

## Техника для рыбохозяйственных исследований

УДК 639.2.001.5; 629.124.72

**Развитие систем прокачки забортной воды для измерения параметров окружающей водной среды на ходу судна***Н.П. Буланова, Д.Е. Левашов*

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

Приведены результаты сбора, анализа и систематизации современного оборудования, используемого в системах прокачки забортной воды для измерения параметров окружающей водной среды на ходу судна. Приведены примеры и рассмотрены конфигурации и конструктивные особенности реального оборудования, используемого на современных зарубежных НИС. Рассмотрены перечень конкретных измерителей параметров забортной воды, их комплексирование, а также конструктивные и методические особенности их выбора и подключения к гидравлической системе. Показано, что для использования в перспективных проектах отраслевых НИС наиболее целесообразно использовать распределённую систему расположения узлов и модулей с комбинированным использованием ёмкостей для измерителей или групп измерителей, что позволяет изменять конфигурацию системы и состав измерителей в зависимости от поставленных задач. Материалы исследований использованы в работах, связанных с оснащением новых отраслевых НИС.

**Ключевые слова:** отраслевые НИС, СТД, измерители, термосалинограф, прокачка, забортная вода, мониторинг, FerryBox.

**ВВЕДЕНИЕ**

В состав судового оборудования практически всех экспедиционных судов входит одна или несколько систем подачи забортной воды, которые позволяют получать оперативные данные о пространственном распределении промыслово-значимых характеристик в верхнем слое водной среды. Такие данные необходимы, прежде всего, для текущего мониторинга изменений параметров морской воды на ходу судна. Например, отслеживание фронтов изменения температуры необходимо для поиска промы-

словых скоплений. Изменение солёности воды критично для систем водообеспечения поддержания жизнедеятельности гидробионтов при их транспортировке с использованием забортной воды. Своевременное обнаружение областей загрязнения поверхностных вод позволяет проводить более качественную оценку состояния водной экосистемы определённой акватории.

**МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ**

В связи с планируемым обновлением отраслевого научного флота появилась необхо-

димось в сборе, анализе и систематизации подобного современного оборудования, информация по которому эпизодически встречается в различных источниках. Главным образом, это рекламно-информационные брошюры и сайты фирм-изготовителей океанологической аппаратуры, а также научные статьи и доклады на конференциях, где описания систем прокачки являются попутным фоном описываемых исследований. Учитывая, что подобное оборудование рекомендуется как штатное для будущих отраслевых НИС, изучалась и техническая документация на действующие и строящиеся зарубежные НИС. Частично подобное обследование проводилось за период до 2000 г. [Левашов, 2003], в связи с чем, здесь рассматривается следующий современный период.

Все системы состоят из двух основных частей — измерительной и гидравлической. В первую очередь, рассматриваются измерители параметров забортной воды, их комплексирование, конструктивные особенности и подключение к гидравлической системе.

Другая важная часть — это гидравлическая система отбора и подачи воды к измерителям её параметров. Сюда входят отверстия для забора воды, которые обычно располагаются в носовой части судна справа, примерно на 2–4 м ниже ватерлинии и/или в центральной части, ближе к днищу судна. Раздача воды производится в лабораториях, в ангарах зондирующих устройств и других специальных или приспособленных помещениях отбора проб в зависимости от назначения судна. Между отверстием отбора и точками раздачи воды располагается система трубопроводов различного диаметра и протяженности, в которую также входит ряд ёмкостей для водоподготовки (отстоя, дегазации и др.). Эта часть будет рассматриваться как вспомогательная при анализе измерительных систем.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исторически, наиболее распространёнными проточными измерителями являются термосаленографы — ТСГ (Thermosalinograph — TSG), которые предназначены для измерения температуры и солёности (электропроводности) забортной воды и могут использоваться в системах прокачки практически любого

типа [Sea-Bird Scientific — SBE45 MicroTSG Thermosalinograph]. Кроме ТСГ, в системы прокачки можно установить датчики гидрохимических анализаторов, а также измерители флюоресценции, биOLUMИнесценции и других биологических параметров. Это оборудование требует регулярного обслуживания и обычно устанавливается в «мокрых» лабораториях или других помещениях, имеющих подвод забортной воды, например, в ангарах для погружаемого оборудования (ПУ). Примеры реализации подобных систем представлены на рис. 1. Как правило, система из ПВХ труб с кассетами датчиков произвольно, по месту, монтируется на вертикальной стене-переборке со сменными креплениями у стола с одной или двумя мойками. Такие системы измерения параметров забортной воды принято называть распределёнными [Левашов, 2010].

В начале 2000-х гг. была разработана интегрированная система измерения параметров забортной воды, которую стали называть FerryBox, так как первоначально она предназначалась для установки на европейские паромы [Левашов, 2003].

FerryBox — это не просто проточная система, это целая концепция интегрированной системы для измерения параметров морской воды с низким уровнем обслуживания, которая разработана специально для размещения на судах, метрологических платформах или непосредственно в водных объектах для долгосрочного мониторинга *in situ* рек, эстуариев, прибрежных зон и открытого моря [European Global Ocean Observing System — FerryBox Task Team, electronic resource].

Благодаря своей специальной архитектуре система способна связывать множество датчиков и устройств автоматического анализа и даже выполнять измерения в сложных средах, таких как морская вода. Модульная проточная система сочетает в себе высокую гибкость в выборе типов датчиков и методов с полностью интегрированной концепцией защиты от обрастания и возможностью автоматического и дистанционного управления. В состав системы входят проточные измерители температуры, электропроводности, растворённого кислорода, рН, мутности и флюоресценции хлорофилла, а также автоматические



**Рис. 1.** Примеры распределенных систем измерения параметров заборной воды в «мокрой» лаборатории на НИС «Oceanos Explorer» (слева) и в ангаре STD-комплексов на НИС «Investigator» (справа)

анализаторы биогенных элементов ( $P-PO_4'''$ ,  $N-NO_3'$ ,  $N-NH_4^+$ ,  $Si-SiO_3''$ ) и анализатор флюоресценции различных классов фитопланктона. Кроме того, система оборудована приёмником сигналов GPS и вспомогательными датчиками температуры, давления и уровня воды в различных резервуарах и трубопроводах.

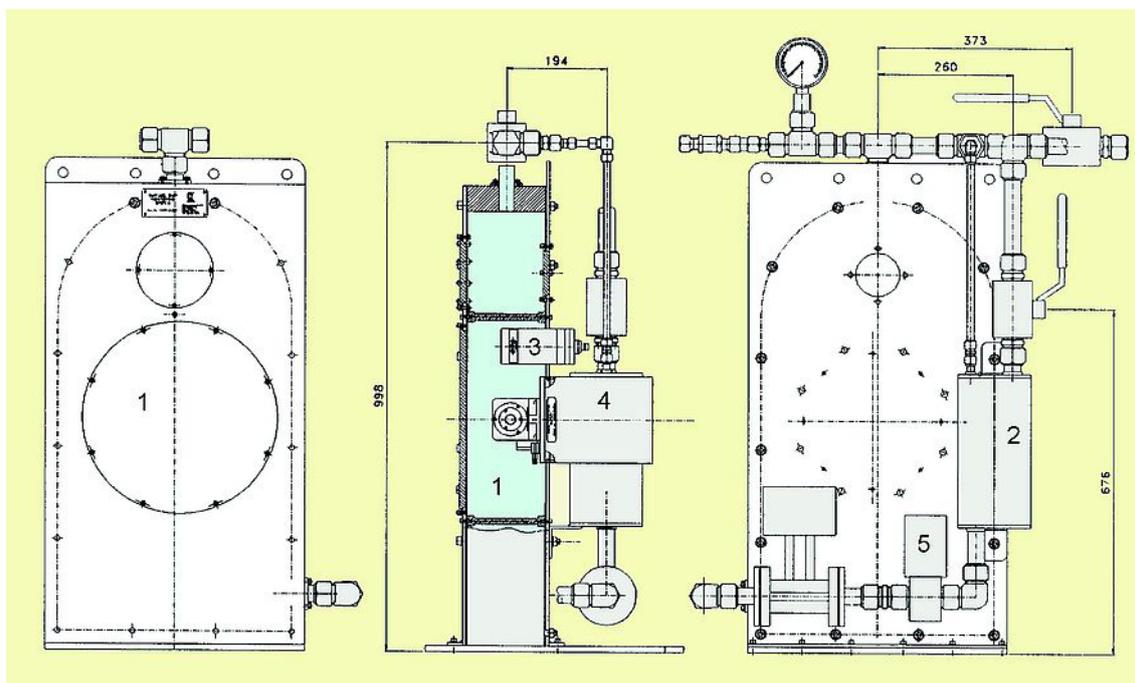
По конструктивному исполнению существуют два принципиально разных варианта. В одном из них основой является общий измерительный объём в виде резервуар-ресивера — бака объёмом порядка 200 л, через который прокачивается морская вода. В этом же баке размещаются ПУ стандартных зондирующих устройств со всеми необходимыми измерителями. Несомненным преимуществом такой конструкции является относительная простота исполнения. Такие системы разработаны и выпускаются британской фирмой Chelsea Instruments, Ltd., которая их комплектует своими измерителями.

Например, Surface Ship Monitoring System (SSMS) — представляет собой судовую проточную систему мониторинга поверхностного слоя воды (рис. 2). Система [Левашов, 2003] первоначально разработана на основе станции океанографического мониторинга SUBPACK, позволяющей измерять температуру и электропроводность воды, а также определять биоломинисценцию планктона и флюоресценцию хлорофилла *a*, жёлтого вещества и гидрокарбонатов.

Кроме самой станции, в состав системы входит проточный бак объёмом примерно

250 л, ресивер-деаэратор, измеритель расхода воды, манометр и система трубопроводов и регулирующих клапанов. Измерительный блок станции крепится к проточному баку снаружи, но таким образом, чтобы датчики находились внутри бака. Вода из судовой системы подачи заборной воды сначала поступает в ресивер-деаэратор, а оттуда в приёмный патрубок главного бака. Перед входом в бак расположен электромагнитный измеритель расхода воды, рассчитанный на измерения в диапазоне от 10 до 100 л/мин (рабочий расход устанавливается регулировочными клапанами в пределах 40—60 л/мин). Внутри бака смонтирован ряд дефлекторов, распределяющих поток воды равномерно ко всем датчикам измерителя. Выходной патрубок находится в верхней части бака, откуда вода через запорный клапан поступает в сливной трубопровод судовой системы. На верхнем патрубке также смонтированы манометр и клапан сброса давления для установки рабочего режима всей проточной системы.

Данные от измерительного блока, в том числе и от измерителя расхода воды, передаются по двухпроводной линии в соответствии со стандартом RS422 на бортовое устройство (БУ), где преобразуются в формат RS232 и поступают на персональный компьютер с соответствующим ПО. Система рассчитана на 16 измерительных каналов, т. е., кроме перечисленных измерителей, в её состав можно включать и дополнительные измерители. Как и при установке станции снаружи судна, её бортовой блок и устройства регистрации



**Рис. 2.** Конструктивное устройство одного из вариантов проточной системы SSMS:

1 — проточный бак; 2 — ресивер-деаэратор; 3 — Minitracka; 4 — Aquapack/UV; 5 — Aquatrace

с персональным компьютером устанавливаются в лаборатории или штурманской рубке. Вся система полностью автоматизирована, отличается чрезвычайно высокой надёжностью, а её гидравлическая часть практически не требует квалифицированного обслуживания в течение экспедиции и может быть размещена на судне в любом удобном месте.

Более распространена система типа FerryBox с использованием индивидуальных ёмкостей для каждого измерителя, последо-

вательно или параллельно соединённых трубопроводами. Преимуществом такой конструкции является возможность регулировки скорости водообмена для каждого датчика индивидуально, что необходимо для использования датчиков, устроенных на разных принципах измерений.

В этом плане наиболее удачной можно считать интегральную систему фирмы 4H-JENA Engineering [4H Jena Engineering — FerryBox, electronic resource]. Система размещается в ме-



**Рис. 3.** Примеры интегрированных систем измерения параметров заборной воды фирмы 4H-JENA Engineering на НИС «Zirfaea» (слева) и на НИС «Polarstern» (справа)

таллическом шкафу (клету), задняя панель которого оснащена рядом универсальных креплений и позволяет монтировать необходимые измерители и датчики (рис. 3).

Автоматика и измерительно-регистрирующая аппаратура размещаются в верхней части этого ящика или выполнены отдельным блоком. Основой интегральной системы FerryBox также является резервуар-ресивер, но значительно меньшего объёма, в который также поступает заборная вода. Здесь она освобождается от пузырьков и затем поступает в проточные измерители и анализаторы. В состав системы входят проточные измерители температуры, электропроводности, растворённого кислорода, pH, мутности и флуоресценции хлорофилла, а также автоматические анализаторы биогенных элементов ( $P-PO_4'''$ ,  $N-NO_3'$ ,  $N-NH_4^+$ ,  $Si-SiO_3''$ ) и анализатор флуоресценции различных классов фитопланктона. Кроме того, система оборудована приёмником сигналов GPS и вспомогательными датчиками температуры, давления и уровня воды в различных резервуарах и трубопроводах.

В 2001 г. прототип такой системы был установлен на пароходе «Admiral of Scandinavia», совершающем регулярные рейсы между Гамбургом и портами Великобритании. На рис. 4 показана функциональная схема прототипа с перечнем всех измерителей, основных узлов и блоков системы, а на рис. 5 приводится внешний вид интегрированной системы FerryBox фирмы 4H-JENA Engineering, установленной на НИС «Zirfaea» (слева) и на НИС «Polarstern» (справа).

В этой конструкции могут применяться как датчики, используемые в системе протока воды, так и подводные, чувствительная часть которых размещается в специальных проточных контейнерах.

Наибольший интерес представляют комбинированные системы без использования одного большого накопительного бака и без использования только индивидуальных, последовательно соединённых измерительных объёмов для каждого датчика. В настоящее время на рынке предлагаются системы с несколькими групповыми ёмкостями для размещения в них групп датчиков, которым требуются одинаковые ус-

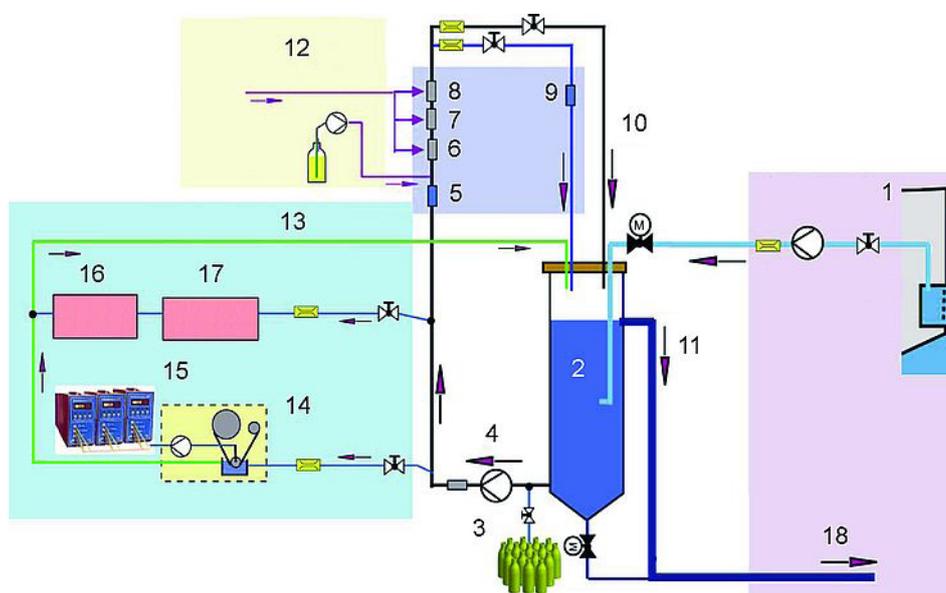


Рис. 4. Функциональная схема системы FerryBox на пароходе «Admiral of Scandinavia»:

- 1 — судовая система забора и подачи воды в измерительную систему; 2 — ресивер-деаэратор; 3 — кран отбора проб; 4 — начало главного кольцевого трубопровода; 5 — измеритель STD-параметров; 6 — измеритель pH; 7 — измеритель кислорода; 8 — измеритель мутности; 9 — измеритель флуоресценции; 10 — завершение главного кольцевого трубопровода; 11 — перелив; 12 — блок очистки датчиков; 13 — химико-биологический блок; 14 — ленточный планктонособиратель; 15 — анализатор биогенных элементов; 16 — УФ-анализатор; 17 — анализатор фитопланктона; 18 — слив воды за борт

ловия измерений. Несколько таких ёмкостей объединяются трубопроводами по параллельной схеме.

Например, норвежская фирма «Aanderaa» разработала систему для измерения параметров на ходу судна (SOOGUARD) на мобильных платформах и станциях, позволяющую фиксировать параметры в конкретной точке с привязкой к координатам (GPS) и с возможностью управления и передачи данных по Wi-Fi. [Aandera Data Instrumens — Sooguard FerryBox System, electronic resource] (рис. 5).

Каждый измеритель (или группа из нескольких измерителей) помещён в отдельную ёмкость, позволяющую чувствительным элементам измерителя полностью погружаться в воду. При необходимости ремонта, замены и калибровки чувствительного элемента измерителя его можно заменить заглушкой без остановки работоспособности всей системы (рис. 6).

Эта система обладает возможностью интеграции дополнительных датчиков, имеющих стандартный интерфейс RS232/422, что позволяет использовать датчики других производителей. В любом случае комплектация и монтаж таких установок производится, как правило, «по месту» исходя из имеющихся возможностей и конструктивных особенностей конкретного судна, поэтому однозначных решений здесь нет. Однако для получения мак-

симально достоверных результатов необходимо выявить и, по возможности, заранее исключить источники методических погрешностей измерений в таком режиме, а также оценить возможные поправки, связанные с пространственным разрешением всей системы.

Прежде всего, следует отметить, что даже малая разница температур между датчиками температуры и электропроводности при недостаточно быстром перемешивании воды в баке приводит к ошибкам рассчитанных значений солёности до 0,1‰ (это похоже на динамическую погрешность при разном быстродействии датчиков температуры и электропроводности). Другой источник погрешностей — это возможное наличие в воде пузырьков, вызывающих ошибку в расчёте солёности до 0,02–0,05‰ в результате искажения данных по электропроводности.

Оба вида погрешностей достаточно просто минимизируются при направлении струи воды одновременно на датчик температуры и в отверстие датчика электропроводности, а также исключением источников образования пузырьков (резкие перепады сечений, крутые повороты и т. п.) по всей трассе забора и подачи воды. Необходимо отметить, что образование пузырьков является нежелательным эффектом и при измерении других параметров водной среды, а особенно при измерениях, связанных с исследованиями характеристик планктона.

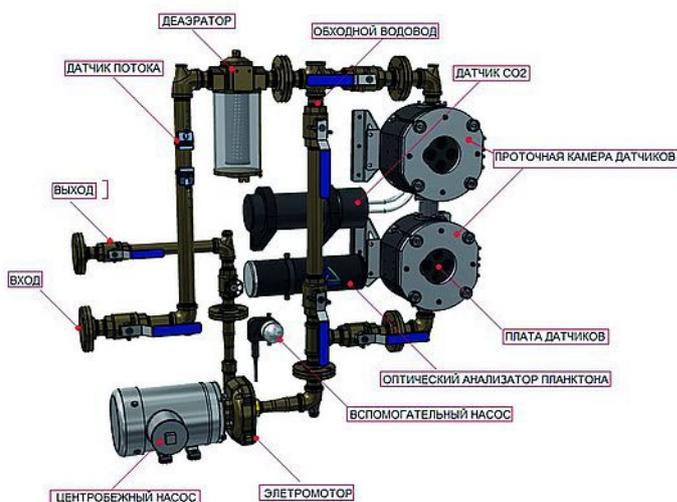
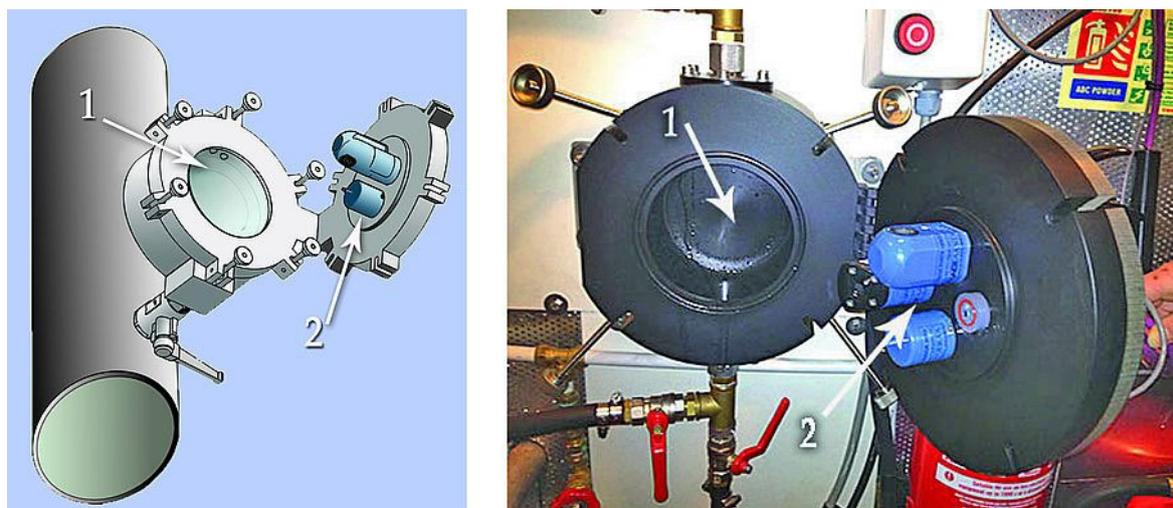


Рис. 5. Общий вид системы SOOGUARD (слева) и узел датчиков в отдельной ёмкости (справа)



**Рис. 6.** Конструктивное устройство (слева) и внешний вид (справа) проточной системы SOOGUARD в раскрытом виде (1 — ёмкость, 2 — датчики)

В подобных случаях следует использовать дополнительные ресиверы-деаэраторы, причём при оценке разрешающей способности всей системы следует учитывать и величины их объёма. В общем случае можно руководствоваться тем, что расход воды, необходимый для обеспечения достаточной скорости обмена и перемешивания в баке, должен примерно соответствовать величине общего объёма бака и ресивера-деаэратора в минуту.

Что касается более полного учёта погрешностей измерений, возникающих в системах прокачки, то рассмотренные подходы к оптимизации использования датчиков температуры и электропроводности для повышения точности определения солёности являются лишь примерами предварительных рекомендаций по минимизации возможных погрешностей при выборе функциональной схемы проектируемых систем прокачки для новых НИС.

Вместе с тем значительные погрешности измерений в подобных системах имеются практически у всех других определяемых параметров, в частности, у биогенных элементов, что связано как с методикой измерений, так и конструктивными особенностями самих измерителей. Рассмотрение этих вопросов уже выходит за рамки рассматриваемой задачи, а учитывая оценки возможных поправок, связанных с пространственным разрешением подобных систем прокачки, понятно, что для рассмотрения всех этих вопросов требуется отдельная работа, ко-

торая и будет посвящена, в том числе, указанным выше проблемам.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ существующих систем прокачки и измерения параметров заборной воды показал, что для использования в перспективных проектах отраслевых НИС наиболее целесообразно использовать распределённую систему расположения узлов и модулей с комбинированным использованием ёмкостей для измерителей или групп измерителей. Эти измерители вместе с элементами трубопроводов с помощью универсального крепежа монтируются на вертикальной стойке, что позволяет изменять конфигурацию системы и состав измерителей в зависимости от поставленных задач и проводить техническое обслуживание системы. Сама стойка крепится к переборке, которая вместе с прилегающим столом расположена в специальном помещении вблизи места забора воды. Информация измерителей непосредственно или через судовую ЛВС передаётся в операционный центр. Дополнительно возможно проведение коррозионностойкого трубопровода в гидрохимические и гидрологические лаборатории.

ЛИТЕРАТУРА

- Левашов Д.Е. 2003. Техника экспедиционных исследований: Инструментальные методы и технические средства оценки промыслово-значимых факторов среды. М.: Изд-во ВНИРО. 400 с.
- Левашов Д.Е. 2010. Современные суда и судовое оборудование для рыбопромысловых исследований М.: Изд-во ВНИРО. 399 с.
- 4H Jena Engineering — FerryBox. Accessible via: <https://www.4h-jena.de/en/maritime-technologies/flow-systems/ferrybox/>. 25.05.2018
- Aandera Data Instrumens — Sooguard FerryBox System. Accessible via: <https://www.aanderaa.com/productsdetail.php?SOOGUARD-FerryBox-System-38>. 16.05.2018.
- European Global Ocean Observing System — FerryBox Task Team. Accessible via: <https://www.ferrybox.com/>. 30.05.2018.
- Sea-Bird Scientific — SBE45 MicroTSG Thermosalinograph. Accessible via: <http://www.seabird.com/sbe45-thermosalinograph>. 11.04.2018.

Поступила в редакцию 05.12.2018 г.  
Принята после рецензии 25.02.2019 г.

---

**Trudy VNIRO**

---

---

**2019. Vol. 175**

---

---

Equipment for fisheries research

---

**The development of flowing seawater systems for measuring the characteristics of the aquatic environment from underway vessel.**

*N.P. Bulanova, D. Ye. Levashov*

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

The results of the collection, analysis and systematization of modern equipment used in the flowing seawater systems for measuring the parameters of the aquatic environment when the RV is moving are presented. Examples are given and configurations and design features of the real equipment used on modern foreign RV are considered. A list of specific measuring parameters of seawater, their integration, and structural and methodological features in their choice and connection to the hydraulic system is given. A distributed system of organization of units and modules with a combined use of tanks for meters or groups of meters, is shown to be the most expedient in using for promising projects of FRV which allows change the system and configuration and composition of meters depending on the task. Research materials used in the works are related to the equipment of new FRV.

**Keywords:** FRV, CTD, meters, thermosalinograph, flow measuring systems of research for outboard water, seawater, monitoring, FerryBox.

#### REFERENCES

- Levashov D.E.* 2003. *Tekhnika ehkspeditsionnykh issledovaniy: Instrumental'nye metody i tekhnicheskie sredstva ocenki promyslovo-znachimyykh faktorov sredey* [Instrumental methods and components for estimating the fishing-significant characteristics of water medium]. M.: Izd-vo VNIRO. 400 s.
- Levashov D.E.* 2010. *Sovremennyye suda i sudovoe oborudovanie dlya rybopromyslovykh issledovaniy* [Modern research vessels and their equipment for fishery investigations]. M.: Izd-vo VNIRO. 399 s.
- 4H Jena Engineering* — FerryBox. Accessible via: <https://www.4h-jena.de/en/maritime-technologies/flow-systems/ferrybox/>. 25.05.2018
- Aanderaa Data Instruments* — Sooguard FerryBox System. Accessible via: <https://www.aanderaa.com/productsdetail.php?SOOGUARD-FerryBox-System-38>. 16.05.2018.
- European Global Ocean Observing System* — FerryBox Task Team. Accessible via: <https://www.ferrybox.com/>. 30.05.2018.
- Sea-Bird Scientific* — SBE45 MicroTSG Thermosalinograph. Accessible via: <http://www.seabird.com/sbe45-thermosalinograph>. 11.04.2018.

#### FIGURE CAPTIONS

- Fig. 1.** The examples of distributed measuring system for parameters of seawater in wet lab on the RV «Oceanos Explorer» (left) and in the CTD-hangar on the RV «Investigator» (right).
- Fig. 2.** Constructive device of one of the variants of the flow system SSMS:  
1 — flow tank; 2 — debubbler; 3 — Minitracka; 4 — Aquapack/UV; 5 — Aquatrace.
- Fig. 3.** Examples of integrated flow measurement system of parameters of seawater 4H-JENA Engineering on the RV «Zirfaea» (left) and on the RV «Polarstern» (right).
- Fig. 4.** Function schem of FerryBox on ferry «Admiral of Scandinavia»:  
1 — ship sistem of water intake and supply into measuring sistem; 2 — debubbler; 3 — tap for sampling seawater; 4 — beginning of the main pipe; 5 — CTD-parametr meter; 6 — pH-meter; 7 — Oxygen Optode; 8 — turbidity meter; 9 — fluorescence meter; 10 — end of the main pipe; 11 — overflow; 12 — sensor cleaning unit; 13 — chemical and biological unit; 14 — tape plankton collector; 15 — nutrient analyzer; 16 — UV — analyzer; 17 — phytoplankton analyzer; 18 — reverse water outlet.
- Fig. 5.** View of sistem SOOGUARD (left) and unit of sensor in the single capacity (right).
- Fig. 6.** The device design (left) and view of flow water sistem SOOGUARD in open state (right) (1 — capacity, 2 — sensors).