

УДК 551.46

**Методика и установка для моделирования  
алгоритма термокомпенсации датчиков давления  
оceanографических СТД-зондов***A.H. Рамазин*

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии  
(ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва)  
e-mail: ramazin@vniro.ru

Анализ оснащённости рыбохозяйственной отрасли океанографическим оборудованием показал, что в состав отраслевых СТД-зондов входят в основном тензометрические датчики давления. Рассмотрены принципы работы основных типов тензометрических датчиков: металлических и полупроводниковых, их преимущества и недостатки, конструктивные особенности и метрологические характеристики. Проанализированы отдельные виды аппаратурной и программной термокомпенсации тензометрических датчиков фирм Pain Instruments и Druck. Для получения экспериментальных данных влияния температуры на показания датчиков давления океанографических СТД-зондов, возможности моделирования и калибровки была создана «Установка калибровки датчиков давления» (далее — Установка). Установка состоит из термобака и системы калибровки датчиков давления. В качестве термобака используется бак модели 7051 фирмы Hart Scientific ёмкостью 216 л, позволяющий изменять температуру воды в диапазоне от  $-2$  до  $35^{\circ}\text{C}$  и длительно поддерживать заданную температуру в стабильном состоянии с погрешностью  $\pm 0,002^{\circ}\text{C}$ . Система калибровки датчиков давления состоит из эталонного калибратора давления модели 765—20K (Paroscientific) и задатчика давления — грузопоршневого манометра модели 580DX (Budenberg). Задатчик с помощью фитингов и быстроразъёмных соединений высокого давления Swagelok через тройник-разветвитель подаёт эталонное давление на калибратор и датчик давления СТД-зонда, погружённого в термобак. Приводится алгоритм, учитывающий влияние температуры на показания датчиков давления в процессе калибровки. Показано, что использование установки для моделирования алгоритма термокомпенсации и калибровки датчиков давления позволяет осуществлять калибровку датчиков давления с приведённой погрешностью не хуже  $\pm 0,02$  от диапазона измерения.

**Ключевые слова:** СТД-зонд, тензометрический датчик, алгоритм калибровки, методика калибровки, установка для калибровки, температурная компенсация.

Анализ оснащённости рыбохозяйственной отрасли океанографическим оборудованием и его метрологической обеспеченности, проведённый в 2014 г., показал, что научно-исследовательские суда бассейновых организаций имеют на своём вооружении СТД-зонды, практически на 100% оснащённые тензоме-

трическими датчиками давления. Вместе с тем в состав целого ряда СТД-зондов стали включаться тензометрические датчики класса точности 0,02. Причём повышение класса точности этих датчиков получено за счёт использования математических алгоритмов, учитывающих влияние температуры на показания датчиков.

Рассмотрим принципы работы и основные типы тензодатчиков, используемые в настоящее время составе современных СТД-зондов.

В тензометрических датчиках используется способ преобразования давления морской воды в пропорциональное изменение электрического сопротивления. Эти датчики благодаря своей хорошей амплитудно-частотной характеристики и практически полному отсутствию инерционности получили широкое распространение как при измерениях статических и переменных давлений, так и его флюктуаций.

Преимуществами тензопреобразователей является высокая стабильность характеристик, возможность получения хорошей чувствительности и точности при очень незначительных деформациях чувствительного элемента, а также их высокая надёжность при относительно небольшой стоимости. Достоинством тензопреобразователей является относительно высокая температурная стабильность, причём, при необходимости, реализуется возможность введения дополнительной аппаратурной или программной термокомпенсации.

Тензометрические преобразователи могут быть реализованы на основе металлических или полупроводниковых тензорезисторов.

Металлические тензорезисторы обычно изготавляются из металлов с высоким удельным сопротивлением и малым температурным коэффициентом сопротивления, в качестве которых для повышения чувствительности датчика применяются такие сплавы, как констан-

тан, манганин, никром и т.п. Тензорезисторы чаще выполняются в виде меандрированной дорожки из проволоки или из узких полосок фольги, наклеиваемых на непроводящую подложку, а также в виде тонких металлических плёнок (20–50 мкм) аналогичной конфигурации, напыляемых на подложку [Архипкин и др., 2009].

Примером такого тензопреобразователя является датчик давления модели 210 фирмы Paine Instruments, используемый в качестве датчика давления всемирно известных СТД-зондов Mark-3B и Smart-CTD фирмы Neil Brown Instrument Systems (США), которыми были оснащены в 1988 г. 12 отраслевых НИС типа «Атлантик-833» и ряд других НИС отрасли и страны. Он был использован и в некоторых более поздних моделях СТД-зондов фирмы Falmouth Scientific, Inc. (FSI, США) и в СТД-зондах фирмы Sea-Bird, Inc. (SBE).

Кроме датчика типа 210, широко используется и его модификация — 211, у которой несколько лучшие температурные характеристики. Основные параметры датчиков представлены в таблице 1.

Как следует из таблицы 1, относительная погрешность (класс точности) измерения этого типа датчиков с учётом дестабилизирующего действия температуры не превышает  $\pm 0,3\%$  от полной шкалы (ПШ) измерения давления.

Для снижения погрешности измерения этих датчиков существует широко распространённый метод термокомпенсации. Метод основан

**Таблица 1.** Основные характеристики наиболее распространённых датчиков давления, используемых в океанологической аппаратуре фирмами Falmouth Scientific, Inc.; Teledyne RD Instruments, Inc. и Sea-Bird Electronics, Inc. (США)

Тип датчика	210–211	PDCR
Фирма	Pain	Druck
Принцип действия	Тензорезистор	Тензорезистор
Технология	Плёночный	Кремний на кремнии
Габариты, мм	$\varnothing 20 \times 58$	$\varnothing 22 \times 62$
Макс. давление,	10000 psi (фунт/дюйм <sup>2</sup> )	700 бар (атм.)
Погрешность, % полной шкалы	$\pm 0,3$	$\pm(0,1 \div 0,4)$
Стабильность, % полной шкалы	—	0,1 / год
Применение: модели СТД-зондов	Mark-3B, Mark-3C ICTD; BioICTD	MCTD-2; MCTD-3, NXIC- CTD; CITADEL-CTD-NV; SBE19

на коррекции температурной составляющей показаний датчика давления путём внесения поправки на температуру воды по данным термистора, расположенного непосредственно на датчике давления. Алгоритм температурной компенсации представлен ниже:

$$\rho_t = A + B\rho_{raw} + C\rho_{raw}^2 + S_1(T_t - T_{20}) + \\ + S_2(T_t - T_{20})\rho_{raw},$$

где  $\rho_t$  — значение давления, регистрируемое СТД-зондом в процессе зондирования;  $\rho_{raw}$  — кодовое (непреобразованное) значение давления, регистрируемое СТД-зондом в процессе зондирования;  $A, B, C$  — калибровочные коэффициенты, определённые для датчика давления при комнатной температуре в процессе стандартной калибровки с помощью грузопоршневого манометра;  $T_t$  — значение температуры по термистору на датчике давления;  $S_1, S_2$  — калибровочные коэффициенты, полученных при воздействии эталонного давления в 0 и 100% ПШ при комнатной температуре и температуре точки замерзания воды [Millard et al., 1993]. Эта методика применяется во ФГУП «ВНИРО» начиная с 1988 г. В результате использования этого метода термокомпенсации удаётся снизить величину относительной погрешности измерения до  $\pm 0,1\%$  от ПШ.

Полупроводниковые тензорезисторы в настоящее время являются наиболее перспективным типом датчиков для применения в СТД-зондах. Особое место среди них занимают датчики фирмы Druck, тактико-технические характеристики которых представлены в таблице 1.

Они имеют конструкцию тензопреобразователя, где на кремниевой пластине, вместе с выплавленной мембранный и тензорезисторным мостом, имеется схема термокомпенсации. Кремниевый элемент, чувствительный к давлению, соединён со стеклянной подложкой и титановым основанием в виде металлокерамического спая [Millard et al., 1993]. Весь модуль изолирован от среды давления благодаря диафрагме, выполненной из сплава Hastelloy, и которая приварена электронно-лучевой сваркой.

Фирма Druck выпускает несколько типов датчиков, которые базируются на описанной технологии, различаясь конструкцией модуля

тензопреобразователя и внутренней комплектацией [Архипкин и др., 2009].

Серьёзным недостатком всех полупроводниковых тензометрических преобразователей является довольно значительная температурная зависимость, что ведёт к появлению дополнительной погрешности. Для её снижения используют полупроводниковые терморезисторы, которые имеют температурный коэффициент сопротивления противоположного знака относительно тензорезисторов. С этой целью в серию датчиков включены варианты измерительных схем с разомкнутым мостом для возможности подсоединения дополнительных термокомпенсирующих резисторов.

Другим вариантом коррекции температурной составляющей погрешности датчиков (это относится практически ко всем типам датчиков давления, используемых в СТД-зондах) является внесение температурной поправки в результаты измерений на основании данных, полученных по независимому каналу измерения температуры.

Металлические тензометрические датчики моделей 210–211 фирмы Paine Instruments несколько уступают по своим характеристикам полупроводниковым (табл. 1). В связи с этим в наиболее современных моделях СТД-зондов используются полупроводниковые датчики фирмы Druck. В свою очередь они более чувствительны к изменению температуры окружающей среды, что не позволяет использовать методику калибровки по 2 точкам температуры, предложенную [Millard et al., 1993].

В соответствии с метрологическими требованиями калибровка датчиков давления должна проводиться периодически — не реже 1 раз в год. Вместе с тем в состав целого ряда СТД-зондов стали включаться тензометрические датчики, приведённая погрешность которых с учётом термокомпенсации составляет  $\pm 0,02$  ПШ. При этом фирмы-изготовители умышленно поставляют приборы с документацией, в которой отсутствуют методики калибровки измерительных каналов, фактически заставляя потребителей проводить калибровку за рубежом и, таким образом, ставя покупателя в технологическую и экономическую зависимость от поставщика. Цель работы заключается в разработке алгоритма, технических средств

и методики, позволяющих ликвидировать такую зависимость.

Для калибровки полупроводниковых датчиков давления фирмы Druck, используемых в современных СТД-зондах фирм FSI и TRDI предлагается алгоритм, учитывающий влияние температуры на его показания в процессе калибровки.

Электрическая схема и программное обеспечение этих СТД-зондов при измерениях избыточного (гидростатического) давления предусматривает возможность вывода кодовых значений («сырых» данных) от аналого-цифрового преобразователя измерительных каналов избыточного давления ( $P_{raw}$ ) и температурного датчика давления ( $PT_{raw}$ ).

В результате реакция чувствительного элемента датчика давления является функцией давления и температуры водной среды в процессе погружения СТД-зонда. Данные датчика давления и температурного датчика давления являются основой для реализации алгоритма измерения избыточного давления с учётом влияния температуры.

В процессе калибровки инструмент находится в девяти отдельных состояниях давления и температуры, которые теоретически определяются минимальными, средними и мак-

симальными значениями условий, в которых будет эксплуатироваться СТД-зонд. Эти девять точек состояния температуры и давления морской воды (может быть и большее количество точек — 12, 15 и т.д.) формируют трёхмерную поверхность реакции, представленную на рис. 1. Форма и природа этой поверхности можно охарактеризовать девятью коэффициентами датчика давления:

$$\begin{aligned} &A_{03}, B_{03}, C_{03}; \\ &A_{503}, B_{503}, C_{503}; \\ &A_{1003}, B_{1003}, C_{1003}, \end{aligned}$$

рассчитываемых из трёх систем уравнений, получаемых при 0, 50 и 100% ПШ диапазона давления:

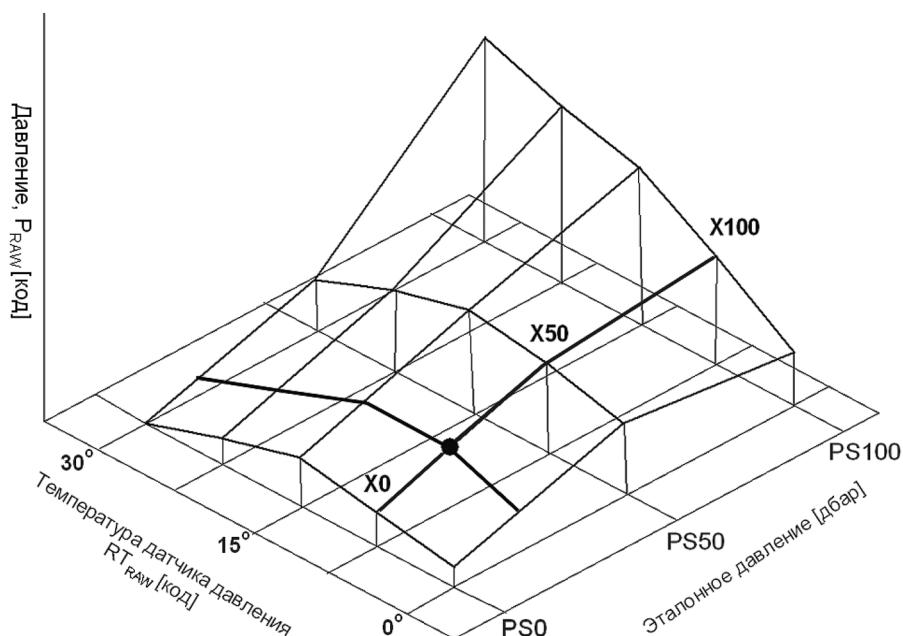
1) измеренные при 30 °C:

$$\begin{aligned} PS_0 &= A_{03} + B_{03}P_{raw} + C_{03}P_{raw}^2 \\ PS_{50} &= A_{503} + B_{503}P_{raw} + C_{503}P_{raw}^2 \quad (1) \end{aligned}$$

$$PS_{100} = A_{1003} + B_{1003}P_{raw} + C_{1003}P_{raw}^2;$$

2) измеренные при 15 °C:

$$\begin{aligned} PS_0 &= A_{03} + B_{03}P_{raw} + C_{03}P_{raw}^2 \\ PS_{50} &= A_{503} + B_{503}P_{raw} + C_{503}P_{raw}^2 \quad (2) \\ PS_{100} &= A_{1003} + B_{1003}P_{raw} + C_{1003}P_{raw}^2; \end{aligned}$$



**Рис. 1.** Картина трёхмерной поверхности реакции датчика давления при воздействии эталонных значений давления и температуры, образующаяся в процессе имитации погружения СТД-зонда

3) измеренные при 0 °C:

$$\begin{aligned}\rho S_0 &= A_{03} + B_{03}\rho_{raw} + C_{03}\rho_{raw}^2 \\ \rho S_{50} &= A_{503} + B_{503}\rho_{raw} + C_{503}\rho_{raw}^2 \\ \rho S_{100} &= A_{1003} + B_{1003}\rho_{raw} + C_{1003}\rho_{raw}^2,\end{aligned}\quad (3)$$

где  $A_{03}; B_{03}; C_{03}$  — коэффициенты терморезистора датчика давления при давлении 0% ПШ диапазона изменения давления;  $A_{503}; B_{503}; C_{503}$  — коэффициенты терморезистора датчика давления при давлении 50% ПШ диапазона изменения давления;  $A_{1003}; B_{1003}; C_{1003}$  — коэффициенты терморезистора датчика давления при давлении 100% ПШ диапазона изменения давления;  $\rho_{raw}$  — кодовые («сырые») данные датчика давления;  $\rho T_{raw}$  — кодовые («сырые») данные температурного датчика давления;  $\rho S_0; \rho S_{50}; \rho S_{100}$  — эталонные значения грузопоршневого манометра, подаваемые на вход датчика давления в 0, 50 и 100% от ПШ диапазона изменения давления;  $X_0, X_{50}, X_{100}$  — показания датчика давления, которые должны бы поступать от датчика при существующей температуре и при каждом из трёх калибровочных давлений в 0, 50 и 100% от ПШ диапазона изменения давления;  $A3$  — коэффициент нулевого смещения датчика давления (дбар), вводится для возможности корректировки нулевого горизонта перед началом зондирования.

**Преобразование кодовых значений измерения в физические единицы.** Вычисленные коэффициенты уравнений (1–3) одновременно являются коэффициентами уравнения (4) — кривых второго порядка трёхмерной поверхности реакции датчика давления. Эти кривые отражают зависимость показания датчика давления, которые должны теоретически поступать от датчика при существующей температуре и при каждом из трёх эталонных калибровочных давлений в 0, 50 и 100% от ПШ диапазона изменения давления калибруемого датчика:

$$\begin{aligned}X_0 &= A_{03} + (B_{03}\rho T_{raw}) + (C_{03}\rho T_{raw}^2) \\ X_{50} &= A_{503} + (B_{503}\rho T_{raw}) + (C_{503}\rho T_{raw}^2) \\ X_{100} &= A_{1003} + (B_{1003}\rho T_{raw}) + (C_{1003}\rho T_{raw}^2).\end{aligned}\quad (4)$$

Фактические показания датчика давления могут быть интерполированы кривой, определённой тремя точками.

$$\rho = A_0 + B_0 RT_{raw} + C_0 RT_{raw}^2. \quad (5)$$

Решение уравнений (4), (5) с использованием матрицы Вандермонда [Шафаревич и др., 2009] можно представить в виде следующего линейного уравнения:

$$\begin{vmatrix} 1 & X_0 & X_0^2 \\ 1 & X_{50} & X_{50}^2 \\ 1 & X_{100} & X_{100}^2 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} A_0 \\ B_0 \\ C_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \rho S_0 \\ \rho S_{50} \\ \rho S_{100} \end{vmatrix}, \quad (6)$$

где коэффициенты  $A_0, B_0, C_0$  являются решением для инвертируемой матрицы Вандермонда.

Решая её сначала относительно коэффициента  $C_0$ , получаем выражения для коэффициентов  $B_0$  и  $A_0$ .

В результате получаем следующие выражения для вычисления коэффициентов  $A_0, B_0, C_0$ :

$$\begin{aligned}C_0 &= \frac{(\rho S_0 - \rho S_{50})(X_0 - X_{100})}{(X_0^2 - X_{50}^2)(X_{50} - X_{100})} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{-(\rho S_{50} - \rho S_{100})(X_0 - X_{50})}{-(X_{50}^2 - X_{100}^2)(X_0 - X_{50})};\end{aligned}\quad (7)$$

$$B_0 = \frac{(\rho S_0 - \rho S_{50})}{(X_0 - X_{50})} - [C_0(X_0 + X_{50})]; \quad (8)$$

$$A_0 = \rho S_0 - (B_0 X_0) - (C_0 X_0^2). \quad (9)$$

В конечном виде уравнение (5) можно записать следующим образом:

$$\rho = (A3 + A_0) + (B_0 \rho_{raw}) + (C_0 \rho_{raw}^2), \quad (10)$$

где  $A3$  — коэффициент нулевого смещения датчика давления (дбар), вводится для возможности корректировки нулевого горизонта перед началом зондирования.

**Установка для калибровки датчиков давления.** Для реализации данного алгоритма и получения экспериментальных данных влияния температуры на показания датчиков давления отраслевых СТД-зондов была создана

«Установка для калибровки датчиков давления». Установка состоит из термобака и системы калибровки датчиков давления.

В качестве термобака используется бак модели 7051 фирмы Hart Scientific ёмкостью 216 л, позволяющий нагревать или охлаждать воду в диапазоне от  $-2$  до  $35$  °С и длительно поддерживать заданную температуру в стабильном состоянии с погрешностью  $\pm 0,002$  °С. Контроль за изменением температуры осуществляется с помощью стандартного термометра сопротивления калибратора электропроводности и температуры модели СТ-01 фирмы Idronaut (Италия) [Рамазин и др., 2005].

Система калибровки датчиков давления состоит из эталонного измерителя давления и прецизионного задатчика давления. Задатчик давления с помощью фитингов и быстроразъёмных соединений высокого давления фирмы Swagelok (США) через тройник-разветвитель соединяется с калибратором давления и датчиком давления СТД-зонда.

В качестве эталонного измерителя гидростатического давления используется калибратор давления модели 765-20K Paroscientific (США), прошедший испытание в целях утверждения типа опытного образца (включён

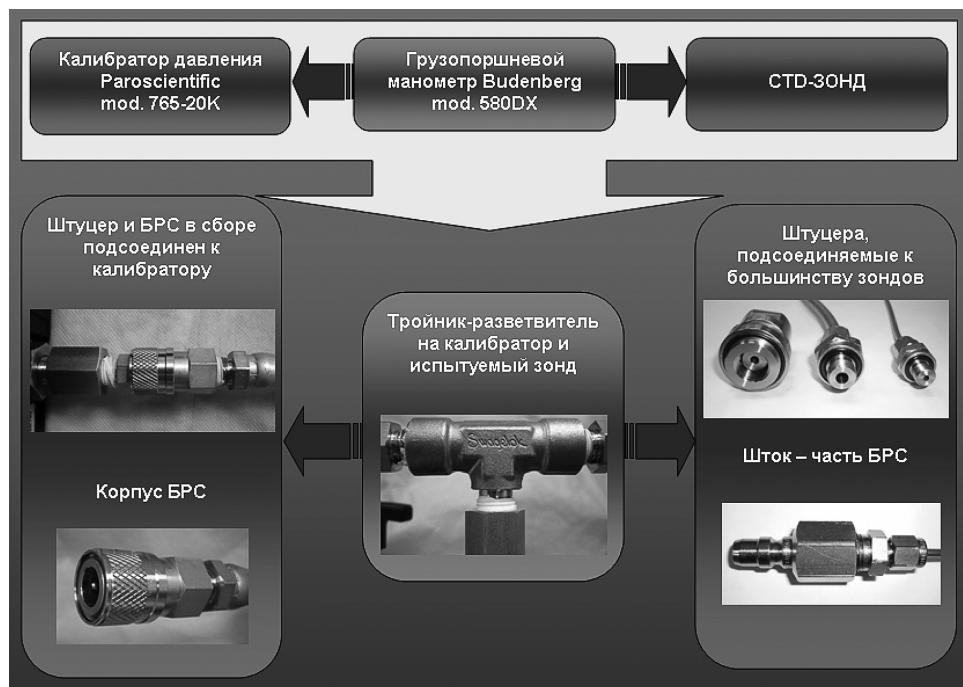
в Госреестр средств измерений № 4238-09) с классом точности 0,01 для диапазона 60 МПа (6000 дбар). В качестве задатчика давления применяется грузопоршневой манометр (ГМ) модели 580DX фирмы Budenberg (Германия) или ГМ модели 58-1 фирмы EG&G Chandler Engineering (США) класса точности 0,02 [Рамазин и др., 2005], способные создавать гидростатическое давление в полном диапазоне океанических глубин. На рис. 2 представлена структурная схема и элементы соединений системы калибровки датчиков давления.

**Методика калибровки.** 1. Определить показания канала измерения гидростатического давления (по ГОСТ Р 8.802-2012).

2. Собрать схему калибровки согласно рис. 2.

3. Погрузить калируемый СТД-зонд в термобак фирмы Hart Scientific (США) модели 7051A ёмкостью 216 л [Рамазин и др., 2005], заполненный предварительно отфильтрованной водой.

4. Калибровку датчика давления следует осуществлять с помощью установки для калибровки датчиков давления методом сличения.



**Рис. 2.** Структурная схема и элементы соединений трубопроводов системы калибровки датчиков давления.  
БРС — быстроразъёмное соединение

5. Установки для калибровки датчиков давления подготовить к работе согласно РЭ.

6. С помощью стандартных грузов последовательно подавать на вход датчика стабилизированное давление в диапазоне от 0 до  $P_{\max}$ , равные 0, 50 и 100% полной шкалы последовательно при температуре 30 °C, 15 °C, 0 °C.

*Примечание.* Чтобы исключить в процессе математической обработки деления данных калибровки на 0, следует в качестве 0% полной шкалы давления выбрать значение несколько отличное от 0, например минус 0,2 дебар. Для этого следует с помощью штурвала поршня грузопоршневого манометра создать небольшое разряжение на входе датчика давления, медленно вращая его против часовой стрелки.

7. Снять 9 значения кодов  $P_{raw}$  и  $PT_{raw}$  и образцовые значения давлений  $PS_0$ ;  $PS_{50}$ ;  $PS_{100}$ .

8. Выполнить математическую обработку данных калибровки в соответствии с уравнениями (1–4), (6–9).

Эталонное гидростатическое давление, измеряемое калибратором модели 765–20K, рассчитывать по формуле:

$$\rho_{\text{эт}} = \rho_a - \rho_{\text{атм}},$$

где  $\rho_a$  — абсолютное давление, измеряемое калибратором модели 765–20K;  $\rho_{\text{атм}}$  — атмос-

ферное давление, измеряемое калибратором модели 765–1K.

9. Занести показания эталона и зонда в протокол калибровки.

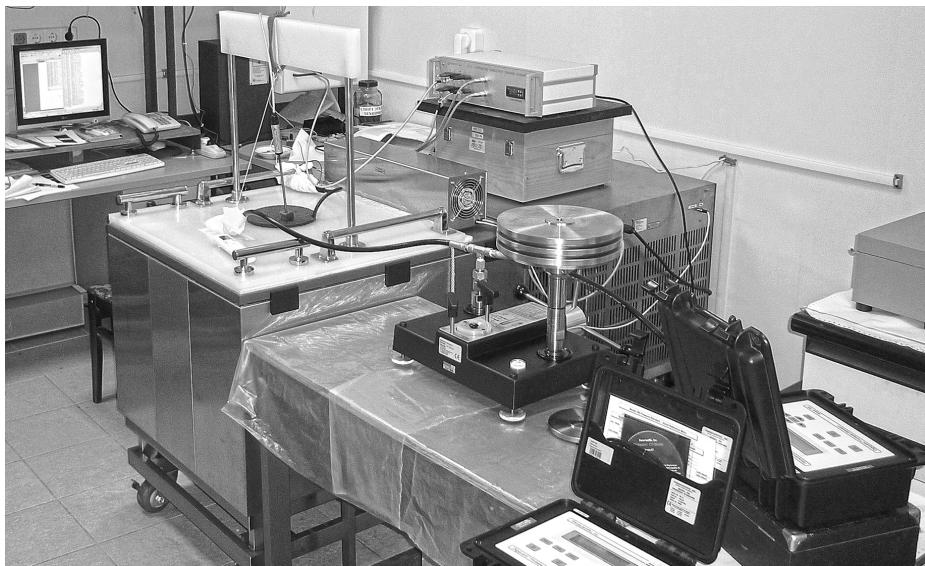
10. Занести показания эталона и зонда в калибровочный файл зонда.

На рис. 3 представлена фотография установки для калибровки датчиков давления в процессе калибровки СТД-зонда NXIC–CTD, который погружен в термобак Hart Scientific модели 7051 с морской водой.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате калибровки СТД-зондов Micro-CTD3, NXIC CTD и Citadel-NV максимальная приведённая погрешность не превысила 0,012% при среднеквадратичной погрешности 0,0045÷0,0053% от полной шкалы используемого датчика. Таким образом, использование установки для калибровки датчиков давления позволяет осуществлять моделирование алгоритмов термокомпенсации и калибровку датчиков давления с приведённой погрешностью не хуже ±0,02 ПШ диапазона измерения.

Предложенный алгоритм, установка для калибровки датчиков давления и методика калибровки датчиков давления с учётом компенсации влияния температуры может успешно



**Рис. 3.** Установка для калибровки датчиков давления и учёта влияния температуры на показания датчика в процессе калибровки СТД-зондов

использоваться для периодической калибровки СТД-зондов фирм Falmouth Scientific, Inc. и Teledyne RD Instruments, Inc. (США), имеющих приведённую погрешность измерения 0,02 и широко используемых как в рыбохозяйственной отрасли, так и другими организациями и ведомствами, занимающимися изучением Мирового океана, а также при проектировании, испытаниях и калибровке отечественных СТД-зондов, использующих тензометрические датчики давления по программе импорта замещения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Архипкин В. С., Лазарюк А. Ю., Левашов Д. Е., Рамазин А. Н. 2009. Океанология: Инструментальные методы измерения основных параметров морской воды. М.: МАКС Пресс. 336 с.*
- ГОСТ Р 8.802–2012. Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений избыточного давления до 250 МПа.*
- Рамазин А. Н., Буланов В. В., Левашов Д. Е., Тишкова Т. В. 2005. Калибровка СТД-зондов — метрологическое обеспечение измерений основных параметров среды обитания промысловых объектов // Материалы XIII Международной конференции по промысловой океанологии. Калининград: Изд-во АтлантНИРО. С. 235–238.*
- Шафаревич И. Р., Ремизов А. О. 2009. Линейная алгебра и геометрия. М.: Физматлит. 512 с.*
- Millard R., Bond G., Toole J. 1993. Implementation of a titanium strain gauge pressure transducer for CTD-applications // Deep-Sea Research I. V. 40. № 5. Р. 1009–1021.*
- REFERENCES**
- Arhipkin V. S., Lazaryuk A. Yu., Levashov D. E., Ramazin A. N. 2009. Okeanologiya: Instrumental'nye metody izmereniya osnovnyh parametrov morskoy vody [Oceanology: Instrumental methods of measurement of the basic parameters of sea water]. M.: MAKС Press. 336 s.*
- GOST 8.017–79 GSI. Gosudarstvennyj pervichnyj etalon i obshchesoyuznaya poverochnaya skhema dlya sredstv izmerenij izbytochnogo davleniya do 250 MPa [State system for ensuring the uniformity of measurements. State primary standard and all-union verification schedule for means measuring pressure up to 250 MPa].*
- Ramazin A. N., Bulanov V. V., Levashov D. E., Tishkova T. V. 2005. Kalibrovka STD-zondov — metrologicheskoe obespechenie izmerenij osnovnyh parametrov sredy obitaniya promyslovyh ob'ektov [Calibration of oceanographic CTD-instruments is metrological maintenance of primary parameters' measurements of living environment of fishing objects] // Materialy XIII mezhdunarodnoj konferentsii po promyslovoj okeanologii. Kaliningrad: Izd-vo AtlantNIRO. S. 235–238.*
- Shafarevich I. R., Remizov A. O. 2009. Linejnaya algebra i geometriya [Linear algebra and geometry]. M.: Fizmatlit. 512 s.*

*Поступила в редакцию 14.10.15 г.*

*Принята после рецензии 09.11.15 г.*

## **Installation and methods of modeling of algorithm temperature compensation of oceanographic CTD-probes pressure sensors**

*A. N. Ramazin*

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI "VNIRO", Moscow)

The analysis of fisheries industry being equipped with oceanographic instruments had shown that CTD-probes of the industry mainly consist of strain gauge type pressure sensors. Work principles of basic types of strain gauge pressure sensors (metallic and semiconducting), their advantages and disadvantages, design features and metrological characteristics are reviewed. Certain types of apparatus and program temperature compensation of strain gauge pressure sensors from "Pain Instruments" and "Duck" are analyzed. "The installation of pressure sensors calibration" (The Installation) for getting experimental data of temperature influence on readings of oceanographic CTD-probes pressure sensors, possibility of modeling and calibration was created. The installation consists of temperature tank and system of pressure sensors calibration. The tank of model 7051 ("Hart Scientific") with capacity 216 l is used as temperature tank. It allows to change water temperature in the range from  $-2$  till  $35$  °C and protractedly to maintain the desired temperature in stable state with error  $\pm 0.002$  °C. Pressure sensors calibration system consists of reference pressure calibrator of model 765–20K ("Paroscientific") and pressure setpoint — pressure gauge of model 580DX ("Budenberg"). The setpoint with the help of fittings and quick connectors joinings of high pressure ("Swagelok") through tee-split supplies pressure on calibrator and CTD-probe pressure sensor sunk into temperature tank. The algorithm, taking into account the influence of temperature on pressure sensors readings during the process of calibration, is given. It is shown that using this facility for algorithm temperature compensation modeling and pressure sensors calibration allows fulfilling the calibration of pressure sensors with error not worse than  $\pm 0.02$  from measurement range.

**Key words:** CTD-probe, strain gauge type sensor, calibration algorithm, calibration procedure, installation for calibration, temperature compensation.