

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПРОБООТБОРНИК МОРСКОЙ ВОДЫ С ЗАДАННОЙ ГЛУБИНЫ

И.Е. Стёпочкин

Отбор проб с различных горизонтов водной толщи необходим в решении различных задач морской гидрологии. На сегодняшний день практически отсутствует компактное и недорогое техническое решение, позволяющее проводить большое количество отборов на малых исследовательских судах или лодках. В работе описаны результаты разработки автоматического блока управления батометром Нискина, использующего датчик давления. Это позволит повысить эффективность работы на океанографических станциях. Полученный прибор отличается низкой себестоимостью, а также высоким функционалом и простотой сборки благодаря использованию широко доступных электронных модулей. Прибор может использоваться в широком спектре организаций, так или иначе связанных с исследованием акваторий: научных институтах; организациях, занятых в рыбохозяйственной деятельности и марикультуре; надзорных органах власти, контролирующих качество прибрежных вод.

Ключевые слова: батометр, гидрология, океанография, профилограф, погружное зондирование.

Введение

В решении большинства задач морской гидрологии отбор проб воды с определенных глубин играет одну из ведущих ролей. В частности, при определении концентрации первичной продукции и пигментов

фитопланктона, калибровке погружных профилографов [1, 2]. В контексте данной статьи речь пойдет о гидрологии и гидрохимии мелководных прибрежных бассейнов (до глубин порядка 80–90 м), где применяются рассматриваемые устройства [3, 4]. На сегодняшний день большая часть такой работы в полевых

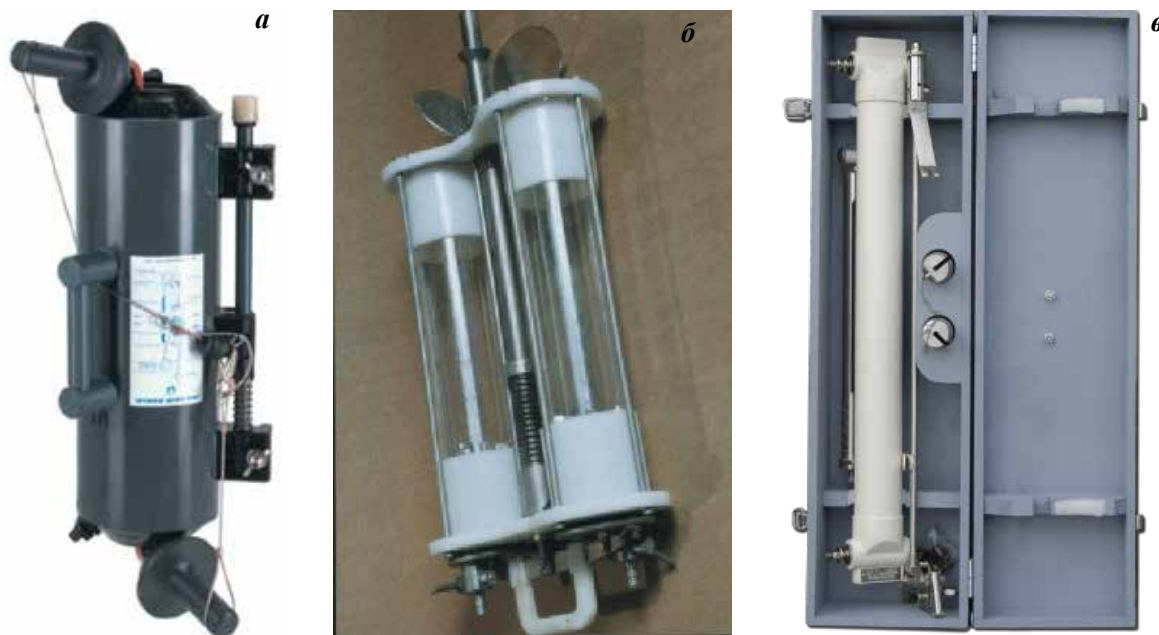


Рис. 1. Батометр Нискина (а); батометр Молчанова (б); батометр Паттерсона–Нансена (в)

экспедициях выполняется при помощи механических батометров трех различных типов: Нискина, Паттерсона–Нансена, Молчанова (рис. 1).

В настоящее время батометр Нискина является наиболее распространенным ввиду простоты и надежности конструкции. Он представляет собой пластиковый изотермический сосуд цилиндрической формы с двумя крышками сверху и снизу, а также краном для слива отобранной воды. Крышки прибора находятся в открытом состоянии, свободно пропуская поток воды по мере опускания сосуда вниз. Для закрытия крышек на нужной глубине по тросу пускается груз, который своим ударом приводит в действие спусковой механизм (как правило состоящий из скобы, прижимаемой пружиной). Для надежного закрытия клапаны стянуты друг с другом жгутом с большим запасом упругости [5]. Остальные приведенные на рис. 1 устройства в настоящее время используются редко. В батометре Молчанова предусмотрено измерение температуры требуемого горизонта. Поэтому он состоит из двух сосудов с термометрами для перекрестного контроля. Механизм закрытия также приводится в действие грузиком, а вместо жгута используются пружины [6]. Батометр Паттерсона–Нансена, как правило, целиком отлит из латуни. Несмотря на то что его механизм закрывания представляется сложным и архаичным, он обеспечивает более плотное закрытие, что критично при отборе проб с больших глубин [7].

Как видно, использование груза фактически является единственно возможным способом механически закрыть батометр на нужной глубине. Это приводит ко множеству неудобств. Во-первых, трос должен быть точно размечен. Во-вторых, нужно отслеживать глубину при погружении. В-третьих, возможны случаи, когда силы удара груза недостаточно, и батометр не закроется (например, при сильном течении, когда груз движется не строго вертикально). Также отсутствует возможность объединять батометры в связку, чтобы получать пробы с нескольких горизонтов за одно погружение. Все это делает работу со стандартными батометрами затратной по времени. Однако все измерения на океанографических станциях должны проводиться синхронно.

Основным автоматизированным решением на сегодняшний день является использование розетки с размыкателем, управляемым оператором по кабель-тросу в онлайн-режиме (рис. 2). Однако подобная система имеет высокую стоимость и ввиду своих размеров может использоваться только на крупных судах с мощной лебедкой. Таким образом, ее приме-

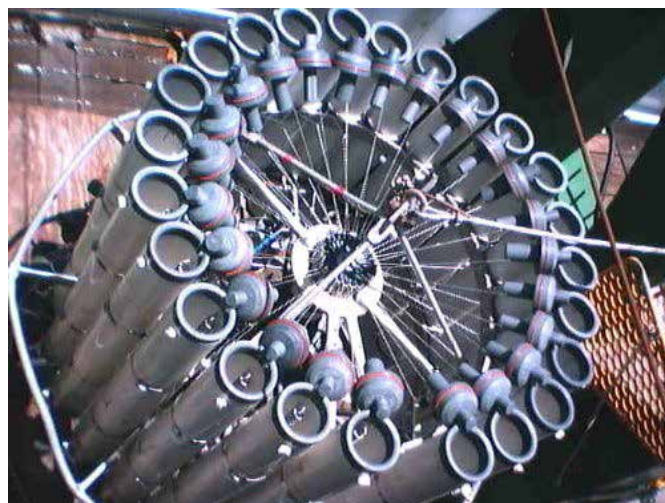


Рис. 2. Управляемая розетка с батометрами

нение нецелесообразно при исследовании прибрежных акваторий.

В данной статье описана разработка прототипа электронного блока управления спусковым механизмом, позволяющего батометру срабатывать автоматически на заранее заданных глубинах. Предполагается использовать калиброванный датчик давления для определения глубины и соленоидный толкатель в качестве силового устройства. Блок можно будет использовать в паре с серийным батометром в качестве «носителя» (например, SeaBird SBE-32) либо самодельным, но работающим по принципу батометра Нискина. Программная и аппаратная начинка устройства будет давать возможность подключения к одному блоку нескольких батометров в одной связке. Максимальная глубина погружения 130 м (следует из характеристики датчика). Предполагается использование на глубинах до 80–90 м.

Данное устройство позволит отбирать пробы воды с любых плавсредств и значительно упростит работу океанологов. Благодаря современному развитию модульной электроники прибор имеет низкую себестоимость (порядка 150 USD на момент печати), прост в сборке кустарным способом, а комплектующие широко доступны на рынке.

■ Обзор существующих решений.

На сегодняшний день в мире существует очень ограниченное число компактных батометров, позволяющих отбирать морскую воду без использования посыльного груза. Некоторые из них являются прототипами, некоторые представлены на рынке. Краткое описание достоинств и недостатков каждого приведено в таблице.

Таблица 1

Название	Плюсы	Минусы	Цена
MULTI-LIMNOS [8]	<ul style="list-style-type: none"> - Имеет возможность отбора проб на разных глубинах за одно погружение. - Есть срабатывание по таймеру. 	<ul style="list-style-type: none"> - Нет датчика давления. - Опускается в закрытом виде – как следствие высокая плавучесть. Требуется груз. - Неоправданно сложная конструкция, высок риск поломки. - Рабочая глубина не более 30 метров. 	~39000 USD
Прототип без названия [9]	<ul style="list-style-type: none"> - Работает как компактная розетка. Можно отбирать пробы с разных горизонтов. 	<ul style="list-style-type: none"> - Крайне малый объем отбираемых проб. - Управление по кабель-тросу, автоматика отсутствует полностью. 	Нет в продаже
Прототип без названия. Интересная конструкция с использованием перистальтического насоса [10]	<ul style="list-style-type: none"> - Возможность отбора с произвольных глубин за одно погружение. 	<ul style="list-style-type: none"> - Можно использовать на глубине до нескольких метров. В противном случае процесс отбора займет много времени. - Необходимо постоянное электропитание для насоса. - Необходимо вручную отслеживать глубину погружения. 	Нет в продаже
Single Fire Module (Hydrobios). [11]	<ul style="list-style-type: none"> - Система позволяет работать с серийными батометрами - Может управляться как по кабель-тросу, так и по датчику давления. 	<ul style="list-style-type: none"> - Используется сервомотор. Не надежно на большой глубине, плюс медленное срабатывание. - Нет возможности подключения нескольких батометров на один блок управления. - Крайне завышенная цена. 	~16000 USD

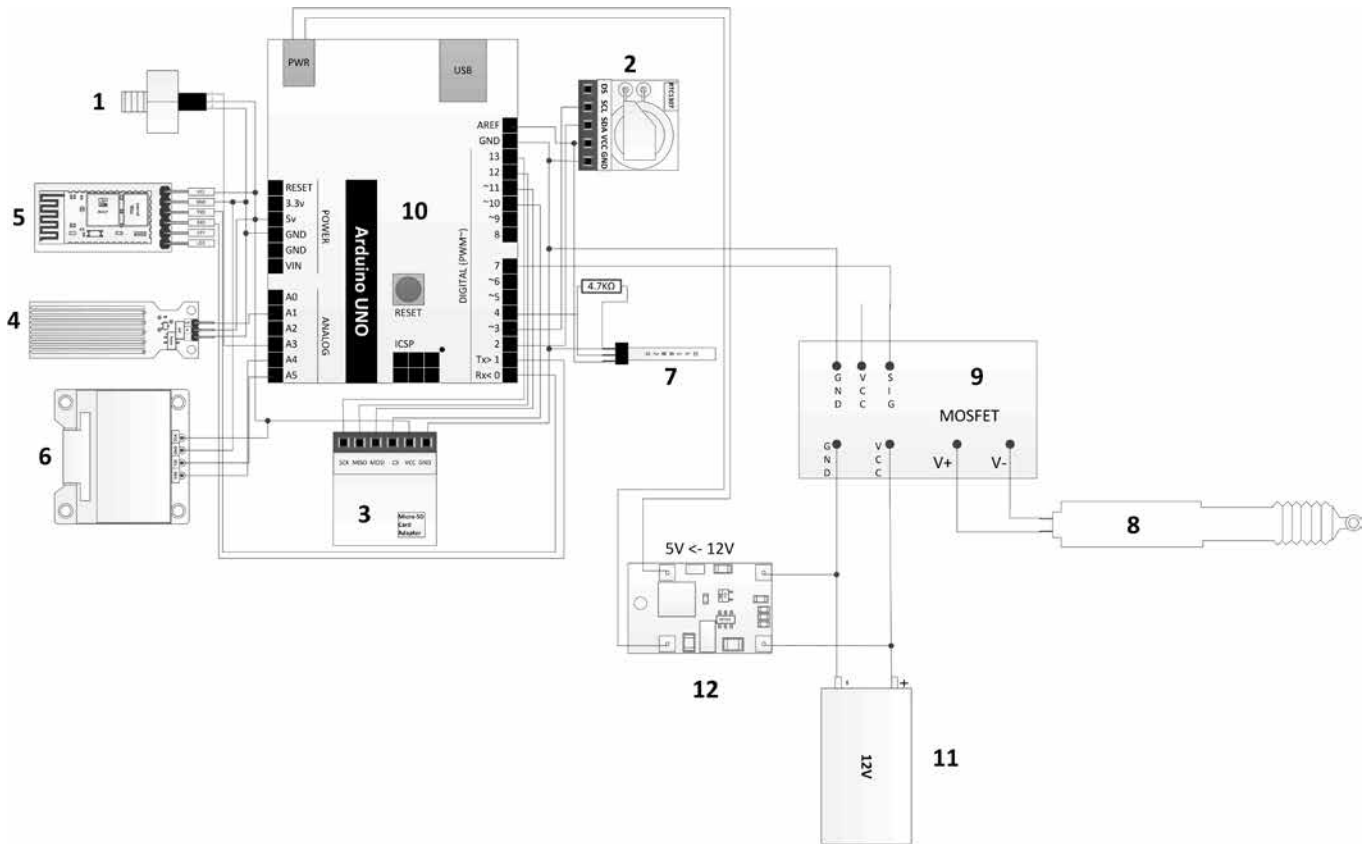


Рис. 3. Схема устройства

■ Описание прототипа

Принципиальная схема устройства приведена на Рис 3.

Далее приведено описание компонентов схемы. При сборке можно использовать модули любых производителей, поддерживающие требуемые протоколы.

1. Аналоговый датчик давления. Максимальное допустимое давление датчика, используемого в прототипе, 1.3МПа, что соответствует приблизительно 130 м.

2. Часы реального времени (например, DS1307 [12]). Работают по протоколу I²C [13] и имеют автономное питание от батарейки формата CR1620 [14].

3. Модуль, позволяющий использовать flash-память формата micro-sd для записи лога значений давления и температуры при погружении с отметкой о точке срабатывания батометра. Работает по протоколу SPI. [15]

4. Аналоговый датчик уровня воды для старта/остановки записи лога при старте/завершении пробоотбора.

5. Bluetooth-модуль (например, HC-06 [16]), обеспечивающий беспроводной интерфейс для настройки даты, времени, глубины срабатывания, а также скачивания лога. Настройка происходит путем отправки команд с сопряженного по Bluetooth смартфона. Можно использовать любое приложение под ОС Android для обмена данными по последовательному порту (например, Serial Terminal [17]).

6. Мини-дисплей для отображения текущих настроек, поддерживающий протокол I²C.

7. Герметичный термистор (например, DS18B20 [18])

8. Герметичный привод спускового механизма батометра. По внутреннему строению состоит из соленоида и металлического штока. Приводится в движение посредством NO-реле (9) по сигналу с пина контроллера. Сигнал на пине устанавливается на высокий уровень при достижении необходимого давления. Модуль реле выполнен на базе MOSFET-транзистора. Это позволяет управлять нагрузкой при помощи низковольтного сигнала, а также обеспечивает долговечность работы. Привод, используемый в прототипе, имеет следующие параметры: напряжение питания: 12В, потребляемый ток: 4А, тяговое усилие: 4.5 кг, максимальный ход штока: 15 мм. По результатам замеров при помощи динамометра такого усилия

достаточно для преодоления упругости пружин, используемых в стандартных батометрах Нискина, при длительности управляющего импульса около 0.5 с. Под приведенные параметры подойдут модули реле на базе транзистора IRF520 [19].

Батометр предполагается опускать стандартным способом – с открытыми крышками и взведенным спусковым механизмом. Скоба спускового устройства в обычном состоянии поддерживается пружиной. Сдвигая ее, активатор выполняет роль падающего груза. Такой принцип действия обеспечит быстрое срабатывание и позволит работать с любыми батометрами независимо от объема.

Логикой работы блока управляет плата Arduino Uno (10) на базе контроллера ATMEGA328 [20]. Для питания всего блока используется Li-Ion аккумулятор на 12В (11). Питание плат контроллера и прочих модулей происходит через понижающий DC-DC преобразователь (12).

Разработанный прототип прошел предварительные испытания в импровизированной барокамере – датчик располагался в баллоне, куда накачивался воздух под нужным давлением. В дальнейшем предполагается создать герметичный корпус и провести полевые испытания.

Заключение

Разрабатываемое устройство позволит повысить эффективность работы на океанографических станциях. Потребителем продукта может быть широкий спектр организаций так или иначе связанных с исследованием акваторий:

- научные институты;
- организации, занятые в рыбохозяйственной деятельности и марикультуре;
- надзорные органы власти, контролирующие качество прибрежных вод.

Работа выполнена при поддержке государственной темы АААА-А19-119122090009-2 («Исследование состояния и изменений природной среды на основе комплексного анализа и моделирования гидрометеорологических, биогеохимических, геологических процессов и ресурсов Дальнего Востока»), а также при частичной поддержке Гранта Президента РФ № МК-357.2021.1.5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шамбарова Ю. В., Стёпочкин И. Е., Захарков С. П. Верификация VGPM и K&I моделей первичной продукции в северо-западной части Японского моря по судовым и спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16, №. 2. С. 186–195. doi: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-186-195.
2. Salyuk P. A. et al. Determination of the chlorophyll a concentration by MODIS-Aqua and VIIRS satellite radiometers in Eastern Arctic and Bering Sea // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2016. Vol. 52, no. 9. P. 988–998. doi: 10.1134/S0001433816090206.
3. Тищенко П. Я. и др. Гидрохимия эстуария реки Туманной (Японское море) // Океанология. 2018. Т. 58, №. 2. С. 192–204. doi: 10.7868/S003015741802003X,
4. Tishchenko P. et al. Acidification and Deoxygenation of the Northwestern Japan/East Sea // Journal of Marine Science and Engineering. 2021. Vol. 9, no. 9. P. 953. doi: 10.3390/jmse9090953.
5. Батометр Нискина. – URL: <https://www.itera.spb.ru/katalog/gidrologicheskoe-i-okeanograficheskoe-oborudovanie/probootborniki/batometry-i-probootborniki-vody/batometr-niskina-niskin-bottle> (дата обращения: 21.12.2021).
6. Батометр Молчанова. – URL: http://pp66.ru/katalog/meteorolog/batometry-probootborniki_vody/gr-18-batometr_molchanova (дата обращения: 21.12.2021).
7. Батометр Паттерсона–Нансена. – URL: <http://techpharm.ru/ocean2-21> (дата обращения: 21.12.2021).
8. Automatic Water Sampler Multi-Limnos. – URL: <https://web.archive.org/web/20200927173959/https://www.hydrobios.de/shop/multiple-water-samplers/automatic-water-sampler-multi-limnos/> (дата обращения: 21.12.2021).
9. Martin J. B., Thomas R. G., Hartl K. M. An inexpensive, automatic, submersible water sampler // Limnology and Oceanography: Methods. 2004. Vol. 2, no. 12. P. 398–405. doi: 10.4319/lom.2004.2.398.
10. Sattley W. M. et al. Design, construction, and application of an inexpensive, high-resolution water sampler // Water. 2017. Vol. 9, no. 8. P. 578. doi: 10.3390/w9080578.
11. Hydrobios Catalog. – URL: https://www.labicom.cz/cogwpsogd/uploads/2016/05/Hydrobios2014_Catalogue.pdf (дата обращения: 21.12.2021).
12. DS1307 Datasheet. – URL: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf> (дата обращения: 21.12.2021).
13. I2C. – <https://ru.wikipedia.org/wiki/I2C> (дата обращения: 21.12.2021).
14. Типоразмеры гальванических элементов. – https://ru.wikipedia.org/wiki/Типоразмеры_гальванических_элементов (дата обращения: 21.12.2021).
15. SPI. – URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface (дата обращения: 21.12.2021).
16. HC-06 Bluetooth Module Datasheet – URL: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/HC06%20Bluetooth%20Module%20Datasheet.pdf (дата обращения: 21.12.2021).
17. Serial USB Terminal. – URL: https://play.google.com/store/apps/details?id=de.kai_morich.serial_usb_terminal (дата обращения: 21.12.2021).
18. DS18B20 Datasheet. – URL: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf> (дата обращения: 21.12.2021).
19. IRF520 Datasheet. – URL: <https://www.pcbheaven.com/datasheet/irf520.pdf> (дата обращения 26.01.2022)
20. Arduino Uno Datasheet. – URL: <https://datasheet.octopart.com/A000066-Arduino-datasheet-38879526.pdf>

Об авторе

СТЁПОЧКИН Игорь Евгеньевич, научный сотрудник
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук
Адрес: 690041, г. Владивосток, ул. Балтийская 43
Область научных интересов: океанология, оптические методы
исследования океана, дистанционное зондирование
E-mail: stepochkin.ie@poi.dvo.ru
ORCID: 0000-0001-5006-7754

Для цитирования:

Стёпочкин И.Е. АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПРОБООТБОРНИК
МОРСКОЙ ВОДЫ С ЗАДАННОЙ ГЛУБИНЫ // Подводные ис-
следования и робототехника. 2022. №. 1 (39). С. 80–85. DOI:
10.37102/1992-4429_2022_39_01_08.

