

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Зори А. А., Коренев В. Д., Хламов М. Г.

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

кафедра электронной техники

E-mail: kaf-et@kita.dgtu.donetsk.ua

Abstract

Zory A.A., Korenev V.D., Khlamov M.G. Increase of exactness of hydrophysics measuring devices of temperature. The questions of application of methods of increase of exactness of facilities of measurings in development of high-fidelity measuring devices of temperature for hydrophysics informatively - measuring system are considered.

Методы измерения температуры жидких сред подразделяются на контактные и бесконтактные. Контактные основаны на введении в измеряемую среду преобразователя, содержащего чувствительный элемент. При этом за температуру среды принимают температуру чувствительного элемента измерительного преобразователя. В гидрофизических исследованиях в основном применяют контактные методы, реализуемые с помощью термопреобразователей сопротивления (ТС) или термоэлектрических преобразователей. Термоэлектрические преобразователи (термопарные) для прямых измерений абсолютных значений температуры малоприменимы и рассматриваться здесь не будут.

Основной статической характеристикой любого средства измерений (СИ) является его статическая характеристика преобразования — СХП. Она может быть задана в виде уравнения, графика или таблицы. В общем случае она при $X(t)=\text{const}$ может быть записана

$$Y = F(X, q, \theta, \xi, \eta),$$

где X — информативный параметр входного сигнала СИ; Y — информативный параметр выходного сигнала СИ; q — вектор параметров СИ; θ — вектор внешних по отношению к СИ влияющих величин (возмущений); ξ — вектор собственных влияющих величин (помех), возникающих в СИ; η — вектор воздействия неинформативных параметров входного сигнала на свойства СИ.

В общем случае СХП отдельных одностипных СИ несколько отличаются друг от друга, т.е. каждое СИ характеризуется индивидуальной ХП. Для большой группы одностипных СИ в качестве обобщенной характеристики принимается усредненная СХП, справедливая для различных режимов работы СИ. Присвоенная СИ характеристика называется номинальной СХП, на основе которой выполняется расчет измеряемой величины X по значению выходного сигнала СИ.

Основными причинами возникновения погрешностей СИ являются следующие [1, 2, 3]:

- отклонение реальной СХП от номинальной под воздействием внешних по отношению к СИ влияющих величин (θ);
- изменение параметров СХП под воздействием собственных (внутренних) влияющих величин (ξ);
- изменение параметров СХП под воздействием неинформативных параметров сигнала поля измеряемой физической величины (η).

Существующее многообразие современных методов повышения точности СИ можно разделить на 2 группы: а) методы устранения или сведения к минимуму причин появления

погрешностей (методы стабилизации СХП СИ); б) методы снижения уровня существующих погрешностей (методы коррекции погрешностей СИ).

Сущность первой группы методов состоит в том, что каким – либо способом обеспечивается неизменность во времени реальной СХП СИ, ее независимость (или малая зависимость) от внешних (θ) и внутренних (ξ) влияющих величин и близость к номинальной СХП. Сущность второй группы методов состоит в том, что в процессе применения СИ каким-либо способом оценивают отличие его реальной СХП от номинальной и изменяют реальную СХП так, чтобы она все время была близка к номинальной.

Обычно стабилизация реальной СХП СИ в первую очередь обеспечивается применением конструктивно-технологических и защитно-предохранительных (консервативных) методов. Первые предусматривают применение материалов и элементов высокого качества с наиболее стабильными параметрами, а вторые - направлены на уменьшение воздействия внешних влияющих величин на СИ или его отдельные узлы и элементы [2]. Применение консервативных методов снижения погрешностей измерительных каналов и датчиков СИ температуры гидрофизических ИИС описано авторами в [4].

Требования к точности измерителей температуры современных гидрофизических ИИС настолько высоки, что даже использование современных технологий и конструкций (классических методов консервативной группы) не позволяет обеспечить требуемую точность [5]. Авторами для этой цели были использованы структурные методы стабилизации реальной СХП СИ температуры. Сущность этих методов сводится к построению такой структуры СИ, которая бы обеспечивала инвариантность выходного сигнала СИ к воздействию влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала. Большое разнообразие структурных методов стабилизации СХП сводится к двум принципиально разным способам [1]. К одному из них относят метод отрицательной обратной связи (ООС), являющийся основным способом стабилизации СХП электронных устройств СИ. Этот способ является универсальным, так как с помощью ООС уменьшается суммарный эффект от действия различных внутренних и внешних дестабилизирующих факторов. Однако и его применение в измерителях температуры гидрофизических ИИС, в комплексе с консервативными методами, не обеспечивает требуемого повышения точности.

Поскольку возможности методов стабилизации реальной СХП измерительного канала термометра сопротивления были исчерпаны, стало целесообразным применение структурно-алгоритмических методов коррекции погрешности [3]. При наличии аддитивной и мультипликативной составляющих погрешности уравнение измерения СИ, имеющего линейную характеристику преобразования, имеет вид:

$$y = K \cdot [1 + \delta_m(t)] \cdot x + \Delta y(t) = K \cdot [1 + \delta_m(t) + \delta_a(t)] \cdot x ,$$

где K — коэффициент преобразования СИ; $\delta_m(t)$ — суммарная относительная мультипликативная погрешность; $\Delta y(t)$ — суммарная абсолютная аддитивная погрешность на выходе СИ; $\delta_a(t) = \Delta y(t)/(K \cdot x)$ — относительная аддитивная погрешность, приведенная ко входу СИ; x — входная измеряемая величина; y — выходной сигнал (величина) СИ.

В измерительных каналах термометров сопротивления имеют место обе составляющие погрешности — аддитивная и мультипликативная (Δy и δ_m), обусловленные напряжением смещением нуля измерительного операционного усилителя постоянного тока (ОУПТ) и изменением его коэффициента передачи под действием внешних дестабилизирующих факторов. Они особенно существенны в натуральных условиях. Разработана функциональная схема (см. рисунок), реализующая коррекцию оговоренных погрешностей.

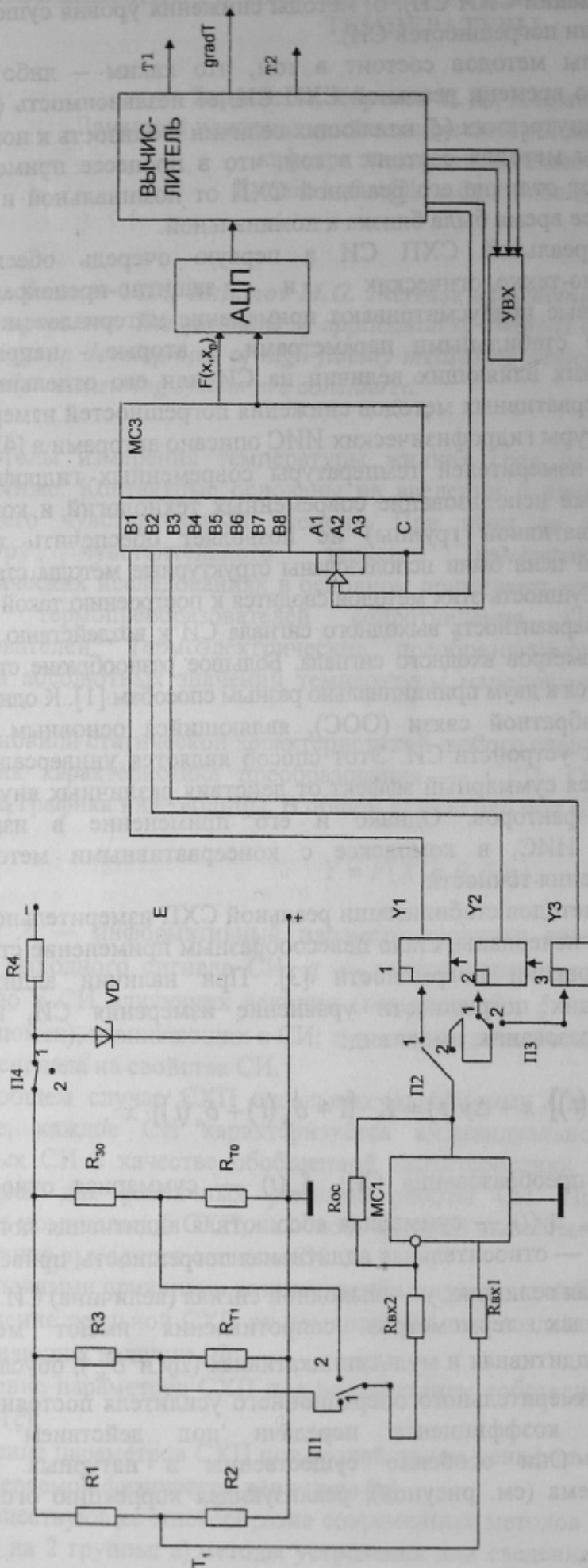


Рисунок 1 — Функциональна схема устройства, осуществляющего коррекцию аддитивной и мультипликативной погрешности

На базе общих двух плеч моста (R_1, R_2) образованы измерительный мост (R_1, R_2, R_3, R_{T1}), обеспечивающий измерения температуры T_1 в одной точке среды, и мост (R_1, R_2, R_{30}, R_{T0}), формирующий образцовое воздействие (эквивалент образцовой температуры T_0). Для компенсации погрешности от нестабильности напряжения питания они оба подключены к общему источнику питания (параметрический стабилизатор напряжения R_4, VD) через переключатель $П_4$.

Выходные сигналы с измерительного и образцового мостов усиливаются дифференциальным усилителем МС1, реализованном на ОУПТ типа 140УД17. Неинвертирующий вход усилителя подключен через $R_{вх1}$ к общим плечам моста (R_1, R_2), а инвертирующий с резистором $R_{вх2}$ через переключатель $П_1$ подключается в положении 1 к измерительному, а в положении 2 к образцовому мостам. Резистор обратной связи $R_{ос}$ определяет требуемый коэффициент усиления. Выходной сигнал усилителя через переключатели $П_2$ и $П_3$ подключается к трем элементам памяти (1, 2, 3) для каждого из каналов, представляющих собой, например, схемы выборки-хранения. Выходы этих схем через мультиплексор МС3 поочередно коммутируются ко входу АЦП.

В первом цикле работы устройства переключатели $П_1, П_2$ и $П_3, П_4$ в 1-ом положении, при этом в элементе 1 памяти фиксируются преобразования входного воздействия x (измеряемая температура) с аддитивной и мультипликативной погрешностями

$$y_1 = K \cdot (1 + \delta_m) \cdot x + \Delta y(t),$$

где K — коэффициент передачи измерительного канала.

Во втором цикле формируется значение аддитивной погрешности Δy . Переключатели $П_1, П_3$ в 1-ом положении, $П_2, П_4$ — во 2-ом. При этом измерительный мост обесточен и на входе усилителя формируется сигнал смещения «0» усилителя. Выходной сигнал при этом фиксируется во 2-ом элементе памяти. При этом

$$y_2 = \Delta y(t + \tau).$$

Этот сигнал сформирован спустя время τ после основного. При вычитании сигналов $y_1 - y_2$ получим

$$y_1 - y_2 = K \cdot (1 + \delta_m) \cdot x + \varepsilon_y(t),$$

где $\varepsilon_y(t) = \Delta y(t) - \Delta y(t + \tau)$ — остаточная аддитивная погрешность. Если $\Delta y(t)$ — стационарный центрированный случайный процесс, то математическое ожидание $M(\varepsilon_y) = 0$, а дисперсия

$$D(\varepsilon_y) = 2 \cdot D[\Delta y(t)] \times [1 - R(\tau)],$$

где $D[\Delta y(t)]$ — дисперсия погрешности $\Delta y(t)$, $R(\tau)$ — коэффициент автокорреляции на интервале времени τ .

Следовательно, этот метод обеспечивает эффективное уменьшение аддитивной погрешности, если преобладает ее систематическая составляющая

$$\Delta y(t) = \Delta y(t + \tau),$$

при этом $\varepsilon_y(t) \approx 0$. Если преобладает случайная составляющая, то он эффективен только для сильной корреляции [$R(\tau) \approx 1$].

Третий цикл — преобразование образцовой меры. Он аналогичен циклу 1. В нем вместо входного воздействия подключена образцовая мера x_0 (образцовая температура), для чего $П_1, П_2,$

P_3 переключены в положение 2, а P_4 — в 1. Выходной сигнал фиксируется в 3-ем элементе памяти. При этом

$$y_3 = K \cdot (1 + \delta_m) \cdot x_0 + \Delta y(t).$$

Если вычесть из результатов измерений 1 и 3 циклов (y_1 и y_3) аддитивную погрешность (y_2), то получим с учетом их неодновременного измерения

$$y_1 - y_2 = y'_1 = K \cdot [1 + \delta_m(t)] \cdot x,$$

$$y_3 - y_2 = y'_3 = K \cdot [1 + \delta_m(t + \tau)] \cdot x_0,$$

где $\delta_m(t)$ и $\delta_m(t + \tau)$ — мультипликативная погрешность в прямом и образцовом (дополнительном) преобразовании.

При выполнении операции их деления, получим

$$\frac{y'_1}{y'_3} = \frac{[1 + \delta_m(t)] \cdot x}{[1 + \delta_m(t + \tau)] \cdot x_0}.$$

Если мультипликативная погрешность систематическая и очень медленно изменяется, т.е. $\delta_m(t) \approx \delta_m(t + \tau)$, то результат от нее не зависит:

$$\frac{y_1 - y_2}{y_3 - y_2} = \frac{x}{x_0} \text{ и } x = \frac{y_1 - y_2}{y_3 - y_2} \cdot x_0.$$

В результате описанных преобразований формируется значение температуры с исключенными аддитивной и мультипликативной составляющими погрешности измерительного канала. Применение структурно-алгоритмического метода для компенсации смещения нуля и изменения коэффициента усиления измерительного канала температуры позволило уменьшить погрешность измерения температуры в 1,5 раза.

Литература

1. Земельман М.А. Автоматическая коррекция погрешностей измерительных устройств. — М.: Изд – во стандартов, 1972. — 199с.
2. Скрипник Ю.А. Повышение точности измерительных устройств. — Изд-во «Техніка», Киев, 1976 — 264 с.
3. Таланчук П.М., Скрипник Ю.О., Дубровний В.О. Засоби вимірювання в автоматичних інформаційних та керуючих системах: Підручник для студентів вузів, які навчаються із спец. «Автоматизація технологічних процесів і виробництв», — К.:Радуга, 1994. — 672с.
4. Зори А.А., Корнев В.Д., Хламов М.Г. Методы, средства, системы измерения и контроля параметров водных сред. — Донецк, РИА ДонГТУ, 2000. — 388с.
5. Greagg M C., Cox C. S. Measurement of the oceanic microstructure of temperature and electrical conductivity// Dec-Sea, Res. — 1998. — Vol. 18. — № 9. — P. 925–934.