

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТЕРМОАНЕМОМЕТРА

П.В.Гайский, А.В.Клименко, А.Ф.Урожай

Морской гидрофизический институт
НАН Украины

г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

E-mail: oaoi@alpha.mhi.iuf.net

Приводятся результаты лабораторных испытаний термоанемометрического измерителя скорости потока воды. Кратко описываются результаты градуировки измерительных каналов, методы первичной обработки и коррекции измерительной информации.

Несмотря на широкое использование термоанемометрических измерителей, основанных на теплообмене датчиков температуры со средой, в различных исследованиях, применение их в реальных полевых приборах связано с рядом нерешенных проблем.

Обзор возможных вариантов построения термоанемометров с одним и двумя датчиками приведён в [2,3]. В данной работе приводятся результаты испытаний термоанемометрического измерителя скорости потока, основанного на двух датчиках температуры (пассивном и активном с постоянным уровнем мощности нагрева).

Уравнение теплового баланса подогреваемого датчика температуры приведено в [3]. Коэффициент теплообмена датчика со средой $\alpha_i(t)$ зависит от параметров среды (которые принимаем общими для обоих датчиков) и конструктивных параметров датчиков (которые могут быть различными).

Датчики считаются сосредоточенными, соответствующими по каналу температуры при постоянной скорости обтекания инерционными звеньями 1-го порядка. Для них используются модели [1,2,3] для пассивного датчика и для нагреваемого мощностью $P(t)$ датчика. Для коэффициента теплообмена $\alpha(t)$ цилиндрического датчика используется эмпирическая формула вида [1,2]

$$\alpha(t) = \alpha_0 + c_0 d^{n-1} \nu_c^{0,4-n} \lambda_c^{0,6} \gamma_c^{0,4} c_c^{0,4} V^n(t), (1)$$

где α_0 - коэффициент теплообмена, при $V = 0$, табличные коэффициенты c_0 и n принимают значения $c_0 \approx 0,2 \div 0,93$ и $n \approx 0,4 \div 0,6$, ν_c - кинематическая вязкость среды, λ_c - теплопроводность среды, γ_c - плотность среды, c_c - удельная теплоемкость среды, d - диаметр цилиндрического, $V(t)$ - скорость потока.

Методика измерений конкретным термоанемометрическим измерителем скорости потока основана на получении, как исходного информационного параметра, разности температур между активным нагретым и пассивным ненагретым контактными датчиками температуры с одинаковыми конструктивными параметрами. В результате проведенных исследований с использованием медных и платиновых датчиков выбор был сделан на платиновых датчиках фирмы Honeywell точностью $0,01^\circ\text{C}$.

Определение градуировочных (полиномиальных) коэффициентов для данного измерителя, а именно для установки соотношения между значением разности температур ($\Delta T = T_{\text{акт.д.}} - T_{\text{пас.д.}}$) и скоростью потока ($V_{\text{обр.}}$), заданного поверочным лотком и образцовым измерителем на всем диапазоне от 0 до 5 м/с, вследствие сложности аппроксимационной кривой возможно только с помощью полинома не менее 7-ой степени и для величины, обратной полученной разности температур ($1/\Delta T$) (см.рис.1,2,3).

Изменение температуры среды измерений оказывает влияние на кинематическую вязкость и, как следствие, до 50% влияние на величину ΔT при различных скоростях

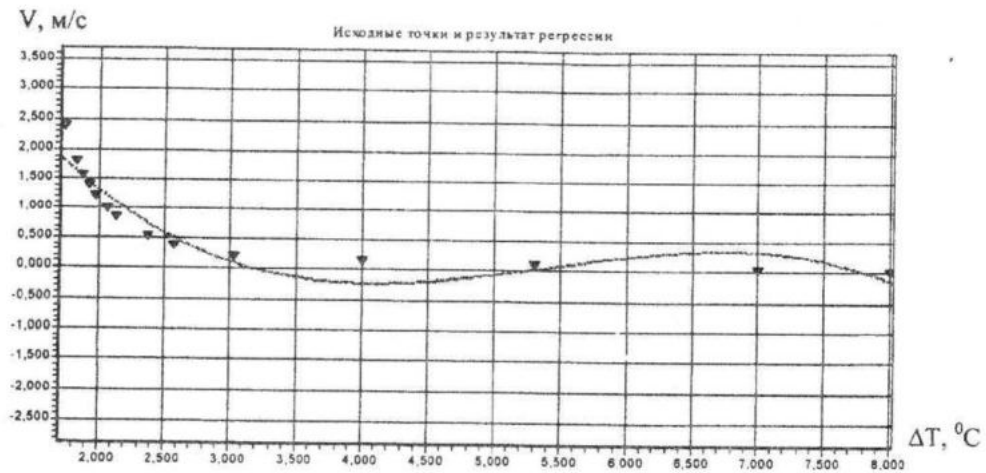


Рис.1 – Аппроксимация градуировочных данных полиномом 3-го порядка для функции $V = f(\Delta T)$

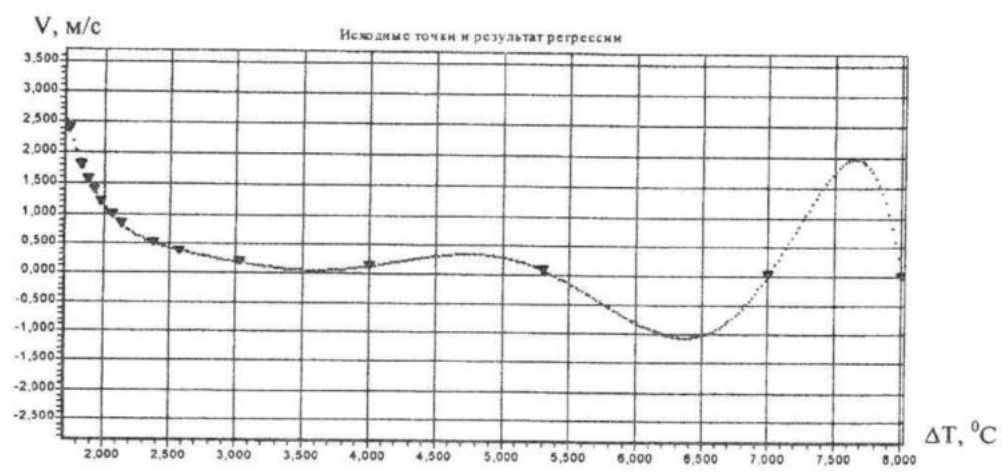


Рис.2 – Аппроксимация градуировочных данных полиномом 7-го порядка для функции $V = f(\Delta T)$

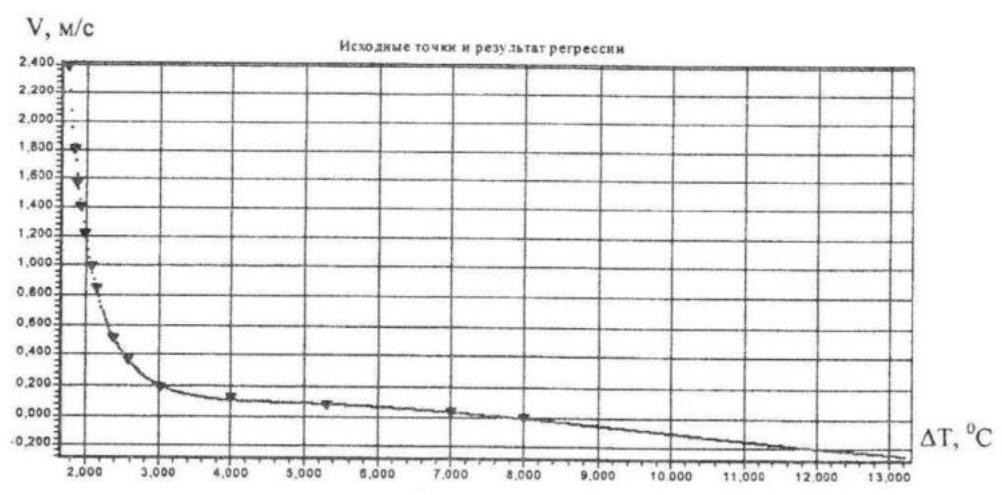


Рис.3 – Аппроксимация градуировочных данных полиномом 7-го порядка для функции $V = f(1/\Delta T)$
(Дисперсия = 0.00006297, Среднекв.отклонение = 0.0079)

обтекания вследствие изменения коэффициента теплообмена. Таким образом, для достоверного определения скорости потока необходимо вычисление поправочных коэффициентов, которые были получены посредством градуировки измерителя при различных температурах среды на заданных точках скорости и представляют из себя сложные полиномиальные зависимости (см. рис. 4, 5, 6, 7): В качестве данных о температуре среды использовались измерения пассивным датчиком. Взаимное влияние пассивного и активного датчиков при правильной установке перпендикулярно потоку в водной среде отсутствует.

Изменения температуры внутри корпуса измерителя оказывают на точность измерительных каналов незначительные воздействия, которые при необходимости могут устраняться введением поправки, вычисляемой с помощью полинома первой степени для температуры, определяемой цифровым датчиком, установленным непосредственно рядом с электроникой модуля. В данном случае использовался датчик DS1620 с погрешностью 0,5 °С.

Изменения давления (до 1 дБа) в среде измерения потока воды, осуществляемые посредством погружения измерителя на глубины до 1 м, существенных воздействий на результат не оказывали. Однако для существенно отличающихся по вязкости и плотности сред такая поправка будет необходима.

Результирующая расчетная формула расчета скорости в общем виде:

$$V = f(V_{\text{РАСЧ.ГРАД.}}, T_{\text{ГРАД.}}, T_{\text{СРЕДЫ}}, T_{\text{КОРПУСА}}, P, t), \quad (2)$$

где

$V_{\text{РАСЧ.ГРАД.}}$ - расчетная скорость по полиному $f(1/\Delta T)$;

$T_{\text{ГРАД.}}$ - температура среды во время проведения градуировки;

$T_{\text{СРЕДЫ}}$ - температура среды в момент измерения;

$T_{\text{КОРПУСА}}$ - температура внутри корпуса измерителя в момент измерения;

P - давление в среде измерений;

t - время измерения.

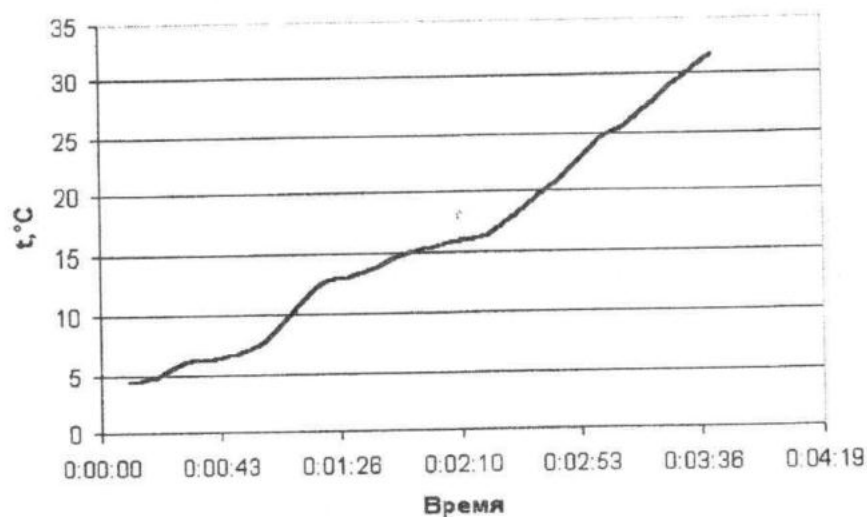


Рис. 4 – График типowego нагрева температуры воды в эталонном лотке при определении поправки скорости в зависимости от температуры среды на постоянном профиле скорости потока

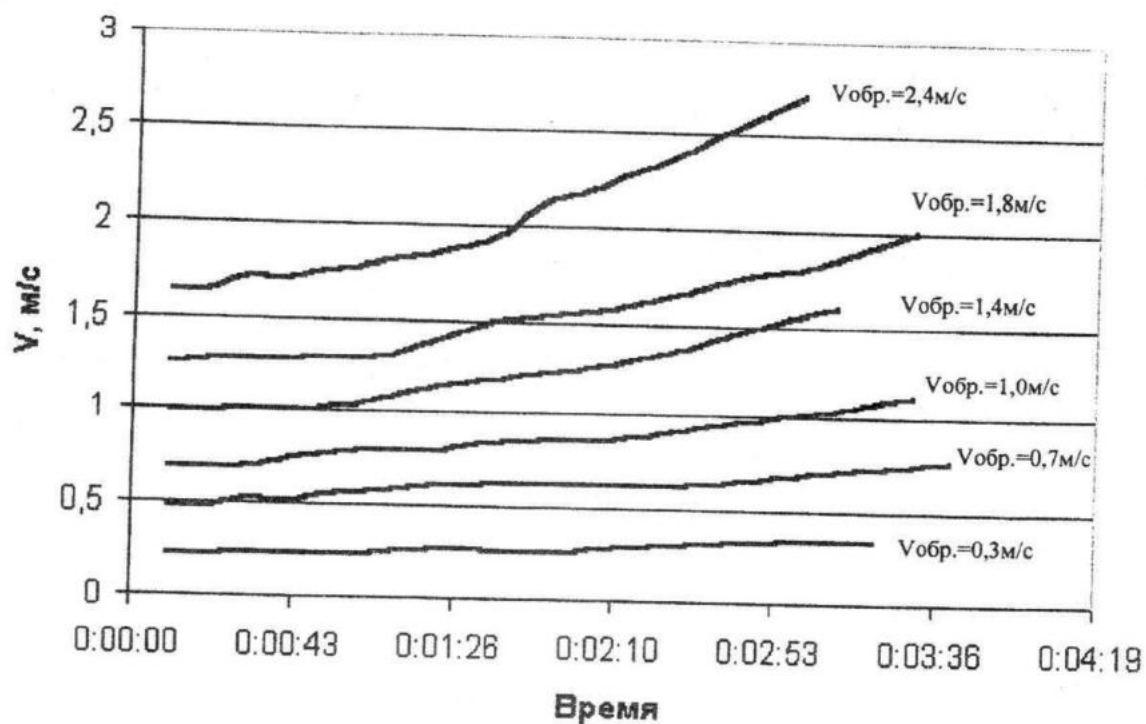


Рис.5 – Пример изменчивости вычисленной без поправки на температуру среды скорости потока при заданных постоянных скоростях и повышении температуры измерений согласно рис.4 (температура среды измерений первоначальной градуировки $V = f(1/\Delta T)$ была равна $\approx 25^\circ\text{C}$)

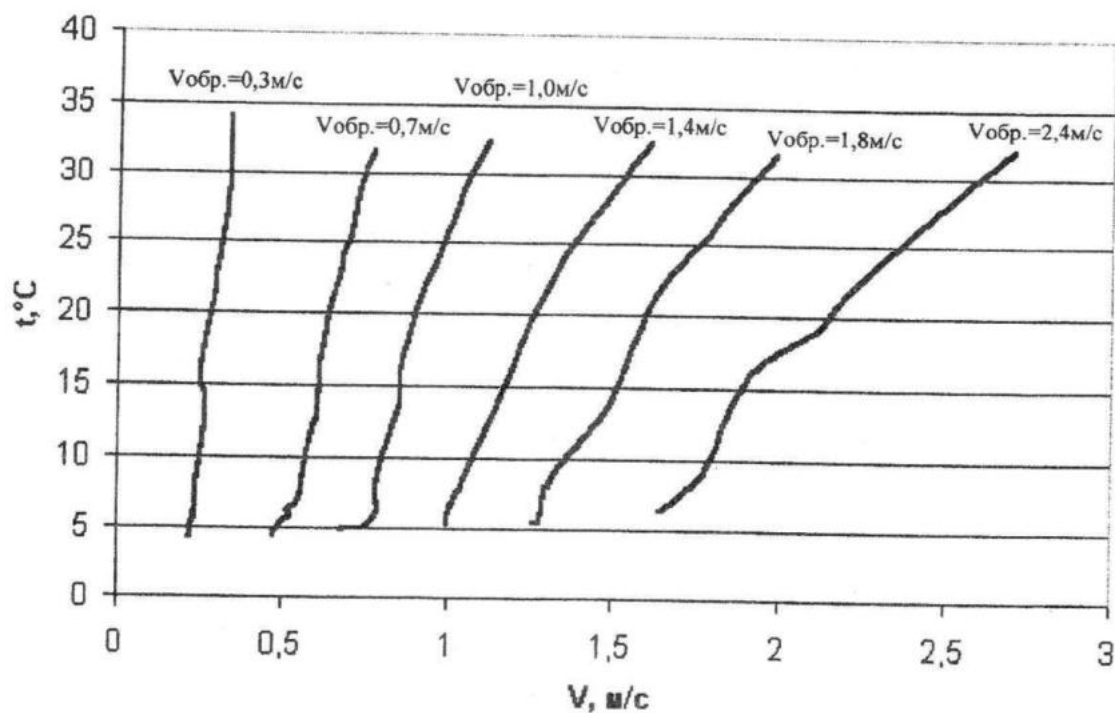


Рис.6 – Профили скорости потока без введения поправки на температуру среды измерений

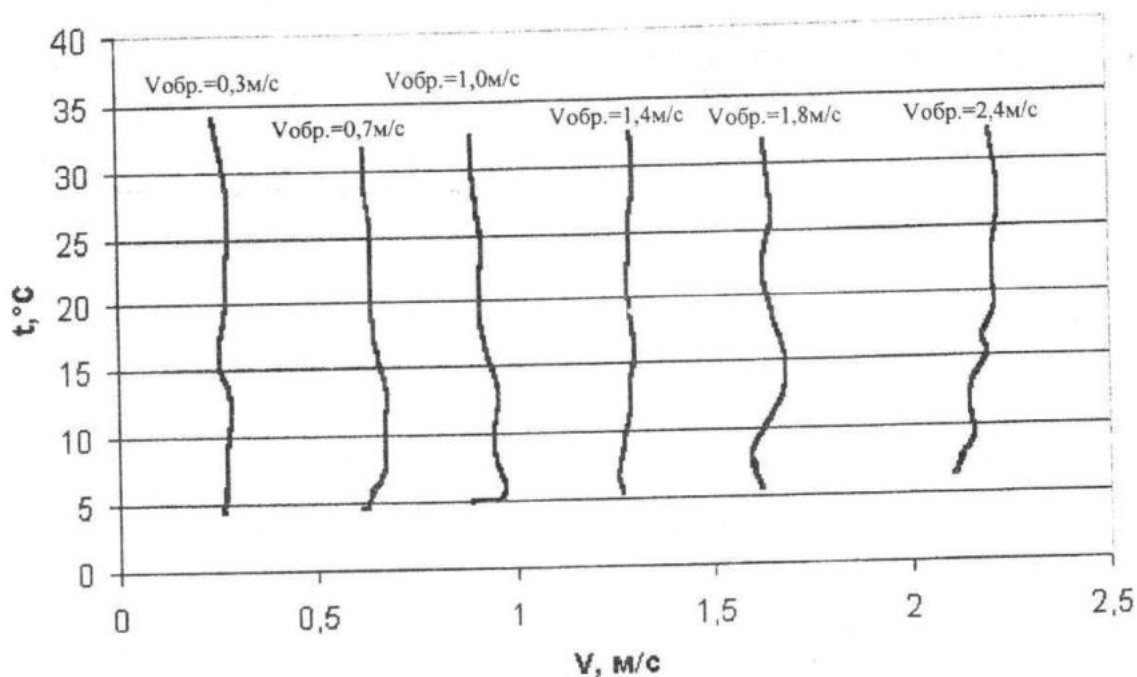


Рис.7 – Профили скорости потока после введения поправки на температуру среды измерений

Результаты испытаний показывают возможность создания точного измерителя скорости потока в жидких средах, основанного на термоанемометрическом принципе. Высокая чувствительность такого измерителя на малых скоростях обтекания является его преимуществом. В то же время необходима разработка методики коррекции результатов измерений *in situ* при изменении физических параметров среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ярышев Н.А. Теоретические основы измерения нестационарной температуры. – 2-е изд., перераб. –Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 256 с.

2. Гайский В.А., Гайский П.В., Гайский В.В. Программная модель термоанемометров Системы контроля окружающей среды : Сб.научн.тр. / НАН Украины, МГИ: Севастополь, 2004. - С.107-112

3. Гайский В.А., Гайский П.В. Анализ способов измерения профиля скорости потока термопрофилемерами. Системы контроля окружающей среды: Сб.научн.тр. / НАН Украины, МГИ: - Севастополь, 2001. - С.7-22