

УДК 53.082.62
УДК 53.082.63

Новые алгоритмы обработки данных измерений теплового потока на поверхности тел калориметрическими и термопарными датчиками

С.М. Дроздов^{1,2}, И.М. Шеметов^{1,2}

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского»

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

Технология точного и эффективного измерения теплового потока является важной и востребованной составляющей экспериментальных исследований теплообмена моделей высокоскоростных летательных аппаратов. В качестве средств измерения локального теплового потока к поверхности моделей в аэрофизическом эксперименте [1,2] часто применяются калориметрические датчики и термопарные датчики фольгового типа (поверхностные термопары). Существующие алгоритмы обработки результатов измерений датчиками-калориметрами основываются на предположении слабого теплообмена калориметра с материалом модели; для обработки данных измерений поверхностных термопар используется решение одномерного уравнения теплопроводности в материале модели. С развитием вычислительной техники стало возможным применение ресурсоёмких численных алгоритмов обработки экспериментальных данных для детального учёта двух- и трёхмерных процессов теплообмена между датчиком и материалом исследуемого тела с целью повышения точности результатов измерений.

В работе предложены численные алгоритмы обработки данных измерений локального теплового потока калориметрическими датчиками и термопарными датчиками фольгового типа. Калориметрический датчик теплового потока представляет собой миниатюрный металлический цилиндр с термопарой, измеряющей температуру какой-либо его части. Датчик вклеивается в отверстие в материале исследуемого тела заподлицо к поверхности. Термопарный датчик теплового потока фольгового типа представляет собой поверхностную термопару в форме тонкой ленточки. Задача алгоритмов обработки данных состоит в восстановлении плотности теплового потока $q_w(t)$ к лицевой поверхности датчика по зависимости от времени температуры спая термопары $T_s(t)$, измеряемой в эксперименте.

Предполагается, что в материале датчика и тела справедливо уравнение теплопроводности, а на поверхности, обтекаемой горячим воздухом, происходит теплообмен по конвективному закону:

$$q_w(t) = q_{\max} \frac{T_e - T_w(t)}{T_e - T_{in}} \quad (1)$$

где $q_w(t)$ – плотность теплового потока к обтекаемой поверхности в момент времени t от начала нагрева, T_e – эффективная температура конвективного теплообмена, $T_w(t)$ – температура обтекаемой поверхности, $q_{\max} \equiv q_w(0)$ – плотность теплового потока в момент начала нагрева, $T_{in} \equiv T_w(0)$ – начальная температура поверхности.

Решение начально-краевой задачи для уравнения теплопроводности с граничным условием (1) во фрагменте тела с встроенным датчиком (с известными геометрическими теплофизическими параметрами и начальным распределением температур) зависит только от параметров теплообмена q_{\max} и T_e . В предлагаемых алгоритмах реализована итерационная процедура многократного численного решения уравнения теплопроводности с граничным условием (1) для определения таких значений q_{\max} и T_e , при которых минимизируется отклонение расчетной кривой температуры спая термопары от экспериментальной кривой $T_s(t)$.

Новые алгоритмы обработки данных были применены в экспериментальных исследованиях, выполненных в гиперзвуковой аэродинамической трубе Т-117 ЦАГИ. Локальный тепловой поток на поверхности моделей измерялся калориметрическими датчиками и термопарными датчиками фольгового типа, а также методом термоиндикаторов плавления [3,4]. В работе анализируется практика применения новых алгоритмов обработки данных с датчиков теплового потока и проводится сравнение результатов, полученных разными методами. В ряде случаев результаты измерений теплового потока калориметрическими датчиками оказались завышены относительно результатов, полученных методом термоиндикаторов плавления. Измерения теплового потока термопарными датчиками фольгового типа в целом хорошо согласуются с результатами измерений методом термоиндикаторов плавления.

Литература

1. Харитонов А.М. Техника и методы аэрофизического эксперимента. Ч. 1. Аэродинамические трубы и газодинамические установки: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. 220 с.
2. Харитонов А.М. Техника и методы аэрофизического эксперимента. Ч. 2. Методы и средства аэрофизических измерений: Учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. 456 с.
3. Боровой В.Я. Течения газа и теплообмен в зонах взаимодействия ударных волн с пограничным слоем. – М.: Машиностроение, 1983, 144 с.
4. Бражко В.Н., Ковалева Н.А., Майкапар Г.И. О методе измерения теплового потока с помощью термоиндикаторных покрытий. // Уч. зап. ЦАГИ. 1989, Т. 20 №1, с. 1-11.