

МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Зори А. А., Савкова Е. О.

Донецкий национальный технический университет, кафедра АСУ

Abstract

Zori A. A., Savkova E. O. Methods of reduction of a dynamic error of hydro-physical information-measuring systems. Methods of reduction of a dynamic error of the measuring channel of temperature are considered. The program method of iterative approximation of corrected size of temperature to real value measuring the parameter is offered, allowing to reduce a dynamic error of the measuring channel of temperature up to size of the double value of accuracy of iterative algorithm.

Учитывая многопараметрический и изменчивый характер физических процессов, протекающих в океане, современный гидрофизический эксперимент требует, как правило, комплексного подхода. В настоящее время на вооружении океанологов находится большой арсенал различного рода исполнения зондирующих, буксируемых и автономных многоканальных измерительных гидрофизических систем. В большинстве своем они непременно оснащаются каналами измерения основных гидрофизических параметров и способны регистрировать их распределение по глубине и во времени.

Основными гидрофизическими параметрами водной среды являются температура – T , удельная электрическая проводимость УЭП – \aleph , давление – P и скорость – V . Они являются первичными, так как определяются прямыми измерениями. Значительная часть характеристик определяется косвенно, путем расчетов по непосредственно измеряемым параметрам с использованием универсального полинома типа:

$$F = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} \cdot T^i \cdot \aleph^j, \quad (1)$$

Среди вторичных параметров наиболее важными являются концентрация солей (соленость – S) и плотность σ водной среды.

Современное состояние гидрофизических исследований требует оперативного (в процессе эксперимента) получения вторичных параметров, что позволяет оптимизировать эксперимент, уменьшить избыточность данных и повысить достоверность информации.

Расчет производных (вторичных) гидрологических параметров основан на зависимости их от температуры, удельной электрической проводимости и глубины. Наиболее приемлемыми для оперативного расчета вторичных параметров являются полиномы вида:

$$S, \sigma_t(R, T, p) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^m a_{ijk} (R - R_0)^i (T - T_0)^j (P - P_0)^k, \quad (2)$$

где R_0, T_0, P_0 – постоянные величины, R – относительная электрическая проводимость или

$$S, \sigma_t = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} T^i R^j \quad (3)$$

Они универсальны, так как имеют одинаковые выражения для расчета всех вторичных параметров: солености, условной плотности, скорости распространения звука, оптического показателя преломления и др. Их применение позволяет унифицировать программное обеспечение ПЭВМ и снизить затраты времени на его разработку.

Для измерения первичных параметров используются информационно-измерительные системы океанографических и гидроэкологических исследований (ИИС), снабженные соответствующими измерительными каналами. Канал включает первичный измерительный преобразователь (ПИП) и измерительный канал (ИК), представляющий собой преобразовательно-усилительную схему, выходной параметр которой (напряжение, ток, код и т.п.) связан с измеряемой физической величиной некоторой функцией, называемой градуировочной характеристикой. Принципы действия этих каналов базируются на различных методах измерений. Это обусловлено тем, что каждый из методов дает удовлетворительные результаты лишь в определенном диапазоне параметров исследуемых сред. Кроме измерительных каналов такие системы комплектуются вычислительными средствами и программным продуктом, обеспечивающим измерение, обработку, коррекцию и регистрацию данных гидрофизических полей.

В автоматизированных зондовых информационно-измерительных системах вследствие последовательного опроса измерительных каналов условие полной синхронности измерения параметров T , N и P на практике не выполняется. Основными доминирующими причинами погрешностей при определении вторичных параметров – солёности, плотности и т.д. в режиме зондирования являются различные динамические характеристики измерительных каналов, обусловленные различной инерционностью первичных измерительных преобразователей, и последовательный способ первичных параметров. Поскольку преобразователи электрической проводимости и давления существенно менее инерционны относительно термометра сопротивления, то основным источником динамической погрешности является ПИП температуры. Динамическая погрешность определения температуры определяется выражением:

$$\Delta_{dyn} = t_g \cdot gradT \cdot \bar{V}_3 \quad (4)$$

Как следует из (4), динамическая погрешность Δ_{dyn} пропорциональна постоянной времени преобразователя t_g , скорости зондирования \bar{V} и градиенту температуры $gradT$. При океанологических исследованиях для максимальных вертикальных градиентов температуры $0,5^\circ\text{C}/\text{м}$, довольно часто встречающихся в океане, скорости зондирования $1 \text{ м}/\text{с}$ и постоянной времени преобразователя температуры $0,5 \text{ с}$ (как у одного из лучших отечественных зондов «Исток-5») динамическая погрешность достигает $0,25^\circ\text{C}$, что в 10-50 раз больше основной инструментальной погрешности, характерной для современных зондирующих комплексов /1/. При этом погрешности определения вторичных параметров (например, солёности) с учетом линеаризации алгоритма ее определения в диапазоне температур $0-30^\circ\text{C}$ составляют $0,2\text{‰}$.

Уменьшение динамической погрешности осуществляют уменьшением постоянной времени преобразователя температуры или компенсацией ее аппаратными либо программными методами. Уменьшение инерционности термометра сопротивления влечет за собой нестабильность градуировочной характеристики преобразователя и снижение надежности. К конструктивно-инструментальным методам повышения точности измерений температуры относятся и градиентометрический метод измерений /2, 3/. При этом увеличивается стоимость системы, так как требуется наличие двух идентичных по динамическим характеристикам преобразователей, что влечет за собой проведение предварительных экспериментальных исследований каналов с соответствующим набором измерительных сред.

Наряду с конструктивными методами широко применяют программные методы коррекции динамической погрешности. К программным методам уменьшения погрешности канала температуры относится метод коррекции по трем точкам, описанный в /4/ и реализованный в устройстве /5/. Этот метод основан на предположении, что на отрезке времени, на котором производятся три измерения, зависимость температуры от времени $T(\tau)$ с достаточ-

ной точностью описывается кривой второго порядка:

$$T(\tau) = a_0 + a_1 \cdot \tau + a_2 \cdot \tau^2 \quad (5)$$

где a_0, a_1, a_2 – коэффициенты, которые находят для i -того отрезка времени по известным показаниям T_i, T_{i+1}, T_{i+2} в соответствующие моменты времени $\tau=0, t, 2t$:

$$\begin{aligned} a_0 &= T_i; \\ a_0 + a_1 t + a_2 t^2 &= T_{i+1}; \\ a_0 + 2a_1 t + 4a_2 t^2 &= T_{i+2}; \end{aligned} \quad (6)$$

где t – интервал опроса датчика.

Поскольку переходная характеристика термометра сопротивления описывается дифференциальным уравнением:

$$T_k = t_g \frac{dT}{d\tau} + T \quad (7)$$

где t_g – постоянная времени переходного процесса датчика температуры, то подставляя выражение (5) в формулу (7) получим выражение для текущего скорректированного значения температуры T_{ki} :

$$\begin{aligned} T_{ki} &= T_i \left(1 - \frac{3t_g}{2t} + \frac{t_g \tau}{t^2} - \frac{3\tau}{t} + \frac{t_g \tau}{t^2} \right) + T_{i+1} \left(\frac{2t_g}{t} - \frac{2t_g \tau}{t^2} + \frac{2\tau}{t} - \frac{\tau^2}{t^2} \right) + \\ &+ T_{i+2} \left(\frac{t_g \tau}{t^2} + \frac{\tau}{2t^2} - \frac{t_g}{2t} - \frac{\tau}{2t} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

Если учесть, что интервал опроса постоянен и равен t , т.е. $\tau = it$, выражение (8) принимает вид

$$T_{ki} = T_i \left(1 + \frac{i}{2}(i-3) + \frac{t_g}{t}(i - \frac{3}{2}) \right) - T_{i+1} \left(\frac{2t_g}{t}(i-1) + i(i-2) \right) + T_{i+2} \left(\frac{t_g}{t}(i - \frac{1}{2}) + \frac{i}{2}(i-1) \right). \quad (9)$$

На рис. 1 приведены графики, отображающие результаты моделирования процесса коррекции для датчика с постоянной времени 1 с и скоростью зондирования 1 м/с. Кривая (а), отображающая реальное значение температуры водной среды, была получена с помощью менее инерционного датчика (0.1 с) при частоте опроса 1 с. Кривая (б) отображает показания термометра сопротивления с инерционностью 1 с и при скорости зондирования 1 м/с при той же частоте опроса. Кривая (в) – график скорректированной температуры с использованием вышеописанного метода. Из результатов моделирования следует, что предложенный метод коррекции дает отличные результаты при незначительных изменениях температуры в соседних точках измерения. В районе термоклина, где изменение температуры существенно наблюдается расхождение между реальным значением измеряемого параметра и скорректированным показателем, однако при этом имеет место меньшая погрешность, чем при прямых результатах измерений. Погрешность измерений в районе термоклина уменьшается на 50%.

Для дополнительного уменьшения динамической погрешности в районе термоклина предложен метод итерационного приближения корректируемой температуры к ее реальному значению. Метод основан на следующих предположениях:

1. Значение температуры, полученное с первичного измерительного преобразователя на текущем i -том шаге измерений T_i является сглаженным и «задержанным» по сравнению с реальной температурой среды.
2. Скорректированное значение на $(i-1)$ -ом шаге $T_{k,i-1}$ принимается равным реальному значению температуры окружающей среды в данной точке измерений.
3. Термометр сопротивления представляет собой аperiodическое звено первого порядка.

Для его реализации вычисляют величину перепада температуры в двух соседних точках измерения.

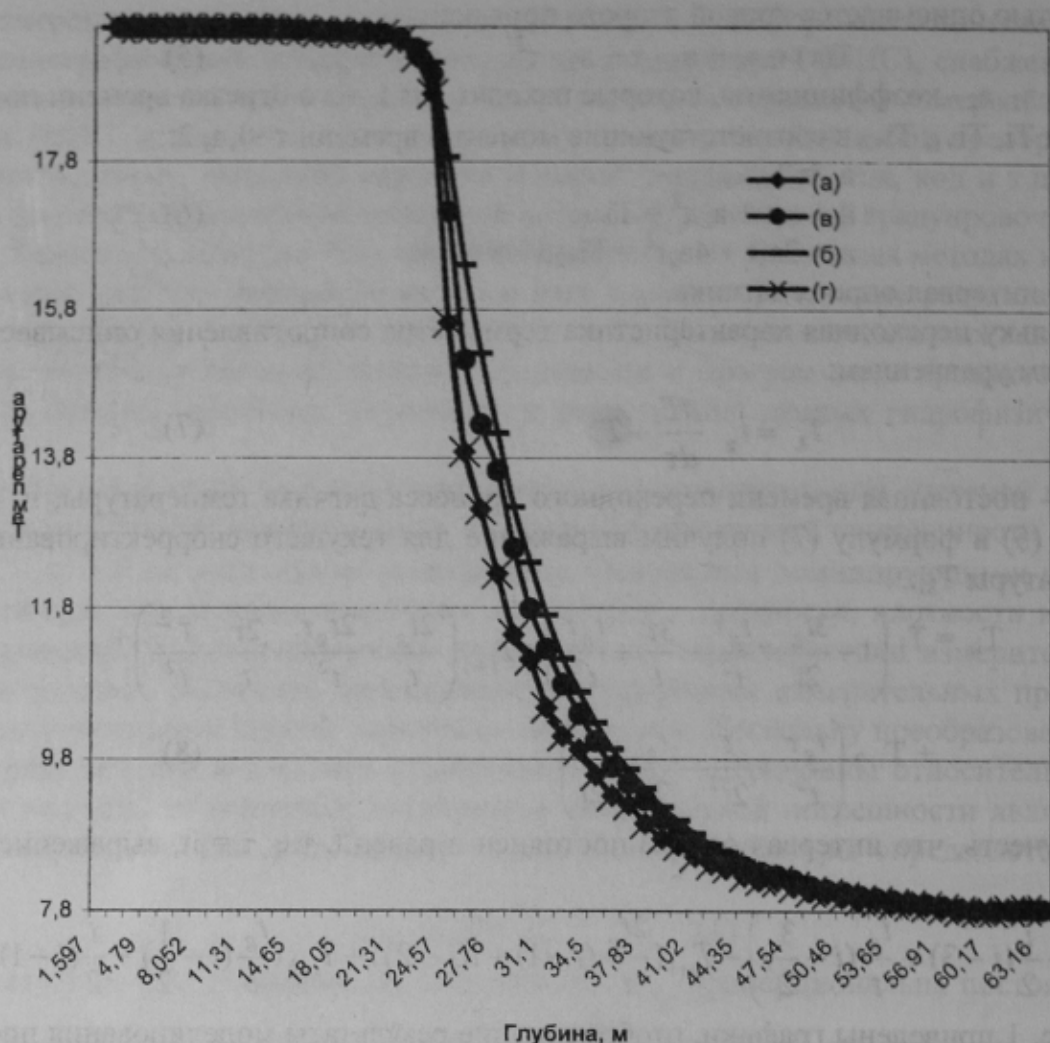


Рис. 1 – Графіки результату моделювання процесу корекції

Затем определяют первое приближение значения перепада температуры в точке i :

$$\Delta T^1 = T_i - T_{k_{i-1}} \quad (10)$$

Функция, описывающая реакцию апериодического звена первого порядка на единичный скачок, имеет вид:

$$f(x) = 1 - e^{-x/tg}, \quad (11)$$

где tg – постоянная времени, характеризующая инерционность термометра сопротивления.

По известным постоянной времени ПИП и интервале опроса t , получим скорректированное значение показаний датчика температуры в момент времени $t \cdot i$.

$$T_k^1 = T_{k_{i-1}} + \Delta T^1 (1 - e^{-t/tg}). \quad (12)$$

При этом величина расхождения вычисленного значения T_k^1 и полученного от датчика в точке i T_i определяет следующее приближение перепада температуры. Процесс итерации продолжается до тех пор, пока величина расхождения не будет удовлетворять заданной точности вычислений ϵ . Последнее вычисленное значение T_k^1 принимается за скорректированную температуру в точке i .

Результаты моделирования представлены кривой (г) на рис. 1.

Из рисунка следует, что коррекция значений температуры, измеряемой преобразователем с конечной постоянной времени, в соответствии с разработанным методом позволяет дополнительно уменьшить динамическую погрешность первичного измерительного преобразователя до значения ϵ .

Укрупненный алгоритм программы, реализующей метод, представлен на рис. 2.

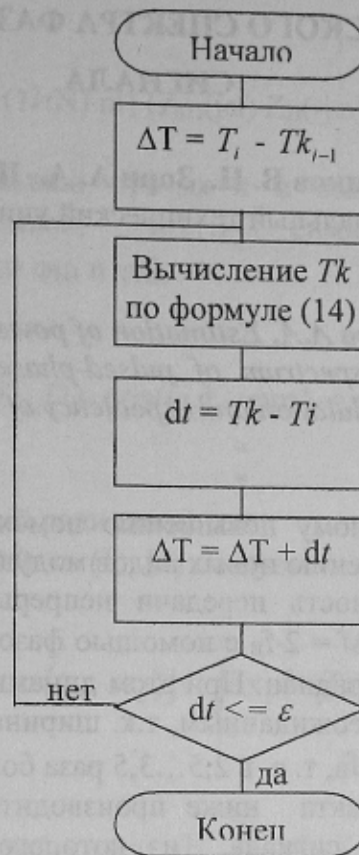


Рис. 2 – Блок-схема алгоритма метода итерационного приближения

Выводы

1. Предложенный метод итерационного приближения корректируемой величины температуры к реальному значению измеряемого параметра позволяет уменьшить динамическую погрешность измерительного канала температуры до величины порядка 2ε .

2. Кроме того, применение предложенного метода снижает погрешности расчетных значений вторичных параметров и повышает эффективность информационно-измерительных систем. При этом возможно увеличение скорости зондирования при сохранении требуемой точности измерений и, следовательно, повышение производительности ИИС в целом.

Литература

1. Парамонов В. М., Кушнир В. И., Заикин В. М. Автоматизация гидрофизического эксперимента. – Л.: Гидрометеоздат, 1982. – 224 с.
2. А. с. 1829664 СССР, МКИ⁵ G01V1/38. Градиентометрический комплекс / А.П. Васюковцов, А. А. Зори, А. Д. Кузнецова (СССР). – Заявл. 0.6.12.90. Зарегистр. 13.10.92.
3. Зори А. А. Теория, методы и средства повышения точности информационно-измерительных систем вертикального зондирования океана.: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. – Санкт-Петербург: ЛЭТИ им. В. И. Ульянова (Ленина), 1992. – 34 с.
4. Парамонов В. М., Кушнир В. И., Забурдаев В. К. Современные методы и средства измерения гидрологических параметров океана. – Киев: Наукова думка, 1979. – 260 с.
5. А. с. 1612718 СССР, МКИ⁴ G01V1/38. Зондирующее устройство для измерения параметров водной среды./ А. А. Зори, А. В. Зимин, С. В. Машенко, Е. О. Савкова (СССР). – Заявл. 03.05.89., Зарегистр. 08.08.90.