

Сведения о выполненных работах и
полученных научных результатах в 2024 году

по проекту **«Экспериментально-теоретическое исследование
процессов формирования, динамики и теплообмена облака капель
в поле силы тяжести»**,

поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 22-19-00307

Руководитель: Архипов Владимир Афанасьевич, д-р физ.-мат. наук

Проведена адаптация физико-математической модели эволюции жидко-капельного облака в поле силы тяжести к практической задаче повышения эффективности технологии авиационного пожаротушения. Адаптация модели включает: 1) уточнение модели турбулентной диффузии атмосферы и динамики переноса капель в результате турбулентных пульсаций; 2) детальный учет размеров и формы очага пожара, интенсивности горения и вида горючих материалов; 3) учет влияния высоты пламени на структуру тепловой колонки и испарение капель; 4) проведение параметрических расчетов с целью оценки значимости влияния отдельных «элементарных» процессов и параметров на конечный результат расчетов; 5) модификация модели с учетом результатов проведенных оценок с целью возможности проведения расчетов в режиме реального времени.

Разработана модифицированная программа расчета пространственного распределения плотности орошения с учетом физико-математической модели эволюции жидко-капельного облака в поле силы тяжести. Результаты параметрических расчетов показали хорошее соответствие с данными, приведенными в научных публикациях, а также с экспериментальными результатами, полученными при выполнении данного проекта. Критерием эффективности численной модели является хорошее согласие данных о плотности орошения по центру смоченной полосы с данными полевых исследований.

Разработана методика моделирования технологии авиационного тушения пожаров путем использования беспилотного летательного аппарата (БПЛА), снабженного модельным водосливным устройством (МСУ). Данная методика предназначена для верификации разрабатываемых физико-математических моделей расчета пространственного распределения плотности орошения при сбросе хладагента с борта летательного аппарата, а также для тушения небольших очагов возгорания.

Разработана экспериментальная беспилотная авиационная система, включающая в себя БПЛА с системой сброса жидкости, станцию внешнего пилота, линии управления и контроля, систему передачи телеметрии и систему фиксации необходимых для использования в расчетах исходных данных. Разработана методика, алгоритм и программно-аппаратная система управления БПЛА в автономном режиме при проведении экспериментов по определению плотности орошения подстилающей

поверхности. Разработана методика, алгоритм и программно-аппаратная система управления сбросом жидкости с МСУ по командам, поступающим от оператора БПЛА.

Разработано и изготовлено МСУ применительно к использованию на БПЛА для проведения модельных экспериментов. Проведена отладка методики сброса жидкости с БПЛА с использованием МСУ. Система сброса жидкости с МСУ состоит из цилиндрического стакана, заполненного хладагентом, запорного клапана и тяги для открытия клапана, соединенной с сервоприводом. Цилиндрический стакан заполняется жидкостью. При передаче сигнала со станции внешнего пилота и срабатывании управляющего сервопривода происходит подъем запорного клапана и истечение жидкости. С целью выбора диаметра сливного отверстия МСУ проведена серия экспериментов по исследованию влияния начальных значений диаметра и скорости вертикальной струи жидкости на закономерности ее разрушения с образованием капельного облака.

Разработана и отлажена методика экспериментального определения пространственного распределения плотности орошения при сбросе жидкости МСУ. Разработано и изготовлено уникальное экспериментальное оборудование для измерения плотности орошения, включающая секционную приемную емкость с ячейками, заполненными специально подобранным пористым материалом.

На территории Томского аэроклуба ДОСААФ проведены полевые испытания МСУ для оценки плотности орошения заданного участка подстилающей поверхности. Сброс жидкости при полевых экспериментах осуществлялся с трех высот: 10, 12 и 14 метров. На каждую высоту проводилось от 3 до 5 дублирующих опытов для повышения надежности результатов. Анализ результатов полевых исследований показал, что по мере увеличения высоты сброса максимальная плотность орошения уменьшается, а радиус зоны орошения увеличивается.

На Базовом экспериментальном комплексе Института оптики атмосферы СО РАН г. Томска для отладки разрабатываемой в рамках проекта численной модели эволюции жидко-капельного облака в поле силы тяжести проведены модельные эксперименты по тушению очага возгорания с применением БПЛА и при жестком креплении МСУ на ограждении неподвижной автовышки. Высота сброса в экспериментах составляла 10, 15 и 20 м. В качестве горючих материалов использовалась типичная полевая растительность Томской области. Масса растительных горючих материалов составляла ~ 1 кг. Экспериментально обнаружено, что при сбросе 2.5 л жидкости модельный очаг пожара полностью гасится без повторных возгораний, что подтверждает эффективность выбранных методов тушения. Методом тепловизионной съемки получены данные о динамике изменения характеристик пламени при тушении пламенного горения растительных горючих материалов в результате орошения очага модельного пожара. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации технологий тушения пожаров и разработки более эффективных, по сравнению с существующими, систем управления процессами тушения.

На основании проведенных экспериментальных исследований и разработанного экспресс-метода создан программный комплекс, предназначенный для поддержки принятия решений летчиком-наблюдателем при авиационном тушении пожаров. Программный комплекс позволяет: визуализировать аэронавигационные и физико-географические данные, сохранять путевые точки, координаты пожара, полетные треки, области сброса жидкости и рассчитывать оптимальные параметры сброса жидкости.

Графический интерфейс и функциональные части программного комплекса разрабатывались с привлечением летчика-наблюдателя Томской базы авиационной охраны лесов. На основании текущего опыта применения существующих геоинформационных систем скорректирована эргономика пользовательского интерфейса программного комплекса, реализованы функции обновления аэронавигационных материалов без использования сети интернет и сохранения истории полетов. Разработанный программный комплекс адаптирован для работы на базе защищенного планшетного компьютера DURABOOK R11, используемого летчиками-наблюдателями Томской базы авиационной охраны лесов, и протестирован на других устройствах под управлением операционных систем Windows 10/11 и Android 13.

Возможность практического использования результатов проекта:

Результаты проекта представляют интерес при решении практической задачи повышения эффективности авиационного пожаротушения сбросом жидкости в очаг возгорания. Полученные в рамках выполнения проекта результаты позволяют повысить эффективность технологии авиационного тушения пожаров сбросом хладагента. На основе экспериментально-теоретических исследований, проведенных в рамках данного проекта, разработана программа оперативного расчета параметров сброса жидкости при авиационном тушении пожаров, которая позволит летчику-наблюдателю авиа судна в режиме реального времени «вслепую» (в условиях отсутствия видимости из-за задымления горящей территории) рассчитать оптимальные параметры сброса жидкого хладагента с точки зрения безопасности пилота и эффективности технологии авиа тушения.

Результаты проекта внедрены в существующую технологию авиационного тушения лесных пожаров на территории Томской области.