

УДК 532.529:532.6

Теоретические и экспериментальные исследования процессов сдува воды при работе комбинированных противообледенительных систем

*Э.С. Гринац^{1,2}, В.А. Жбанов¹, А.В. Кашеваров¹, А.Б. Миллер^{1,2},
Ю.Ф. Потапов¹, А.Л. Стасенко^{1,2}*

¹Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

Для борьбы с обледенением летательных аппаратов представляется перспективным использование комбинированных противообледенительных систем (ПОС), сочетающих традиционные способы защиты от льда (например, электротепловые, воздушнотепловые и электроимпульсные ПОС) и различные покрытия, уменьшающих силу сцепления льда с поверхностью и облегчающих сдув жидкой воды. В настоящей работе как теоретически, так и экспериментально исследуется сдув воды с криволинейной аэродинамической поверхности и отклоняющихся щитков с учетом смачиваемости поверхности, включая случай супергидрофобных поверхностей.

Специфика рассматриваемой нами проблемы состоит в обдуве воздухом поверхности с каплями при «самолетных» скоростях порядка 100 м/с, постепенном охлаждении капли, сопровождающимся ростом вязкости жидкости и, наконец, отвердением с образованием барьерного льда. Учет этой специфики начат в работах [1, 2]. В отличие от упомянутых статей, в настоящей работе учтено влияние центробежной силы, действующей на каплю при движении по искривленной поверхности. Это дополнительное условие делает проблему гидродинамики капли на искривленной поверхности еще более сложной и, следовательно, упрощающие предположения еще более оправданными. Теоретически получено значение тангенциальной скорости капли, при которой наступает отрыв:

$$\hat{u}_* = \frac{1}{a} \left(\frac{24}{19} \frac{(1 + \cos \theta_0) \sigma R_w}{\rho_l} \right)^{1/2},$$

где θ_0 – статический угол смачивания, σ – коэффициент поверхностного натяжения, R_w – локальный радиус кривизны поверхности, ρ_l – плотность жидкости.

Разработана физико-математическая модель, описывающая гидротермодинамику водяной пленки, текущей по поверхности передней кромки модели, обтекаемой воздушным потоком. Получены решения для толщины пленки и скорости ее течения в зависимости от расстояния от передней кромки модели.

Предложена модель распада жидкой пленки на отдельные капли при натекании жидкой пленки на супергидрофобный участок поверхности. Найдены решения для размеров образующихся капель в зависимости от толщины и скорости движения пленки, краевого угла смачивания, сделаны оценки характерного времени распада пленки на капли.

Проведен расчет гидротермодинамики микрокапли воды на супергидрофобной поверхности отклоняемого щитка и за ним, рассчитаны скорость и температура капель по достижении ими вершины супергидрофобного щитка. Решена траекторная задача движения капель после отрыва от поверхности щитка.

Построена физико-математическая модель динамики воды на поверхности макета комбинированной противообледенительной системы в условиях обледенения на стенде.

Проведены экспериментальные исследования макета комбинированной противообледенительной системы, состоящей из электротермической ПОС и отклоняющегося щитка с супергидрофобным покрытием, установленного перед предполагаемой зоной образования барьерного льда в стендовых условиях обледенения. Исследования проведены для скоростей потока 40, 80 и 95 м/с, соответствующие значения его водности 1.25, 0.63 и 0.53 г/м³, диапазона температур от минус 9 °С до минус 17 °С, материал щитка – нержавеющая сталь с

супергидрофобным покрытием с краевым углом смачивания 160° , углы установки поверхности щитка по отношению к верхней плоской поверхности модели потока – от 5° до 20° .

Теоретически оценена и экспериментально доказана возможность обеспечения сдува капель с поверхности отклоняющегося щитка при малом угле его отклонения (до 10°).

Сравнение расчетов и экспериментов показали их хорошее совпадение. Для усовершенствования физико-математической модели необходим учет поверхностных явлений при отрыве капель от щитка и рассмотрение динамики капель за щитком с учетом структуры течения за ним и турбулентных пульсаций потока.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект 16-19-10472.

Литература

1. Стасенко А.Л. Оценка влияния угла смачивания на скорость перемещения капли воды по обычной и наномодифицированной поверхности летательного аппарата. // Труды 54-й Научной конференции МФТИ. Аэромеханика и летательная техника. 2011. Издательство МФТИ. С. 123–124.
2. Амелюшкин И.А., Гринац Э.С., Стасенко А.Л. Кинетика молекулярных кластеров и гидротермодинамика капель в проблеме обледенения летательного аппарата. // Вестник МГОУ. Серия «Физика–Математика». 2012. №2. С. 153–161.