

Министерство образования и науки Российской Федерации
КАБИНЕТ МИНИСТРОВ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН
КАЗАНСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН
СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УНИВЕРСИТЕТ ПУАТЬЕ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАЗАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. А.Н. ТУПОЛЕВА-КАИ»

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
НАУКОЕМКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВИАЦИИ,
НАЗЕМНОГО ТРАНСПОРТА И ЭНЕРГЕТИКИ

«АНТЭ-2013»

СБОРНИК ДОКЛАДОВ

Казань, 19 – 21 ноября 2013 г.

Казань 2013

Пр 68 **Проблемы и перспективы развития авиации, наземного транспорта и энергетики «АНТЭ-2013»:** международная научно-техническая конференция, 19 – 21 ноября 2013 г.: сборник докладов. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2013. – 584 с.

ISBN 987-5-7579-1927-0

Представлены материалы теоретических и экспериментальных исследований процессов в тепловых двигателях и энергетических установках. Рассмотрены вопросы повышения их эффективности, а также приведены результаты научных исследований, связанных с разработкой технологических процессов производства двигателей, совершенствованием авионики, электрооборудования и систем управления.

УДК 621.4+621.438.46

Оргкомитет конференции:

***Зарипов Р.Х.** – заместитель Премьер-министра Республики Татарстан, министр промышленности и торговли Республики Татарстан, председатель организационного комитета (по согласованию);*

***Шагиахметов М.Р.** – министр экономики Республики Татарстан, сопредседатель организационного комитета (по согласованию);*

***Фаттахов Э.Н.** – министр образования и науки Республики Татарстан, сопредседатель организационного комитета (по согласованию);*

***Гильмутдинов А.Х.** – ректор КНИТУ-КАИ, заместитель председателя организационного комитета;*

***Михайлов С.А.** – проректор по научной и инновационной деятельности КНИТУ-КАИ, заместитель председателя организационного комитета.*

Члены организационного комитета

***Лебеденко О.В.** – начальник управления подготовки и аттестации научно-педагогических кадров КНИТУ-КАИ;*

***Сабирова Д.К.** – заведующая кафедрой истории и связей с общественностью КНИТУ-КАИ;*

***Тарасевич С.Э.** – директор Института авиации, наземного транспорта и энергетики КНИТУ-КАИ;*

***Ференец А.В.** – директор Института автоматики и электронного приборостроения КНИТУ-КАИ;*

***Хасанова А.Ш.** – директор Института экономики, управления и социальных технологий КНИТУ-КАИ;*

***Щербаков Г.И.** – директор Института радиоэлектроники и телекоммуникаций КНИТУ-КАИ.*

analytical expressions have been held experimental researches of distribution the vibration amplitude on perforated pipe model. The carried out analysis testifies that the gained experimental data agrees with idealized calculations.

УДК 533.6.08

ТЕМПЕРАТУРНАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ТЕРМОАНЕМОМЕТРА ПРИ ИЗМЕРЕНИИ СКОРОСТИ В НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОТОКАХ

Занько Ф.С., Хайрнатов К.Р.

(Исследовательский центр проблем энергетики КазНЦ РАН)

Давно известная научно-инженерная проблема температурной компенсации термоанемометра при измерении скорости в потоках движущихся жидкостей до сих пор не имеет хорошего решения. На погрешность традиционных методов оценки температуры горячей нити по ее сопротивлению влияет множество трудно учитываемых факторов, дополнительно требуется дорогостоящая измерительная аппаратура и др. В настоящей работе обосновывается подход, в котором некоторая оптимальная температура горячей нити не измеряется, а подбирается по данным измерений скорости в неизотермическом течении. По реальным экспериментальным данным оценена точность предлагаемого метода, рассмотрены практические аспекты его применения.

Термоанемометр постоянного сопротивления – хорошо известный прибор для измерения средней и мгновенной скорости в потоке движущейся жидкости. Принцип его действия основан на зависимости между скоростью потока и теплоотдачей помещенной в него тонкой проволоочки, нагреваемой электрическим током:

$$\frac{I^2 R_w}{R_w - R_a} = A + BU^n,$$

где I – сила тока, нагревающего нить, А; R_w – сопротивление нагретой нити ($R_w = \text{const}$), Ом; R_a – сопротивление нити при температуре окружающей среды, Ом; U – скорость потока, м/с; A, B, n – постоянные коэффициенты, определяемые в результате градуировки каждого конкретного датчика. Очевидно, что при изменении температуры окружающей среды, а значит и R_a , показания термоанемометра нужно корректировать.

Уравнение теплового баланса нагретой нити:

$$I^2 R_w = (T_w - T_a)h,$$

где I – сила тока, нагревающего нить, А; T_w – температура нагретой нити ($T_w = \text{const}$ для термоанемометра постоянного сопротивления), К; T_a – температура окружающей среды, К; h – коэффициент теплоотдачи горячей нитки, Вт/(м²·К). Вообще говоря, h зависит от разности температур ($T_w - T_a$), но в диапазоне 30-40°C от некоторой опорной температуры его можно считать постоянным [1]. Тогда, получается следующая простая формула для корректировки показаний термоанемометра при температуре, отличающейся от температуры градуировки:

$$I_n^2 = I_a^2 \frac{T_w - T_n}{T_w - T_a}, \quad (1)$$

где T_n – некоторая опорная температура, при которой проводилась градуировка (обычно 20°C), К; I_n, I_a – сила тока, протекающего через нагретую нить, расположенную в потоке с

температурой T_n , T_a , соответственно, А. Если же дополнительно учесть линейную зависимость сопротивления нагретой нити от температуры:

$$R_a = R_n(1 - \alpha(T_a - T_n)),$$

получим формулу, которой обычно пользуются на практике:

$$I_n^2 = I_a^2 \frac{R_w - R_n}{R_w - R_a}, \quad (2)$$

где R_n , R_a – сопротивление нагретой нитки в потоке с температурой T_n , T_a , соответственно, Ом; α – температурный коэффициент сопротивления, K^{-1} .

Тем не менее, в реальности применение соотношения (2) связано со значительным и неконтролируемым ростом погрешности измерений. Пользоваться справочным значением температурного коэффициента сопротивления нельзя, его нужно определять экспериментально для каждого датчика или хотя бы типа проволоки. Сопротивление проводов требуется определять с высокой точностью, причем обычные тестеры при измерении дополнительно разогревают нитку и меняют сопротивление. Следовательно, для измерения сопротивления нужна специальная и довольно дорогая аппаратура. Геометрические размеры нити (длина – порядка единиц мм, ширина – порядка микрометров) точно замерить затруднительно. Наконец, особые сложности вызывает измерение сопротивления собственно нити (без державок и проводов). Конечно, с теми или иными допущениями все эти трудности можно разрешить или обойти, но это, несомненно, ведет к трудно оцениваемому увеличению ошибки измерений.

Гораздо предпочтительнее с практической точки зрения альтернативный подход, предложенный в [2], где вместо формулы (2) используется формула (1). Конечно, температура нагретой нити неизвестна, но ее можно подобрать. Для этого у экспериментатора должен быть набор градуировочных кривых, полученных для ряда других температур, помимо опорной, отличающихся от последней, скажем на 20-30°C.

Авторы настоящей работы реализовали предлагаемый подход, составив необходимые программы на языке Python, и проверили его на нескольких массивах данных (своих и взятых из литературы). Рассмотрим эту методику более подробно на примере из реального экспериментального исследования, проведенного авторами.

На рис.1 приведена схема экспериментальной установки. Воздух, нагреваемый генератором тепла 1, проходил через универсальное выравнивающее устройство 2, которое делает профиль скорости в трубе почти равномерным, и попадал в измерительный участок, где располагались однопоточный датчик скорости 4 с толщиной нити 6 μ m и внешний термометр 3. Диаметр измерительного сечения составлял 50 мм. Массовый расход воздуха в тракте установки обеспечивался турбокомпрессором 9, работающим на всасывание, и поддерживался постоянным в пределах одной серии экспериментов при помощи набора критических сопел 5. Установка ресивера 6 между измерительной магистралью и критическими соплами позволяла сгладить пульсации давления перед соплами. В эксперименте использовались поверенные критические сопла, обеспечивающие значение объемного расхода с погрешностью не более 0,25%. Работа датчика поддерживалась экспериментальным устройством, работающим в режиме термоанемометра постоянного сопротивления. Информация о силе тока, протекающем через нагретую нить датчика, и о температуре воздуха в измерительном участке записывалась на компьютер.

На рис.2 показаны градуировочные зависимости, полученные при нескольких значениях температуры потока, включая комнатную. Как и следовало ожидать, при заданной скорости с ростом температуры потока для поддержания той же температуры (или сопротивления)

нити требуется меньшая сила тока. Задача заключалась в том, чтобы подобрать такую температуру горячей нити T_w , при которой пересчитанные в соответствии с формулой (1) градуировочные зависимости для разных T_a стали как можно ближе к опорной градуировочной кривой, полученной при $T_n=19,5^\circ\text{C}$.

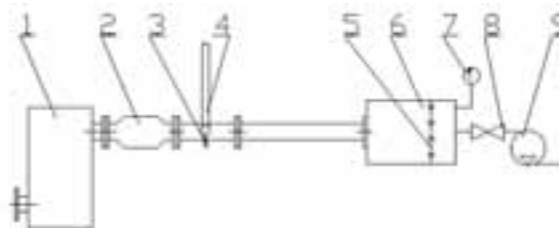


Рис.1. Схема экспериментальной установки: 1 – генератор тепла, 2 – универсальное выравнивающее устройство, 3 – термометр, 4 – датчик скорости, 5 – критические сопла, 6 – ресивер, 7 – манометр, 8 – заслонка, 9 – турбокомпрессор

Предварительно была найдена степенная функция, аппроксимирующая опорную градуировочную зависимость ($T_n=19,5^\circ\text{C}$): $I^2=2312+1212U^{0,45}$. Затем, задавшись заведомо большим значением $T_n=300^\circ\text{C}$, рассчитывалось значение критерия – суммарного среднеквадратичного отклонения всех скорректированных по формуле (1) экспериментальных точек от аппроксимирующей кривой. Полученное число сравнивалось со значением этого критерия на предыдущем шаге. Как только величина критерия прекращала уменьшаться, расчет останавливался. В противном случае, T_n уменьшалась на $0,5^\circ\text{C}$ и цикл повторялся. Таким образом удалось оценить температуру нагретой нити термоанемометра: $T_w=146,6^\circ\text{C}$. Определенное другим независимым способом значение этой характеристики оказалось весьма близким: $T_w=150,0^\circ\text{C}$.

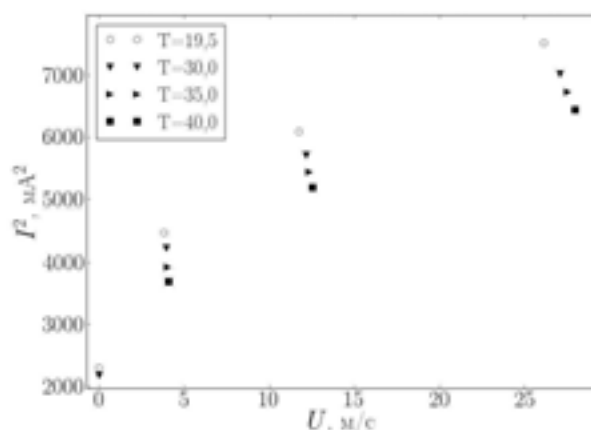


Рис. 2. Градуировочные характеристики, полученные при разных температурах потока

На рис.3 изображены градуировочные кривые при разных температурах окружающей среды до и после корректировки по формуле (1) при $T_w=146,6^\circ\text{C}$. Скорректированные экспериментальные точки отклонялись от аппроксимирующей кривой в среднем на $0,64-0,80$ м/с.

Выводы. Метод учета влияния температуры окружающей среды на измерения скорости термоанемометром по формуле (1) достаточно точен, удобен с практической точки зрения и позволяет оценить погрешность процедуры компенсации термоанемометра по температуре. Необходимые для реализации этого метода программы на языке Python отлажены и проверены на нескольких массивах данных (авторских и взятых из литературы).

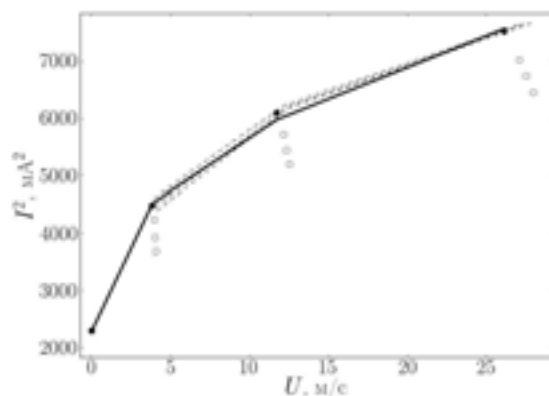


Рис.3. Градуировочные характеристики, полученные при разных температурах потока, до (точки) и после (пунктирные линии) температурной компенсации

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 13-08-97063-р_поволжье_а, 13-08-97050-р_поволжье_а, 13-08-00359-а, 13-08-00504-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kanevce G., Oka S. Correcting Hot-wire Readings for Influence of Fluid Temperature Variations // DISA Information. October 1973. No.15. P.21-24.
2. Dijk A., Nieuwstadt F.T.M. The calibration of (multi-) hot-wire probes. 1. Temperature calibration // Experiments in Fluids. 2004. Vol.36. Pp.540-549

TEMPERATURE COMPENSATION FOR HOT-WIRE VELOCITY MEASUREMENTS IN NONISOTHERMAL FLOWS

P.S. Zanko, K.R. Hayrnasov

(Research Centre for Power Engineering Problems, Kazan Scientific Centre, Russian Academy of Sciences)

The well-known scientific and engineering problem of temperature compensation for hot-wire velocity measurements in flows does not have a good solution yet. Traditional methods of the hot wire temperature estimation using the resistance of the hot wire include many factors which are hard to take into account. Also it is necessary to have expensive measuring equipment etc. In the present paper some optimal temperature of the hot wire is not measured but selected using data of velocity measurements in a nonisothermal flow. The method is illustrated using real experimental data. Some practical aspects of using the method are discussed.

УДК 621.432.263.5

ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ЭКРАНИРОВАНИЕМ ГОРЯЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОРПУСА ГТД ПРИ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ

Гимбицкий А.В.

(Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ)

Приводятся результаты экспериментального исследования тепловой защиты отсека от горячих элементов корпуса высокотемпературной энергоустановки с использованием экрана