воды или пены как с установкой на источник противопожарного водоснабжения, так и без такой установки, в том числе «на ходу».

Наличие двух пожарных мотопомп (стационарной и переносной), позволяет подавать воду или пену на пожар в перекачку на расстояние 700-1000 м от места расположения водоисточника.

Автономная работа стационарной мотопомпы позволяет подавать огнетушащее средство на ходу (во время движения ППМ).

Пожарный модуль также может обеспечивать подачу водных растворов смачивателей или химических реагентов в целях создания заградительных полос при пожаре в лесу. В полуразобранном виде он может десантироваться к месту пожара в зоне авиационной охраны лесов.

УКТП «Пурга 2» состоит из корпуса, насадка-распылителя (форсунки), пакета сеток и перекрывного устройства. При достижении рабочего давления поток водного раствора пенообразователя (ПО), проходя через насадок-распылитель, увеличивает скорость движения и распыляется, образуя конусообразную струю с вершиной у насадка. Капли раствора, за счет сил поверхностного трения, захватывают (эжектируют) воздух и попадают на пакет сеток. На сетках происходит образование пены средней кратности и формирование струи (рисунок 3.24).

Увеличение длины струи пены обусловлено особенностями конструкции насадка-распылителя, обеспечивающего импульсную генерацию пены на сетках. Раствор ПО концентрацией 6 % приготавливается заранее в емкости для воды. Возможен монтаж пеносмесителя в водопенные коммуникации установки вместе с дозатором, обеспечивающим расход ПО от 0,12 л/с до 0,72 л/с. Бак для ПО может устанавливаться вместе с пеносмесителем.



Рисунок 3.24 – Подача пены с помощью установки комбинированного тушения УКТП «Пурга 2»

РУП УКТП «Пурга 2» состоит (рисунок 3.25) из генератора пены УКТП «Пурга 2» с перекрывным устройством, заплечного ранца-резервуара для пенообразователя (ПО), шланга для подачи ПО, крана подачи ПО с лимбом-указателем концентрации ПО в водном растворе. При необходимости подачи на пожар распыленной воды кран подачи ПО должен быть закрыт.

Для подачи воздушно-механической пены средней кратности кран открывается. В составе РУП применяется УКТП «Пурга 2» с форсункой, обеспечивающей эжектирование ПО из ранца-резервуара. Заданный эжектируемый расход ПО обеспечивается расчетными параметрами диаметра насадка распылителя и горловины форсуночного узла. Например, при полностью открытом кране (на лимбе положение «б») обеспечивается эжектирование ПО с расходом 0,12 л/с. Расходы ПО 0,02 л/с и 0,06 л/с задаются установкой крана с положением на лимбе «1» или «3» соответственно.



Рисунок 3.25 – Подача пены с помощью ранцевого Устройства пожаротушения РУП с УКТП «Пурга 2»

Огнезадерживающие свойства противопожарных заградительных полос, созданных огнестойкой быстротвердеющей пеной, исследовались экспериментально [3.12]. Огневые натурные эксперименты проводились в июле 2015 г. в сосновых лесах Лужского района Ленинградской области. Температура воздуха составляла +24-+26 °С. Влагосодержание лесного напочвенного покрова 12-15%. Преобладающее направление ветра – северо-восточное. Исследования проводились по методике, изложенной в главе 2.

Первый огневой эксперимент был проведён в сосняке лишайниковом.

Средняя скорость ветра на стандартной высоте 2 м составляла 2,1 м/с.

Полоса быстротвердеющей пены прокладывалась последовательно при помощи двух огнетушителей ВП-50-СДКП (рис. 3.20).

Общая длина проложенной заградительной полосы составляла 35 м. Ширина полосы – 1,5-2,5 м. Расход пенообразователя – 0,8-1,0 л/с. Время

прокладки пенной полосы каждым огнетушителем – 25-30 с. Объём поданного пенообразователя – 50 л. Средняя дозировка пены на полосе – 0,6 л/м². Равномерность дозировки быстротвердеющей пены на напочвенном покрове обеспечивалась за счёт плавного перемещения ствола огнетушителя по линии прокладки заградительной полосы. Время горения от поджога до подхода фронтальной кромки пламени к пенной заградительной полосе составило 10 минут. При этом средняя высота пламени была 1,8 м.

На рисунке 3.26 показана кромка горения перед подходом пламени к заградительной полосе.



Рисунок 3.26 – Кромка горения при подходе к заградительной полосе

На следующем рисунке 3.27 показана кромка горения, затухшая на заградительной полосе. Полоса удержала пламя на всём её протяжении.



Рисунок 3.27 – Затухшая кромка горения на заградительной полосе

Второй огневой эксперимент проводился в сосняке вересковом.

Средняя скорость ветра на стандартной высоте 2 м составляла 1,9 м/с.

Противопожарная заградительная полоса создавалась из огнестойкой быстротвердеющей пены в ходе движения ППМ с УКТП «Пурга» (рисунок 3.22, 3.23). Общая длина проложенной полосы составляла 24 м, а ширина полосы – 6-8 м. Средний расход раствора пенообразователя – 20 л/с. Время прокладки пенной полосы – 47 с. Ориентировочный объём поданного состава – 940 л. Ориентировочная средняя дозировка пены на полосе – 5,5 л/м². По центру полосы дозировка была немного выше, чем по краям (рисунок 3.28).

Время горения от поджога при помощи зажигательного аппарата до подхода фронтальной кромки пламени к заградительной полосе составило 5,5 минуты. Максимальная скорость продвижения фронтальной кромки горения – 3 м/мин. Высота пламени изменялась в пределах 1,5 – 4,0 м (рисунок 3.29). Полоса удержала пламя на всём её протяжении (рисунок 3.30).



Рисунок 3.28 – Полоса из огнестойкой быстротвердеющей пены сразу после прокладки



Рисунок 3.29 – Кромка горения при подходе к пенной заградительной полосе



Рисунок 3.30 – Граница выгоревшей площади вдоль пенной полосы

Важный результат, который был получен в ходе второго эксперимента – это защита быстротвердеющей пеной крон древостоя. На рисунках 3.31 и 3.32 хорошо видно, как быстротвердеющая пена защищает подрост сосны, горение которого обычно является предпосылкой для перехода низового пожара в верховой.



Рисунок 3.31 – Не сгоревший подрост сосны, защищённый огнестойкой быстротвердеющей пеной



Рисунок 3.32 – Факельное горение подроста сосны, не защищённого быстротвердеющей пеной

Таким образом, в ходе проведённых огневых экспериментов установлено, что огнестойкая быстротвердеющая пена обладает всеми заявленными её разработчиками свойствами, а именно: останавливает фронтальную кромку горения низового пожара средней и высокой интенсивности, защищает кроны древостоя от перехода низового огня в верховой. Эти результаты были получены при III классе пожарной опасности по условиям погоды и средней скорости ветра под пологом древостоя 2 м/с в наиболее пожароопасных типах леса: сосняк лишайниковый и сосняк вересковый.

Кроме того, выполненные исследования показали, что для прокладки долговременных пенных заградительных полос в лесах имеются необходимые вертолётные и наземные десантируемые технические средства, позволяющие создавать противопожарные полосы из огнестойкой быстротвердеющей пены различной длины, ширины и поверхностной плотности (дозировки) пены. Эти средства были испытаны в условиях огневых натуральных экспериментов в лесу и показали свою работоспособность и технологичность.

В ходе проведённых экспериментальных исследований были установлены следующие преимущества огнестойкой быстротвердеющей пены в отличие от воды и обычной воздушно-механической пены [153]:

- экономия воды и пенообразователя за счёт более эффективного их использования;
- повышение дальности и высоты подачи сплошной струи пены;
- удобство работы с более лёгкими рукавами при её подаче;
- высокая адгезия (прилипание к различно ориентированным в пространстве поверхностям, в частности к хвое, веточкам и растительному напочвенному покрову);
- высокая огнестойкость и после высыхания (затвердевания);
- долговременность действия (на протяжении всего засушливого периода пожароопасного сезона может служить препятствием для возникновения и распространения низового и верхового пожаров, растворима в воде и постепенно смывается дождями).

3.3 Противопожарные огнезащитные экраны из кремнеземной ткани

Большие трудности возникают, когда необходимо быстро остановить распространение низового лесного пожара в местах, непроходимых для пожарных автоцистерн и агрегатов, тяжёлой землеройной техники, и там, где нет поблизости водоисточников. Сильные низовые пожары, как правило, возникают при высокой скорости ветра. При этом пуск отжига требует создания опорной полосы, опасен в дневное время из-за частых изменений направления ветра и малоэффективен из-за очень медленного распространения огня против сильного ветра.

Теплопередача из зоны горения осуществляется путём теплового излучения и теплопроводности в слое напочвенного покрова, а также путём излучения и конвекции от факела пламени. При нагреве происходит пиролиз новых порций лесных горючих материалов и дальнейшее воспламенение образовавшихся

горючих продуктов пиролиза. Новая технология локализации низового пожара основана на прерывании с помощью вертикального негорючего экрана теплопередачи от кромки горения к находящемуся перед ней слою растительного напочвенного покрова. Прерывание распространения горения внутри слоя растительного напочвенного покрова осуществляется путём его обработки вдоль нижней границы экрана раствором антипирена. Высокая эффективность остановки кромки лесного пожара достигается и при пуске от экрана отжига. При этом не требуется большая ширина выжженной полосы.

Разработанная технология позволяет эффективно локализовать низовые пожары, быстро пускать отжиг при борьбе с верховыми пожарами, предотвращать переход огня в насаждения с прилегающих к лесным массивам территорий и защищать от пожаров населенные пункты и объекты экономики [39, 40, 156-160].

Разработанный ФГУ «СПбНИИЛХ» противопожарный экран состоит из 10 секций общей длиной 500 м [40]. Каждая секция представляет собой лёгкую алюминиевую катушку, на которую намотано полотно кремнезёмной ткани длиной 50 м с закреплёнными на нём стойками из алюминиевой трубки со стальными наконечниками и колпачками. Для удобства переноски и десантирования секция укладывается в специальный чехол (рисунок 3.33).

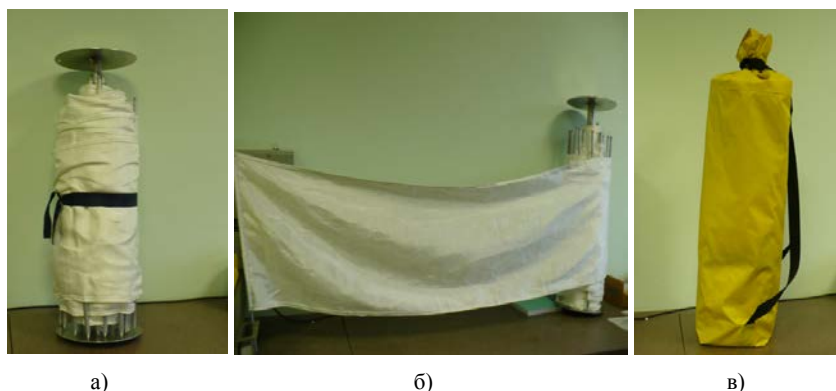
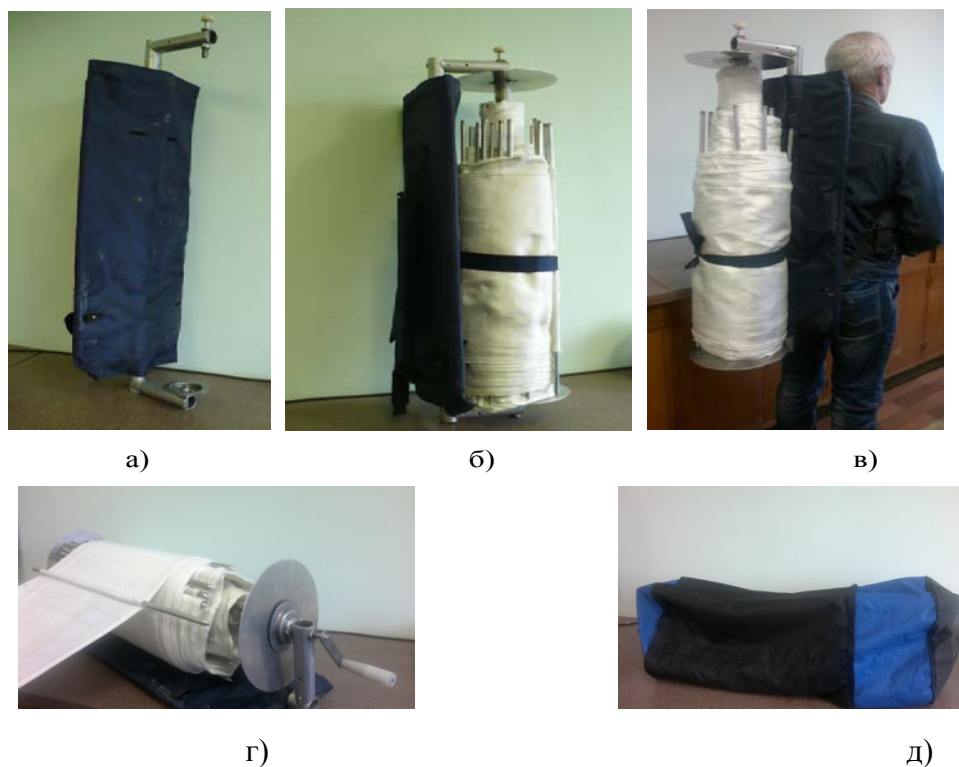


Рисунок 3.33 – Секция противопожарного экрана на катушке:
а) в сборе; б) полотно со стойками; в) в чехле

Для применения экрана разработано установочное устройство ранцевого типа с наспинником (рисунок 3.34), в раму которого (рисунок 3.34 а) вставляется катушка с секцией экрана (рисунок 3.34 б). В рабочем режиме устройство с катушкой надевается на плечи лесного пожарного (рисунок 3.34 в).

Намотка полотна экрана на катушку производится с помощью съёмной ручки при горизонтальном положении установочного устройства (рисунок 3.34 г). Для перевозки и десантирования установочное устройство помещается в чехол (рисунок 3.34 д).



а) рама с наспинником; б) с катушкой; в) в рабочем положении;
 г) с ручкой для намотки экрана; д) в чехле

Рисунок 3.34 – Ранцевое устройство для установки и намотки противопожарного экрана [40]

В таблице 3.9 представлены основные технические характеристики экспериментального образца противопожарного экрана, в том числе – кремнезёмной ткани [40].

Таблица 3.9 – Основные технические характеристики противопожарного экрана

Наименование элементов экрана	Основные технические характеристики	
Полотно экрана	Кремнезёмная ткань марки КТ-11-ГО	
	Высота полотна ткани, м	0,5 (1,0)
	Плотность ткани, г/м ²	290
	Предельная температура при длительном воздействии, С	1000
	Предельная температура при кратковременном воздействии, °С	1400
Стойки	Стойки, изготовленные из алюминиевой трубки с наконечниками и колпачками из нержавеющей стали, шт./секция	26
	Диаметр трубки, мм	12
	Высота стойки, мм	750
	Длина наконечника из нержавеющей стали, мм	25
	Длина колпачка из нержавеющей стали, мм	18
	Масса, кг	0,08
Катушка с намотанным полотном экрана (вместе со стойками)	Катушка, изготовленная из алюминия марки АМг5	
	Высота, м	0,91
	Диаметр, м	0,25
	Длина полотна экрана, м	50
	Расстояние между соседними стойками, м	2
	Масса катушки с полотном и стойками, кг	12,1
Устройство для установки экрана с наспинником	Рама наспинника, изготовленная из алюминия, марки АМг5	
	Длина наспинника, м	1,04
	Ширина наспинника, м	0,33
	Толщина наспинника (с поролоном), мм	22
	Масса, кг	3,4
Секция противопожарного экрана	Масса секции в чехле, кг	16
	Скорость установки секции экрана командой из 3 чел., м/мин	8-10

Максимальная температура пламени при длительном воздействии (порядка нескольких часов) на ткань экрана составляет 1000 °С, предельная температура в случае кратковременного воздействия (порядка нескольких минут) – 1400 °С. Известно, что температура пламени фронтальной кромки горения сильного низового пожара может изменяться в диапазоне от 700 до 1000 °С. Проведённые исследования показали, что высота экрана должна превышать высоту горючего слоя. Растительные горючие материалы не должны перевешиваться через экран.

Для практической работы целесообразно иметь в составе пожарно-химической станции два экрана: высотой 0,5 м и 1,0 м.

В таблице 3.9 приведены масса-габаритные характеристики экспериментального образца экрана высотой 0,5 м. Из неё видно, что масса секции экрана длиной 50 м вместе с установочным устройством и в чехле не превосходит 16 кг.

Для установки противопожарного экрана в местах, трудно проходимых для технических средств (рисунок 3.35), член команды с установочным устройством втыкает первую стойку и начинает движение в намеченном направлении, разматывая экран (рисунок 3.35 а). Второй член команды идет следом, натягивает экран и закрепляет его вертикально с помощью стоек. При этом третий член команды с ранцевым опрыскивателем обрабатывает раствором антипирена (или смачивателя) напочвенный покров в узкой полосе вдоль экрана (рисунок 3.35 б) или пускает отжиг от экрана зажигательным аппаратом (рисунок 3.35 в) [40].



а) – размотка и закрепление противопожарного экрана; б) – опрыскивание напочвенного покрова под экраном; в) – пуск отжига от экрана

Рисунок 3.35 – Установка противопожарного экрана

При защите противопожарным экраном расположенных в лесу объектов, когда требуется долговременное действие огнетушащего состава, обработка напочвенного покрова вдоль нижней границы экрана производится раствором антипирена. Он не позволяет кромке горения проходить под экран. В случае

локализации противопожарным экраном очага горения достаточно просто пустить от него отжиг, при условии оперативной ликвидации возможных проходов огня под экран с помощью ранцевого огнетушителя.

В полевой сезон 2013 года в Липовском лесничестве Лужского района Ленинградской области проводились натурные огневые исследования новой технологии локализации низовых пожаров в различных лесорастительных условиях по методике, изложенной в главе 2.

Были проведены две серии экспериментов по пять огневых опытов в каждой. Средние значения параметров кромки горения и результаты работы представлены на рисунках 3.36 и 3.37 и в таблице 3.10.

Таблица 3.10. - Результаты огневых испытаний

Номер опыта	Скорость ветра под пологом леса во время опыта, м/с	Скорость движения кромки горения к экрану, м/мин	Высота пламени, м	Проходы через экран
<i>I – Сосняк лишайниковый</i>				
1	0,2	0,3	0,3	Не было
2	0,4	0,6	0,5	
3	0,3	0,4	0,4	
4	0,4	0,6	0,5	
5	0,4	0,5	0,4	
<i>II – Сосняк вересковый</i>				
1	0,7	1,0	0,8	Не было
2	0,5	0,7	0,6	
3	1,0	2,1	1,7	
4	0,6	0,9	0,7	
5	0,4	0,6	0,5	

Апробация новой технологии в 2013 г. проводилась в действующих лесопожарных подразделениях [39, 40, 156-160]. В Республике Марий Эл апробацию технологии проводили работники парашютно-десантной службы Марийской базы авиационной охраны лесов от пожаров под руководством представителей ФБУ «СПбНИИЛХ» (В.Г. Гусев) и ФБУ «Авиалесоохрана» (А.М.

Ерицов), а также с участием представителей Министерства лесного хозяйства Республики Марий Эл.



а) – пуск кромки горения в сторону экрана б) – фронт пожара у экрана

Рисунок 3.36 – Огневой опыт в сосняке лишайниковом



а) – фронт пожара до подхода к экрану б) – фронт пожара у экрана

Рисунок 3.37 – Огневой опыт в сосняке лишайниковом

В Ульяновской области апробацию технологии проводили специалисты Лесопожарного центра Ульяновской области под руководством А.М. Ерицова и В.Г. Гусева, с участием сотрудников Центра защиты леса по Ульяновской области – филиала ФБУ «Рослесозащита» и Министерства лесного хозяйства, природопользования и экологии Ульяновской области.

По результатам апробации были даны положительные заключения и предложения Министерства лесного хозяйства Республики Марий Эл и

Министерства лесного хозяйства, природопользования и экологии Ульяновской области.

В 2014 году натурные исследования и апробация огнезащитного экрана проводились в Геленджикском лесничестве Краснодарского края при участии ФБУ «Авиалесоохрана» и ГБУ «Краевой лесопожарный центр». В испытаниях также принимали участие представители МПР и Управления лесного хозяйства Краснодарского края, а также начальник Геленджикского филиала краевой аварийно-спасательной службы «КУБАНЬ СПАС». На испытаниях работали корреспондент и оператор регионального телевидения Краснодарского края.

В Геленджикском лесничестве экспериментальный сильный низовой пожар создавался на травяной поляне, примыкающей к лесным участкам. Высота сухой травы в некоторых местах достигала 2 м, а высота пламени доходила до 3 м. На рисунке 3.38 (а) представлен фрагмент огневых исследований экрана в условиях высокоинтенсивного низового пожара. Пущенная по ветру с помощью зажигательного аппарата кромка горения была локализована противопожарным экраном. Огневые исследования проводились при третьем классе пожарной опасности по условиям погоды и средней скорости ветра 7 м/с, с порывами до 15 м/с.

В следующем огневом эксперименте в травостое был инициирован сильный низовой пожар в условиях холмистого рельефа местности (рисунок 3.38 б). Участок с сухим разнотравьем хорошо продувался ветром. Как и в предыдущем опыте, высота травы существенно превышала высоту экрана. Было показано также, что от экрана можно пускать отжиг и использовать экран для защиты объектов от низовых пожаров. На рисунке 3.38 (в) видно, как противопожарный экран не позволил фронтальной кромке сильного степного пожара войти в лесной массив. В ходе экспериментальных исследований все опытные пожары были успешно локализованы противопожарным экраном.



а)

б)

в)

Рисунок 3.38 – Локализация степного пожара экраном

В ходе апробации противопожарного экрана в Геленджикском филиале пожарно-химической станции третьего типа (ПХС-302) Государственного бюджетного учреждения Краснодарского края «Краевой лесопожарный центр» по сигналам Единой дежурной диспетчерской службы с помощью противопожарного экрана были локализованы два низовых пожара низкой и средней интенсивности в Кабардинском участковом лесничестве (рисунок 3.39). Они возникли в культурах сосны крымской и пицундской на склонах крутизной от 15 до 25 градусов. Горел слой опада хвои толщиной до 10 см. Оба пожара возникли по вине местного населения при III классе пожарной опасности по условиям погоды и ветре 3-5 м/с.



а) сосна крымская



б) сосна пицундская

Рисунок 3.39 – Локализация загораний в насаждениях сосны

Выполненные натурные исследования по разработке технологии применения противопожарного экрана показали высокую эффективность его использования для локализации низовых лесных пожаров различной интенсивности на не сильно захламленных лесных участках, предотвращения перехода огня от сельскохозяйственных палов на земли лесного фонда и защите населенных пунктов и объектов экономики от природных пожаров. Средняя производительность работ по ручной установке огнезащитного экрана на равнине составляла 10 м/мин., а в условиях пересеченной местности горного рельефа – 8 м/мин.

Сравнительная оценка эффективности новой технологии остановки и локализации низовых пожаров с помощью противопожарного экрана и применяемых в настоящее время базовых способов тушения низовых пожаров показала, что он является более эффективным технологически и экономически [159].

Для широкого внедрения этой технологии в практику борьбы с лесными пожарами целесообразно наладить серийный выпуск противопожарных экранов из кремнезёмной ткани и оснастить ими ПХС, начиная с наиболее горимых регионов России.

3.4 Взрывчатые вещества для создания противопожарных минерализованных полос

Кроме землеройной техники и огнезащитных химических составов для прокладки противопожарных заградительных и опорных полос можно применять взрывчатые вещества (аммонит, тротил, гексоген, пластид и др.). В качестве средств взрывания применяют капсули-детонаторы, электродетонаторы, огнепроводный и детонирующий шнуры.

Для прокладки противопожарных заградительных полос применяется шпуровой метод. Сущность его заключается в том, что перед кромкой лесного пожара по заранее намеченной линии с помощью мотобуров или ручных

инструментов подготавливаются шпуры, в каждый из которых помещается заряд взрывчатого вещества массой 200-600 г. Подрыв производится с помощью зажигательных трубок или детонирующего шнура. Ширина минерализованной полосы после одновременного подрыва зарядов достигает 4-6 м (в зависимости от почвенно-грунтовых условий и величины заряда). Производительность работ по прокладке заградительной минерализованной полосы шпуровым методом составляет 0,7-1,3 м/мин [27].

В практике авиационной охраны лесов, для прокладки опорных полос, получили наибольшее распространение накладные заряды – шланговые и шнуровые [161, 162]. Первые представляют собой шланг из полиэтиленовой плёнки, внутри которого находятся патроны из ПЖВ-20 или из аммонита (АП-6ЖВ). Шланг с патронами ПЖВ-20 упакован в крафт-мешке и весит 20 кг. При этом длина шнура – 20 м. Необходимо также следить за тем, чтобы патроны в оболочке соприкасались. В настоящее время взрывники строительных компаний оценивают прокладку 1 м опорной полосы с помощью шлангового заряда с патронами ПЖВ-20 в 300 рублей.

Шланги с порошкообразным аммонитом тоже выпускаются секциями по 20 м, диаметром 24 мм, с плотностью заряда 0,52 кг/м. Ширина получаемой после взрыва минерализованной полосы – около 1 м, а глубина – 10-15 см [163]. Производительность прокладки полосы с помощью шланговых зарядов 2-3 м/мин.

Шнуровые заряды ЭШ-1П представляют собой эластичный шнур из взрывчатого вещества, содержащего 71% флегматизированного гексогена с инертными добавками. В сечении шнур имеет круглую форму с тремя кумулятивными выемками. Длина каждого заряда – 50 м. Масса одного метра длины заряда – 0,4 кг [162]. При необходимости заряды могут соединяться внахлест до необходимой длины. Ширина прокладываемых опорных полос варьирует от 0,3 до 0,6 м.

В настоящее время технология прокладки противопожарных опорных и заградительных полос усовершенствована путём разработки нового

детонирующего шнура (ДШН-80) высокой мощности, повышенной прочности и водостойкости.

Детонирующий шнур ДШН 80 предназначен для передачи детонационного импульса при создании минерализованных полос. Иницирующая взрыв сердцевина шнура представляет собой трубчатый электронагреватель (ТЭН), заключённый в синтетические нити. Наружное покрытие – специальный пластик, химически устойчивый в агрессивных средах.

Исследовательские эксперименты с детонирующим шнуром ДШН-80 проводились 29 июля 2015 года на территории Участкового лесничества Ханты-Мансийское Самаровское урочище, квартал 157. Тип леса – сосняк-зеленомошник ягодниковый, одноярусный, класс бонитета 4, полнота 0,5, преобладающая порода – сосна возрастом 85 лет, высотой 15 метров, со средним диаметром 17 см.

По сведениям Ханты-Мансийской центральной гидрометеостанции на территории Ханты-Мансийского района ХМАО-Югры наблюдались следующие погодные условия: переменная облачность, ветер северный слабый (0-3 м/с), температура воздуха в течение дня +19-+21 °С, относительная влажность воздуха 60-80%, без осадков.

Исследования проводились в следующих целях:

- оценки технической и экономической эффективности применения ДШН-80 при взрывных работах по тушению и локализации лесных пожаров методом прокладки заградительных и опорных полос перед кромкой пожара;
- оценки безопасности и технологичности использования детонирующего шнура ДШН-80 в условиях борьбы с лесными пожарами;
- расширения области применения ДШН-80.

Взрывные работы выполнялись методом прокладки заградительных и опорных полос. Прокладка полос производилась путём взрывания детонирующего шнура ДШН-80, размотанного в линию.

Ниже приводятся результаты взрывных экспериментов:

Опыт 1.

Линия подрыва из одного детонирующего шнура ДШН-80 длиной 40 м. Почва песчаная. Напочвенный покров: 6 м чистый лишайник (рода Кладония), 25 м лишайник с брусничником, 9 м лишайник, брусничник, багульник высотой 25-30 см, сухое лежащее дерево диаметром 20 см (шнур расположен сверху).

Создание опорной полосы с помощью детонирующего шнура показано на рисунке 3.40 а), б).

Ширина опорной полосы: 24-27 см.

Глубина опорной полосы: 2-3 см.



а) – Прокладка линии подрыва детонирующим шнуром ДШН -80



б) – Замер ширины опорной полосы

Рисунок 3.40 – Создание опорной полосы в опыте 1

Опыт 2.

Линия подрыва из двух детонирующих шнуров ДШН-80 длиной 120 м, расположенные вплотную друг к другу. Почва песчаная. Напочвенный покров: 8 м чистый лишайник, 20 м лишайник с брусничником, 9 м лишайник, брусничник, сухое лежащее дерево диаметром 15 см, обмотанное шнуром в три оборота, багульник высотой 25-30 см.

Проведен хронометраж времени от момента начала размотки взрывной магистрали до момента взрыва, огнепроводный шнур 60 см (время горения 1 мин). Общее время до взрыва составило 7 мин 55 с.

Результат взрыва показан на рисунке 3.41 а), б).

Ширина опорной полосы: 50 см.

Глубина опорной полосы: до 10 см.

Средняя ширина разброса грунта: около 4,0 м.

Высота выброса грунта: 1,2 м (определялась по следам грунта на рядом стоящих деревьях).

Производительность труда при прокладке минерализованной полосы: 15 м/мин.

Опыт 3.

Линия подрыва из трёх детонирующих шнуров ДШН-80 длиной 120 м, расположенных вплотную друг к другу. Почва песчаная. Напочвенный покров: м чистый лишайник, 16 м лишайник с брусничником, 12 метров лишайник, брусничник, два лежащих дерева диаметров 20 см (обмотали один раз ДШН-80), одно сухое лежащее дерево диаметром 18 см (шнур под деревом), багульник высотой 25-30 см.

На отдельном участке длиной 5 м линии ДШН-80 расположили друг от друга на расстоянии 20 см (лишайник с брусничником).

Результат взрыва показан на рисунке 3.42 а), б).

Ширина заградительной полосы: 70-100 см.

Глубина заградительной полосы: до 13 см.

Средняя ширина разброса грунта: 4,0-4,6 м.

Высота выброса грунта: 1,4 м (определялась по следам грунта на рядом стоящих деревьях).



а) – результат взрыва



б) – ширина опорной полосы.

Рисунок 3.41 – Опорная полоса, полученная в результате подрыва линии из двух детонирующих шнуров в опыте 2



а) – Линия подрыва из трёх детонирующих шнуров



б) – замер параметров минерализованной полосы

Рисунок 3.42 – Заградительная (опорная) полоса, полученная в результате подрыва линии из трёх детонирующих шнуров в опыте 3

Опыт 4.

Линия подрыва из трёх детонирующих шнуров ДШН-80 длиной 120 м,

расположенных вплотную друг к другу. Напочвенный покров: зеленый мох (мох Шребера) толщиной 25-30 см, багульник высотой 40-50 см.

Результат взрыва показан на рисунке 3.43 а), б), в).

Ширина заградительной полосы: 70-100 см.

Глубина заградительной полосы: до 15 см.

Средняя ширина разброса грунта: 4,0-4,8 м.



а) – прокладка линии



б) – замер ширины минерализованной полосы



в) минерализованная полоса в результате взрыва

Рисунок 3.43 – Заградительная (опорная) полоса, полученная в результате подрыва линии из трёх детонирующих шнуров в опыте 4

Опыт 5.

Линия подрыва из двух детонирующих шнуров ДШН-80 длиной 120 м, расположенных вплотную друг к другу. Напочвенный покров: зеленый мох толщиной 25-30 см, багульник высотой 40-50 см, свежее наклоненное дерево под

углом 60° , диаметром 26 см (обмотали шнуром в два оборота), сухостойное дерево диаметром 40 см (обмотали шнуром в три оборота).

Результат взрыва показан на рис. 3.44. а), б), в), г), д).

Ширина опорной полосы: 40-60 см.

Глубина опорной полосы: около 20 см.

Средняя ширина разброса грунта: 3,6-4,0 м.

Высота выброса грунта: 1,2 м (определялась по следам грунта на рядом стоящих деревьях).



а) – высота выброса грунта



б) – валка дерева на линии взрыва



в) – замер глубины опорной полосы



г) – сваленное в результате взрыва дерево



д) – опорная полоса, проложенная в результате взрыва

Рисунок 3.44 – Опорная полоса, полученная в результате взрыва
в опыте 5

Опыт 6.

На минполосу, проложенную в опыте 4, положили линию из двух детонирующих шнуров ДШН-80 длиной 120 м.

Результат взрыва показан на рисунке 3.45 а), б).

Дополнительное углубление заградительной полосы: 2-3 см.

Дополнительное расширение заградительной полосы: около 10 см.



а) – прокладка детонирующих шнуров по минерализованной полосе



б) – замер глубины полосы после подрыва

Рисунок 3.45 – Заградительная полоса, полученная в результате взрыва
в опыте 6

Опыт 7.

Линия подрыва из четырёх детонирующих шнуров ДШН-80 длиной 160 м, расположенных вплотную друг к другу. Напочвенный покров: сфагнум толщиной 60-70 см, багульник высотой 50-60 см, карликовые березки высотой 50-60 см, сосны 5 Б бонитета высотой 3-5 м.

Создание заградительной полосы показано на рисунке 3.46 а), б).

Ширина заградительной полосы: 70-110 см.

Глубина заградительной полосы: 25-30 см.

Ширина разброса грунта: 4-5 м.



а) – прокладка линии подрыва



б) – замеры параметров заградительной полосы

Рисунок 3.46 – Заградительная полоса, полученная в результате подрыва линии из четырёх детонирующих шнуров в опыте 7

Опыт 8.

Линия подрыва из пяти детонирующих шнуров ДШН-80 длиной 200 м с отрезком длиной 62 м, расположенных вплотную друг к другу.

Напочвенный покров: сфагнум толщиной 60-70 см, багульник высотой 50-60 см, карликовые березки высотой 50-60 см, сосны 5 Б бонитета высотой 3-5 м.

Результат взрыва показан на рисунке 3.47 а), б), в), г).

Ширина заградительной полосы: 90-130 см.

Глубина заградительной полосы: 30-35 см.

Средняя ширина разброса грунта 4,4-5,3 м.



а) – подготовка линии подрыва



б) – минерализованная полоса, образовавшаяся в результате подрыва



в) – фиксация результатов опыта



г) замер ширины разброса грунта

Рисунок 3.47 – Заградительная полоса, полученная в результате подрыва линии из пяти детонирующих шнуров в опыте 8

В ходе проведения исследований отказов и не полной детонации шнура не зафиксировано.

Анализ результатов проведенных исследований показал, что детонирующий шнур ДШН-80 обладает достаточной мощностью взрыва для прокладки заградительных и опорных полос перед кромкой пожара. Он более эффективен, безопасен и технологичен по сравнению со шланговыми зарядами с патронами ПЖВ-20 или АП-5 ЖВ, ЭШ 1П, обладает достаточной мощностью взрыва для прокладки опорных и заградительных полос шириной от 0,5 до 5 м по засыпке грунтом.

Выводы

1. В различных лесорастительных и метеорологических условиях выполнены лётные исследования усовершенствованной технологии прокладки противопожарных заградительных полос с помощью вертолётного водосливного устройства ВСУ-5А в комплекте с системой дистанционной подачи жидких огнетушащих составов СДП-1. В итоге установлено, что при свободном сливе и заданной пороговой дозировке огнетушащей жидкости в смоченной зоне равной 1 л/м^2 , оптимальные параметры заградительной полосы достигаются при скорости полёта вертолёта 60-80 км/ч и минимально возможной (по требованиям безопасности) высоте полёта. Установлено также, что дозировка жидкости на смоченной полосе в лесу тесно связана как с режимом полета вертолета при сливе жидкости, так и с внешними условиями. При этом наряду со скоростью и высотой полёта вертолёта наибольшую роль играют полнота древостоя, направление и скорость ветра.

2. Выполненные экспериментальные исследования новой технологии прокладки противопожарных заградительных полос огнестойкой быстротвердеющей пеной позволили установить следующие её преимущества: экономия воды и пенообразователя за счёт более эффективного их использования;

повышение дальности и высоты подачи сплошной струи пены; удобство работы с более лёгкими рукавами при её подаче; высокая адгезия (прилипание к различным ориентированным в пространстве поверхностям, в частности к хвое, веточкам и растительному напочвенному покрову); высокая огнестойкость и после высыхания (затвердевания); долговременность действия (на протяжении всего засушливого периода пожароопасного сезона может служить препятствием для возникновения и распространения низового и верхового пожаров, растворима в воде и постепенно смывается дождями).

В результате проведённых лётных исследований с помощью вертолётного водопеносливного устройства ВВСУ «ПУРГА» 30х2 была доказана возможность создания огнестойкой заградительной полосы длиной до 500 м и шириной около 8 м со средней дозировкой пены на полосе около 0,5 л/м². Указанная длина заградительной полосы в 7-9 превышает эффективную длину смоченного пятна при свободном сливе жидкости или воздушно-механической пены.

3. Проведённые натурные исследования по разработке технологии применения противопожарного экрана показали высокую эффективность его использования для локализации низовых лесных пожаров различной интенсивности на не сильно захламленных лесных участках, предотвращения перехода огня от сельскохозяйственных палов на земли лесного фонда и защите населенных пунктов и объектов экономики от природных пожаров.

Средняя производительность работ по ручной установке огнезащитного экрана на равнине составляла 10 м/мин, а в условиях пересеченной местности горного рельефа – 8 м/мин.

Сравнительная оценка применения противопожарного экрана из кремнезёмной ткани и используемых в настоящее время базовых способов остановки и локализации низовых пожаров показала более высокую эффективность противопожарного экрана.

4. Анализ результатов проведенных натурных исследований детонирующего шнура ДШН-80 показал, что он обладает достаточной

мощностью взрыва для прокладки опорных и заградительных полос шириной от 0,5 до 5 м по засыпке грунтом.

Высота выброса грунта в среднем составила 1,4 м (определялась по следам грунта на рядом стоящих деревьях).

Это шнур более эффективен, безопасен и технологичен по сравнению с применяемыми ранее шланговыми зарядами ПЖВ-20, ЭШ 1П и АП-5 ЖВ.

Средняя производительность работ по прокладке минполосы с применением взрывчатых веществ составила 15 м/мин.

ГЛАВА 4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ
УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОКЛАДКИ
ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ЗАГРАДИТЕЛЬНЫХ И ОПОРНЫХ ПОЛОС
В ЗОНАХ ЛЕСОАВИАЦИОННЫХ РАБОТ

4.1 Рекомендации по применению вертолётного сливного устройства ВСУ-5А с системой СДП-1 для прокладки противопожарных заградительных полос растворами огнетушащих составов и пеной

Технология применения водосливного устройства ВСУ-5А с системой СДП-1 предусматривает следующую последовательность и продолжительность проведения основных технологических операций, выполняемых вертолётном [149, 150]:

- 1) прогрев двигателей, развороты, руление к месту заправки пенообразователем и к месту взлета – 5 мин;
- 2) взлет, набор высоты и скорости – 2 мин;
- 3) заход на точку забора воды, снижение, забор воды в режиме висения, подъем заполненной ёмкости, набор высоты и скорости, подача пенообразователя – 3 мин;
- 4) снижение, облет очага пожара, заход на рабочий режим, слив раствора, набор высоты и скорости – 2 мин;
- 5) повторение операций 3) и 4) до окончания работ или выработки топлива;
- 6) снижение, заход на посадку, посадка – 2 мин;
- 7) заправка топливом и пенообразователем – 3 мин.

При выполнении технологических операций экипаж вертолёта должен руководствоваться действующими нормативными документами, а также требованиями техники безопасности при выполнении полётов со сливным оборудованием.

Время перелёта по маршруту аэродром-водоём, водоём-пожар, пожар-водоём и пожар-аэродром определяется расстоянием между указанными пунктами и скоростью полёта. Суммируя расход времени работающих двигателей вертолётa на выполнение приведенных выше операций и задаваясь расстояниями аэродром-пожар и пожар-водоём, количество сливов огнетушащего раствора n при полной заправке топливом можно найти из уравнения (4.1):

$$n = [M - 3,875 (2 R_{ав} + R_{вп}) - 89 / (9,042 R_{вп} + 51,5)], \quad (4.1)$$

где M – максимальная масса топлива за одну заправку, кг;

$R_{ав}$ – расстояние аэродром-водоём;

$R_{вп}$ – расстояние водоём-пожар;

[] – целая часть числа.

Представляет интерес производительность вертолётa Ми-8МТВ при использовании ВСУ-5А с системой дозированной подачи пенообразователя СДП-1. При её оценке принята следующая летно-техническая характеристика Ми-8МТВ [149, 150]:

- 1) взлётный вес (с грузом на внешней подвеске) – 13000 кг;
- 2) конструктивная масса вертолётa (с экипажем и служебным грузом) – 7600 кг;
- 3) масса груза на внешней подвеске – 3250 кг;
- 4) масса системы СДП-1 с пенообразователем – 250 кг;
- 5) максимальная масса топлива – 1900 кг;
- 6) часовой расход топлива (в полете с внешней подвеской) – 620 кг;
- 7) расход топлива на земле (прогрев двигателей и руление) – 30 кг за 5 мин.

Результаты расчетов по формуле (4.1) для вертолёта Ми-8МТВ, заправленного топливом в количестве 1900 кг, приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Расчётное количество сливов раствора пенообразователя в зависимости от расстояний аэродром-водоём и водоём-пожар при заправке вертолёта Ми-8МТВ топливом в количестве 1900 кг.

Расстояние аэродром-водоём, км	Расстояние водоём-пожар, км	Кол-во сливов раствора	Расстояние аэродром-водоём, км	Расстояние водоём-пожар, км	Кол-во сливов раствора
25	5	16	100	5	10
	10	11		10	7
	15	8		15	5
	20	6		20	4
	25	5		25	3
	30	4		30	2
50	5	14	125	5	8
	10	9		10	5
	15	7		15	4
	20	5		20	3
	25	4		25	2
	30	4		30	2
75	5	12	150	5	6
	10	8		10	4
	15	6		15	3
	20	4		20	2
	25	4		25	2
	30	3		30	1

Таким образом, при концентрации пенообразователя 0,5 %, объёме воды в ВСУ-5А – 3000 л и объёме пенообразователя в СДП-1 – 250 л можно выполнить без дозаправки пенообразователем 16 сливов. Это как раз соответствует максимальному расчётному количеству сливов без дозаправки вертолёта топливом, приведённому в таблице 4.1.

Аналогичные расчёты были выполнены и для вертолёта Ми-8Т, заправленного топливом в количестве 900 кг. Результаты приведены в таблице 4.2 [149, 150].

Таблица 4.2 – Расчётное количество сливов раствора пенообразователя Файрэкс в зависимости от расстояний аэродром-водоём и водоём-пожар при заправке вертолётa Ми-8Т топливом в количестве 900 кг

Расстояние аэродром-водоём, км	Расстояние водоём - пожар, км	Кол-во сливов раствора	Расстояние аэродром-водоём, км	Расстояние водоём - пожар, км	Кол-во сливов раствора
25	5	6	75	5	2
	10	4		10	1
	15	3		15	0
	20	2		20	0
	25	1		25	0
	30	1		30	0
50	5	4	100	5	1
	10	2		10	0
	15	1		15	0
	20	1		20	0
	25	1		25	0
	30	0		30	0

Работы по локализации лесных пожаров на вертолётe, оборудованном водосливным устройством ВСУ-5А с системой дозированной подачи огнетушащих химических составов СДП-1, рекомендуется осуществлять с обязательным участием лётчика-наблюдателя, прошедшего соответствующую теоретическую подготовку и лётную тренировку по программе ФБУ «Авиалесоохрана» и допущенного к работам приказом начальника территориальной авиабазы.

Вертолёт Ми-8 (Т, МТВ), имеющий на борту внешнюю подвеску, водосливное устройство ВСУ-5А, систему дозированной подачи СДП-1 и пенообразователь Файрэкс в количестве необходимом на одну полную заправку ёмкости системы СДП-1 (230 л), находится на аэродроме в дежурном режиме, и после получения сообщения о лесном пожаре от патрульного борта направляется на локализацию пожара.

Лётчик-наблюдатель, получив сообщение о пожаре, наносит его местонахождение на патрульную карту, уточняет, пригодность для работы

ближайшего к пожару водоёма (его глубина должна быть не менее 1 м), совместно с командиром вертолётa рассчитывает необходимую общую заправку топливом и допустимую попутную загрузку вертолётa для доставки десантно-пожарной команды (ДПК) и грузов в район пожара.

Для оценки возможности локализации лесного пожара имеющимися силами и средствами, выбора тактики локализации лётчику-наблюдателю рекомендуется руководствоваться таблицами работы [33].

Оптимальные концентрации и дозировки состава Файрэкс в зависимости от лесорастительных условий приведены в таблице 20 работы [37].

Лётчик-наблюдатель сообщает экипажу о намеченной схеме и тактике локализации пожара, а затем производит высадку ДПК с грузом с посадкой вертолётa на площадку вблизи пожара, а в случае её отсутствия производит десантирование группы и сброс грузов в режиме висения вертолётa с высоты 1,5 м, либо производит десантирование с помощью спускового устройства СУ-Р с высоты до 45 м.

После десантирования ДПК экипаж подбирает с воздуха посадочную площадку предпочтительно вблизи водоёма и совершает посадку с выключением двигателя. Лётчик-наблюдатель, второй пилот и бортмеханик (в отсутствие на борту десантников-пожарных) через открытые задние створки выносят и укладывают на землю мягкую ёмкость ВСУ-5А, мягкую ёмкость СДП-1 и внешнюю подвеску. Затем осуществляют сборку и установку ВСУ-5А и СДП-1 на внешнюю подвеску вертолётa в соответствии с инструкциями по эксплуатации этих систем. После сборки внешней подвески производится заправка ёмкости СДП-1 пенообразователем Файрэкс. Она осуществляется самотёком или с помощью насоса через заправочный шланг из бочки, находящейся в грузовой кабине вертолётa. Время заправки химикатом около 5 минут.

После запуска двигателей и взлёта вертолёт направляется в сторону водоёма. При выборе точки забора воды и направления захода на неё экипажу рекомендуется руководствоваться следующими требованиями:

- глубина водоёма в точке забора должна быть не менее 1 м;
- висение над точкой забора воды должно предпочтительно осуществляться при встречном или встречно-левом направлении ветра;
- надводные или наземные ориентиры, облегчающие процесс висения, должны наблюдаться командиром вертолета впереди слева;
- в направлении ухода вертолета с точки забора воды не должно быть препятствий, мешающих полету вертолета с грузом на внешней подвеске.

Заход на точку забора воды рекомендуется выполнять по глиссаде средней крутизны с таким расчетом, чтобы в момент касания емкостью поверхности воды поступательная скорость не превышала 5 км/ч, а скорость снижения была около 0,5 м/с. При получении команды бортмеханика «касание» командир энергично гасит поступательную скорость до нуля и продолжает снижение до получения команды «обод в воде», после чего прекращает снижение вертолётa и выполняет висение по командам бортмеханика, не допуская чрезмерного снижения вертолета во избежание окунания механизма управления в воду.

Бортмеханик в процессе забора воды своими командами по направлению и высоте обеспечивает висение вертолета над емкостью и уход верхнего обода емкости под поверхность воды с одновременным исключением окунания механизма управления в воду. По истечении 5-7 с после ухода верхнего обода емкости под воду подается команда «подъем» (при первом окунании сухой емкости это время увеличивается в 2-3 раза для выхода воздушных пузырей из межоболочечного пространства емкости).

При подъеме заполненной емкости командиру вертолета рекомендуется учитывать, что, в отличие от подъема груза с твердой поверхности, нарастание нагрузки в данном случае происходит по мере выхода емкости из воды.

Для проверки работоспособности сливного устройства рекомендуется в каждом первом полете после сборки ВСУ-5А на земле, подняв заполненную емкость из воды на высоту 5-7 м, выполнить слив, после чего вновь произвести забор воды.

Сразу после забора воды из водоёма лётчик-наблюдатель подаёт команду с пульта управления системы СДП-1, совмещённого с пультом управления ВСУ-5А, и производит добавку химиката в ёмкость ВСУ-5А. Обычно время его подачи при длине внешней подвески 20 м не превышает 30с.

По данным исследований ФБУ «Авиалесоохрана», совместно с ФБУ «СПбНИИЛХ» и ООО «ПАНХ» [86], а также с учётом интегральной совокупности функциональных, стоимостных и технологических показателей, перспективными для отработки и внедрения технологии прокладки заградительных полос с воздуха являются такие огнегасящие добавки как смачиватель ТПМ-1 (ТУ 2483-006-46966972-2006, НПФ «РИВТ», г. Санкт-Петербург), пенообразователь Файрэкс (ОАО «Ивхимпром», г. Иваново) и антипирен ОС-5 (ТУ 6-18-61-88, «НИОХИМ», г. Буй) при их рабочей концентрации в воде соответственно 0,1-0,2; 0,4-1,0; 8-13 %.

Масса одноразовой добавки химиката для получения раствора необходимой концентрации определяется в соответствии с равенством (2.1).

Подача химиката в ёмкость системы СДП-1 производится лётчиком-наблюдателем с помощью пульта управления. После заполнения им ёмкости системы СДП-1 вертолёт направляется к водоему на скорости до 160 км/ч. При подходе к водоему скорость полета вертолёта должна быть не более 60 км/ч. Бортмеханик нажатием кнопки осуществляет закрытие сливного клапана. Время закрытия клапана – 40 с. Далее осуществляется забор воды, взлёт, дозированная подача химиката в ВСУ-5А и полет к пожару. Объём добавки контролируется по показаниям расходомера. Полное растворение химиката в воде достигается в течение 3-5 минут, в процессе полёта вертолёта по маршруту «водоём-пожар».

При борьбе с низовым пожаром с воздуха наиболее эффективна тактика, использующая косвенную атаку с фронта пожара (локализация пожара путём прокладки противопожарных заградительных полос). Косвенную атаку рекомендуется проводить одновременно двумя командами в разные стороны, начиная её перед фронтальной точкой контура лесного пожара.

При прицеливании лётчик-наблюдатель может находиться или на месте бортмеханика или в страховочном поясе у открытой сдвижной двери. Диапазон скорости при сливе раствора огнетушащего состава 50-80 км/ч. Скорость и высоту полёта лётчик-наблюдатель выбирает в зависимости от типа леса, его высоты, полноты, метеоусловий и рекомендуемой дозировки раствора огнетушащего состава на земле. Высота от верхней границы полога до среза ёмкости должна быть не менее 10 м. При наличии препятствий по курсу слива заход выполняется со стороны препятствий. Заданный лётчиком-наблюдателем рабочий режим по высоте и скорости полёта при сливе экипаж устанавливает за 100-150 м до намеченной точки начала слива.

При подлете к точке «начало слива» лётчик-наблюдатель подаёт бортмеханику предварительную команду «Приготовиться», а затем – исполнительную «Слив». Бортмеханик нажатием кнопки «сброс» на пульте управления производит слив жидкости. С момента нажатия кнопки и до начала слива жидкости проходит время 0,8-1 с. В течение слива жидкости (2-5 с) экипаж должен быть готов к парированию «вспухания» (резкого рывка вверх) вертолётa и точному выдерживанию курса, скорости и высоты полёта.

Прокладку противопожарных полос рекомендуется производить с перекрытием не менее 5% от длины полосы и выполнять с таким расчётом, чтобы кромка горения на фронте пожара находилась на расстоянии упреждения от заградительной (опорной) полосы. Это расстояние определяет лётчик-наблюдатель, исходя из скорости продвижения фронта горения, руководствуясь таблицами работы [33, 164]. Если лесорастительные условия таковы, что после одного слива дозировка раствора огнетушащего состава недостаточна, то рекомендуется сделать ещё один слив на то же место.

4.2 Возможности применения вертолётного водопеносливного устройства ВВСУ с УКТП «Пурга» и десантируемых наземных технических средств для прокладки заградительных и опорных полос быстротвердеющей пеной

В результате проведённых экспериментальных исследований свойств противопожарных заградительных и опорных полос, созданных быстротвердеющей пеной (п. 3.2) было установлено следующее:

длина противопожарной заградительной полосы при сливе с вертолёта огнестойкой быстротвердеющей пены в 7-10 раз превышает длину смоченного пятна, создаваемого при сливе огнетушащей жидкости из ВСУ-5А;

противопожарная заградительная полоса, созданная огнестойкой быстротвердеющей пеной, в отличие от заградительных полос, созданных растворами обычных пенообразователей и смачивателей, имеет долговременное действие (практически весь засушливый период пожароопасного сезона);

сливаемая пена быстро твердеет на хвое и листьях крон древостоя, что защищает от выхода огня низового пожара в полог древостоя и от распространения верхового пожара.

Учитывая указанные преимущества быстротвердеющей пены над воздушно-механической, но её более высокую цену, очень важным становится вопрос оптимизации процесса прокладки противопожарных полос огнестойкой быстротвердеющей пеной. При её сливе из ВВСУ «ПУРГА» 30х2 (далее ВВСУ) летчику-наблюдателю необходимо решать следующую задачу. По заданным параметрам прокладываемой заградительной полосы, техническим характеристикам ВВСУ, свойствам сливаемой жидкости (образующей пену), известным метеорологическим условиям и характеристикам леса определить оптимальный режим полёта вертолёта. Методика решения поставленной практической задачи состояла в разработке физико-математической модели процесса слива и определении значений варьируемых параметров как решений

многопараметрической задачи оптимизации – нахождения глобального минимума функции цели, вычисляемой с помощью этой модели [86, 153].

В результате проведенных теоретических исследований была разработана методическая основа определения оптимальных режимов полёта вертолёт при сливе жидкости из ВВСУ в зависимости от метеорологических и лесорастительных условий, а также свойств сливаемой жидкости для заданных параметров заградительной полосы.

По мере накопления результатов лётных испытаний ВВСУ в различных условиях, на основе этой физико-математической модели может быть разработана программа для бортового вычислителя вертолёт, которая обеспечит информационную поддержку принятия решения лётчиком-наблюдателем.

В зонах лесоавиационных работ вертолёт, оборудованный водопеносливным устройством ВВСУ «ПУРГА» 30х2, может применяться для решения следующих задач [153]:

- первой атаки на очаги возгорания (сброс за 5-8 с всей массы пены на начинающийся очаг возгорания);
- тушение с воздуха кромки лесных низовых пожаров или отдельных её элементов;
- прокладки с воздуха противопожарных заградительных полос;
- заполнения наземных резервуаров водой или водным раствором пенообразователя (без отвердителя) для заправки наземных технических средств пожаротушения в зоне лесного пожара.

Активное тушение кромки горения низового пожара с воздуха затруднено из-за её извилистости, экранирования кронами древостоя, подлеска и подроста, а также из-за сильного задымления. При верховом пожаре формируется мощная конвекционная колонка, которая не позволяет вертолётам производить активное тушение. Поэтому наиболее эффективно борьба с высокоинтенсивными низовыми и верховыми пожарами может осуществляться

только способом прокладки с воздуха противопожарных заградительных полос (рисунок 4.2).

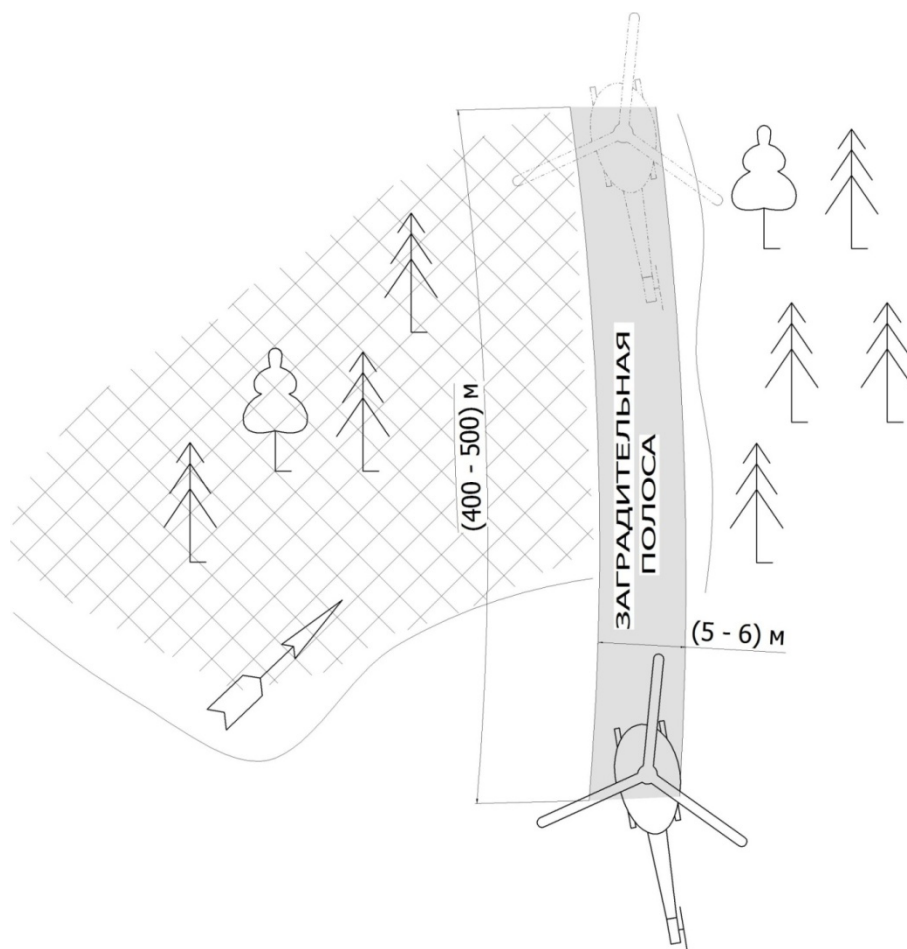


Рисунок 4.2 – Прокладка заградительной полосы в лесу быстротвердеющей пеной с помощью ВВСУ с УКТП «Пурга» 30х2 на внешней подвеске

Вертолёт Ми-8МТ, имеющий на борту внешнюю подвеску, и заправленное водопеносливное устройство ВВСУ «ПУРГА» 30х2, находится на аэродроме в дежурном режиме или в другом месте базирования. После получения сообщения о лесном пожаре от патрульного борта направляется на локализацию пожара. При этом лётчик-наблюдатель, получив сообщение о пожаре, наносит его местонахождение на патрульную карту, уточняет пригодность для работы ближайшего к пожару водоёма, совместно с командиром вертолёта рассчитывает необходимую общую заправку топливом

и допустимую загрузку вертолѐта. Оптимальные режимы полѐта вертолѐта при сливе быстротвердеющей пены определяются с помощью бортового вычислителя по физико-математической модели [86]. Необходимые дозировки огнезащитной быстротвердеющей пены на заградительной полосе в зависимости от лесорастительных условий приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Необходимые дозировки быстротвердеющей пены на заградительной полосе в зависимости от лесорастительных условий

Лесорастительные условия	Дозировка рабочего раствора, л/м ²
Хвойные насаждения полнотой 0,2-0,3 со слабо выраженным напочвенным покровом и подстилкой, толщиной 2-3 см	0,5-0,75
Хвойные насаждения полнотой 0,4-0,6 с умеренно развитым напочвенным покровом и подстилкой, толщиной 3-5 см	0,75-1,0
Высокополнотные хвойные насаждения с мощным слоем подстилки (10-15см), хвойные молодняки, захламлѐнные вырубki и другие участки с повышенной природной пожарной опасностью	1,0-1,25

Масса добавки отвердителя для получения быстротвердеющей пены определяется в соответствии с равенством (2.1).

Для оценки возможности локализации лесного пожара имеющимися силами и средствами, выбора тактики локализации лѐтчику-наблюдателю рекомендуется руководствоваться таблицами из работ [33, 164].

На высоте 100 м вертолѐт облетает лесной пожар для осмотра, в процессе которого лѐтчик-наблюдатель, учитывая реальную обстановку на пожаре (периметр пожара, ветер, скорость распространения фронта пожара, запас вертолѐтного топлива для работы на пожаре, расстояние до водоѐма, возможное количество сливов раствора пенообразователя и др.) составляет схему локализации пожара.

Лѐтчик-наблюдатель сообщает экипажу о намеченной схеме и тактике локализации пожара, а затем подбирает с воздуха площадку и производит

десантирование у водоёма личного состава и оборудования полевого заправочного пункта, если это предусмотрено намеченной схемой. При этом обеспечивается связь «земля-вертолёт».

В направлении ухода вертолета с места расположения полевого заправочного пункта не должно быть препятствий, мешающих полету вертолета с ВВСУ на внешней подвеске.

При борьбе с высокоинтенсивным пожаром с воздуха наиболее эффективна тактика, использующая косвенную атаку с фронта пожара (локализация пожара путём прокладки противопожарных заградительных полос). Косвенную атаку рекомендуется проводить одновременно двумя вертолётами в разные стороны, начиная её перед фронтальной точкой контура лесного пожара.

При наличии препятствий по курсу слива заход выполняется со стороны препятствий. Заданный лётчиком-наблюдателем рабочий режим по высоте и скорости полёта при сливе экипаж устанавливает за 100-150 м до намеченной точки начала слива.

При подлете к точке «начало слива» лётчик-наблюдатель подаёт бортмеханику предварительную команду «Приготовиться», а затем – исполнительную «Слив». Бортмеханик нажатием кнопки «сброс» производит слив быстротвердеющей пены. С момента нажатия кнопки и до начала слива пены проходит время 0,8-1 с. В течение слива экипаж должен точно выдерживать курс, скорость и высоту полёта.

Как и при сливе воздушно-механической пены, прокладку противопожарных заградительных полос рекомендуется производить с перекрытием не менее 5% от длины полосы и выполнять с таким расчётом, чтобы кромка горения на фронте пожара находилась на достаточном расстоянии от опорной полосы для пуска отжига, а на флангах и в тылу не достигала конца предыдущей пенной полосы до выполнения следующего слива. Если лесорастительные условия таковы, что после одного слива

дозировка пены недостаточна, то рекомендуется сделать ещё один слив на то же место.

На необходимом расстоянии от фронта верхового пожара наземная команда с помощью зажигательных аппаратов пускает встречный огонь (отжиг) от проложенных с воздуха пенных полос, а на флангах и в тылу пожара предотвращает возможные переходы огня через заградительные полосы, уделяя особое внимание местам под кронами деревьев. Необходимые расстояния от кромки огня до противопожарных полос определяет лётчик-наблюдатель, исходя из лесорастительных и метеорологических условий, руководствуясь таблицами работы [33].

Рекомендуемая технология борьбы с лесными низовыми пожарами с помощью вертолётa Ми-8МТВ и двух водопеносливных устройств ВВСУ «ПУРГА» 30x2, при создании полевого заправочного пункта у ближайшего водоёма, включает следующие технологические операции:

- 1) запуск и прогрев двигателей;
- 2) взлет, набор высоты и крейсерской скорости;
- 3) перелет по маршруту аэродром-водоём;
- 4) снижение и круг для десантирования группы полевого заправочного пункта и оборудования вблизи водоема, установление связи экипажа с полевым заправочным пунктом;
- 5) перелет по маршруту водоём-пожар;
- 6) снижение до высоты 100 м, облёт по периметру пожара, осмотр и составление лётчиком-наблюдателем тактической схемы борьбы с пожаром, ознакомление экипажа и старшего группы полевого заправочного пункта с тактической схемой тушения;
- 7) перелет пожар-водоём;
- 8) полукруг и зависание над ВВСУ;
- 9) подцепка ВВСУ;
- 10) взлет, набор высоты и скорости, перелёт водоём-пожар, оповещение наземных команд о применении быстротвердеющей пены;

- 11) снижение, полукруг для захода на рабочий курс, установление режима полёта при сливе (курс, скорость, высота), слив быстротвердеющей пены;
- 12) набор высоты и крейсерской скорости, перелет по маршруту пожар-водоём;
- 13) полукруг, зависание, опускание пустого ВВСУ на землю и его отцепка;
- 14) повторение операций 9-13 до израсходования расчётного количества топлива;
- 15) посадка на площадку у водоёма для принятия на борт группы обеспечения полевого заправочного пункта;
- 16) взлет, набор высоты и крейсерской скорости, перелёт по маршруту водоём-аэродром;
- 17) снижение, заход на посадку, посадка, развороты и руление к месту заправки топливом;
- 18) заправка топливом и пенообразователем, повторение операций 7-18 до окончания локализации лесного пожара, светлого времени суток или максимально допустимого времени работы экипажа.

Экипаж вертолётa и группа обеспечения полевого заправочного пункта должны руководствоваться соответствующими нормативными документами, а также требованиями техники безопасности при выполнении полётов со сливным оборудованием для быстротвердеющей пены.

Учитывая, что сливаемая огнестойкая пена быстро застывает на хвое и листьях крон древостоя, предотвращая переход низового пожара в верховой, и его распространение, рекомендуется новый способ остановки верхового пожара. Он предусматривает прокладку на расстоянии упреждения от кромки верхового пожара пенной полосы. Под расстоянием упреждения понимается расстояние, которое должна пройти кромка отжига, пущенная от пенной полосы навстречу верховому пожару. Это расстояние должно быть не меньше, чем $2/3$ максимальной дальности переноса горящих частиц от фронта верхового

пожара. Скорость продвижения кромки отжига можно считать равной скорости продвижения тыловой кромки низового пожара в данных лесорастительных и метеорологических условиях.

Для оценки максимальной дальности переноса горящих частиц от фронта верхового пожара можно использовать математическую модель, основанную на уравнении Мещерского, описывающего движение одиночной частицы с переменной массой в газовом потоке [37].

Пока наземные команды пускают отжиг от опорной полосы, с воздуха на расстоянии упреждения необходимо проложить рядом ещё две пенных заградительных полосы шириной по 8 м каждая. Эти полосы не позволят пройти беглому (вершинному) верховому пожару, возникающему при сильных порывах ветра и способному продвигаться с высокой скоростью только по пологу древостоя, без поддержки низового огня.

Чтобы окончательно остановить верховой пожар, необходимо заблокировать распространение огня путём переноса горящих частиц. Для этого надо проложить ещё одну заградительную полосу из быстротвердеющей пены в другую сторону от первоначальной полосы на расстоянии, равном одной трети максимального расстояния переноса горящих частиц.

Из ранее проведённых исследований [165] известно, что массовое выпадение горящих частиц (сотни) происходит в пределах первой трети максимального расстояния их переноса от фронта верхового пожара, на вторую треть этого расстояния приходится гораздо меньше частиц (десятки), а на последней трети могут зажигать только одиночные частицы. Из-за отсутствия напочвенного горючего материала в результате проведённого отжига все частицы на первых двух третях максимального расстояния затухнут. Возгорания, которые могут возникнуть из-за падения отдельных частиц на последней трети максимального расстояния их переноса будут либо ликвидированы наземной командой, либо остановятся, подойдя к последней пенной заградительной полосе.

Технологические возможности представленных выше (в главе 3) десантируемых наземных технических средств для прокладки опорных и заградительных пенных полос можно оценить на примере наиболее приспособленного для работы в лесах передвижного пожарного модуля.

В зависимости от обстановки на пожаре, наличия сил и средств пожаротушения, пожарный модуль может использоваться для тушения пожаров в различных тактических вариантах применения.

Подача воды и пены помощью стационарной установки УКТП «Пурга 2х2» на месте или при движении пожарного модуля:

а) при тушении водой (рисунок 4.3) пожарный модуль может обеспечить следующие параметры тушения:

- расход воды от 2 л/с до 12 л/с;
- площадь тушения кромки низового пожара (при интенсивности подачи воды $0,1 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ – до 120 м^2 ;
- площадь тушения кромки низового пожара водным раствором «Файрэкс» (концентрацией 0,5%) – до 500 м^2 .

б) при прокладке заградительной или опорной полосы быстротвердеющей пеной (рисунок 4.4) пожарный модуль может обеспечить следующие параметры:

- расход раствора пенообразователя от 2 до 12 л/с;
- создание пенной полосы шириной 6 м и длиной до 400 м (за один проход модуля).

Пожарный модуль может доставляться к местам пожаров на вертолетах типа Ми-8Т, Ми-8 МТВ, Ка-32, Ми-26. Также пожарный модуль может доставляться наземным транспортом в случае наличия транспортной сети.

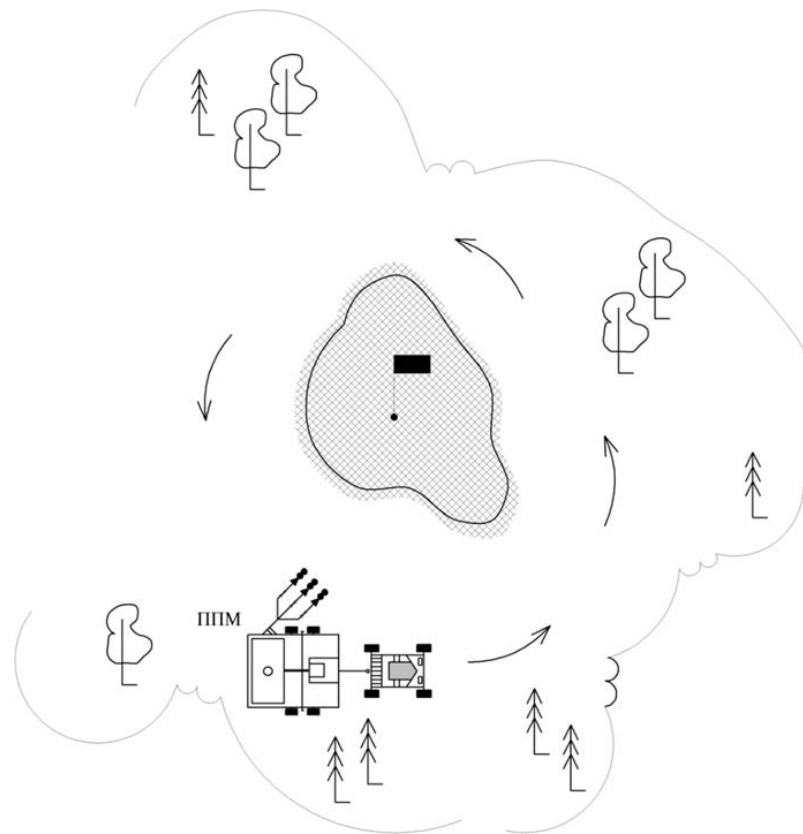


Рисунок 4.3 – Схема подачи воды при тушении кромки лесного пожара
(при отсутствии ветра)

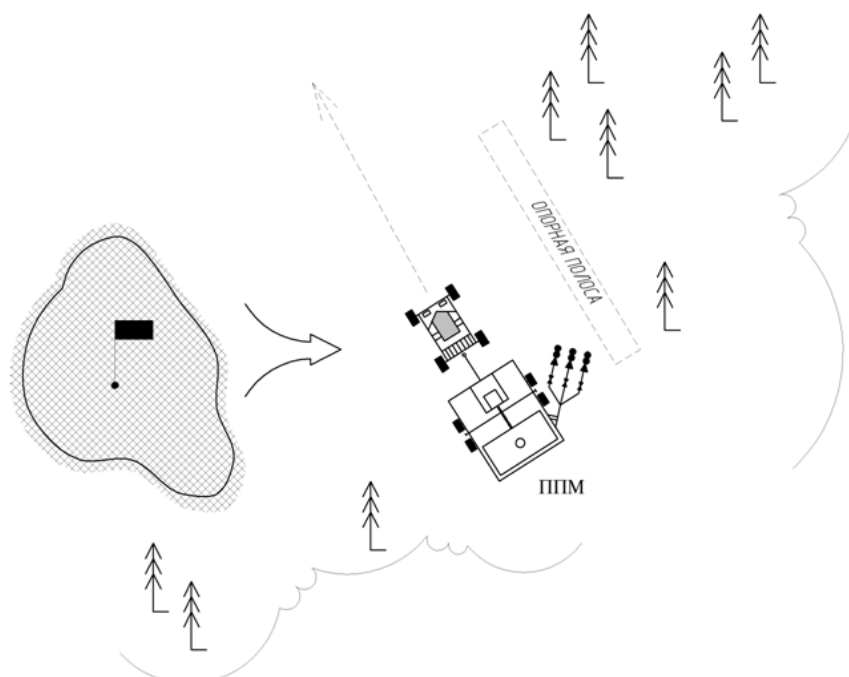


Рисунок 4.4 – Схема подачи пены для создания опорной полосы
(при наличии ветра)

4.3 Практические рекомендации по применению противопожарных огнезадерживающих экранов из кремнезёмной ткани для остановки лесных пожаров и пуска отжига

На основе результатов проведённых исследований [40, 41, 158, 160, 166, 167] разработаны рекомендации по применению противопожарного экрана при борьбе с лесными пожарами.

Основной целью применения противопожарного экрана является создание опорного рубежа при пуске отжигов или заградительного рубежа для предотвращения перехода сельскохозяйственных палов на земли лесного фонда и защите населенных пунктов и расположенных в лесу объектов от пожаров.

При этом должны выполняться следующие основные технологические операции [166]:

- 1) намотка секций противопожарного экрана на катушки и упаковка их в чехлы;
- 2) приготовление раствора антипирена ОС-5 и заполнение им ранцевых опрыскивателей;
- 3) доставка противопожарного экрана и раствора антипирена к месту пожара;
- 4) установка противопожарного экрана по намеченной линии;
- 5) пуск отжига от экрана.

Первая технологическая операция выполняется заранее, до прибытия лесных пожарных к месту пожара. Для её выполнения катушка вставляется в установочное приспособление в горизонтальном положении и на неё с помощью съёмной ручки производится намотка полотна секции противопожарного экрана со вставленными в него стойками. Один человек придерживает катушку и крутит ручку, а второй – направляет полотно экрана и при необходимости выравнивает стойки. Затем намотанная на катушку секция экрана (длиной 50 м) вставляется в чехол с лямкой для переноски на спине и затягивается шнуром.

Для выполнения второй технологической операции (приготовления рабочего раствора антипирена концентрацией 13 %) взвешивается 1,3 кг порошка ОС-5 и засыпается в ведро объёмом 12 л. Затем наполовину ведро заполняется водой и порошок размешивается в воде. Для ручного перемешивания можно использовать очищенную от коры деревянную палку. Для более быстрого перемешивания может применяться аккумуляторная электродрель со вставленной в неё мешалкой в виде металлического стержня с лопаточками или миксер. После растворения основной массы порошка в ведро добавляют воду до 11 л и вновь перемешивают раствор. Затем рабочий раствор из ведра выливают в резервуар ранцевого опрыскивателя, оставляя в ведре нерастворимый остаток (примерно 3 % от объёма раствора). В один ранцевый опрыскиватель заливается 20 л раствора антипирена. Для обработки напочвенного покрова под одной секцией противопожарного экрана длиной 50 м требуется 1-2 ранцевых опрыскивателя [40, 166], в зависимости от лесорастительных условий (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Необходимое количество ранцевых огнетушителей с раствором антипирена на 50 м противопожарного экрана

Лесорастительные условия	Количество ранцевых огнетушителей с раствором антипирена (смачивателя)
Сосняк лишайниковый, равнина	1
Сосняк вересковый, равнина	2
Сосняк зеленомошный, равнина	2
Культуры сосны крымской, склон 15-20 град.	1
Злаки, разнотравье высотой 1 м, равнина	2

Можно обойтись вообще без антипирена, но при этом во время пуска отжига необходимо внимательно следить и сразу тушить огонь с помощью ранцевых огнетушителей в возможных местах его прохода под экран.

Доставка упакованного в чехлы противопожарного экрана и заправленного в ранцевые опрыскиватели раствора антипирена к месту лесного пожара (третья технологическая операция) может осуществляться путём переноски пешком (при полноте древостоя 0,8-1,0 с подростом и подлеском и отсутствии проезда) или перевозки любым, проходимым в лесу (при полноте древостоя 0,7 и менее, без густого подроста и подлеска), видом транспорта (минитрактором, квадроциклом, минивездеходом), а также путём спуска на грузовом парашюте или десантирования с вертолётa;

Линия установки экрана для пуска отжига (четвёртая технологическая операция) намечается на основе данных разведки природного пожара и скорости его распространения. При защите объектов (населённых пунктов, лесных массивов и других объектов, граничащих с лесом или степью) линия установки экрана намечается вдоль их границы. Если на необходимом рубеже остановки кромки пожара есть минерализованная полоса, тропа или лесная дорога, то экран устанавливается вдоль этих противопожарных барьеров. В этом случае обработка антипиреном под экраном или тушение в местах проходов огня не требуется.

При полноте древостоя 0,7 и менее в отсутствии густого подроста и подлеска установка противопожарного экрана осуществляется командой из 3-4 человек. В этом случае есть возможность подвозить новые секции экрана и заправленные ранцевые лесные огнетушители, используя малогабаритные транспортные средства (минитрактор, квадроцикл или минивездеход) [166]. Кроме того, установочное устройство может быть конструктивно закреплено на этом средстве.

Для установки противопожарного экрана в местах, непроходимых для технических средств (полнота древостоя 0,8-1,0 с подростом и подлеском и при отсутствии технологических коридоров) катушка с секцией экрана вынимается из чехла и вставляется в установочное устройство ранцевого типа, надетое на плечи одного из членов команды. Затем пожарный с установочным устройством начинает движение по намеченной линии, разматывая экран, а

второй член команды в это время начинает натягивать экран и закреплять его вертикально с помощью стоек. При этом третий член команды с ранцевым опрыскивателем на плечах обрабатывает раствором антипирена растительный напочвенный покров вдоль нижней границы экрана или сразу пускает отжиг от экрана (в этом случае второй член команды должен иметь ранцевый огнетушитель для ликвидации возможных проходов огня под экран).

Когда первая секция экрана установлена, первая команда уходит за новой секцией экрана, а заменившая её вторая команда аналогично устанавливает вторую секцию экрана и так далее до полной установки экрана.

От установленного экрана (если он устанавливался с применением антипирена) производится пуск отжига (пятая технологическая операция) в сторону приближающейся кромки горения лесного пожара с помощью зажигательного аппарата, заправленного бензино-масляной смесью.

При локализации низового пожара огнезащитным экраном необходимо учитывать, что минимальная выгоревшая площадь локализованного природного пожара достигается при применении тактики охвата очага горения с фронта. Охват производится двумя командами, движущимися в противоположных направлениях, до их встречи (рисунок 4.5).

Точка начала локализации намечается на основе данных разведки параметров пожара и выбирается напротив середины фронта низового пожара на безопасном от него расстоянии. Безопасное расстояние зависит от интенсивности процесса горения на кромке огня, которая функционально связана с длиной пламени [40, 158, 166]. Зависимость безопасного расстояния от длины пламени на кромке горения представлена в таблице 4.5.

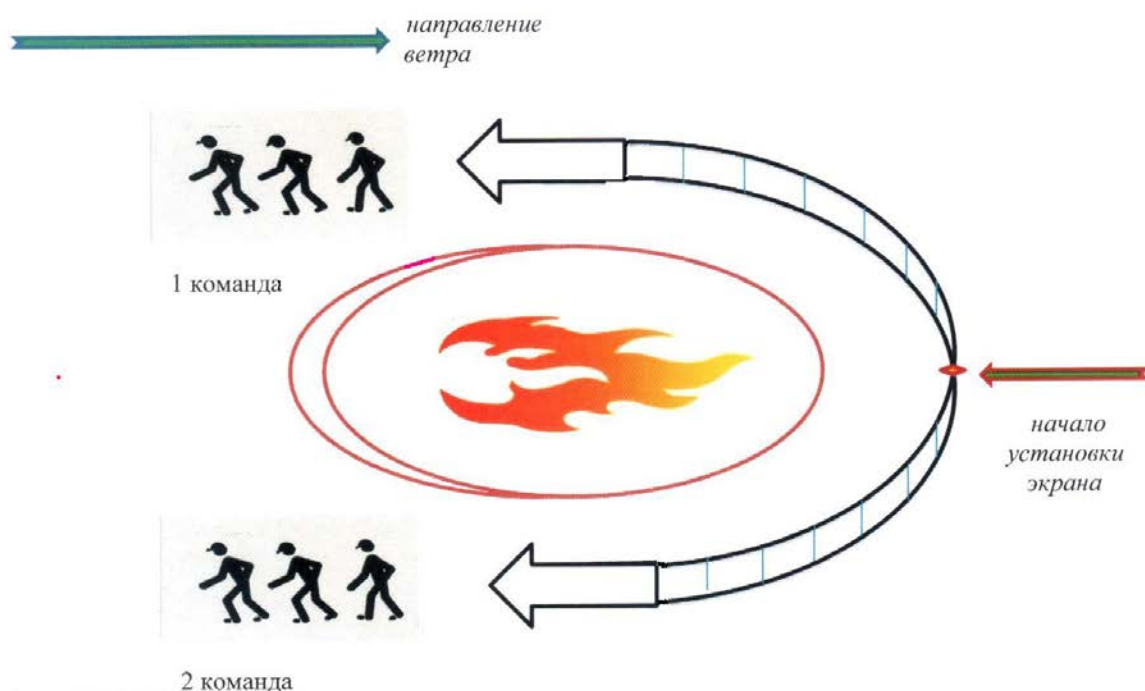


Рисунок 4.5 – Тактика локализации низового пожара противопожарным экраном

Таблица 4.5 – Безопасные расстояния от кромки низового пожара в зависимости от длины пламени

Средняя длина пламени кромки горения, м	Безопасное расстояние от кромки горения для лесных пожарных, м
0,5	5
1,5	12
2,5	20
15,0	70

На всех опытных участках определялась производительность труда при установке противопожарного экрана (с обработкой напочвенного покрова вдоль нижней границы экрана раствором антипирена). Результаты этих

исследований в различных лесорастительных условиях представлены в таблице 4.6. [40, 166].

Таблица 4.6 – Производительность работ по ручной установке противопожарного экрана командой из трёх человек в зависимости от лесорастительных условий

Лесорастительные условия	Производительность работ, м/мин
Сосняк лишайниковый, Равнина	10
Сосняк вересковый, Равнина	9
Сосняк зеленомошный, Равнина	9
Культуры сосны крымской, склон 20 град	7-8
Сухие злаки, разнотравье высотой 1 м, равнина	9-10

Таким образом, производительность работ при ручной установке огнезащитного экрана на равнине составляла 9-10 м/мин, а в условиях пересеченной местности горного рельефа – 7-8 м/мин.

Сравнение приведённых затрат для базовых технологий борьбы с низовыми пожарами с приведёнными затратами для новой технологии [166] доказывает, что остановка и локализация низовых пожаров любой интенсивности с помощью новой технологии, основанной на применении противопожарного экрана, является наиболее экономически эффективной. При этом она практически не имеет ограничений по лесорастительным условиям.

4.4 Рекомендации по применению детонирующего шнура ДШН-80 для борьбы с лесными пожарами в зонах лесоавиационных работ

Несмотря на наличие в России систем авиационной и наземной охраны

лесов от пожаров, развитие средств профилактики и пожаротушения, ещё большое количество лесных пожаров не удаётся своевременно локализовать, и они переходят в разряд крупных. Это связано, прежде всего, с труднодоступностью многих лесных территорий и недостаточной эффективностью применяемых способов борьбы с лесными пожарами.

Как отмечалось в гл. 3, п. 3.4, в настоящее время иногда для этих целей используются шланговые и эластичные шнуровые заряды, а также шпуровой способ прокладки минерализованных полос. Наиболее быструю прокладку обеспечивает использование шнуровых зарядов (скорость прокладки полосы до 3 м/мин [33]). Ограничением применения этого способа является недостаточная мощность взрыва, поэтому ширина минерализованной полосы (по верху канавки выброса грунта) при подрыве одного шнура не превышает 0,8 м, при глубине до 7 см, а это даёт возможность использовать её только как опорную полосу при пуске отжига [31, 41, 162]. Кроме того, в связи с хрупкостью патронированных зарядов взрывчатые вещества крошились и не пропускали детонацию по всей длине линии, что приводило к многочисленным отказам. Доставка методом посадки на площадки и с последующей переноской на руках по линии предполагаемой полосы занимало достаточное время

Для создания более широкой заградительной полосы был предложен новый детонирующий шнур ДШН-80 высокой мощности и повышенной прочности (гл.3, п.3.4). Проведённые взрывные эксперименты показали, что на легких супесчаных и песчаных почвах с мощностью лесной подстилки до 10 см достаточно прокладывать линию из 1-2 детонирующих шнуров, а в условиях с более мощной подстилкой и захламленности одновременный подрыв линии сразу из 3-5 детонирующих шнуров ДШН-80 позволяет получить заградительную полосу шириной до 5 м по засыпке грунтом и глубиной до 30 см [158, 160, 167].

Шнур в бухте имеет длину 40 м. В бумажной коробке упаковываются три бухты (общей длиной 120 м), при этом их общий вес вместе с коробкой – 19 кг.

Шнур ДШН-80 не дробится, он может доставляться как с вертолета, так и с самолета десантным способом. Линию подрыва можно делать практически любой длины, быстро соединяя концы шнуров скотчем. Ориентировочная стоимость 1 м шнура ДШН-80 составляет 129 руб.

По степени опасности при хранении и транспортировке этот шнур относится ко II группе и безотказно работает при температуре окружающей среды до +60 °С.

Применение шнура ДШН-80 производится в соответствии с Технической инструкцией по безопасному ведению взрывных работ при борьбе с лесными пожарами и Едиными правилами безопасности при взрывных работах.

Полученные при экспериментах данные можно использовать для песчаных, супесчаных, суглинистых и глинистых грунтов. Для тяжелой комовой глины и песчаников ширина канавки выброса грунта уменьшается на 15-20%.

Использование детонирующего шнура ДШН-80 позволит существенно повысить производительность труда и снизить трудозатраты при борьбе с лесными пожарами в зонах лесоавиационных работ.

Взрывчатые материалы перевозятся в заводской или другой исправной упаковке (ящиках, мешках, специализированных барабанах, металлических контейнерах и т.п.), исключающей возможность рассыпания материалов.

Взрывчатые вещества (ВВ), доставленные к месту пожара должны быть размещены на безопасном расстоянии от кромки пожара (не ближе 100 м) и должны охраняться взрывником. При организации временного хранения ВВ на площадке в районе пожара их необходимо размещать отдельно от средств взрывания (СВ) на расстоянии не менее 25 м друг от друга в палатках или укрытых брезентом.

Выполнение взрывных работ производится в соответствии с инструкцией на проведение взрывных работ по паспортам на взрывные работы, разработанным и утвержденным в установленном порядке.

При производстве взрывных работ обязательно применение звуковых

сигналов (свисток, сирена и др.), которые должны быть хорошо слышны в пределах опасной зоны. Звуковые сигналы подаются взрывником, а при одновременной работе нескольких взрывников – старшим группы взрывников.

Категорически запрещается подача сигналов голосом при производстве взрывных работ.

Взрывные работы по тушению и локализации лесных пожаров выполняются методом прокладки заградительных и опорных полос перед кромкой пожара. Прокладка заградительных и опорных полос производится взрыванием шнуровых зарядов ДШН-80, расположенных в линию.

В зависимости от необходимой ширины заградительной (опорной) полосы, а также с учетом характера грунта и растительного почвенного покрова могут применяться линии, обеспечивающие одновременный подрыв 1-5 детонирующих шнуров ДШН-80 одновременно.

В таблице 4.7 приводится рекомендуемое количество детонирующих шнуров ДШН-80 в линии подрыва в зависимости от типа леса и мощности лесной подстилки, установленное в ходе проведенных экспериментальных исследований.

Длина заградительных и опорных полос должна превышать длину кромки пожара и при этом упираться в естественные преграды (реки и ручьи, тропы, дороги и т.д.).

Таблица 4.7 – Количество детонирующих шнуров ДШН-80 в линии подрыва в зависимости от типа леса и мощности лесной подстилки

Тип леса	Мощность лесной подстилки, см	Количество шнуров ДШН-80 в линии подрыва, шт.
Сосняк лишайниковый	< 5	1
Сосняк лишайниковый	< 10	2
Сосняк брусничный	< 15	3
Сосняк долгомошный	< 20	3
Сосняк сфагновый	< 25	4
Сосняк сфагновый	< 35	5

При доставке ДШН-80 к месту пожара, руководитель взрывных работ, совместно с летчиком-наблюдателем и руководителем тушения, после осмотра района проведения взрывных работ, определяют:

- направление наиболее быстрого распространения огня;
- скорость его распространения с учетом естественных преград;
- все особенности местности, а также расположение наиболее ценных и опасных в пожарном отношении объектов.

Оценив обстановку, принимают решение прокладки опорной и заградительной полосы с использованием ДШН-80.

Выбирается место и способ доставки ВВ на площадку при наличии таковой и в случае доставки вертолетом. Для быстрой прокладки опорной полосы с использованием ДШН-80 и при доставке вертолетом, часть ВВ может быть отгружено на площадке и небольшими частями по 500-600 кг в зависимости от грузоподъемности вертолета сбрасываться над кронами деревьев на предполагаемую заградительную полосу. Прочность ДШН-80 в бухтах позволяет легко производить эту процедуру. При этом на всех стадиях доставки и применения ДШН-80 должна быть обеспечена радиосвязь между воздушным судном и работающими на земле.

Руководитель тушения пожара, как правило, производит расстановку сил так, чтобы его локализацию начать с фронта пожара, где скорость распространения огня наибольшая или в местах, где огонь угрожает населенным пунктам либо ценным объектам.

Группа взрывников при тушении лесного пожара должна иметь следующие инструменты и принадлежности: лопаты, ножи, сумку для переноски ВВ, спички или зажигалки, флажки белые и красные (обычно из цветной бумаги), наколки деревянные или медные, скотч.

Старший взрывник должен иметь свисток и часы с секундной стрелкой.

Прибыв на место взрывных работ он, совместно с руководителем тушения, после остановки огня на фронте лесного пожара, организует

прокладку заградительных полос по флангам, а при необходимости и со стороны тыла пожара.

При борьбе с лесными пожарами применяются следующие способы взрывания: огневой или подрыв с помощью детонирующего шнура.

Переноска шнура ДШН-80 к месту работы производится в бухтах по сорок метров, либо в заводской упаковке по три бухты (19,5 кг) в коробке или сумке. При этом ВВ и СВ должны переноситься в отдельных сумках или кассетах. При совместной переноске СВ и ВВ взрывник может переносить не более 12 кг ВВ. Во всех случаях переноска ВВ осуществляется взрывниками или лицами, имеющими допуск к этим работам.

Закончив подноску детонирующего шнура ДШН-80 к местам проведения работ, руководитель тушения и руководитель взрывных работ определяют необходимое количество шнуров, одновременно прокладываемых в зависимости от типа леса, мощности подстилки и протяженности линии подрыва. После этого взрывник скотчем соединяет шнуры ДШН-80 в линию, выводит работников в безопасную зону и производит подрыв линии.

Все люди, не занятые на взрывных работах, должны удаляться за пределы опасной зоны. Безопасное место заранее указывается ответственным за проведение взрывных работ лицом, а у мест возможного входа в опасную зону должны быть выставлены посты охраны.

Число одновременно взрываемых зарядов должно быть не более 12 на каждого взрывника. Длина контрольной трубки должна быть на 60 см короче наименьшей зажигательной трубки, но не короче 40 см.

Руководитель взрывных работ и взрывники обязаны вести счет взрывам. Если количество подоженных зарядов совпадает с числом происшедших взрывов, разрешается подходить к месту взрыва не ранее, чем через 5 мин после последнего взрыва. При несовпадении или когда счет взрывам был затруднен, разрешается подходить к месту взрыва не ранее 15 мин после последнего взрыва.

Разрешается для одного взрыва соединять отрезки шнуровых зарядов общей протяженностью до 200 м.

После взрыва ДШН-80 образуется сплошная полоса, имеющая ширину около 3-5 м (по засыпке грунтом) и глубиной до 15-25 см.

При прокладке опорных или заградительных полос с применением ДШН-80 наиболее подходящая численность группы – 4 человека (без учета обеспечения ограничения доступа случайных людей к месту проведения работ).

После взрыва зарядов старший взрывник вместе со взрывниками осматривает заградительную полосу, обращая внимание на полноту взрыва зарядов и качество заградительной полосы.

В случае «отказа», подходить к линии зарядов разрешается не ранее, чем через 15 мин, при этом необходимо наблюдать, нет ли признаков горения взрывчатых веществ.

При наличии невзорвавшихся зарядов, ликвидация их производится взрывником немедленно.

Анализ результатов проведенных натурных исследований свойств детонирующего шнура ДШН-80 показал, что он обладает достаточной мощностью взрыва для прокладки заградительных и опорных полос перед кромкой пожара. Это шнур более эффективен, безопасен и технологичен по сравнению с применяемыми в настоящее время в зоне авиационной охраны лесов шланговыми зарядами с патронами ПЖВ-20 и АП-5 ЖВ. После доставки к местам проведения работ скорость прокладки шнура в 5 раз превышает процедуру работ в сравнении с использовавшимися ранее ВВ. При этом практически исключаются отказы подрыва ДШН-80, что ранее часто случалось из-за хрупкости патронированных ВВ и последующем их отказе в связи с не прохождением детонации.

Выводы

1. Современные смачиватели и пенообразователи существенно

снижают поверхностное натяжение воды в растворе и резко улучшают проникновение огнетушащих растворов в капиллярно-пористые лесные горючие материалы (мхи, лишайники, подстилка, торф и др.). Наиболее перспективным направлением использования растворов смачивателей и пенообразователей при борьбе с лесными пожарами в зонах лесоавиационных работ является прокладка воздушными судами противопожарных заградительных и опорных полос с заданными параметрами: длиной, шириной, плотностью осаждения (дозировкой) и концентрацией огнетушащих добавок. Необходимая дозировка раствора смачивателя на заградительной полосе зависит от лесорастительных условий и обычно находится в диапазоне 1-6 л/м².

2. Точность сливов рабочей жидкости из ВСУ-5А ухудшалась при увеличении полноты сосняков, рабочих скоростей, высот полета и при усилении ветра в районе слива, особенно его боковой составляющей относительно заданного направления прокладки смоченной полосы. Для реализованных в летных исследованиях режимов слива (скорости 60-100 км/ч и высоты ВСУ-5А над кронами 10-30 м) под полог сосняков проникало 50-70 % слитой жидкости

3. Водосливное устройство ВСУ-5А для вертолетов типа Ми-8 и Ка-32 в комплекте с системой СДП-1 в целом обеспечивает реализацию технологии применения смачивателей и пенообразователей и может быть рекомендовано для внедрения в производство в зонах выполнения лесоавиационных работ по локализации лесных пожаров заградительными полосами. Использование этой технологии наиболее эффективно при расстояниях аэродром-водоём и водоём-пожар не превышающих 25 км.

4. По результатам лётных исследований наилучшие характеристики противопожарных заградительных полос получаются при использовании вертолётного водопеносливного устройства ВВСУ «ПУРГА» 30х2, генерирующего огнезащитную быстротвердеющую пену. Оно позволяет значительно уменьшить потери пенообразователя за счёт дробления набегающим потоком

воздуха и нисходящим потоком от винта вертолѐта, а также обеспечить прилипание пены к элементам напочвенного покрова и полога древостоя.

5. Обработка лесных горючих материалов быстротвердеющей пеной, предотвращает распространение низового пожара, возникновение и распространение верхового пожара.

6. Разработанная технология остановки низовых пожаров и прокладки опорных полос с помощью противопожарного экрана является более эффективной, чем используемые в настоящее время базовые технологии для выполнения этих работ. Она может применяться в самом широком диапазоне лесорастительных условий в различных регионах России.

7. Использование детонирующего шнура ДШН-80 позволит существенно повысить производительность труда и снизить трудозатраты при борьбе с лесными пожарами в зонах лесоавиационных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе проведённых лётных исследований со свободным сливом огнетушащей жидкости (Петрозаводск, 2003; Геленджик 2011; Сургут, 2015) в различных лесорастительных и метеорологических условиях установлено, что:

- вертолётное водосливное устройство ВСУ-5А в комплексе с системой дозированной подачи жидких химических добавок СДП-1 в целом обеспечивает реализацию технологии применения смачивателей и пенообразователей при проведении лесоавиационных работ по прокладке противопожарных заградительных полос;
- дозировка жидкости на смоченной полосе в лесу тесно связана как с режимом полета вертолета при сливе жидкости, так и с внешними условиями. Наряду со скоростью и высотой полёта вертолётна наибольшую роль играют полнота древостоя, направление и скорость ветра. В частности, при заданной пороговой дозировке огнетушащей жидкости в смоченной зоне равной 1 л/м^2 , оптимальные параметры заградительной полосы достигались при скорости полёта вертолётна 60-80 км/ч и минимально возможной (по требованиям безопасности) высоте полёта;
- для реализованных в ходе летных исследований режимов слива (скорости полёта 60-100 км/ч и высоты ВСУ-5А над кронами 10-30 м) под полог сосняков проникало 50-70 % слитой жидкости;
- огнезадерживающая способность заградительных полос, покрытых слоем пены толщиной до 10 см, существенно выше в сравнении со смоченной раствором полосой. Огнезащитный эффект воздушно-механической пены еще более выражен при сбросе раствора пенообразователя на лес, так как в этом случае образующаяся пена покрывает кроны деревьев и препятствует выходу огня в полог древостоя.

2. Приведены результаты огневых опытов и экспериментальных исследований по прокладке противопожарных опорных и заградительных

полос в лесах с помощью огнестойкой быстротвердеющей пены авиационными и наземными техническими средствами. В ходе исследований установлено, что:

- заградительные полосы, созданные огнестойкой быстротвердеющей пеной, останавливают фронтальную кромку горения низового пожара, препятствуют переходу низового огня в верховой пожар и имеют ряд технологических преимуществ, таких как: экономия воды и пенообразователя за счёт более эффективного их использования; повышение дальности и высоты подачи сплошной струи пены; удобство работы с более лёгкими рукавами при подаче пены; высокая адгезия быстротвердеющей пены (прилипание к различно ориентированным в пространстве поверхностям, в частности к хвое, веточкам и растительному напочвенному покрову); высокая огнестойкость после затвердевания; долговременность действия (быстротвердеющая пена на протяжении всего засушливого периода пожароопасного сезона может служить препятствием для возникновения и распространения низового и верхового пожаров); растворимость в воде (постепенно смывается дождями).

- в настоящее время ООО «СОПОТ» разработаны высокопроходимые наземные технические средства, (малогабаритные: огнетушитель ВП-50-СКДП, передвижной пожарный модуль с УКТП «ПУРГА»; крупногабаритные: гусеничные пожарные установки: «Ямал-201», «Ямал-30-ТП»), позволяющие создавать в лесах противопожарные опорные и заградительные полосы различной длины и ширины с заданной поверхностной плотностью (дозировкой) быстротвердеющей пены;

- наилучшие характеристики противопожарных заградительных полос, создаваемых с воздуха, получаются при использовании вертолётного водопеносливного устройства ВВСУ «ПУРГА»30х2, генерирующего огнезащитную быстротвердеющую пену. Оно позволяет значительно уменьшить потери пены за счёт дробления пенной струи набегающим и нисходящим от винта вертолёта потоками воздуха, а также ветром;

- имеется возможность за один слив с вертолётного водопеносливного устройства ВВСУ «ПУРГА» 30х2 проложить в лесу огнестойкую заградительную полосу длиной до 500 м и шириной около 8 м со средней дозировкой быстротвердеющей пены на полосе около 0,5 л/м². Такая длина заградительной полосы в 7-9 раз превышает эффективную длину смоченного пятна, образующегося при свободном сливе жидкости или воздушно-механической пены из водосливного устройства ВСУ-5А.

3. Исследована, испытана и апробирована новая технология применения огнезащитного экрана из негорючей кремнезёмной ткани. Она показала высокую эффективность её использования для остановки низовых лесных пожаров на не сильно захламленных лесных участках, предотвращения перехода огня от сельскохозяйственных палов на земли лесного фонда и защиты населенных пунктов и других объектов инфраструктуры от природных пожаров. Негорючий экран может также служить опорной полосой для пуска от неё отжига. Средняя производительность работ при ручной установке огнезащитного экрана на равнине составила 10 м/мин., а в условиях пересеченной местности и горного рельефа – 8 м/мин.

4. Предложена современная технология быстрого создания противопожарных опорных и заградительных полос путём использования детонирующего шнура ДШН-80. Анализ результатов проведенных натурных исследований его свойств показал, что этот шнур обладает достаточной мощностью взрыва для прокладки опорных и заградительных полос шириной от 0,5 до 5 м по засыпке грунтом. Детонирующий шнур ДШН-80 более эффективен, безопасен и технологичен по сравнению с применяемыми в настоящее время шланговыми зарядами с патронами ПЖВ-20 и АП-5 ЖВ.

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Вертолётная технология, основанная на использовании водосливного устройства ВСУ-5А в комплексе с системой дозированной подачи жидких химических добавок СДП-1 обеспечивает создание огнетушащих растворов

смачивателей и пенообразователей на пути следования вертолѐта от водоѐма к пожару и рекомендуется для выполнения лесоавиационных работ по созданию в лесах противопожарных химических полос с пороговой дозировкой раствора 1 – 6 л/м², в зависимости от лесорастительных условий.

2. По совокупности функциональных, стоимостных и технологических показателей в качестве отечественных химических добавок при создании огнетушащих растворов рекомендуется использовать смачиватель ТПМ-1 (ТУ 2483-006-46966972-2006, НПФ «РИВТ», г. Санкт-Петербург), пенообразователь Файрѐкс (ОАО «Ивхимпром», г. Иваново) и антипирен ОС-5 (ТУ 6-18-61-88, НИОХИМ, г. Буй) в рабочей концентрации соответственно 0,1-0,2; 0,4-1,0; 8-13 %.

3. Для долговременной и надёжной защиты лесов от низового пожара и перехода огня в полог древостоя рекомендуется создавать противопожарные заградительные полосы, покрытые огнестойкой быстротвердеющей пеной.

4. Для прокладки с воздуха наиболее эффективных противопожарных заградительных полос рекомендуется применять вертолѐтное водопеносливное устройства ВВСУ «ПУРГА» 30х2, генерирующее огнестойкую быстротвердеющую пену.

5. Рекомендуется для широкого внедрения в различных регионах России апробированная технология остановки низовых пожаров и создания опорных полос с помощью противопожарного экрана из кремнезёмной ткани. Она является более эффективной, чем используемые в настоящее время базовые технологии, предназначенные для выполнения этих работ, и может применяться в самом широком диапазоне лесорастительных условий.

6. Учитывая установленные технологические и экономические преимущества детонирующего шнура ДШН-80 целесообразно внедрение основанной на его применении технологии прокладки противопожарных полос в зонах лесоавиационных работ.

В результате проведѐнных исследований научно обоснованы и экспериментально проверены усовершенствованные и новые технологии

создания противопожарных опорных и заградительных полос в зонах лесоавиационных работ, разработаны рекомендации по их применению для предупреждения крупных лесных пожаров и снижения горимости лесов. Таким образом, решены задачи, поставленные в программе исследований, и достигнута основная их цель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Думнов, А. Д. Лесные пожары в Российской Федерации : статистический справочник / А. Д. Думнов, Ю. И. Максимов, Ю. В. Рощупкина, О. А. Аксенова. – М.: НИА-Природа, 2005. – 230 с.
2. Ерицов, А. М. Глобальные лесные пожары / А.М. Ерицов // Проблемы лесоведения и лесоводства : сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2013. – Вып. 7. – С. 512–518.
3. Ерицов, А. М. Лесные пожары в России 2013 [Электронный ресурс] / А. М. Ерицов // Лесные пожары в Европе, на Среднем Востоке и Северной Африке : сборник публикаций объединенного исследовательского центра Европейской комиссии, Испра, Италия, 2014. – С. 47-49. – Режим доступа: http://forest.jrc.ec.europa.eu/media/cms_page_media/9/FireReport2013_final2pdf_2.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – Дата обращения: 11.03.2016.
4. Ерицов, А. М. Развитие системы охраны лесов от пожаров в Республике Марий Эл [Электронный ресурс] / А. М. Ерицов, В. П. Ассовский // Международная научная конференция NASSA и семинар GOFC-GOLD/NEESPI. Влияние аномальной погоды на природные, социально-экономические и искусственные системы: засуха 2010 года в Поволжье России : материалы конференции, Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, 17-22 июня 2012 г. – Режим доступа: http://csfm.marstu.net/files/publications/NASA_2012.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 11.03.2016.
5. Ерицов, А. М. Развитие авиационной охраны лесов от пожаров в России / А.М. Ерицов // Материалы международной научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы охраны и защиты лесов в системе устойчивого развития», Гомель, Белоруссия, 9-11 октября 2013 г. – Гомель, 2013. – С. 19–25.
6. Ерицов, А. М. Управление природными пожарами и авиационные технологии пожаротушения / А. М. Ерицов, В. Г. Гусев // Проблемы лесоведения

и лесоводства : сб. науч. тр. / Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2015. – Вып. 75. – С. 552-562.

7. Ерицов, А. М. Авиалесоохрана – участник глобального мониторинга лесных пожаров / А. М. Ерицов, Й. Г. Гольдаммер // Лесное хозяйство. – 2001. – № 4. – С. 39-40.

8. Ерицов, А. М. Международные маневрирования авиалесоохраны России по оказанию помощи другим странам [Электронный ресурс] / А. М. Ерицов, Й. Г. Гольдаммер // Международная конференция по применению авиации на тушении лесных пожаров, Аннахейм, Калифорния, США, 19-20 февраля, 2009 г. – Режим доступа: <http://www.fire.uni-freiburg.de/course/meeting/2009/AFFC-Anaheim-2009-Report.pdf>; http://www.fire.uni-freiburg.de/intro/about4_2009.html#February, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – Дата обращения: 11.03.2016.

9. Ерицов, А. М. Международное сотрудничество в области охраны лесов от пожаров [Электронный ресурс] / А. М. Ерицов, Й. Г. Гольдаммер // V Международная конференция по лесным пожарам, Сан-Сити, ЮАР, 6-11 мая 2011 г. – Режим доступа: <http://www.fire.uni-freiburg.de/southafrica-2011/WildFire-2011-Detailed-Programme.pdf> ; <http://www.fire.uni-freiburg.de/southafrica-2011/Regional-Session-5-Agenda.pdf> ; <http://www.fire.uni-freiburg.de/southafrica-2011/Regional-Session-5-Agenda.pdf> ; <http://www.fire.uni-freiburg.de/southafrica-2011/Wildfire-2011-Conference-Newsletter-1.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – Дата обращения: 11.03.2016.

10. Ерицов, А. М. Глобальная оценка результатов недавних разрушительных мегапожаров [Электронный ресурс] / Джерри Вильямс, Дороти Албрайт, Аня Хоффманн, А.М.Ерицов, Питер Мооро, Жозе Карлос Моралис, Михаэль Леонард, Хесус Сан Мигель, Питер Ван Лиероп, Гавриил Хантопоулос // V Международная конференция по лесным пожарам, Сан Сити, ЮАР, 6-11 мая 2011 г. – Режим доступа: <http://www.fire.uni-freiburg.de/southafrica-2011/WildFire-2011-Detailed-Programme.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – Дата обращения: 11.03.2016.

11. Ерицов, А. М. Многолетний опыт и развитие в организации охраны лесов от пожаров в Российской Федерации в условиях изменений нормативно правовой базы [Электронный ресурс] / А. М. Ерицов // Международная конференция, Ванкувер, Канада, 10 марта 2010 г. – Режим доступа: <http://www.fire.uni-freiburg.de/course/meeting/2010/AFF-Vancouver-2010-Agenda.pdf>; <http://www.fire.uni-freiburg.de/course/meeting/2010/AFFC-Vancouver-2010-Report.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – Дата обращения: 11.03.2016.

12. Фуряев, В. В. Актуальность проблемы лесных пожаров в России / В. В. Фуряев // Управление лесными пожарами на экорегиональном уровне : материалы Международного научно-практического семинара, Хабаровск, 9-12 сентября 2003 г. – М.: Изд-во Алекс, 2004. – С. 23-25.

13. Ерицов, А. М. Правовые основы организации охраны лесов от пожаров в России : сборник докладов ИЮФРО / А. М. Ерицов // 14-й Международный симпозиум по правовым аспектам устойчивого развития лесов в Европе, Минск, Беларусь, 19-21 сентября 2012 г. – Минск. – 2012. – 4 с.

14. Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Охрана окружающей среды» на 2012-2020 годы : утв. пост. Прав. РФ от 15 апреля 2014 г. N 326 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2014. – № 18, 5 мая. – ст. 2171.

15. Ерицов, А. М. Региональное развитие управления лесными пожарами 2010-2013 : материалы конференции [Электронный ресурс] / А. М. Ерицов // Международное Паназиатское совещание по природным пожарам, Сеул, Корея, 22-24 октября 2013 г. – Сеул, 2013. – С. 69-84. – Режим доступа: <http://www.fire.uni-freiburg.de/GlobalNetworks/Northeast-Asia/Int-Symposium-Pan-Asia-Wildland-Fire-Network-2013-Proceedings.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – Дата обращения: 11.03.2016.

16. Ерицов, А. М. Пожароопасный сезон 2002 года в России [Электронный ресурс] / А. М. Ерицов, Э. П. Давыденко // Международные лесопожарные новости. – 2003. – № 28. – С. 15-17. – Режим доступа:

http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/iffn_28/Russia-2.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 11.03.2016.

17. Ерицов, А. М. Управление лесными пожарами в Российской Федерации / А. М. Ерицов, Э. П. Давыденко, А. Г. Судаков // Международная конференция по развитию сотрудничества по тушению лесных пожаров в регионе Балтии, Хельсинки, 10 мая 2004 г.: материалы конференции. – Хельсинки, 2004. – 10 с.

18. Ерицов, А. М. Пожароопасный сезон 2010 года в России, проблемы и опыт [Электронный ресурс] / А. М. Ерицов // Международная конференция по применению авиации на тушении лесных пожаров, Мельбурн, Виктория, Австралия, 25-29 августа 2011г. – Режим доступа: http://www.fire.uni-freiburg.de/course/meeting/2011/meet2011_14-Dateien/AFFC-Melbourne-2011Report.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – Дата обращения: 11.03.2016.

19. Авиалесоохрана : официальный сайт [Электронный ресурс] / разработ. ФБУ «Авиалесоохрана». – Режим доступа: <http://www.aviales.ru>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

20. Арцыбашев Е. С. О влиянии пожаров на лесные экосистемы / Е. С. Арцыбашев // Лесное хозяйство. – 2009. – № 6. – С. 42-43.

21. Фуряев, В. В. Роль пожаров в процессе лесообразования / В. В. Фуряев. – Новосибирск: Наука, 1996. – 252 с.

22. Ерицов, А. М. Технологии дистанционного мониторинга для оптимального планирования наземных и авиационных сил и средств пожаротушения [Электронный ресурс] / А. М. Ерицов // Международная конференция по применению авиации на тушении лесных пожаров, Рим, Италия, 5 ноября 2009 г. – Режим доступа: <http://www.fire.uni-freiburg.de/course/meeting/2009/AFF09%20Prog%20Master.doc>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – Дата обращения: 11.03.2016.

23. Об утверждении Правил тушения лесных пожаров : утв. Приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации

(Минприроды России) от 8 июля 2014 г. N 313 (ред. от 08 октября 2015 г.) // Российская газета. – 2014. – № 6456, 15 августа.

24. Ерицов, А. М. Развитие авиационных технологий тушения лесных пожаров в Российской Федерации [Электронный ресурс] / А. М. Ерицов, Э. П. Давыденко, В. Г. Гусев, Е. С. Арцыбашев, Й. Г. Гольдаммер // Международный симпозиум в области охраны лесов от пожаров, Токио, 30 ноября-2 декабря 2005 г. – Режим доступа: http://www.fire.uni-freiburg.de/GlobalNetworks/Northeast-Asia/Northeastasia_7d.html, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 11.03.2016.

25. Ерицов, А. М. Авиационная охрана лесов в Российской Федерации [Электронный ресурс] / А. М. Ерицов, Н. А. Ковалев // Международная конференция по применению авиации на тушении лесных пожаров, Афины, Греция, 21-22 октября 2008 г. – Режим доступа: <http://www.fire.uni-freiburg.de/course/meeting/2008/AFFC-Athens-2008-Speaker-Booklet.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – Дата обращения: 11.03.2016.

26. Камингс, Т. Сражение с огнем / Т. Камингс // Вертолет. – 1999. – № 3. – С. 28-30.

27. Коровин, Г. Н. Авиационная охрана лесов / Г. Н. Коровин, Н. А. Андреев. – М.: Агропромиздат, 1988. – 223 с.

28. Порядок организации и выполнения авиационных работ по охране и защите лесов : утв. Приказом Рослесхоза от 03 нояб. 2011 г. N 470 // Российская газета. – 2012. – № 23504, 17 марта.

29. Разработка научно-обоснованных методов оценки и повышения эффективности применения авиационной техники для обнаружения лесных пожаров : отчет о НИР (промежуточ.) : этап 1 // Санкт-Петербургский науч.-исслед. ин-т лесн. хоз-ва ; рук. Гусев В. Г. ; исполн.: Гуцев Н. Д. [и др.]. – СПб., 2011. – 62 с.

30. Обоснование состава и архитектуры пилотного пакета для прогнозирования распространения, тушения и оценки экономического ущерба

от лесных пожаров : отчет о НИР (промежуточ.) // НПК «Техносфера» ; рук. Исаев С.А. – СПб., 2011. – 25 с.

31. Ерицов, А. М. Развитие авиационных технологий тушения лесных пожаров в Российской Федерации [Электронный ресурс] / А. М. Ерицов // VI Международная конференция ООН по природным пожарам, Пхенчхан, Южная Корея, 12-16 октября 2015 г. – Режим доступа: http://www.rosleshoz.gov.ru/media/sub_news/aviales/149 ; <http://www.aviales.ru/popup.aspx?news=2710> ; <http://www.aviales.ru/popup.aspx?news=2715>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 11.03.2016.

32. Лесной кодекс Российской Федерации от 4 декабря 2006 г. N 200-ФЗ : федер. закон : принят Гос. Думой 8 нояб. 2006 г. : по состоянию на 30 декабря 2015 г. – С изм. от 30.12.2015 г. N 455-ФЗ [Электронный ресурс] / портал Garant.ru. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12150845/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 11.03.2016.

33. Рекомендации по обнаружению и тушению лесных пожаров : сборник организационно-распорядительных документов по охране лесов от пожаров / Федеральная служба лесного хозяйства России. – М.: Федеральная служба лесного хозяйства России, 1997. – 119 с.

34. Об утверждении технологических карт на проведение работ по профилактике и тушению лесных пожаров : Приказ Рослесхоза от 17 февраля 2010 г. N 58 / Рослесхоз. – М.: Рослесхоз. – 14 с.

35. Гусев, В. Г. Прогнозирование параметров лесных пожаров и ресурсов для борьбы с ними / В. Г. Гусев, В. А. Ирицын, Е. В. Ирицын. – СПб.: СПбНИИЛХ, 2011. – 218 с.

36. Арцыбашев Е. С. Лесные пожары и борьба с ними / Е. С. Арцыбашев – М.: Лесная промышленность, 1974. – 152 с.

37. Гусев, В. Г. Физико-математические модели распространения пожаров и противопожарные барьеры в сосновых лесах / В. Г. Гусев. – СПб.: СПбНИИЛХ, 2005. – 199 с.

38. Ерицов, А. М. Команды быстрого реагирования по тушению лесных пожаров / А. М. Ерицов // Лесная Новь. – 2000. – № 4. – С. 1.

39. Ерицов, А. М. Новые способы локализации низовых и торфяных пожаров / В. Г. Гусев, Е. С. Арцыбашев, В. Н. Степанов, А. М. Ерицов // Материалы международной научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы охраны и защиты лесов в системе устойчивого развития», Гомель, Белоруссия, 9-11 октября 2013 г. – Гомель, 2013. – С. 13-16.

40. Ерицов А. М. Результаты исследовательских испытаний и апробации новой технологии борьбы с лесными пожарами / В. Г. Гусев, А. М. Ерицов, Г. Е. Фомин, В. Н. Степанов // Труды СПбНИИЛХ. – 2015. – № 2. – С. 71-83.

41. Ерицов, А. М. Перспективные авиационные технологии тушения лесных пожаров в Российской Федерации : доклад [Электронный ресурс] / А. М. Ерицов // Всемирный лесной конгресс, Дурбан, ЮАР, 7-11 сентября 2015 г. – Режим доступа: <http://www.aviales.ru/popup.aspx?news=2634>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – Дата обращения: 11.03.2016.

42. Арцыбашев, Е. С. Тушение лесных пожаров искусственно вызываемыми осадками из облаков / Е. С. Арцыбашев. – М.: Лесная промышленность, 1973. – 88 с.

43. Пуздриченко, В. Д. Техничко-экономическая оценка эффективности применения воздушных судов при тушении лесных пожаров : методические рекомендации / В. Д. Пуздриченко, В. Н. Ерёмин, В. М. Горышин [и др.]. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1989. – 35 с.

44. CL215 : многоцелевой самолет-амфибия [Электронный ресурс] / Canadair // Уголок неба : большая авиационная энциклопедия / разраб. Dale Volkov. – Режим доступа: <http://www.airwar.ru/enc/sea/cl215.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 11.03.2016.

45. CL415 : многоцелевой самолет-амфибия [Электронный ресурс] / Canadair // Уголок неба : большая авиационная энциклопедия / разраб. Dale

Volkov. – Режим доступа: <http://www.airwar.ru/enc/sea/cl415.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 11.03.2016.

46. Air Tractor : официальный сайт [Электронный ресурс] / Air Tractor Inc. – Режим доступа: <http://www.airtractor.com/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – Дата обращения: 11.03.2016.

47. George, C.W. Improving the performance of fire retardant delivery systems on fixed-wing aircraft / C. W. George / Research Note INT-400. – Missoula: USDA Forest Service, Intermountain Research Station, 1992. – 12 p.

48. Разработать технологию применения вертолетов Ми-8 с водосливным устройством на тушении лесных пожаров с воздуха : отчет о НИР (заключ.) / ВНИИПАНХ ГА ; исполн.: Гумба М. О. [и др.]. – Краснодар, 1980. – 110 с.

49. Илькун, В. ВСУ на борьбе с огнем / В. Илькун, А. Судаков, Э. Давыденко, Б. Гладков // Вертолет. – 2003. – № 1. – С. 12-15.

50. Паршенцев, С. Лес, огонь и водосливные устройства / Вертолет. – 2003. – № 2. – С. 30-33.

51. Гусев, В.Г. Исследования СПбНИИЛХ в области охраны лесов от пожаров / В.Г. Гусев, Е.С. Арцыбашев // Тр. Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства. – 2014. – № 2. – С. 56-73.

52. Ерицов, А. М. Применение авиации на тушении лесных пожаров в районах загрязненных радионуклидами [Электронный ресурс] / А. М. Ерицов, Й. Г. Гольдаммер // Международный семинар «Природные пожары и безопасность населения: Управление пожарами в районах загрязненных радионуклидами, с невзорвавшимися минами и бомбами», Чернобыль, Киев, Украина, 6-8 октября 2009 г. – Режим доступа: <http://www.fire.uni-freiburg.de/GlobalNetworks/SEEurope/GFMC-CoE-OSCE-Seminar-Ukraine-Brochure-Final-06-Oct-2009.pdf> ; http://www.fire.uni-freiburg.de/iffn/iffn_40/07-Chernobyl-I.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – Дата обращения: 11.03.2016.

53. SEI Industries : официальный сайт [Электронный ресурс] / SEI Industries Ltd. – Режим доступа: <http://www.sei-ind.com/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – Дата обращения: 11.03.2016.

54. Simplex Aerospace : официальный сайт [Электронный ресурс] / Simplex Manufacturing Co. dba Simplex Aerospace. – Режим доступа: <http://www.simplex.aero/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – Дата обращения: 11.03.2016.

55. Fixed Tank Systems for Type II and III Helicopters [Электронный ресурс] / Melinda Seevers, Phoenix Design Engineering. – Режим доступа: <http://www.fs.fed.us/t-d/pubs/html/95571307/95571307.html#Background>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – Дата обращения: 11.03.2016.

56. Самый большой пожарный / Авиаглобус // Авиаглобус. – 2004. – № 6 (62). – С. 12-13.

57. Летно-технические характеристики гражданских воздушных судов : справочник / АСЦ ГосНИИ ГА. – М.: ГосНИИ ГА, 2000. – 66 с.

58. Каталог летно-технических характеристик воздушных судов : каталог [Электронный ресурс] / разработ. Dale Volkov // Уголок неба : большая авиационная энциклопедия / разработ. Dale Volkov. – Режим доступа: <http://www.airwar.ru/enc/craft/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 11.03.2016.

59. АТ-802F : пожарный самолет, характеристики, модификации : брошюра [Электронный ресурс] / Air Tractor Inc. // – Режим доступа: <http://airtractor.com/sites/default/files/brochures/Air-Tractor-AT-802F-Brochure.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – Дата обращения: 11.03.2016.

60. Ил-76П (ТДП) : пожарный самолет [Электронный ресурс] / Авиация и Космонавтика; Николай Тиликов; Самолет Ил-76 и его транспортные модификации // Уголок неба : большая авиационная энциклопедия / разработ. Dale Volkov. – Режим доступа: <http://www.airwar.ru/enc/other/il76tdp.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 11.03.2016.

61. Правила разработки и утверждения планов тушения лесных пожаров и его формы : утв. пост. Прав. РФ от 17 мая 2011 г. № 377 // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2011. – № 21, 23 мая. – Ст. 2972.
62. ГОСТ 17.6.1.01-83. Охрана природы. Охрана и защита лесов. Термины и определения. – Введ. 1985–01–01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 6 с.
63. ГОСТ Р 22.1.01-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Основные положения. – Введ. 1997–01–01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1995. – 10 с.
64. ГОСТ 4.99-83. Пенообразователи для тушения пожаров. Номенклатура показателей. – Введ. 1984–07–01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1983. – 11 с.
65. ГОСТ 27331-87. Пожарная техника. Классификация пожаров. – Введ. 1988–01–01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1987. – 6 с.
66. ГОСТ Р 51057-2001. Техника пожарная. Огнетушители переносные. Общие технические требования. Методы испытаний. – Взамен ГОСТ Р 51057-97 ; введ. 2002–07–01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 48 с.
67. О техническом регулировании : федер. закон от 27 декабря 2002 г. N 184-ФЗ : принят Гос. Думой 15 дек. 2002 г. : по состоянию на 28 нояб. 2015 г. – С учетом изм. от 28.11.2015 г. N 358-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2002. – № 52 (часть 1), 30 декабря. – ст. 5140.
68. Акт летных исследований по оценке характеристик системы специального пожарного оборудования самолета Бе-200 / В. П. Асовский, В. В. Илькун, . Г. Шевцов [и др.]. – Краснодар: НПК ПАНХ, 2003. – 70 с.
69. Акт летных исследований по оценке технологических параметров доработанной системы специального пожарного оборудования самолета Бе-200 / В. П. Асовский, В. В. Илькун, В. Г. Шевцов [и др.]. – Краснодар: НПК ПАНХ, 2003. – 100 с.
70. Гусев, В. Г. Новые технические средства борьбы с лесными пожарами / В. Г. Гусев // Пожарное дело. – 1998. – № 8. – С. 41-45.

71. Анализ и технико-экономическая оценка схем и показателей применения авиационной техники для борьбы с лесными пожарами : отчет о НИР / ОАО НПК «ПАНХ» ; рук. Асовский В. П. – Краснодар, 2012. – 267 с.

72. George, C.W. State of the art review of aerial fire control, retardants and foam systems in North America / C. W. Geprge // Seminar on forest, fire and global change, Shushenskoye, Russia, 1996. – 18 p.

73. Судаков, А. Г. Воздушные водовозы / А. Г. Судаков, Э. П. Давыденко, М. Р. Богомольный // Вертолет. – 1999. – № 2. – С. 20-21.

74. Инструкция по применению водосливного устройства ВСУ-5А «Бадья» на вертолете Ка-32Т на тушении пожаров / НПК «ПАНХ». – Краснодар : НПК ПАНХ, 2000. – 12 с.

75. Гусев, В.Г. Патент на изобретение № 2314974 - Устройство дозированной подачи жидких добавок в вертолётное водосливное устройство / Е.С.Арцыбашев, К.А.Иванов, А.Я.Кабацкий, А.Г.Судаков // Патентообладатель: ФГУ «СПбНИИЛХ», Приоритет изобретения с 11.04.2005 г., Зарегистрировано в Государственном реестре 20.01.2008 г.

76. Акт по результатам эксплуатационных летных испытаний (исследований) водосливных устройств ВСУ-5А и ВСУ-15А и методов выполнения полетов с ними соответственно на вертолетах Ка-32Т и Ми-26Т / В. П. Асовский, В. В. Илькун, А. В. Усенко [и др.]. – Краснодар: НПК ПАНХ, 2002. – 8 с.

77. Асовский, В.П. Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук по специальностям 05.22.14 и 05.26.02 Методы и средства совершенствования системы и технологий авиационных работ по распределению веществ. – Краснодар, ОАО НПК «ПАНХ», 2010. – 364 с.

78. Асовский, В.П. Применение вертолётов на тушении пожаров: состояние и перспективы. // Сборник докладов «Седьмого форума российского вертолётного общества», М., 2006. С.VII – С. 71-90

79. Акт по результатам эксплуатационных летных испытаний водосливного устройства «Бемби-Баскет» и методов выполнения полетов с ним

на вертолете Ми-26 / С.А. Агров, В. В. Илькун, С. И. Копыткова [и др.]. – Краснодар: НПК ПАНХ, 1998. – 25 с.

80. Акт по результатам эксплуатационных летных испытаний водосливного устройства «Бемби-Баскет» и методов выполнения полетов с ним на вертолетах Ка-32 и Ми-8МТВ / В. В. Илькун, В. Т. Трутенько, С. В. Сопов [и др.]. – Краснодар: НПК ПАНХ, 1998. – 25 с.

81. Акт по результатам эксплуатационных летных испытаний (исследований) водосливного устройства ВСУ-5А и методов выполнения полетов с ним на вертолете Ка-32Т / В. П. Асовский, В. В. Илькун, А. В. Усенко [и др.]. – Краснодар: НПК ПАНХ, 2003. – 12 с.

82. Implementation Plan Secretarial Order 3336-Rangeland Fire Prevention, Management and Restoration [Электронный ресурс] / National Interagency Fire Center. – Режим доступа: <http://www.nifc.gov/index.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – Дата обращения: 11.03.2016.

83. Акт производственных летных испытаний на вертолете типа Ми-8 опытного образца системы дозированной подачи смачивателя в водосливное устройство ВСУ-5 (ВСУ-5А, ВСУ-5АМ) / М. О. Гумба, В. В. Илькун, А. В. Усенко [и др.]. – Краснодар: НПК ПАНХ, 2001.

84. Гусев, В. Г. Пути повышения эффективности вертолетного сливного оборудования / В. Г. Гусев, Э. П. Давыденко // Лесное хозяйство. – 2002. – № 3. – С. 11-14.

85. Гусев, В. Г. Результаты испытаний высоконапорного вертолётного сливного оборудования для прокладки противопожарных полос / В. Г. Гусев, Н. Д. Гуцев, И. Ю. Корчунова // Борьба с лесными пожарами : Труды СПбНИИЛХ. – 1998. – С. 39-45.

86. Разработка технологии и рекомендаций по применению смачивателей и пенообразователей при тушении лесных пожаров вертолетами с водосливными устройствами типа ВСУ-5А на внешней подвеске в зависимости от видов пожаров : отчет о НИР (заключ.) / НПК «ПАНХ» ; рук. Асовский В. П.

; исполн.: Волошенко Д. В., Усенко А. В., Ерицов А. М. [и др.]. – Краснодар: НПК ПАНХ, 2011 – 155 с.

87. Доррер, Г. А. Математические модели динамики лесных пожаров / Г. А. Доррер. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 161 с.

88. Гришин, А. М. Математические модели лесных пожаров / А. М. Гришин. – Томск: ТГУ, 1981. – 277 с.

89. Гостинцев, Ю. А. Аэродинамика среды при больших пожарах. Линейный пожар / Ю. А. Гостинцев, Л. А. Суханов. – Черноголовка, 1977. – 51 с. – (Препринт / ИХВ АН СССР).

90. Гороя, Е. Н. Имитационная модель лесного пожара / Е. Н. Гороя, Г. Н. Коровин // Экономико-математическое моделирование лесохозяйственных мероприятий. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1980. – С. 47-52.

91. Бондарев, А. Г. Моделирование конвективных потоков над очагом пожара / А. Г. Бондарев, А. Ф. Михайлик // Пожарная техника и тушение пожаров. – М.: ВНИИПО, 1982. – С. 166-169.

92. Доррер, Г. А. Модель распространения криволинейных фронтов лесного пожара / Г. А. Доррер // Физика горения и взрыва. – Новосибирск, 1984. – № 1. – С. 4-19.

93. Гришин, А. М. Математическое моделирование процесса распространения верховых лесных пожаров / А. М. Гришин, А. Д. Грузин, В. Г. Зверев // Доклады АН СССР. – 1983. – № 4 (269). – С. 822-826.

94. Доррер, Г. А. Модель распространения фронта лесного пожара / Г. А. Доррер // Сб. Теплофизика лесных пожаров. – Новосибирск: Институт теплофизики СО АН СССР, 1984.

95. Борисов, А. А. Экспериментальное исследование и математическое моделирование торфяных пожаров / А. А. Борисов [и др.] // Сб. Теплофизика лесных пожаров. – Новосибирск: Институт теплофизики СО АН СССР, 1984. – С. 5-22.

96. Красночуб, Н. С. Математическая модель линейного пожара / Н. С. Красночуб // Сб. Методы обработки информации и принятия решений. – 1983. – Вып. 599. – С. 33.
97. Вонский, С. М. Оценки условий и параметров развития лесных пожаров : методические рекомендации / С. М. Вонский, В. Г. Гусев, Е. В. Коленов, И. Ю. Корчунова. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1985. – 99 с.
98. Гусев, В. Г. Оценка параметров конвективной колонки крупных лесных пожаров / В. Г. Гусев, Е. В. Коленов // Сб. Методы и средства борьбы с лесными пожарами. – Красноярск: ВНИИПОМлесхоз. – 1984. – С. 87-97.
99. Walton, S Fighting Fire with computers / S. Walton // Technology Review. – 1985. – № 6. – P. 68-69.
100. Stevenson, A. E. Simulation of Southern California Forest Fires / A. E. Stevenson, D. A. Schermerhorn, S. C. Miller // 15th Sympos, (Intern) Combust., Tokyo, Japan, 1974, Pittsburgh, Pa, 1974. – P. 147-155.
101. Доррер, Г. А. Математические модели лесных пожаров, основные понятия, классификация, требования / Г. А. Доррер, Н. П. Курбатский // Прогнозирование лесных пожаров. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР. – 1978. – С. 5-26.
102. Albin, F. A. Computer-based models of wildland fire behavior : a users manual / F. A. Albin // USDA Forest Service Intermountain Forest and Range Experiment Station. – Ogden, Utah, 1976. – 68 p.
103. Special issue on Turbulent Reactive Flows / Heffington, W. M. // Combustion Science and Technology. – 1976. – V. 13.
104. Воробьев, О. Ю. Вероятностное множественное моделирование / О. Ю. Воробьев, Э. Н. Валендик. – Новосибирск: Наука СО, 1978. – 159 с.
105. Clar, S. Forest fires and other examples of self-organized criticality/ S. Clar, B. Drossel, F. Schwabl // Journal of Physics. – 1997. – V. 8. – P. 6803-6824.
106. Drossel, B. Self-organization in forest fire model / B. Drossel, F. Schwabl // Fractals. – 1993. – V. 1, № 4. – P. 1022-1029.

107. Drossel, B. Crossover from percolation to self-organized criticality / B. Drossel, S. Clar, F. Schwabl // *Phys. Rev. E.* – 1994. – V. 50, № 4. – P. 2399-2402.
108. Bak, P. A forestfire model and some thoughts on turbulence / P. Bak, K. Chen, C. Tang // *Physics Letters A.* – 1990. – V. 147, № 5-6. – P. 297-300.
109. Катков, В. Л. Моделирование распространения низового лесного пожара / В. Л. Катков // *Материалы 4-й международной конференции «Лесные и степные пожары: возникновение, распространение, тушение и экологические последствия».* – Томск: Изд. Томск. ун-та, 2001. – 260 с.
110. Конев, Э. В. Физические основы горения растительных материалов / Э. В. Конев. – Новосибирск: Наука СО, 1977. – 239 с.
111. Доррер, Г. А. Описание динамики лесных пожаров как управляемых динамических систем / Г. А. Доррер // *Механика реагирующих сред и ее приложения.* – Новосибирск: Наука СО, 1989. – С. 22-32.
112. Курбатский, Н. П. Современная теория распространения лесных низовых пожаров / Н. П. Курбатский, Г. П. Телицын // *Современные исследования типологии и пирологии леса.* – Архангельск: АИЛХ, 1976. С. 90-96.
113. Rothermel, R. C. A mathematical model for fire spread predictions in wildland fires / R. C. Rothermel. – Ogden: USDA Forest Service Res. Paper, 1972. – 40 p.
114. Cheney, N. P. Prediction of fire spread in grasslands / N. P. Cheney, J. S. Gould, W. R. Catchpole // *Int. J. Wildland Fire.* – 1998. – V 8, № 1. – P. 1-13.
115. Porterie, B. A numerical study of plumes in cross-flow conditions / B. Porterie, J. Loraud, D. Morvan, M. Larini // *Int. J. Wildland Fire.* – 1999. – V 9, № 2. – P. 101-108.
116. Гостинцев, Ю. А. Вынос аэрозольных частиц в стратосферу горячим термиком / Ю. А. Гостинцев, Г. М. Махвиладзе, О. И. Мелихов // *Изв. АН СССР.* – 1987. – № 6. – С. 146-152.
117. Гришин, А. М. Численное исследование тепло- и массопереноса в приземном слое атмосферы над очагом крупного лесного пожара / А. М. Гришин,

А. А. Фомин // Проблемы динамики вязкой жидкости. – Новосибирск: СО АН СССР, 1985. – С. 108-113.

118. Гришин, А. М. Распространение в приземном слое атмосферы термиков, возникающих при лесных пожарах / А. М. Гришин, Н. А. Алексеев, О. П. Брабандер, В. Ф. Зальмеж // Теплофизика лесных пожаров. – Новосибирск: СО АН СССР, 1984. – С. 76-85.

119. Гришин А. М. О стационарном распространении фронта верхового лесного пожара / А. М. Гришин // АН СССР. – 1984. – № 3 (279). – С. 550-554.

120. Гришин, А. М. Общая математическая модель лесных пожаров и её приложение / А. М. Гришин // Физика горения и взрыва. – 1996. – № 5 (32). – С. 34-54.

121. Гришин, А. М. Общая математическая модель лесных пожаров и ее приложения для охраны и защиты лесов / А. М. Гришин // Сопряженные задачи механики и экологии : избранные докл. межд. конф. – Томск: Изд. Томск. ун-та., 2000. – С. 89-137.

122. Гришин, А. М. Прогноз и моделирование лесных пожаров / А. М. Гришин // Материалы IV конференции «Лесные и степные пожары: возникновение, распространение, тушение и экологические последствия». – Томск: Изд. Томск. ун-та., 2001. – С. 35-46.

123. Кулешов, А. А. Математическое моделирование в задачах промышленной безопасности и экологии / А. А. Кулешов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2003. – № 4. – С. 56-70.

124. R. Linn, J. Reisner, J.J. Colman, J. Winterkamp. Int. J. Wildland Fire, v. 11, 233-246, 2002

125. Mandel, J Dynamic data driven wildfire modeling / J. Mandel, M. Chen, J. L. Coen, C. C. Douglas, L. P. Franka, C. Johns, R. Kremens, A. Puhalskii, W. Zhao, A. Vodacek // In:Dynamic Data Driven Applications Systems. Kluwer Acad. Publ. – 2004.

126. Гостинцев, Ю. А. Численное моделирование конвективных движений над большими пожарами при различных атмосферных условиях / Ю.

А. Гостинцев, Н. П. Копылов, А. М. Рыжов, И. Р. Хасанов // Физика горения и взрыва. – 1991. – № 6. – С. 10-17.

127. Музафаров, И. Ф. Численное моделирование конвективных колонок над большим пожаром в атмосфере / И. Ф. Музафаров, С. В. Утюжников // Теплофизика высоких температур. – 1995. – № 4 (33). – С. 594-612.

128. Утюжников, С. В. Реализация трехмерной газодинамической модели крупномасштабного пожара на многопроцессорной ЭВМ / С. В. Утюжников, М. Н. Антоненко, А. В. Конюхов, М. В. Мещеряков, А. М. Опарин // Сб. научных трудов 7-й конференции «Математика. Компьютер. Образование». – М.: Прогресс-Традиция, 2000. – Вып. 7. – С. 410-418.

129. Linn, R Modeling interactions between fire and atmosphere in discrete element fuel beds / R. Linn, J. Winterkamp, J. J. Colman, C. Edminster, J. D. Bailey // Int. J. Wildland Fire. – 2005. – v. 14, № 1. – P. 37-48.

130. Cunningham, P. Coherent vertical structures in numerical simulations of buoyant plumes from wildland fires / P. Cunningham, S. L. Goodrick, M. Y. Hussaini, R. R. Linn // Int. J. Wildland Fire. – 2005. – V. 14, № 1. – P. 61-75.

131. Clark, T. L. A coupled atmosphere-fire model: role of the convective froude number and dynamic fingering at the fireline / T. L. Clark, M. A. Jenkins, J. L. Coen, D. R. Packham // Int. J. Wildland Fire. – 1996. – V. 6, № 4. – P. 177-190.

132. Clark, T. L. Description of a coupled atmosphere-fire model / T. L. Clark, J. L. Coen, D. Latham // Int. J. Wildland Fire. – 2004. – V. 13, № 1. – P. 49-63.

133. Coen, J. L. Simulation of the Big Elk Fire using coupled atmosphere-fire modeling // Int. J. Wildland Fire. – 2005. – v. 14, № 1. – P. 49-59.

134. Гришин, А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними / А. М. Гришин. – Новосибирск: Наука СО, 1992. – 404 с.

135. Кулешов, А. А. Моделирование техногенных аварий со сжиженными токсическими и горючими газами / А. А. Кулешов, Н. М. Идальго Диас, Г. М. Махвиладзе, С. Е. Якуш // Матем. Моделирование. – 2010. – № 4 (22). – С. 129-146.

136. Кулешов, А. А. Математические модели лесных пожаров / А. А. Кулешов // Матем. Моделирование. – 2002. – № 11 (14). – С. 33-42.
137. Кулешов, А. А. Математическое моделирование лесных пожаров с применением многофазных моделей / А. А. Кулешов, Е. Е. Мышецкая // Матем. Моделирование. – 2005. – № 1 (17). – С. 34-42.
138. Кулешов, А. А. Математическое моделирование лесных пожаров с применением многопроцессорных ЭВМ / А. А. Кулешов, Е. Е. Мышецкая // Матем. Моделирование. – 2008. – № 11 (20). – С. 28-34.
139. Alexander, M. E. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System : inf. rep. ST-X-3 / M. E. Alexander, B. D. Larson, B. J. Stocks, C. E. Van Wagner // Forestry Canada Science and Sustainable Development Directorate. – Ottawa, 1992. – 62 p.
140. Sukhinin, A. I. Monitoring Forest Fire In Eastern Siberia From Space / A. I. Sukhinin, V. B. Kashkin, E. I. Ponomarev // Proceeding of SPIE. – 1999. – V. 3989. – P. 206-214.
141. Сухинин, А. И. Некоторые закономерности распространения пламени по слою сосновой хвои / А. И. Сухинин, Э. В. Конев, Н. П. Курбатский // Физика горения и взрыва. – 1975. – № 5. – С. 743-750.
142. Конев, Э. В. К анализу распространения пламени по напочвенному покрову / Э. В. Конев, А. И. Сухинин // Физика горения и взрыва. – 1975. – № 5. – С. 799-803.
143. Амосов, Г. А. Некоторые особенности горения при лесных пожарах / Г. А. Амосов. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1958. – 30 с.
144. Van Wagner C. E. Conditions for the start and spread of crown fire // Can. J. For. Res. – 1977. – № 7. – P. 23-24.
145. Давыденко, Э. П. Водосливные устройства для тушения лесных пожаров / Э. П. Давыденко, А. Г. Судаков // Лесное хозяйство. – 2000. – № 4. – С. 44-46.
146. Гусев, В. Г. Повышение эффективности применения вертолётного водосливного устройства ВСУ-5 / В. Г. Гусев, Э. П. Давыденко // Тезисы

докладов участников совещания-семинара по решению лесопожарных проблем. – СПб.: СПбНИИЛХ, 2002. – С. 59-63.

147. Гусев, В. Г. Пути повышения эффективности вертолетного сливного оборудования / В. Г. Гусев, Э. П. Давыденко // Лесное хозяйство. – 2002. – № 3. – С. 11-14.

148. Ерицов, А. М. Вертолетная система дозированной подачи пенообразователя в водосливное устройство ВСУ-5А / А. М. Ерицов, Э. П. Давыденко, В. Г. Гусев, Е. С. Арцыбашев // Лесное хозяйство. – 2005. – № 4. – С. 13-15.

149. Gusev, V. G. Development of aerial fire fighting technologies by the aerial forest fire center «Avialesookhrana» Russian Federation / V. G. Gusev, Y. S. Arcibashev, E. P. Davidenko, J. G. Goldammer, A. M. Eritsov // Proceedings of Fifth NRIFD Symposium ; International Symposium on Forest Fire Protection, Tokyo, Japan. – Tokyo, 2005. – P. 274-281.

150. Ерицов, А. М. Управление природными пожарами и авиационные технологии пожаротушения / А. М. Ерицов, В. Г. Гусев // Сб. науч. тр. Проблемы лесоведения и лесоводства / Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2015. – Вып.75. – С. 552-562.

151. Разработка научно-обоснованных методов оценки и повышения эффективности применения авиационной техники для обнаружения лесных пожаров : отчет о НИР (промежуточ.) : этап 1 / Санкт-Петербургский науч.-исслед. ин-т лесн. хоз-ва ; рук. Гусев В. Г. ; исполн.: Гуцев Н. Д., Щедрин А. Г. [и др.]. – СПб.: СПбНИИЛХ, 2011. – 62 с.

152. Ерицов, А. М. О совершенствовании организации работ по охране лесов от пожаров на землях лесного фонда Российской Федерации / А. М. Ерицов // VIII Научно-практическая конференция «Совершенствование гражданской обороны в Российской Федерации», Москва, 18 октября 2011 г. – М.: МЧС России, 2011. – 2 с.

153. Отработка тактики и способов борьбы с лесными пожарами с помощью быстротвердеющей пены (СДКП-1) : отчет о НИР / Рук. Гусев В. Г. /

ФГУ «СПбНИИЛХ», ООО «СОПОТ» ; рук. Гусев В. Г. ; исполн.: Куприн Г. Н., Ерицов А. М. [и др.]. – СПб.: СПбНИИЛХ, 2015. – 217 с.

154. Цариченко, С. Г. Анализ технологий тушения лесных и торфяных пожаров : информационная справка / С. Г. Цариченко, С. М. Дымов, А. Е. Кузнецов // ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Балашиха. – Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2014. – 43 с.

155. Абдурагимов, И. М., Эффективные технологии пожаротушения - технологическая концепция антитеррора / ЗАО НПО «СОПОТ» ; И. М. Абдурагимов, Г. Н. Куприн. – СПб.: НПО СОПОТ, 2014. – 130 с.

156. Ерицов, А. М. Новые авиационные технологии создания заградительных полос при борьбе с лесными пожарами на примере Республики Марий Эл / А. М. Ерицов, В. Г. Гусев // Материалы IV Международной научно-практической конференции «Инновации и технологии в лесном хозяйстве», ITF-2014, Санкт-Петербург, 27-28 мая 2014 г. – СПб, 2014. – С. 44.

157. Ерицов, А. М. Новые способы тушения торфяных пожаров / А. М. Ерицов, В. Г. Гусев // Материалы 4 международного полевого симпозиума «Торфяники Западной Сибири и Цикл углерода: Прошлое и настоящее», Новосибирск, 4-17 августа 2014 г. – Новосибирск, 2014. – С. 12-13.

158. Ерицов, А. М. Развитие современных способов прокладки заградительных барьеров и опорных полос при тушении лесных пожаров [Электронный ресурс] / А. М. Ерицов, М. Е. Конюшенков // Материалы международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса» XIX Международной выставки «Российский лес», Вологда, 3-5 декабря 2014 г. – Режим доступа: http://www.forestvologda.ru/page/russian_wood, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 11.03.2016.

159. Ерицов, А. М. Эффективность применения противопожарного экрана при борьбе с низовыми пожарами / А. М. Ерицов, В. Г. Гусев, В. Н. Степанов, // Сб. науч. тр. Проблемы лесоведения и лесоводства / Ин-т леса НАН Беларуси. – Гомель, 2015. – Вып. 75. – С. 420-430.

160. Ерицов, А. М. Новые средства локализации лесных пожаров / А. М. Ерицов, В. Г. Гусев // Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 85-летию Института леса НАН Беларуси, 11-13 ноября 2015 г. – Гомель, 2015. – С. 234-236.

161. Арцыбашев, Е. С., Применение эластичных шнуровых зарядов для борьбы с лесными пожарами / Е. С. Арцыбашев, О. К. Орлов, Ю. В. Кустов // Лесное хозяйство. – 1984. – № 9. – С. 64-65.

162. Орлов, О. К. Временная инструкция по применению эластичных шнуровых зарядов ЭШ-1П при борьбе с лесными пожарами / О. К. Орлов, Ю. В. Кустов. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1983. – 9 с.

163. Положение о руководстве взрывными работами в системе Гослесхоза СССР. – М.: Гослесхоз СССР, 1987. – 39 с.

164. Временные нормативы на выполнение работ по тушения лесных пожаров : утв. Гос. ком. СССР по лесному хозяйству от 16 мая 1986 г. N 326 . – М.: Госкомлес, 1986. – 27 с.

165. Валендик, Э. Н. Крупные лесные пожары / Э. Н. Валендик, П. М. Матвеев, М. А. Софронов. – М.: Наука, 1979. – 197 с.

166. Разработка новой экономичной технологии создания противопожарных барьеров в лесах для локализации высокоинтенсивных низовых пожаров : отчёт о НИР (заключ.) / Санкт-Петербургский науч.-исслед. ин-т лесн. хоз-ва ; рук. Гусев В.Г. ; исполн.: Ерицов А.М. [и др.]. – СПб., 2014. – 194 с.

167. Ерицов, А. М. Развитие охраны лесов от пожаров в Республике Марий Эл, Российская Федерация [Электронный ресурс] / А. М. Ерицов, Й. Г. Гольдаммер // Международная конференция по применению авиации на тушении лесных пожаров, Задар, Хорватия, 29-30 апреля 2015 г. – Режим доступа:

<http://www.fire.uni-freiburg.de/course/meeting/2015/AFF-Conference-Croatia-2015-Programme.pdf>; <http://www.fire.uni-freiburg.de/course/meeting/2015/AFF->

Conference-Croatia-2015-Chairmans-Report.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ. – Дата обращения: 11.03.2016.

168. Ерицов, А. М. Совершенствование технологий создания заградительных и опорных полос при тушении лесных пожаров в зонах лесоавиационных работ / А. М. Ерицов, В. Г. Гусев // Вестник Поволжского Государственного Технологического Университета. – 2016. – №1(29). – С. 42-56.

169. Гусев В.Г. Результаты экспериментальных исследований параметров противопожарных заградительных полос при свободном сливе огнетушащей жидкости с вертолета / В. Г. Гусев, А. М. Ерицов, Г. Н. Куприн, Д. С. Куприн, В.Н. Степанов // Труды Санкт-Петербургского Научно-Исследовательского Института Лесного Хозяйства. – 2016. – №2. – С. 60-74.

170. Гусев В.Г. Результаты натурных исследований огнезадерживающих свойств противопожарных пенных полос долговременного действия и средств для их прокладки / В. Г. Гусев, Н. Д. Гуцев, Г. Н. Куприн, Д. С. Куприн, А. М. Ерицов, В. Н. Степанов // Труды Санкт-Петербургского Научно-Исследовательского Института Лесного Хозяйства. – 2016. – №3. – С. 50-63.

171. Ерицов, А. М. Катастрофические лесные пожары последних лет / А. М. Ерицов, С. Н. Волков, В. Д. Ломов // Лесной Вестник Московского Государственного Университета Леса. – 2016. – №5. – С. 106-110

172. Ерицов, А. М. Перспективные авиационные технологии тушения лесных пожаров в Российской Федерации [Электронный ресурс] / А. М. Ерицов // Всемирный лесной конгресс, Дурбан, ЮАР, 7-11 сентября 2015 г. – Режим доступа: <http://www.aviales.ru/popup.aspx?news=2634>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 11.03.2016.

173. Ерицов, А. М. Развитие авиационных технологий тушения лесных пожаров в Российской Федерации [Электронный ресурс] / А. М. Ерицов // VI Международная конференция ООН по природным пожарам, Пхенчхан, Южная Корея, 12-16 октября 2015 г. – Режим доступа:

http://www.rosleshoz.gov.ru/media/sub_news/aviales/149

<http://www.aviales.ru/popup.aspx?news=2710>

<http://www.aviales.ru/popup.aspx?news=2715>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 11.03.2016.

174. Гусев, В.Г. Результаты исследования свойств противопожарных пенных полос долговременного действия [Электронный ресурс] / В.Г., Гусев, А.М.Ерицов, Г.Н.Куприн // V Международная научно-практическая конференция «Инновации и технологии в лесном хозяйстве», Санкт-Петербург, 31 мая – 2 июня 2016 г. – Режим доступа: <http://spb-niilh.ru/itf2016/theses-itf-2016.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 11.08.2016.

175. Ерицов, А.М. Совершенствование технологий создания противопожарных полос при борьбе с лесными пожарами в зонах лесоавиационных работ [Электронный ресурс] / А.М.Ерицов, В.Г., Гусев, // V Международная научно-практическая конференция «Инновации и технологии в лесном хозяйстве», Санкт-Петербург, 31 мая – 2 июня 2016 г. – Режим доступа: <http://spb-niilh.ru/itf2016/theses-itf-2016.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 15.09.2016.