

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

Н.О. Григоров<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук, А.А. Светачёва<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

## ERRORS OF TEMPERATURE SENSORS INVESTIGATION

N.O. Grigorov<sup>1</sup>, Cand.Sc., A.A. Svetachova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

*В докладе приводятся результаты расчетов инерционных и шкаловых погрешностей датчиков температуры, выполненных в форме шара или цилиндра. Показано, что существуют оптимальные размеры датчика, при которых суммарная погрешность становится минимальной. Приведены конкретные величины размеров датчиков. Результаты могут быть использованы при проектировании датчиков температуры.*

*In this report some results of calculations inertia and scale thermometer errors are shown. It is shown that there are most effective sizes of sensors when total error is minimal. The values of these sizes are calculated. The results can be used to construct thermometers with minimal errors.*

Погрешности датчиков температуры складываются из двух основных частей – шкаловая погрешность и инерционная погрешность [1-4]. Шкаловая погрешность связана с чувствительностью датчика и может быть найдена по формуле:

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta h}{S}, \quad (1)$$

где  $\Delta h$  – половина цены деления шкалы прибора,  $S$  – его чувствительность, величина которой связана с конструкцией термометра, причем в жидкостных термометрах – с объемом резервуара. Таким образом, при возрастании объема чувствительность возрастает, и погрешность уменьшается.

Инерционная погрешность связана с коэффициентом тепловой инерции датчика  $\lambda$ . По определению, это время, в течение которого разность температур термометра и окружающей среды уменьшается в  $e$  раз. Коэффициент тепловой инерции может быть найден по формуле [1-4]:

$$\lambda = \frac{m_1 C_1 + m_2 C_2}{\alpha S}, \quad (2)$$

где  $m_1$  – масса ртути, а  $m_2$  – масса стекла в резервуаре,  $C_1$  и  $C_2$  – удельная теплоемкость ртути и стекла соответственно,  $\alpha$  – коэффициент конвективного теплообмена системы «резервуар – окружающая среда»,  $S$  – внешняя поверхность резервуара.

Инерционная погрешность датчика выражается формулой:

$$\Delta t_2 = \gamma \lambda \quad (3)$$

Таким образом, при возрастании объема датчика его шкаловая погрешность уменьшается, а инерционная погрешность возрастает. Следовательно, существует некоторый размер датчика, отвечающий минимальной суммарной погрешности.

В данной работе выполнен расчет оптимальных размеров датчиков температуры шарообразной и цилиндрической формы на примере жидкостных термометров. Значение радиуса капилляра  $r$  взято равным 0,06 мм, значение  $\Delta h = 0,33$  мм, остальные константы взяты из справочника [5]. Кроме того, в расчетах варьировалась скорость ветра, с учетом изменения коэффициента тепловой инерции, а значит, инерционной погрешности датчика. Зависимость коэффициента конвективного теплообмена от скорости ветра взята из работы (4):

$$\alpha = 19,0 + 32,3 \cdot V^{0,54} \quad (4)$$

В результате были получены следующие выводы.

1. Для скорости ветра 0,8 м/с, принятой для термометров в психрометрической будке, суммарная погрешность шарообразного датчика минимальна и равна 0,09 градуса при радиусе резервуара, равном 0,004 м (4 мм). При значениях внешнего радиуса от 0,0032 до 0,0053 м погрешность не превышает 0,1 градуса.

2. При увеличении скорости ветра до 6 м/с минимальная погрешность не превышает 0,05 градуса и достигается при радиусе, равном 5 мм. Возможные значения радиуса резервуара, при которых погрешность не превышает 0,1 градуса, теперь расширяются и находятся в интервале от 0,0027 до 0,015 м. При еще большем значении скорости ветра минимальная суммарная погрешность становится еще меньше.

3. Существенное влияние на погрешность измерений оказывает скорость изменения температуры воздуха. Расчеты сделаны для двух значений скорости изменения температуры воздуха  $\gamma = 0,001$  и  $0,002$  К/с, что соответствует примерно от 3.6 до 7.2 градуса в час. Как ясно из формулы (3), при меньших значениях  $\gamma$  могут быть достигнуты еще меньшие значения погрешности.

4. Для цилиндрического датчика минимум погрешности наблюдается только при быстром изменении температуры воздуха ( $\gamma = 0.004$  К/с) и широком резервуаре термометра ( $R = 7$  мм). Эта минимальная погрешность равна 0,33 К и достигается при высоте резервуара около 5 мм.

5. При значениях радиуса цилиндрического датчика меньше 7 мм (что обычно для жидкостных термометров) и скорости ветра больше 0,8 м/с наблюдается плавная зависимость суммарной погрешности от высоты резервуара  $h$  с уменьшением погрешности при увеличении высоты резервуара. Это дает возможность практически сколь угодно снизить погрешность измерения. Например, при значении  $h = 3,2$  см погрешность не превышает 0,05 К.

### Литература

1. Григоров Н.О., Саенко А.Г., Восканян К.Л. Методы и средства гидрометеорологических измерений. Метеорологические приборы. //Учебник по курсу//. - С-Пб.: РГГМУ, 2012.– 306 с.
2. Качурин Л.Г. Методы метеорологических измерений. Методы зондирования атмосферы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985.– 465 с.
3. Григоров Н.О., Восканян К.Л., Караваева М.С. О соотношении чувствительности и тепловой инерции различных типов термометров. Труды РГГМУ, №33, 2014 г., СПб, с. 69-77.
4. Тепловая инерция чувствительного элемента термометров и исследование его теплообмена с окружающей средой. Григоров Н.О., Савченко Г.А. Заочный доклад на III Международном молодежном научном форуме «Молодая наука - 2015», посвященным 70-летию Победы в Великой Отечественной войне. Туапсе, март 2015 г.
5. Кухлинг Х. Справочник по физике. Перевод с немецкого под ред. Е.М. Лейкина. М.: Мир, 1983.– 520 с.