

М.С.Воликов, Е.М.Быков, Е.Г.Лунев

*Морской гидрофизический институт РАН, г.Севастополь*

## **СОЗДАНИЕ КАНАЛА ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ ДЛЯ ТЕРМОПРОФИЛИРУЮЩИХ ДРЕЙФУЮЩИХ БУЕВ**

Обсуждаются вопросы проектирования канала измерения электропроводности морской воды термопрофилирующего дрейфтера. Разработан макет измерителя, реализующий кондуктометрический метод измерения на основе четырехэлектродной ячейки *LFS155*, и проведены его лабораторные испытания. Предложено техническое решение *CTD*-модуля, адаптированного к термолинии дрейфтера.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *электропроводность, соленость, термопрофилирующий буй, дрейфтер*

Удачное сочетание потенциально широких аппаратных возможностей термопрофилирующих дрейфующих буюв (дрейфтеров) [1] с экономической эффективностью определяет задачу расширения их измерительно-информационного функционала. В частности, очевидно актуальной является задача интеграции в термолинию дрейфтера канала измерения электропроводности морской воды.

С учетом особенностей эксплуатации дрейфтерный канал измерения температуры и электропроводности должен при минимальных размерах и массе обладать долговременной стабильностью метрологических характеристик, чрезвычайно низким энергопотреблением (порядка 20 мВт), низкой себестоимостью. Частный случай эксплуатации разрабатываемого модуля – исследование изменчивости температуры океана под ледяными образованиями в Арктике [2] – предусматривает погружение измерительной косы буюа в воду через скважину диаметром не более 60 мм в толще льда. Такое требование, в совокупности с необходимостью в крайне низком энергопотреблении, простоте и дешевизне изготовления, уже, в целом, исключает возможность применения измерителей электропроводности, предлагаемых производителями.

Современные модели *CTD* измерителей, ориентированные на измерения профилей, (зонды) имеют большую массу и габариты, высокое энергопотребление. Некоторые модели профиломеров и минизондов фирмы *Valeport* [3] обладают подходящими к применению в рассматриваемой задаче массо-габаритными характеристиками, хорошими показателями точности, однако, при этом они не предназначены для автономного использования, имеют довольно высокое энергопотребление и обладают большой стоимостью. Также известны, широко применяемые в составе автономных буюковых комплексов [4, 5], модули *SBE (Sea-Bird Electronics)* и измерители *AML Oceanographics* [6], рассчитанные на применение в позиционных комплексах. Приборы этого класса рассчитаны на долговременную автономную работу и имеют защиту от обрастания рабочих поверхностей датчиков, однако их применение в текущей задаче также не рассматривается по причине высокой стоимости, недостаточной мобильности и конструктивной сложности.

© М.С.Воликов, Е.М.Быков, Е.Г.Лунев, 2017

Учитывая вышесказанное, было принято решение о разработке специализированного модуля, адаптированного к конструкции термомолинии дрейфтера и ее интерфейсу.

В результате проведенного анализа различных методов измерений и способов их реализации с учётом погрешности оценивания солености не более 0,05 % согласно требованиям, сформулированным в документе [7], был выбран кондуктометрический метод измерения на основе четырехэлектродной ячейки с платинированными электродами, в которой поляризационный эффект, являющийся одним из основных источников погрешности, существенно ослаблен.

В качестве первичного преобразователя был выбран датчик типа *LFS155* (*Innovative Sensor Technology*, Швейцария). Датчик представляет собой четырехэлектродную кондуктометрическую ячейку, совмещенную с платиновым термометром сопротивления (рис.1, а).

Для уменьшения искажений, обусловленных влиянием близлежащих металлических элементов, датчик *LFS155* был помещен в диэлектрический цилиндр, ограничивающий электрическое поле ячейки. Моделирование электрического поля ячейки, проведенное с помощью системы автоматизированного проектирования *Comsol* (рис.1, б), позволило определить минимальные размеры элементов обрамления датчика с учетом допустимого размера измерителя, не превышающего диаметр 60 мм. С учетом того, что ограничивающий электрическое поле цилиндр должен обладать высокой стабильностью геометрических размеров (объёма) в диапазоне температур от минус 5 до 35 °С, в качестве конструкционного материала цилиндра был выбран ситалл.

Для обеспечения долговременной стабильности показаний прибора в условиях автономной работы разработана комплексная система защиты датчика от биологического и минерального обрастания, предотвращения попадания пузырьков воздуха в его рабочую область. Данная система (рис.2)

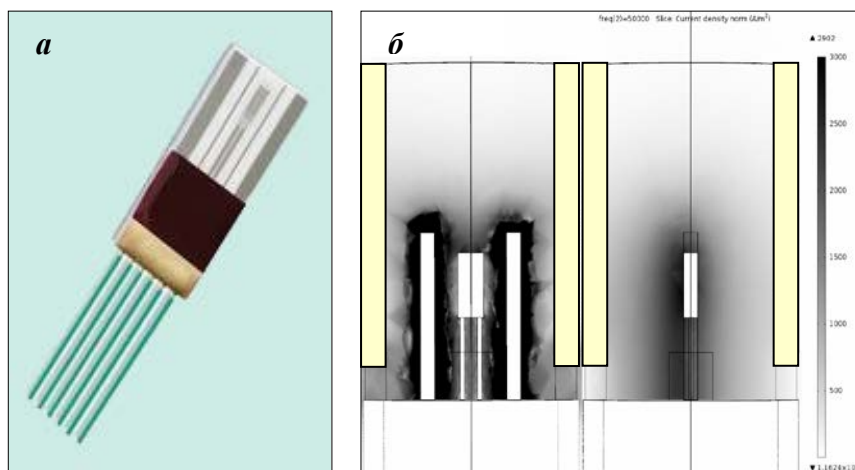
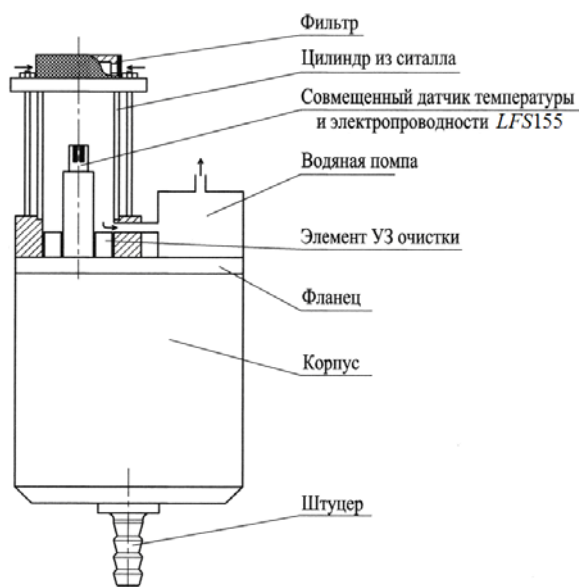


Рис. 1. Датчик электропроводности и температуры *LFS155* (а); результаты моделирования электрического поля четырехэлектродной ячейки в ограничивающем поле цилиндра (б).



Р и с . 2 . Функциональная схема системы очистки и защиты датчика модуля *CTD*.

включает в себя элементы ультразвуковой очистки и контур прокачки воды помпой через фильтр с медными элементами.

С целью проверки принятых технических решений на данном этапе были выполнены следующие работы:

- разработаны электрическая схема и печатная плата вторичного преобразователя электропроводности и температуры;
- разработан управляющий алгоритм и микропрограммное обеспечение его реализации;
- разработано программное обеспечение для приема

и первичной обработки данных на ПК;

- изготовлен лабораторный макет вторичного преобразователя электропроводности и температуры с датчиком *LFS155*, элементами защиты и фильтрации и проведены его лабораторные испытания.

Лабораторные испытания макета измерителя электропроводности и температуры показали целесообразность применения следующих решений:

- высокая частота питающего ячейку тока – 10 кГц;
- импульсный со скважностью 8 режим питания ячейки током для уменьшения количества электричества, проходящего через электроды;
- режим стабильного тока через токовые электроды ячейки или напряжения на потенциальных электродах (исследовались оба варианта).

На основе результатов испытаний макета измерителя электропроводности и температуры была подготовлена эскизная конструкторская документация на *CTD*-модуль с датчиком электропроводности и температуры типа *LFS155* и датчиком гидростатического давления типа *MS5535* (*Intersema*, Швейцария), адаптированным к термолинии дрейфтера.

На следующем этапе предполагается:

- доработать по результатам лабораторных испытаний электрическую схему вторичного преобразователя измерителя;
- доработать управляющий алгоритм измерителя, его микропрограммное обеспечение и программное обеспечение для ПК;
- изготовить экспериментальный образец *CTD*-модуля;
- провести испытания *CTD*-модуля на устойчивость к воздействию температур в диапазоне от минус 2 до 35 °С и гидростатических давлений до 1 МПа;

- оценить характеристику преобразования канала измерения электропроводности в диапазоне соленостей от 15 до 35 ‰ и в диапазоне температур от минус 5 до 35 °С;

- произвести адаптацию вторичного преобразователя измерителя к «однопроводному» (1-Wire) интерфейсу термолинии дрейфтера, доработать программное обеспечение дрейфтера;

- провести натурные испытания CTD-модуля в составе термолинии дрейфтера.

Полученные результаты следует рассматривать как предварительные, отражающие в большей степени оценку принятых технических решений, положенных в основу при разработке специализированного CTD-модуля для термопрофилирующего дрейфтера.

Работа выполнена в рамках НИР № 0827-2014-0011 «Оперативная океанография».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толстошеев А.П., Лунев Е.Г., Мотыжев С.В. Анализ результатов натурных экспериментов с термопрофилирующими дрейфующими буями в Черном море и других районах Мирового океана // Морской гидрофизический журнал.– 2014.– № 5.– С.9-32.
2. Мотыжев С.В., Лунев Е.Г., Толстошеев А.П., Быков Е.М. Опыт применения термопрофилирующих дрейфтеров для исследований арктического региона Мирового океана // Арктика: экология и экономика.– 2016.– № 1(21).– С.38-45.
3. Valeport miniCTD [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.valeport.co.uk/Portals/0/Docs/Datasheets/Valeport-miniCTD.pdf>
4. Multisensor underwater platform Aqualog [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://aqualog.ocean.ru/>
5. CTD module for Autonomous Profiling Floats(argo) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.seabird.com/sbe41-argo-ctd>
6. AML Oceanographic, CTD Instruments [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.amloceanographic.com/CTD-Sound-Velocity-Environmental-Instrumentation-Home/CTD-Sensors-Probes-Instruments>
7. Sea Surface Salinity Quality Control processes for potential use on Data Buoy observations. DBCP Technical Document No. 42. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.wmo.int/pages/prog/amp/mmop/dbcp\\_reports.html](http://www.wmo.int/pages/prog/amp/mmop/dbcp_reports.html)

Материал поступил в редакцию 12.02.2016 г.  
После доработки 22.11.2016 г.

M.S.Volikov, E.M.Bykov, E.G.Lunev

#### **DEVELOPMENT OF CONDUCTIVITY SENSOR FOR TEMPERATURE-PROFILING DRIFTING BUOYS**

The design of specialized conductivity sensor for temperature-profiling drifting buoys is described. The conductance-measuring method based on four electrode measurement is implemented. The first prototype with LFS155 primary sensor was evaluated. The design of CTD-module integrated in drifters termoline is proposed.

KEYWORDS: conductivity, salinity, temperature-profiling buoy, drifter