

Опыт модернизации термопрофилографа.

А.А. Вострокнутов, Л.А. Ковешников,
В.П. Якубовский

Экспериментальное отделение Морского гидрофизического института НАН Украины
334247, п. Кацивели, г. Ялта, ул. Шулейкина, 9

Широкое применение компьютерной техники в автоматизированных системах контроля окружающей среды позволяет многие некогда окончательно решённые принципиальные вопросы конструирования измерительных устройств рассматривать в вариантах и выбирать из этих вариантов наиболее приемлимые.

В качестве примера может служить исследование, выполненное в ЭО МГИ НАНУ, позволившее вдвое сократить количество проводящих жил, соединявших датчики термопрофилографа с аппаратурой, что привело в итоге к уменьшению диаметра и парусности "косы" с датчиками, меньшему отклонению "косы" течением от вертикали, к которой она стремится под действием груза. Кроме того, сокращение количества проводящих жил позволяет удешевить линию связи датчиков.

Классическая схема соединения активного измерительного моста с датчиком (термопрофилограф "Гроздь" измерительного комплекса "Ринг" содержит 16 активных измерительных мостов) — четырёхпроводная линия, в которой два провода представляют собой петлю, включенную в мост, устраняющую влияние внешней температуры, воздействующей на линию, на результат измерения.

Для данного исследования была введена предпосылка. Речь идёт о термопрофилографе, который в силу своего назначения фиксирует распределение температуры вдоль кабелей датчиков. На рисунке 1 показана схема соединения с аппаратурой четырёх температурных датчиков. Остальные датчики соединяются аналогично. Один измерительный канал выделен для измерения температуры воздуха. Зная распределение температуры вдоль "косы" — вначале с некоторой погрешностью, — легко рассчитать и устранить ошибку в измерении температуры данного горизонта, которую вносит двупроводная линия в отсутствие петли.

Оценим для нашего конкретного случая максимальное значение ошибки измерения,

которая может возникнуть в случае отказа от петли при условии, если эту ошибку не устранить расчетным путём.

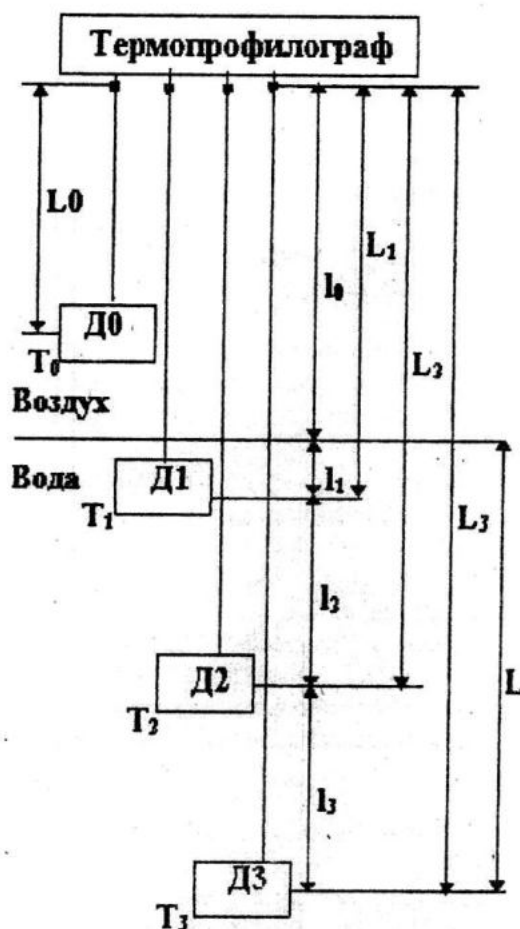


Рис. 1. Схема разбивки линии связи датчиков на участки.

Д - датчик температуры T ;
L - линия связи датчика;
l - составляющая длины линии связи датчика.

Реально в аппаратуру поступает суммарная информация с двух последовательно соединённых элементов: датчика и линии связи, которая сама является распределённым датчиком интегральной температуры среды по её длине.

Глубина моря в месте расположения платформы не превышает 30 м. Длина линии связи самого отдалённого датчика может быть сделана при рациональном размещении аппаратуры не больше 35 м. Из этих 35 м участок $L=28$ м проходит в морской воде (общая длина одинарного провода $2L=56$ м) и 7 м — в воздухе при длине одинарного провода $2l_0=14$ м.

Для температуры морской воды, основываясь на многолетних наблюдениях в ЭО МГИ, примем пределы измерения от

4°C до 30°C. Для воздуха - пределы измерения от -20°C до 40°C. С большой долей вероятности калибровка температурных каналов аппаратуры выполняется в интервале температур воздуха лаборатории 10 ÷ 25°C. Естественно предположить, что температура соединительных проводов (линий связи) при калибровке имеет то же значение 10 ÷ 25°C. Отсюда, при эксплуатации аппаратуры максимально возможное отклонение температуры проводов от температуры в момент калибровки:

- в морской воде $\Delta T' = 21^\circ\text{C}$,
- на воздухе $\Delta T'' = 45^\circ\text{C}$.

Экспериментальным путем был найден удельный температурный коэффициент электрического сопротивления примененного для линий связи провода

$$K_Y = 2,82 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}/^\circ\text{C м.}$$

Находим: участок линии связи, проходящий в морской среде, в самых неблагоприятных условиях может изменить свое сопротивление на величину

$$\Delta R' = 2 K_Y \Delta T' \cdot L;$$

$$\Delta R' = 0,332 \text{ Ом};$$

участок линии связи, проходящий в воздухе, может изменить свое сопротивление на

$$\Delta R'' = 2 K_Y \Delta T'' \cdot l_0;$$

$$\Delta R'' = 0,178 \text{ Ом.}$$

Наибольшие перепады температур воздействуют на линии связи зимой. Изменения сопротивлений участков L и l_0 протекают в одном направлении, $\Delta R'$ и $\Delta R''$ складываются. Таким образом, при самых неблагоприятных условиях сопротивление линии связи, включенное в измерительную схему последовательно с датчиком температуры воды, изменит свою величину не больше, чем на

$$\Delta R' + \Delta R'' = 0,51 \text{ Ом.}$$

Регистрирующей аппаратурой это изменение сопротивления в цепи датчика воспринимается, как дополнительное изменение температуры среды. Коэффициенты преобразования датчиков температуры морской воды и воздуха известны, соответственно, K_d' и K_d'' . Отсюда находим, что максимальная абсолютная ошибка измерений температуры воды, которую вносит линия связи, не превышает

$$\Delta' = \frac{\Delta R' + \Delta R''}{K_d'} = 0,114^\circ\text{C}$$

Для датчика температуры воздуха длину линии связи берем равной $L_0 = 3 \text{ м}$.

Максимальная абсолютная ошибка, которую может внести эта линия в измерения

температуры воздуха при самых неблагоприятных условиях

$$\Delta'' = \frac{2 K_Y \Delta T'' \cdot L_0}{K_d''}$$

$$\Delta'' = 0,038^\circ\text{C.}$$

Алгоритм устранения ошибки измерения на данном горизонте в отсутствие петли.

Обозначения.

\mathbb{N} – номер измерительного канала, датчика и прилегающего к датчику отрезка “юсы”;

$T_{\mathbb{N}}$ – измеренная каналом \mathbb{N} температура без поправки: T_0' – воздуха, T_1' – воды у поверхности моря и т.д.

“Коса” линии связи датчиков разбивается по длине (см. рис. 1.) на участки $l_{\mathbb{N}}$: нулевой – теоретически гладкой поверхностью моря, первый и т.д. – погружаемыми датчиками.

Средняя температура участков $l_{\mathbb{N}}$ определяется в процессе измерений как среднее арифметическое значений температур их крайних точек. Данные поступают с соответствующих датчиков. Исключением являются участки l_0 и l_1 : участок, находящийся в воздухе (l_0) и участок l_1 от поверхности моря до верхнего датчика юсы Д1. Для участка l_0 температура снимается с датчика Д0, для участка l_1 – с датчика Д1.

В момент калибровки измерительных каналов термопрофилографа, принимая в качестве константы значение температуры воздуха лаборатории, в которой выполняется калибровка, фиксируется температура кабелей T_K .

Абсолютная ошибка измерения канала температуры воздуха, внесенная линией связи

$$\Delta_0 = \frac{2 K_Y (T_0' - T_K) \cdot L_0}{K_d''}$$

Для канала измерения температуры морской воды абсолютная ошибка измерения, внесенная линией связи, определяется как сумма ошибок, возникающих в отдельных участках l линии.

Ошибка второго температурного канала

$$\Delta_1 = \frac{2 K_Y}{K_d'} ((T_0' - T_K) l_0 + (T_1' - T_K) l_1)$$

Ошибка канала под номером \mathbb{N} , исключая нулевой и первый

$$\Delta_n = \Delta_1 + \frac{2 K_y}{K'd} \sum_{i=2}^n \left(\frac{T'_{i-1} + T'_i}{2} - T_K \right) l_i$$

Скорректированное измеренное значение температуры, свободное от ошибки, внесенной линией связи,

$$T_n = T'_n - \Delta_n$$

$$n = 0, 1, 2, 3 \dots$$

Коррекция ошибок измерений осуществляется тем точнее, чем короче участки l_i , на которые разбивается "коса" линий связи датчиков. Как было показано, при

длине линий 35 м ошибка измерений без коррекции при самых неблагоприятных условиях не превышает $0,12^\circ\text{C}$. Учитывая это, следует ожидать, что замена корректирующих петель в линиях связи алгоритмом коррекции ошибок расчетным путем при числе измерительных каналов 16 и длинах участков l порядка $2 \div 3$ м окажется весьма эффективны в случае необходимости сократить количество проводов в "косе". По абсолютному значению ошибка измерений будет $\ll 0,12^\circ\text{C}$, где-то одного порядка с ошибками электронной схемы измерителя.