

# ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА FLOWVISION ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛИВА ВОДЫ НА ОТКРЫТЫЙ ОЧАГ ПОЖАРА ИЗ КОНТЕЙНЕРА НА ВНЕШНЕЙ ПОДВЕСКЕ ВЕРТОЛЕТА

*И.В.Борисов, О.И.Борисов, А.В.Ципенко  
Московский авиационный институт, Москва, Россия*

Необходимость оперативного противодействия природным и техногенным пожарам требует создания и совершенствования противопожарных вертолетов. Наиболее широко применяются слив тушащей жидкости из емкостей, установленных на борту или на внешней подвеске (ВП) вертолета. Сегодня успех разработки таких систем зависит исключительно от накопленного экспериментального материала. Это значительно повышает цену инженерной ошибки при проектировании, так как летный эксперимент дорог и не охватывает наиболее экстремальные ситуации, которые могут произойти при эксплуатации противопожарного воздушного судна (ВС). В связи с этим представляет интерес численный эксперимент, который дешевле и безопаснее натурального.

Характерные особенности исследуемого объекта (вертолета с грузом на ВП в процессе тушения пожара): мощный пульсирующий поток от несущего винта (НВ); колебания водосливного устройства (ВСУ) на ВП; мощный восходящий поток от очага пожара; сильный перепад температуры вдоль траекторий капель, что вызывает необходимость учёта такого явления, как испарение капель.

Таким образом, при разработке технологии прогнозирования распределения жидкости при сливе из ВСУ, размещенного на ВП вертолета, необходимо решить следующие проблемы: моделирование индуктивного потока НВ; моделирование колебаний ВСУ на ВП; моделирование течения воздуха в зоне пожара; расчет траекторий частиц.

Для решения этих задач использовался пакет прикладных программ [FlowVision](#), который разработан и поддерживается фирмой «ТЕСИС» (Москва) [2]. Это вызвано подходящими возможностями при задании граничных условий, учетом движения тел, наличием модели расчета траекторий капель с учетом испарения и взаимовлияния газа и капель.

Для получения потока от НВ использовался расчетно-экспериментальный подход, при котором соответствующий реальному поток от НВ получается подбором краевых условий [3] до соответствия экспериментальным данным. В открытой печати публиковались результаты экспериментов для Ка-32 [1], поэтому ниже рассматривается это ВС.

При сливе жидкости сплошной струей необходимо определить протяженность сплошного участка жидкой струи. После этого крупные фрагменты жидкости заменяются на капли, размер которых определяется критическим числом Вебера. Оценка величины сил, действующих на каплю, показала, что наибольшую роль играют силы аэродинамического сопротивления и тяжести.

Проблему моделирования колебаний ВСУ на ВП необходимо решать с учетом индуктивного потока НВ, чтобы выяснить, насколько велико влияние струи НВ. Эта задача решается при равномерном прямолинейном движении вертолета в предположении абсолютной жесткости системы «трос+груз». ВСУ постепенно опорожняется, поэтому меняется положение центра масс. Координаты центра масс, массовый расход и скорость истечения вводятся в расчет как функции времени.

Рассматривался слив воды из ВСУ типа ВОП-3. На основании известных данных о конструкции ВОП-3 были определены координаты центра масс, массовый расход и скорость истечения воды, как функции времени. Из результатов расчетов видно, что груз колеблется в плоскости, практически совпадающей с плоскостью симметрии ВС. Амплитуда и период колебаний практически не меняются при изменении массы груза, то есть груз можно считать математическим маятником с достаточно высокой точностью. Однако период его колебаний составляет 6.55 с, а формула для математического маятника дает 6.65 с. Различие вызвано силой аэродинамического сопротивления, имеющей составляющую, сопоставимую с силой тяжести.

Важно отметить, что амплитуда колебаний не превышает 0.5 м, поэтому, с учетом плоскости колебаний, можно предположить, что в рассматриваемых случаях (слив воды с Ка-32 при равномерном прямолинейном движении) колебания ВСУ на ВП не окажут сколько-нибудь значительного влияния на распределение капель или частиц по земной поверхности. Для практики это означает, что наблюдаемые значительные колебания массивного груза малой парусности вызваны ускоренным перемещением точки подвеса (предысторией полета до момента слива жидкости или разброса частиц).

При моделировании течения воздуха в зоне пожара очаг пожара заменялся источником горячего газа, интенсивность которого определялась следующим образом. Полагалось, что горит бензин. Скорость выгорания известна и составляет 0.3 м/час, то есть массовый расход продуктов сгорания, с учетом стехиометрического соотношения, с поверхности емкости (диаметр 12 м) составляет 84.7 кг/с. Использовалось приближение изотермической экспоненциальной атмосферы. Расчеты проводились в системе координат, связанной с движущимся прямолинейно и равномерно ВС.

При сносимом потоке малой интенсивности (скорость 0.5 м/с) восходящий поток деформируется (рис.1), в нем возникают периодические колебания, что соответствует наблюдаемой картине восходящего потока от реальных очагов пламени.

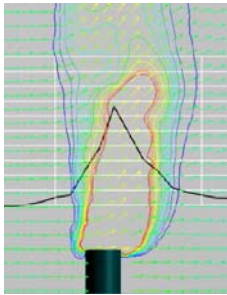


Рис. 1. Восходящий поток от очага пожара в системе координат, связанной с вертолетом, движущимся прямолинейно и равномерно.

Процесс слива жидкости сплошной струей моделировался с использованием модели со свободной поверхностью и с учетом поверхностного натяжения. Расход воды составлял 780 кг/с, что соответствует работе ВСУ-5. Из рис.2 видно, что участок сплошной струи практически отсутствует, поэтому, в первом приближении, для сокращения времени численного эксперимента, можно не учитывать этот участок, полагая, что капли известного диаметра вылетают сразу из сливного отверстия.

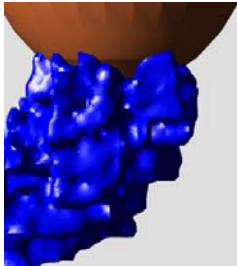


Рис.2. Поверхность струи объединяет ячейки, в которых половина объема занята водой. Слив из ВСУ на скорости 38 км/ч. Вид сбоку

В результате моделирования отдельных элементов комплексной задачи слива жидкости из ВСУ на ВП вертолета показано, что результаты моделирования соответствуют реальным процессам. Также допустимо использовать гипотезу о мгновенном распаде струи жидкости на капли.

В итоге стало возможным провести моделирование слива воды из ВСУ на ВП вертолета Ка-32 из большого отверстия на очаг пожара. Вертолет движется прямолинейно и равномерно со скоростью 38 км/ч. Сброс воды происходит из ВСУ массой 3 тонны. Максимальный диаметр капель 4 мм. На рис. 3-а хорошо виден участок разделения потоков капель меньшего и большего диаметра при сливе воды с расходом 50 л/с. При увеличении расхода до 780 л/с сепарация капель заметно снижается (рис.3-б). Это объясняется взаимовлиянием капель и газа, при котором большой поток капель увлекает за собой окружающий газ, заметно меняя поле скорости газа в окрестности дробящейся струи жидкости.

Из рис.3 видно, что на подлете к очагу пожара ВСУ практически не раскачивается, что свидетельствует о слабом влиянии аэродинамических сил на массивный груз. Вертикальная скорость в восходящем потоке составляет на высоте ВСУ около 18 м/с.

**Заключение.** Полученные результаты дают возможность использовать предлагаемую технологию численного моделирования для отработки различных вариантов конструкции сливных устройств и тактики их применения без проведения летного эксперимента.

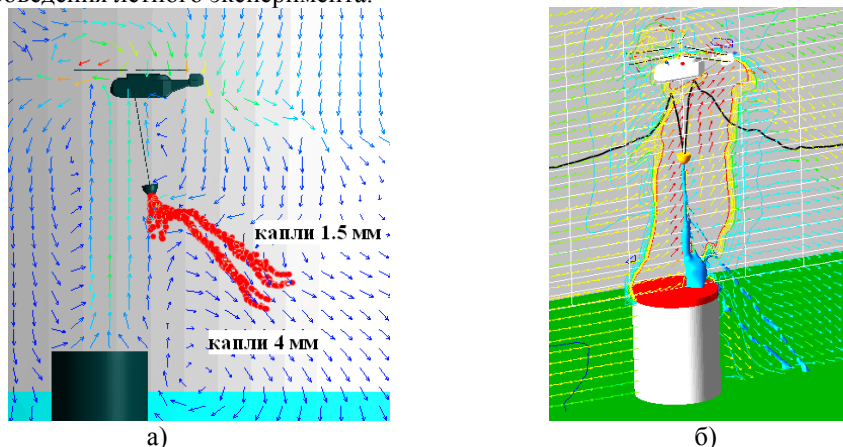


Рис.3. а) Сброс капель 4 и 1.5 мм на очаг пожара (50 л/с), поле векторов скорости. б) Сброс с расходом 800 л/с. Изоповерхность соответствует диаметру капель 4 мм. Черная линия – график изменения вертикальной скорости вдоль координатной оси ( $F=0 - F=90$ ).

#### Список использованных источников

1. Акимов А.И. и др. Летные исследования и анализ вихревой структуры винтов соосного вертолета. // Труды I форума Российского вертолетного общества, Москва, МАИ, 1994, с. 161-181.
2. Система моделирования движения жидкости и газа FlowVision. <http://www.thesis.com.ru/software/flowvision/>.
3. Борисов И.В., Паршенцев С.А., Ципенко А.В. Учет потока от несущего винта при моделировании полета вертолета с грузом на внешней подвеске. / Известия ЮФУ. Технические науки. - Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. №1(90), с. 171-177.