

ИССЛЕДОВАНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОГО ГРАДИЕНТОМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Ким Нарзан

Донецкий государственный технический университет, кафедра ПЭ

Abstract

Kim Narzan. With the help of imitating modeling the researches advanced gradientometeration of a method of measurement of temperatures are carried out. Its efficiency in relation to base gradientometeration to a method and influence on efficiency of constant time of gauges and characteristics of researched environment is established. The comparative characteristics advanced and gradientometeration of methods of measurement of temperatures in area teròoklin are given.

Для уменьшения динамической погрешности измерения температур градиентометрическим методом при контактном зондировании морской среды был разработан усовершенствованный градиентометрический метод [1]. Он дополнен коррекциями, учитывающими статические и динамические составляющие погрешности, имеющие место при градиентометрическом методе измерений температур. Вследствие отличающихся значений постоянных времени датчиков и недостаточно точного выполнения принятых допущений [1], имеет место накопление статической составляющей динамической погрешности, которая может быть выявлена в низкоградиентной зоне после термоклина. В этой области $\text{grad}T \approx 0$, отсутствует динамическая погрешность измерительного канала температуры (ИКТ), результаты измерений которым будут точными и статическую составляющую погрешности можно определить путем вычитания из расчетных значений температур по градиентометрическому методу показаний ИКТ. Для коррекции этой составляющей погрешности в соответствии с предложенным принципом принято допущение, что статическая составляющая погрешности распределена по линейному закону от значения $\Delta_n = 0$ (в приповерхностном слое, где

устанавливаются одинаковые значения выходных напряжений ИКТ, образующих градиентометр) до $\Delta_k = T_k(h_a) - T_m(h_a)$ в конце термоклина, где $T_k(h_a)$ и $T_m(h_a)$ — вычисленное по градиентометрическому методу и полученное с помощью ИКТ значения температуры после термоклина на глубине h_a после окончания переходных процессов.

Коррекцию температуры в зоне термоклина выполняют в соответствии с выражением:

$$T_{к\text{ст}i} = T_i - \Delta_k \cdot \frac{h_i - h_a}{h_n - h_a}; \quad \text{при} \quad h_n \leq h_i \leq h_a, \quad (1)$$

где $T_{к\text{ст}i}$ — скорректированное значение температуры на i -ом шаге с учетом статической составляющей погрешности; h_n , h_a — глубины начала и конца термоклина.

Для коррекции динамической составляющей погрешности при больших градиентах предложено по измеренным значениям градиентов температуры в любой точке профиля, в соответствии с формулой динамической погрешности вычислить ее текущее значение для любой глубины и ввести соответствующую коррекцию в результаты измерений. Для этого по максимальному градиенту на участке термоклина вычисляют максимальную динамическую погрешность:

$$\Delta_{\text{динmax}} = \bar{v}_3 \cdot \tau_{д1} \cdot \text{grad}T_{\text{max}}, \quad (2)$$

где \bar{v}_3 — скорость зондирования; $\tau_{д1}$ — постоянная времени 1-го датчика.

Записав уравнение (2) для текущих значений динамической погрешности и градиентов и взяв их отношение получим:

$$\Delta_{\text{динтек}i} = \frac{\Delta_{\text{динmax}}}{\text{grad}T_{\text{max}}} \cdot \text{grad}T_i. \quad (3)$$

Значение температуры с учетом коррекции статической и динамической составляющих погрешности вычисляют по формуле: $T_{Ki} = T_{к\text{ст}i} - \Delta_{\text{динтек}i}$.

С целью подтверждения правильности разработанной методологии и оценки эффективности усовершенствованного градиентометрического метода

измерения температур, определяемой степенью уменьшения погрешности измерений по отношению к другому методу, проведено имитационное моделирование. Рассмотрены случаи упрощенного линейного профиля изменения температуры и реального, полученного в соответствии с математической моделью, при одинаковых и различных постоянных времени τ_1 и τ_2 датчиков температуры, образующих градиентометрическую пару. При $\tau_1 = \tau_2$ и линейном профиле температуры, статическая составляющая погрешности отсутствует, профили температур измерительных каналов (2) при $\tau_1 = \tau_2 = 0,3$ с совпадают (См.Рис.1). Здесь также приведены профиль температуры, рассчитанный в соответствии с градиентометрическим методом (3), истинный (1) в соответствии с моделью и скорректированный (4) по усовершенствованному методу с учетом динамической составляющей погрешности, который практически совпадает с истинным (1). Произведенная оценка погрешностей предложенного усовершенствованного градиентометрического метода, по сравнению с базовым, показала что погрешность измерения температуры в области термоклина уменьшается в девять раз, по сравнению с градиентометрическим.

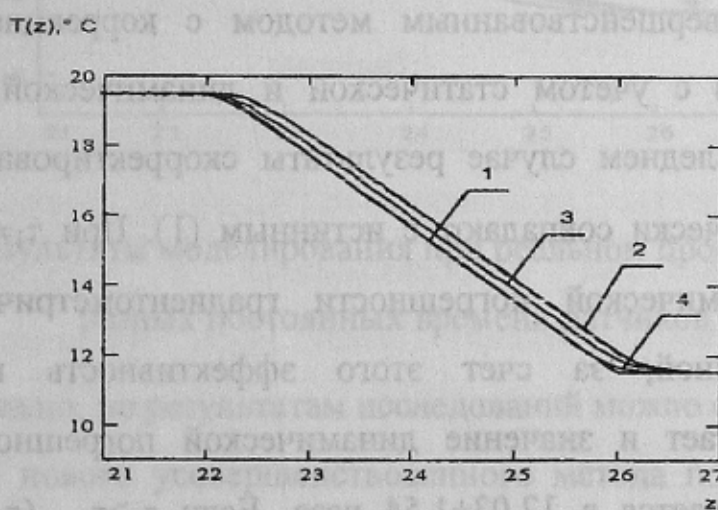


Рисунок 1 — Результаты моделирования профилей температур при линейном законе их изменения и одинаковых постоянных времени датчиков $\tau_1 = \tau_2 = 0,3$ с

Исследовано влияние отличий постоянных времени датчиков на эффективность метода. Постоянные времени датчиков одной партии обычно

отличаются в пределах $\pm 10\%$ [2]. Для датчиков с $\tau=0,3\text{с}$ в наихудшем случае получим: $\tau_1=0,27\text{с}$, $\tau_2=0,33\text{с}$. При $\tau_1 \neq \tau_2$, реальные профили температур (2, 3) отличаются (см.рис.2). При различных постоянных времени датчиков увеличивается погрешность градиентометрического метода измерения температуры (4), в следствие накопление статической составляющей погрешности $\Delta_{\text{ст}}$.(рис2).

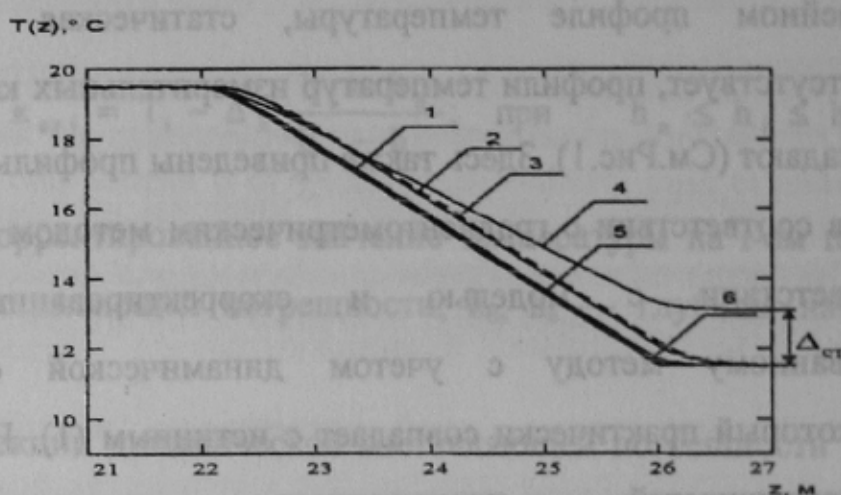


Рисунок 2 — Результаты моделирования профилей температур при линейном законе их изменения и разных постоянных времени датчиков

На Рис. 2 приведены скорректированный профиль температуры (5) в соответствии с усовершенствованным методом с коррекцией статической составляющей и (6) с учетом статической и динамической составляющих погрешности. В последнем случае результаты скорректированного профиля температуры практически совпадают с истинным (1). При $\tau_1 \neq \tau_2$, статическая составляющая динамической погрешности градиентометрического метода является существенной, за счет этого эффективность нового метода значительно возрастает и значение динамической погрешности измерения температуры уменьшается в $12,03 \pm 1,54$ раза. Если $\tau_1 > \tau_2$ ($\tau_1=0,33$, $\tau_2=0,27$) эффективность метода составляет $12,03 \pm 1,55$, при этом статическая составляющая динамической погрешности изменяет знак, что соответствует физике процесса.

Проведено исследование эффективности усовершенствованного градиентометрического метода измерений температуры при реальном профиле ее изменения. При $\tau_1 = \tau_2$ и реальном профиле температуры результаты отличаются от результатов моделирования при линейном профиле температуры, и при этом эффективность метода уменьшается и составляет $K_{эф} = 4,94 \pm 0,31$, что меньше чем при линейном профиле температуры примерно в два раза. Результаты моделирования, для случая $\tau_1 < \tau_2$ (рис. 3) также отличаются от данных, полученных при моделировании линейного профиля температуры (рис. 2). Эффективность метода при реальном профиле уменьшается примерно в два раза по отношению к линейному и составляет $K_{эф} = 5,57 \pm 0,142$.

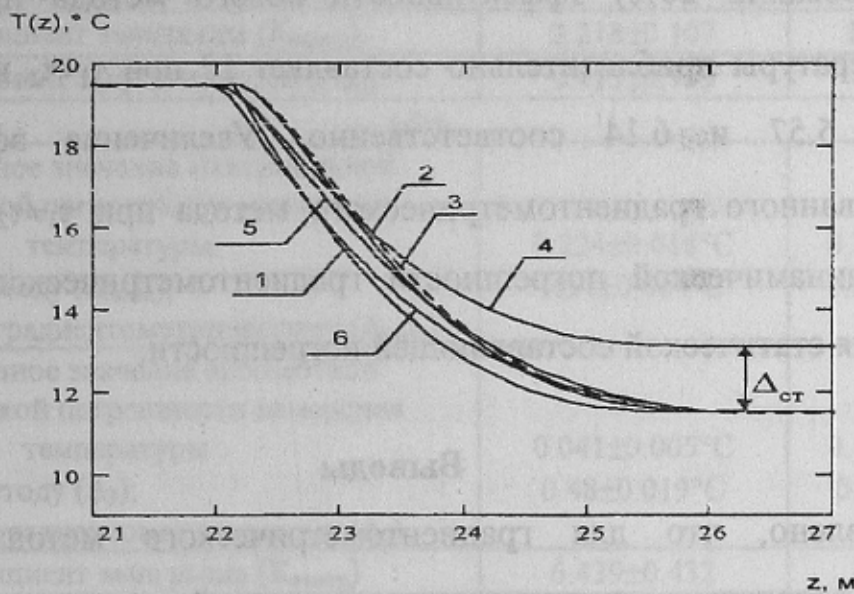


Рисунок 3 — Результаты моделирования при реальном профиле температуры и разных постоянных времени датчиков

Следовательно, по результатам исследований можно сделать вывод о том, что применение нового усовершенствованного метода позволило уменьшить динамическую погрешность измерения температуры в районе термоклина, по сравнению с градиентометрическим методом, в 5-12 раз в зависимости от рассогласования постоянных времени датчиков и характеристик исследуемой среды.

Для сравнения характеристик усовершенствованного

градиентометрического метода и оценки его эффективности по отношению к градиентометрическому методу измерения температуры, проведен их сравнительный анализ. В табл.1 для указанных методов приведены оценки математического ожидания и среднего квадратического отклонения (СКО) значений осредненной и максимальной абсолютной погрешности измерений температуры и коэффициентов эффективности и выигрыша усовершенствованного метода по сравнению с базовым при одинаковых и отличающихся постоянных времени датчиков градиентомера. Из анализа данных следует, что при одинаковых постоянных времени датчиков эффективность нового метода по сравнению с базовым составляет примерно 9 при линейном, и 5 при реальном профилях температуры. В случае, когда $\tau_1 \neq \tau_2$ (при рассогласовании 20%) эффективность нового метода при линейном профиле температуры приблизительно составляет 12 при $\tau_1 < \tau_2$ и $\tau_1 > \tau_2$, а при реальном — 5.57 и 6.14 соответственно. Увеличение эффективности усовершенствованного градиентометрического метода при $\tau_1 \neq \tau_2$ объясняется увеличением динамической погрешности градиентометрического метода за счет накопления статической составляющей погрешности.

Выводы

1. Установлено, что для градиентометрического метода измерения температуры, вследствие отличающихся значений постоянных времени первичных измерительных преобразователей и недостаточно точного выполнения принятых допущений имеет место накопление статической составляющей динамической погрешности в высокоградиентных участках профилей.

2. Проведенные исследования с помощью имитационного моделирования усовершенствованного градиентометрического метода измерения температуры, в котором с целью повышения точности измерений введены коррекции статической и динамической составляющих погрешности, позволили установить его эффективность и влияние на нее постоянных времени датчиков

и параметров исследуемой среды.

Таблица 1 — Сравнительные оценки усовершенствованного и градиентометрического методов измерения температур в области термоклина.

Параметры	Идеализированный линейный профиль температуры	Реальный профиль температуры
$\tau_1 = \tau_2$		
Осредненное значение максимальной абсолютной погрешности измерения температуры: – по новому методу ($\Delta_{3\max}$); – по базовому градиентометрическому ($\Delta_{2\max}$)	0.175±0.014°C 0.387±0.033°C	0.339±0.066°C 0.632±0.041°C
Осредненное значение абсолютной динамической погрешности измерения температуры: – по новому методу (Δ_3); – по базовому градиентометрическому (Δ_2)	0.023±0.004°C 0.216±0.017°C	0.055±0.007°C 0.27±0.018°C
Коэффициент выигрыша ($K_{\text{выигр}}$)	2.218±0.107	1.613±0.219
Коэффициент эффективности ($K_{\text{эф}}$)	9.415±0.733	4.94±0.311
$\tau_1 > \tau_2$		
Осредненное значение максимальной абсолютной погрешности измерения температуры: – по новому методу ($\Delta_{3\max}$); – по базовому градиентометрическому ($\Delta_{2\max}$)	0.224±0.018°C .434±0.064°C	0.373±0.069°C 1.592±0.001°C
Осредненное значение абсолютной динамической погрешности измерения температуры: – по новому методу (Δ_3); – по базовому градиентометрическому (Δ_2)	0.041±0.005°C 0.48±0.019°C	0.137±0.011°C 0.84±0.019°C
Коэффициент выигрыша ($K_{\text{выигр}}$)	6.439±0.432	4.39±0.772
Коэффициент эффективности ($K_{\text{эф}}$)	12.031±1.546	6.137±0.369

Литература

1. А.А. Зори., Ким Нарзан. Методология повышения быстродействия градиентометрического метода измерения температуры // Труды I-ой международной конференции «Современные технологии ресурсо-, энергосбережения», Партенид, 12-16 октября, 1997. — Киев, 1997. — С.47-50.
2. Автоматизация контактных методов зондирования океана / А.А. Зори, Г.П. Еремин, А.А. Карюхин, В.Н. Стасенко. — Владивосток: Из-во Дальневосточного госуниверситета, 1991. — 235с.