

УДК 532.529.5

**ГАЗОТЕРМОДИНАМИКА И ЭЛЕКТРОФИЗИКА
МНОГОФАЗНОГО ПОТОКА
У БЫСТРО ДВИЖУЩЕГОСЯ ТЕЛА**

© 2011 г.

А.Л. Стасенко, Г.В. Моллесон, А.В. Кашеваров

Центральный аэрогидродинамический институт им. Н.Е. Жуковского, г. Жуковский

stasenko@serpantin.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Рассмотрен круг проблем, связанных: 1) с входом затупленных тел в запыленную атмосферу, 2) с обледенением тела в переохлажденном облаке. Дан обзор полученных ранее результатов и представлены новые данные.

Ключевые слова: дисперсный поток, падающие и отраженные частицы, вращение, электризация и оптика частиц.

Обтекание тел двухфазными потоками, несущими твердые частицы или капли, реализуется во многих ситуациях, представляющих научный и практический интерес, например при входе быстро движущихся тел в запыленные атмосферы планет, движении летательных аппаратов в переохлажденных облаках, обработке поверхностей пескоструйными аппаратами и т.д. Для таких потоков характерны некоторые общие явления, относящиеся к механике жидкостей и твердых тел, такие как инерционная сепарация линий тока несущего газа и траекторий частиц, непредсказуемая изменяющаяся со временем форма обтекаемого тела (при его обледенении или абляции). Кроме того, взаимодействие двухфазного потока с твердым телом может сопровождаться оптическими и электрофизическими явлениями, уверенно регистрируемыми в аэродинамических экспериментах [1, 2].

1. Измерения интенсивности зондирующего излучения, рассеиваемого частицами, распределения плотностей потоков тепла или электрического заряда по поверхности обтекаемого тела содержат богатую информацию об «элементарных» процессах взаимодействия частиц друг с другом и твердыми телами. Однако для извлечения этой информации из экспериментальных данных необходимо решать обратные задачи, относящиеся к так называемым некорректно поставленным проблемам [3]. Поэтому (в качестве первого шага в этом направлении) в настоящем исследовании рассмотрены при-

ближенные оценки влияния оптических и электрофизических явлений, происходящих в сжатом слое, на результаты измерений в типичных экспериментах со сверхзвуковыми газопылевыми потоками.

В этом случае физико-математическая модель учитывает многочисленные экспериментальные данные (других исследователей) по коэффициентам восстановления компонент скорости после отскока твердой частицы от поверхности [4]; вращение [5] и электрический заряд отразившихся частиц; интегральные законы сохранения для падающих, отраженных и хаотизированных частиц в режиме «штатных» столкновений. Типичный набор параметров обтекания: либо почти равновесный (по скорости и температуре) натекающий из «бесконечности» двухфазный поток, несущий мелкие (субмикронные) частицы металла (Fe) или оксидов (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2), которые после отражения остаются у обтекаемого тела; либо двухфазная затопленная струя с крупными (радиусом $\sim 10\text{--}50$ мкм) частицами, образующими после отражения каустику, частично выходящую даже за скачок уплотнения.

Проиллюстрированы результаты численного исследования газотермодинамических и электрофизических параметров обтекания шара в условиях, характерных для экспериментов в сверхзвуковых аэродинамических трубах. Часть этих результатов представлена на рис. 1. Кроме того, построены векторные линии электрического поля у обтекаемого тела. Дано сравне-

ние расчетных и опытных данных по распределению концентрации частиц в сжатом слое, плотностей потока тепла и электрического тока по поверхности сферы. Показано, что при восстановлении концентрации частиц на основе экспериментальных данных по рассеянию зондирующего монохроматического излучения необходимо учитывать поглощение и рассеяние частицами света, попадающего в регистрирующий прибор из «картинной плоскости» лазерного «ножа».

На рисунке изображены линии равных значений в области между срезом сопла и обтекаемой сферой: а) числа Маха; б) массовой плотности отраженных частиц, кг/м³; в) электрического потенциала, В. Частицы SiO₂, радиус 7 мкм, ускоряющий газ – воздух. Условия в формате: давление 2 МПа, температура 300 К.

ряда с их поверхности. Дано сравнение результатов расчета как в приближении идеально изолирующей «наледи», так и при реальных электрофизических параметрах льда (удельная электропроводность $\sim 10^{-6}$ См/м; диэлектрическая проницаемость $\sim 50-100$). Показано, что отдельные компоненты тензора суммарных механических напряжений в наледи могут приводить к ее разрушению, что объясняет систематические расхождения между экспериментальными данными и результатами численных исследований, проведенных по различным сертифицированным кодам.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (государственный контракт № 14.740.11.0576) и при поддержке РФФИ (гранты 10-08-00820, 10-01-00745).

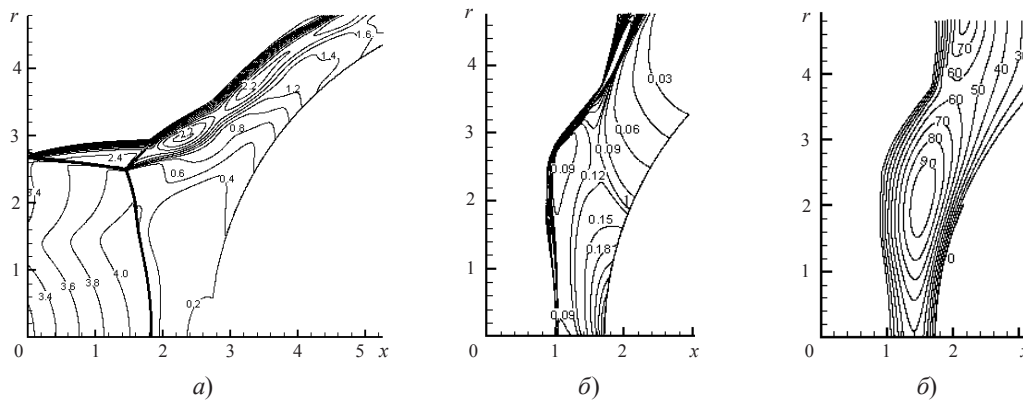


Рис. 1

2. Второй круг проблем исследован на примере обтекания цилиндра с циркуляцией (моделирующей подъемную силу крыла) в предположении «сухого» обледенения, при котором метастабильные капли мгновенно примерзают к поверхности (температура атмосферы < -15 °С). Численно исследовано распределение механических напряжений в толще наледи, связанных с градиентами температуры, вызванными выделением теплоты кристаллизации [6] и джоулевыми потерями. Расчеты проведены для «типичных» условий полета и аэродинамического эксперимента. Примеры рассмотрены в предположении максимально возможного заряда капель, определяемого пределом коронного раз-

Список литературы

1. Vasilevskii E.B., Ershova T.P., Mikhatulin D.S., Jakovleva L.V. // Proc. 13th Intern. Heat Transfer Conf. 13–18 Aug. 2006. Sydney, Australia. Published by Begell House Inc. Book of Abstracts. P. 38.
2. Василевский Э.Б. и др. // Труды 52-й научн. конф. МФТИ. М.–Жуковский. 2009. Ч. VI. С. 59–62.
3. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы исследования некорректных задач. М.: Наука, 1986. 288 с.
4. Стасенко А.Л. // ИФЖ. 2007. Т. 80, №5. С. 38–44.
5. Моллесон Г.В., Стасенко А.Л. // ТВТ. 2011. Т. 49, №1. С. 73–80.
6. Кашеваров А.В., Стасенко А.Л. // Мат. моделирование. 2010. Т. 22, №10. С. 119–126.

**GAS- AND THERMODYNAMICS AND ELECTROPHYSICS OF A MULTIPHASE FLOW
AROUND A QUICKLY MOVING BODY***A.L. Stasenko, G.V. Molleson, A.V. Kashevarov*

A group of problems discussed, concerning 1) the entry of blunted bodies into dusted atmospheres, and 2) icing of bodies in a supercooled cloud. The previous results are reviewed, and new results are presented.

Keywords: disperse flow, impinging and rebounding particulates, rotation, electrization and optics of the particulates.