

АВТОНОМНЫЙ ЗОНД-ПРОФИЛЕМЕР «ВИНЧИ»

Д.А. Швоев, О.Ю. Кочетов, С.В. Волков, А.Г. Островский

Статья посвящена разработке автономного подводного позиционного профилирующего аппарата, относящегося к техническим средствам оперативной океанографии, – актуального направления современного развития науки об океане. Описано устройство и применение мелководного аппарата привязного типа, оснащенного лебедкой. Представлены технические характеристики и состав аппарата, а также конструкция новой версии встроенной лебедки. Аппарат предназначен для долговременного мониторинга среды деятельного слоя моря до глубины 50 м. Испытания в водах северо-восточного шельфа Черного моря в сентябре 2024 г. подтвердили полное соответствие оборудования заявленным характеристикам. Была проверена работоспособность аппарата на рабочей глубине 30 м, а также выполнена 5-суточная постановка. Во время этой постановки аппарат совершил 227 циклов спуск/подъем (каждые полчаса) от поверхности моря до донного размыкателя якоря на глубине 24 м. В результате испытаний получены сведения о динамике аппарата под водой и особенностях работы в условиях легкого морского волнения, интенсивных внутренних волн и сильных течений. Получены уникальные данные о временной изменчивости вертикальных распределений температуры и солености воды, содержании растворенного кислорода, фотосинтетически активной радиации. Представлены примеры измерений мультипараметрических вертикальных профилей. Показаны преимущества подхода позиционного мониторинга с использованием автономного подводного заякоренного профилирующего аппарата.

Ключевые слова: подводный автономный профилирующий аппарат, автономная буйковая станция, мониторинг, морская среда, оперативная океанография

Введение

Автономные глубоководные профилирующие аппараты в составе притопленных заякоренных автономных буйковых станций (АБС) известны с 1970-х годов [1]. В России работы по их созданию проводились последние 20 лет в основном в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИОРАН) [2–5]. Эти аппараты назывались «заякоренные мобильные профилирующие аппараты» (ЗМПА). Они предназначались для проведения регулярных измерений вертикальных профилей различных параметров водной толщи (температуры и солености воды, скорости и направления течения, содержания растворенного кислорода и др.) в течение длительного времени в фиксированных географических точках. Однако широкое внедрение как отечественных, так и аналогичных зарубежных аппаратов все еще ограничено. Основной недостаток этих аппаратов связан с отсутствием в их составе энергоэффективных аппа-

ратно-программных средств оперативной передачи данных потребителю и приема команд управления. На зондах-профилерах иногда устанавливались гидроакустические модемы, но из-за больших энергетических затрат это существенно ограничивало срок автономной работы аппаратов. Кроме того, для притопленных АБС не было технических средств для контактных измерений в слое над верхней плавающей, то есть для получения квазинепрерывного вертикального профиля интересующего параметра водной среды от поверхности до дна моря.

Решить задачу оперативного позиционного мониторинга во всем столбе воды от поверхности до дна моря можно на основе создания АБС, которая будет оснащена двумя аппаратами: глубоководным и мелководным. Глубоководный аппарат работает ниже верхнего притопленного буя станции, опускаясь и поднимаясь в водной толще, а мелководный аппарат базируется на притопленном бую и регулярно поднимается к поверхности моря. В состав АБС могут

входить, например: глубоководный аппарат типа «Аквалог» [3, 4] и мелководный аппарат привязного типа, оснащенный лебедкой, у которой нижний конец троса соединен с притопленным буюм [6, 7]. Аппараты обмениваются данными, например, с помощью индуктивных модемов. Мелководный аппарат оснащен океанологическими измерительными датчиками и средствами радиосвязи для приема/передачи данных во время пребывания в надводном положении.

Поскольку глубоководный аппарат «Аквалог» достаточно детально проработан на уровне рабочего проекта, производится мелкосерийно и уже длительное время эксплуатируется в морях, омывающих Евразийский континент, на данном этапе целесообразно сосредоточиться на разработке мелководного зонда-профилимера, чему посвящена настоящая статья. Ниже представлены новые результаты, достигнутые в ИОРАН в ходе разработки и опытной эксплуатации мелководного привязного профилирующего аппарата, названного «Винчи», который предназначен для оперативного мониторинга верхнего донного слоя моря и сбора данных в соответствии с ГОСТ 17.1.3.08-82.

■ Устройство зонда-профилимера «Винчи»

«Винчи» существенно отличается от других подводных аппаратов аналогичного назначения. Это трехкорпусное судно, у которого параллельные корпуса цилиндрической формы соединены в верхней части (рис. 1). Средний корпус, больший по разме-

рам, имеет два отсека: сухой для размещения аппаратуры и мокрый для барабана лебедки. Два узких боковых поплавка разнесены и немного приподняты. К среднему корпусу крепятся измерительные датчики и модуль навигации и связи. Средний корпус установлен на раму. Трос от барабана лебедки протянут по направляющим роликам на раме. Трос через нижний направляющий ролик, находящийся примерно под центром тяжести «Винчи», опускается вниз к притопленному бую АБС на глубине в диапазоне 20–50 м.

Положительная плавучесть профилирующего носителя в воде в снаряженном состоянии составляет не менее 20 Н, что обеспечивает натяжение троса в условиях умеренного волнения. Разматывая трос с барабана лебедки, аппарат поднимается к морской поверхности благодаря запасу плавучести. При всплытии затрачивается минимум энергии, поскольку мотор-редуктор работает без нагрузки. Наматывая трос на барабан, аппарат движется вниз к притопленному бую, к которому закреплен трос, при этом затрачивается максимум энергии на работу против сил плавучести и гидродинамического сопротивления.

Под действием силы натяжения троса, приложенной к нижней части рамы, «Винчи» принимает устойчивое положение в воде. Дополнительную остойчивость при всплытии обеспечивают боковые корпуса, являющиеся поплавками. Хорошая обтекаемость и высокая остойчивость стабилизируют положение «Винчи» при всплытии на поверхность моря, где аппарат должен пребывать во время сеанса связи для передачи данных измерений. Системы навигации и связи «Винчи» располагаются в небольшом

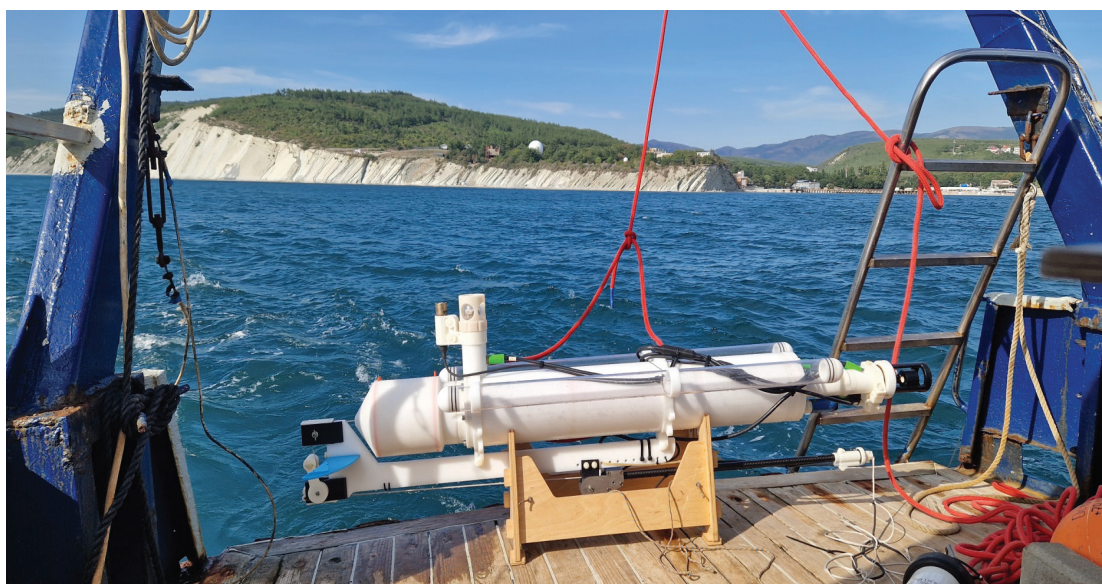


Рис. 1. Опытный образец зонда-профилимера «Винчи» на борту МНИС «Ашамба» перед испытаниями в акватории полигона «Геленджик» ИО РАН (<https://polygon.ocean.ru/index.php>) в северо-восточной части Черного моря 22 сентября 2024 г.

вспомогательном прочном корпусе, установленном вертикально над средним аппаратным корпусом тримарана так, что при всплытии антенны связи и навигации приподнимаются над поверхностью воды.

Горизонтальное положение тримарана «Винчи» позволяет снизить гидродинамическое сопротивление на течении. Тримаран ориентирован вдоль потока воды благодаря удлиненным цилиндрическим корпусам. Хвостовой стабилизатор на раме поддерживает горизонтальное равновесие. Океанологичес-

кие измерительные датчики установлены в носовой части аппарата так, чтобы гидрофизические и гидрооптические измерения проводились в набегающем потоке воды.

Для лебедки применяется трос, который выдерживает большие нагрузки при незначительном весе и минимальной растяжимости. К нижней части тросовой линии прикреплен амортизатор, позволяющий компенсировать колебания аппарата, например на умеренноволнованной морской поверхности. Этот амортизатор сделан из эластичной резины с высоким коэффициентом растяжения. Амортизатор пристегивается к участку троса длиной около 4 м, уложенному в петли.

По сравнению с известным аналогом Automatic Elevator System Type 3 производства Nichiyu Giken Kogyo Co., Ltd., Япония [8], зонд-профилемер «Винчи» получился компактным и легким. Его габариты с рамой и предустановленными океанологическими датчиками составляют $1.8 \times 0,45 \times 0.4$ м при общей массе около 40 кг, что удобно для постановок с небольших плавсредств. Однако из-за ограничений по размеру барабана лебедки рабочая глубина «Винчи» пока составляет 60 м, что значительно меньше, чем максимальная глубина 300 м у аналога [8]. Основные технические характеристики зонда приведены в таблице.

■ Конструкция встроенной лебедки

В основе разработки «Винчи» лежит изобретение подводного лебедочного зонда [3], в котором барабан соосен аппаратному корпусу. Со времени опубликования работы [7] конструкция встроенной лебедки была доработана с целью уменьшения затрат энергии на ее работу. Устройство новой лебедки показано на рис. 2. Мотор-редуктор лебедки вместе с аккумуляторной батареей и электронными модулями управления и сбора данных располагаются в прочном сухом отсеке аппаратного корпуса. В состав мотор-редуктора входят: бесщеточный двигатель постоянного тока 24 В, редуктор и тормоз. Номинальный ток потребления мотора – 1.6 А, номинальный крутящий момент на выходе мотор-редуктора – 10.6 Н·м. Мотор-редуктор позволяет аппарату перемещаться с вертикальной скоростью до 0.3 м/с. Благодаря тормозу «Винчи» может останавливаться на заданной глубине.

Для управления электроприводом лебедки, океанологическими датчиками и поисково-навигационным оборудованием разработан оригинальный микроэлектронный модуль на базе ARM-процессора [6]. Этот модуль подает управляющие команды

Технические характеристики зонда-профилемера «Винчи»

Профилирование	
Скорость погружения/всплытия (м/с)	0.05–0.3
Суммарная протяженность хода (км)	30
Глубина места постановки (м)	10–60
Скорость фоновое течения (м/с)	0.3
Состояние моря (баллы)	3
Измеряемые параметры	
Основные	Электропроводность Температура Давление
Опциональные	Флюоресценция хлорофилла-А Мутность Концентрация растворенного кислорода Фотосинтетически активная радиация
Позиционирование и связь	
Позиционирование	GPS/GLONASS
Связь дальняя	LTE/3G/GSM
Связь ближняя	Bluetooth
Поиск и обнаружение	Светодиодный маяк
Внутренняя память	
Тип	Карта памяти microSD
Массогабаритные и прочностные характеристики	
Плавучесть в пресной воде (Н)	> 25
Длина × ширина × высота (мм)	1820 (с RBRconcerto C.T.D++) × 450 × 400
Масса в сборе в воздухе (кг)	39
Максимальное внешнее давление, бар	10
Трос: диаметр (мм), длина (м)	2.5–3 60–70
усилие до разрыва троса (Н)	> 5000
Батарея	
Тип	Аккумулятор
Емкость (Вт час)	1620
Напряжение (В)	24
Программное обеспечение	
Встроенное Приложение с функциями диагностики и программирования	Модульный фреймворк на базе RTOS Кросс-платформенное GUI-приложение

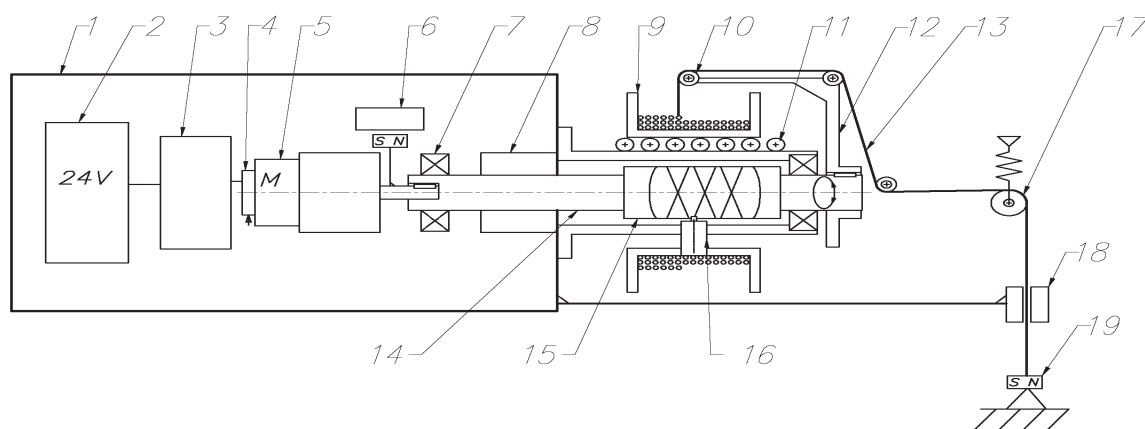


Рис. 2. Схема новой встроенной лебедки автономного привязного профилирующего аппарата «Винчи»: 1 – сухой отсек аппаратурного корпуса, 2 – аккумуляторная батарея, 3 – модуль управления, 4 – тормоз, 5 – мотор-редуктор, 6 – датчик оборотов, 7 – подшипник двухрядный, 8 – керамический сальник, 9 – барабан, 10 – укладочный ролик, 11 – шариковые линейные направляющие, 12 – водило, 13 – трос, 14 – выходной вал, 15 – винт с двунаправленной резьбой, 16 – челнок, 17 – датчик натяжения, 18 – датчик конца троса, 19 – концевой магнит

на контроллер мотора для изменения скорости и направления намотки троса на барабан лебедки в зависимости от программируемых параметров миссии и количества оборотов барабана, а также с учетом показаний датчиков внешнего давления, всплытия, натяжения и конца троса. Система работает от аккумуляторной батареи емкостью 1600 Вт·ч, собранной из 6 последовательно соединенных литий-ионных никель-марганцево-кобальтовых (NMC) элементов.

Вал электропривода соединен с валом лебедки внутри прочного корпуса. Концы вала лебедки установлены на подшипники: двухрядный в сухом отсеке среднего корпуса «Винчи» и однорядный в мокром отсеке. Для уплотнения вала в выходном отверстии в торцевой крышке сухого отсека установлен керамический сальник. На валу лебедки смонтировано водило с укладочными роликами, которое вращается вокруг барабана. Трос сходит с барабана по роликам на водиле и затем протягивается по направляющим роликам на раме, на которой установлен средний корпус «Винчи».

Мотор-редуктор не только обеспечивает вращательные движения водила при намотке/размотке троса на барабан лебедки, но используется также для того, чтобы барабан совершал возвратно-поступательные движения вдоль своей оси. Такие движения позволяют обеспечить более равномерную укладку троса при намотке на барабан. Чтобы преобразовать вращательное движение выходного вала в поступательное движение барабана лебедки, на вал надевается насадка с двунаправленной резьбой (бесконечный винт).

Большое значение придается коррозионной стойкости. Корпусные детали, барабан, винт с двунаправленной резьбой и укладочные ролики изготовлены из

инженерного пластика – полиацетали POM-C, а вал лебедки, винты креплений и оси роликов сделаны из титана. Лебедка спроектирована для работы с гибким износостойким тросом диаметром до 3 мм, у которого растяжение под нагрузкой должно быть меньше 1%. Такими качествами обладает прядный плетеный трос из синтетического волокна типа Dyneema.

■ Применение зонда-профилемера «Винчи»

Основными технико-эксплуатационными показателями «Винчи» являются автономность и программируемость океанологических измерений, а также оперативность передачи данных непрерывного мониторинга на протяжении от нескольких дней до нескольких месяцев. Эффективность системы определяется минимизацией затрат на постановку и обслуживание зондирующей аппаратуры при многократном увеличении объема получаемой в ходе мониторинга информации.

«Винчи» оснащен датчиками для контактных измерений гидрофизических и биооптических параметров морской среды: электропроводности, температуры и давления, а также мутности, флуоресценции хлорофилла А, солнечной радиации, используемой растениями для фотосинтеза, и растворенного кислорода. С помощью «Винчи» измерения выполняются одним набором измерительных датчиков от поверхности раздела вода–воздух до горизонта постановки притоппленного буя, что позволяет получить однородные данные в столбе воды с одинаковой точностью. Измерения могут проводиться при всплытии и/или при погружении аппарата. За одну постановку «Вин-

чи» может выполнить сотни частых (с интервалом от 0.5 часа) зондирований морской среды с высоким вертикальным разрешением (порядка 10 см) и передать высококачественные данные.

На опытный образец зонда профилемера Винчи (рис. 1) установлены покупные датчики: электропроводности, температуры и давления RBRconcerto C.T.D++ (RBR Ltd., Канада) с флуориметром Seapoint Chlorophyll Fluorometer, растворенного кислорода Oxygen Optode 4831F (Aanderaa Data Instruments AS, Норвегия), а также подводный квантовый датчик фотосинтетически активной радиации LI-192 Underwater Quantum Sensor. Этот датчик крепится к поисково-коммуникационному модулю над средним корпусом «Винчи» (рис. 3) для измерений в верхней полусфере.



Рис. 3. Датчик фотосинтетически активной радиации LI-192 прикреплен к поисково-коммуникационному модулю зонда-профилемера

С помощью аппарата «Винчи» проводится длительный мониторинг, причем данные измерений передаются оперативно по каналу мобильной телефонной связи. Поисково-коммуникационный модуль установлен на среднем корпусе тримарана ближе к хвостовой его части (рис. 3). Этот модуль включает датчик поверхности раздела вода–воздух, приемник GPS/Глонасс, светодиодный маяк, а также GSM-модем и радиоантенну. В дальнейшем на аппарате планируется установка оборудования радиосвязи по технологии LoRaWAN и терминала спутниковой связи, например «Гонец».

Для обеспечения оперативной связи с «Винчи» применяется выделенный или виртуальный сервер, на котором развертывается комплект серверного ПО, включающий в себя сетевой сервис, утилиты для распаковки данных, генератор команд управления и Telegram-бот для рассылки уведомлений о сеансах

связи, доступа к полученным данным и удаленного управления аппаратом. Поскольку при работе в автоматическом режиме «Винчи» регулярно проводит сеансы связи, есть возможность передавать ему команды управления, изменяющие критически важные для миссии параметры, например: длительность и количество циклов, ограничение времени на передачу данных на поверхности, управление проблесковым маяком и другие.

Протокол связи «Винчи» предусматривает возобновление передачи файлов с измерениями в случае разрывов соединения. При этом передача продолжается с момента остановки, что минимизирует необходимое для скачивания данных время. Также протокол гарантирует целостность передаваемых данных и доставку управляющих команд, что позволяет эффективно работать в условиях нестабильной связи.

Работа «Винчи» программируется перед постановкой по Bluetooth с помощью компьютера под управлением любой современной операционной системы, через приложение с графическим пользовательским интерфейсом. Приложение позволяет проводить комплексную диагностику прибора, в том числе подключаемых датчиков. Также с помощью приложения проводится техническое обслуживание лебедки, конфигурирование параметров встроенного ПО зонда и формируется задание на автоматическую работу.

Для того чтобы уменьшить риск всплытия в штормовую погоду, аппарат дважды выполняет оценку флуктуаций давления. Первая оценка проводится в парковочной позиции, вторая на глубине 8 м. При выполнении оценки «Винчи» в течение двух минут собирает ряд значений встроенного датчика давления с частотой 10 Гц, затем рассчитывает по этому ряду спектр колебаний давления и находит пиковое значение в диапазоне частот 0.1–1 Гц. Это значение, умноженное на обратное значение коэффициента затухания колебаний с глубиной в рамках теории волн мелкой воды, дает оценку высоты волн. Если полученное значение превышает установленный порог безопасности, выход на поверхность отменяется и аппарат возвращается в парковочную позицию. Второе включение для оценки флуктуаций давления происходит после подъема аппарата к горизонту 8 м. Процедура определения высоты волн повторяется. Таким образом, применяется режим мареографа.

■ Результаты морских испытаний

Натурные испытания опытного образца зонда-профилемера «Винчи» были проведены на полигоне «Геленджик» ИОРАН с 22 по 27 сентября 2022 г.

Испытания проходили в режиме донной станции, при котором трос лебедки аппарата был прикреплен к якорю, а аппарат совершал периодические погружения и всплытия между поверхностью моря и дном. На испытания был предъявлен зонд-профилемер «Винчи» с положительной плавучестью 28.3 Н. Аппарат был оснащен комплектом океанологических датчиков, как было указано выше. Проведение океанологических измерений было запрограммировано только для периодов погружения аппарата. Выходы в море на испытания проводились на МНИС «Ашамба».

Проверка на рабочую глубину 30 м проводилась 22 сентября. Аппарат совершил 5 циклов погружения/всплытия до максимальной глубины 30.8–30.9 м. Подтверждения выполнения циклов приходили в Telegram-бот (рис. 4). Координаты места определялись неточно по причине работы систем РЭБ, поэтому всплытия аппарата контролировались визуально с борта МНИС «Ашамба».

Многосуточная постановка донной станции с зондом-профилемером «Винчи» была выполнена с 15:20 22 сентября до 10:10 27 сентября. Место испытаний находилось на траверзе Голубой (Рыбацкой) бухты в точке 44°34.07' с.ш. и 37°58.33' в.д. Глубина станции составила 25 м. Погодные условия в ходе испытаний были нестабильными: временами наблюдалось сильное прибрежное течение, а во время кратковременного усиления ветра высота волн могла достигать 1.2–1.5 м.

На рис. 5 показана траектория движения «Винчи» за период постановки. Всего аппарат выполнил 227 циклов погружения глубже, чем 19 м (оранже-

вая пунктирная линия на рис. 5), при том, что максимальная глубина достигала иногда 24.1 м. За 2 мин до начала подъема с нижнего парковочного горизонта на аппарате включался датчик гидростатического давления в режиме мареографа с частотой измерений 10 Гц. По временному ряду данных измерений давления оценивалась максимальная амплитуда поверхностных волн с учетом приближения мелкой воды. После этого аппарат поднимался примерно до горизонта 7 м (красная пунктирная линия на рис. 5), где зависал на 2 мин для проведения контрольных измерений в режиме мареографа. Если оценка величины амплитуды волны была выше порогового значения 1.2 м, то подъем к поверхности отменялся и аппарат переключался на режим погружения (пример такого события отмечен красным овалом на рис. 5).

Из рис. 5 следует, что глубина погружения «Винчи» была в диапазоне 19–23 м. Периоды времени, когда горизонт 19 м был стабильным, на протяжении нескольких часов перемежались с периодами времени, когда аппарат опускался глубже (пример отмечен черным овалом на рис. 5), причем увеличение предельной глубины спуска аппарата происходило постепенно от одного погружения к другому и также постепенно уменьшалась глубина погружения. Для ответа на вопрос, почему это происходило, рассмотрим траекторию погружения аппарата в зависимости от скорости горизонтального течения на рис. 6. В условиях слабых течений аппарат быстро по кратчайшей траектории погружается к донному якорю, останавливается при наезде на концевой магнит, установленный на тросе, при растянутом на всю

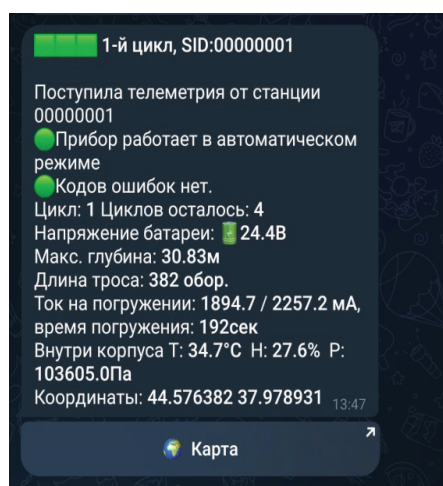


Рис. 4. Скриншот сообщения, полученного в Telegram-боте с зонда-профилемера «Винчи» после первого погружения до глубины 30.8 м

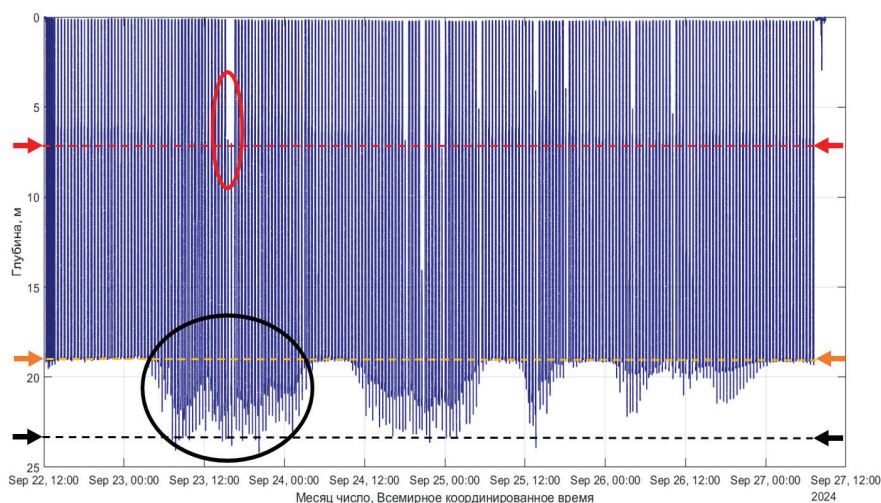


Рис. 5. Положение аппарата «Винчи» в зависимости от глубины (вертикальная ось) и времени (горизонтальная ось) на 5-суточной станции (22–27 сентября 2024 г.) в районе мористее Голубой бухты на полигоне «Геленджик» ИОРАН в Черном море. Пояснения даны в тексте

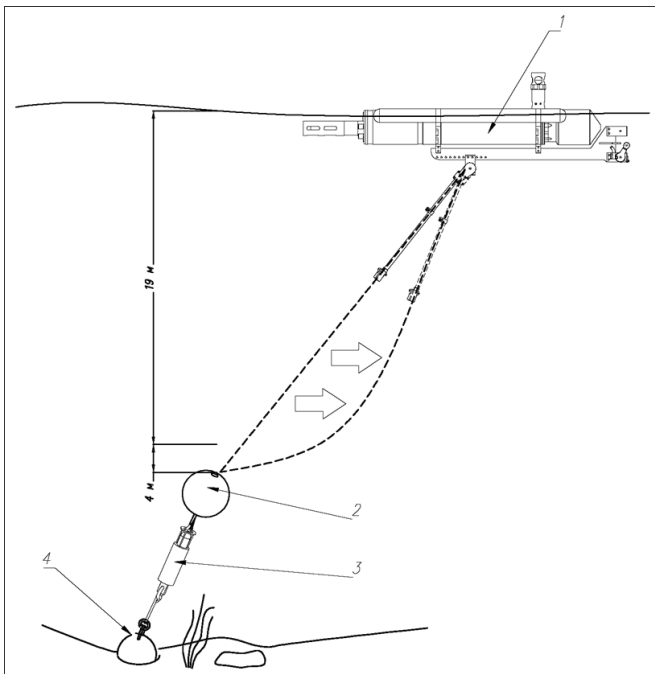


Рис. 6. Схема постановки станции с зондом-профилемером «Винчи» в акватории полигона «Геленджик» ИОРАН и траектории спуска аппарата (пунктирные линии) в условиях слабых и сильных (показаны крупными стрелками) подповерхностных морских течений. 1 – зонд-профилемер «Винчи», 2 – плавучесть, 3 – гидроакустический размыкатель, 4 – груз-якорь

длину амортизаторе, то есть на расстоянии примерно 4 м до нижней точки крепления троса. На течении аппарат сносит от места постановки, время погружения увеличивается. В условиях сильного подповерхностного течения (см. рис. 6) под действием силы

гидродинамического сопротивления в водной толще аппарат подходит к нижней точке крепления троса по пологой траектории. При этом амортизатор растягивается под малым углом к горизонтали в придонном слое воды, соответственно предельная глубина погружения по данным датчика гидростатического давления оказывается больше, чем при спуске в условиях слабого течения. При последующих погружениях по мере ослабления подповерхностного течения аппарат спускается под большим углом к горизонтали и траектория спуска straighten.

При погружении аппарата в приповерхностном слое воды могли происходить колебания дифферента в пределах $\pm 25^\circ$ под действием орбитальных движений в волнах (рис. 7). В более глубоких слоях воды амплитуда продольных колебаний аппарата уменьшалась. При этом в условиях сильного течения (красные кривые на рис. 7) аппарат погружался в положении, близком к горизонтальному, и дифферент был в пределах от 0° до -10° , а при слабом течении аппарат опускался носом вниз с дифферентом около 10° .

При погружении в условиях сильного течения возрастают энергозатраты, например, по данным рис. 7 в диапазоне глубин 5–20 м ток в цепи электропривода был больше примерно на 30% и составил в среднем около 2.5 А.

Для примера на рис. 8 показаны вертикальные профили данных измерений, полученных в те же сроки наблюдений 23.09.2024 г., что на рис. 7. Этот пример демонстрирует высокое качество данных измерений с тонкоструктурным разрешением по вертикали с помощью зонда-профилемера «Винчи».

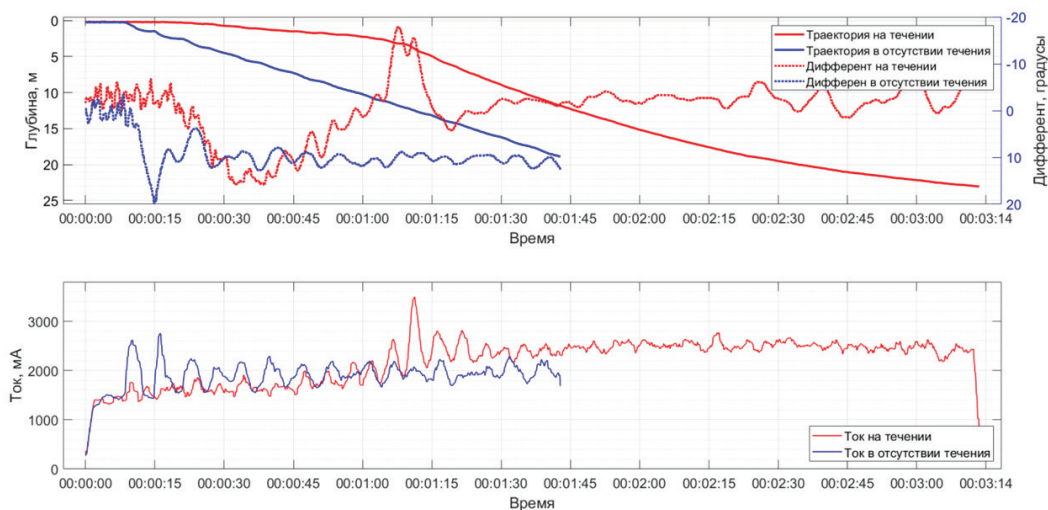


Рис. 7. Динамика и энергозатраты зонда-профилемера «Винчи» при погружении в типичных условиях. Вверху – траектория погружения и дифферент аппарата. Внизу – ток в электрической цепи двигателя. По горизонтальным осям отложено время с момента начала погружения: в 10:12:56 23.09.2024 г. в условиях сильного течения и в 06:39:20 24.09.2024 г. в условиях слабого течения

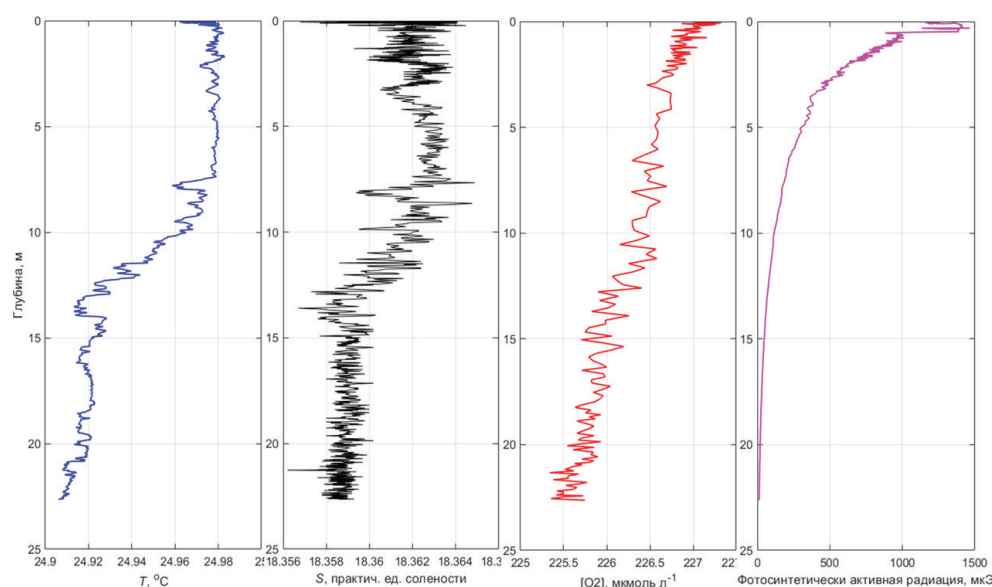


Рис. 8. Пример первичных синхронных данных измерений вертикальных распределений параметров морской среды (слева направо – температура и соленость воды, содержание растворенного кислорода, фотосинтетически активная радиация), полученных с помощью океанологических датчиков, установленных на зонде-профилемере «Винчи», во время испытаний с 10:12:54 по 10:16:12 23.09.2024 г.

Выводы

За последние годы была доработана конструкция и изготовлен опытный образец автономного зонда-профилемера «Винчи», оснащенного встроенной лебедкой. К черноморским испытаниям изделие было предъявлено на стадии технического проекта. Испытания на полигоне «Геленджик» ИОРАН подтвердили заявленные технические характеристики «Винчи». В ходе испытаний были получены новые данные о функционировании аппарата в различных условиях морского волнения и на течении. По результатам испытаний в целом подтверждена высокая готовность к мелкосерийному производству. При этом желательно завершить работу по улучшению гидродинамических характеристик аппарата. Следует доработать конструкцию хвостовой части аппарата, чтобы улучшить его обтекаемость в потоке воды.

Преимущества предложенного подхода к мониторингу морской среды с помощью привязного зонда-профилемера «Винчи» заключаются в нижеследующем:

- минимизируется риск потери оборудования за счет применения заякоренной буйковой системы с вертикально перемещающимся носителем измери-

тельной аппаратуры вместо свободно дрейфующего зонда;

- автоматизированный мониторинг проводится непрерывно в заданном районе – накапливаются длительные ряды вертикальных профилей данных, требующихся для контроля характеристик морской среды;

- аппарат работает в оперативном режиме – передача данных измерений и получение команд управления осуществляются в режиме реального времени;

- аппарат адаптирован к конкретным задачам – состав измерительных датчиков на носителе можно менять в зависимости от задачи.

Внедрение аппарата также целесообразно в гидрологии и лимнологии.

Благодарности

Авторы выражают глубокую благодарность А.Г. Зацепину за поддержку работы и И.В. Мысливцу за помощь в проведении испытаний и изготовлении профилемера «Винчи».

Гранты и программы

Исследование выполнено по теме Госзадания Минобрнауки России № FMWE-2024-0024.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Carlson D.F., Ostrovskii A.G., Kebkal K.G., Gildor H. Moored Automatic Mobile Profilers and Their Applications / Ed. G. Oren // *Advances in Marine Robotics*. Lambert Academic, 2013. P. 169–206. ISBN: 978-3-659-41689-7.
2. Островский А.Г., Зацепин А.Г., Деревнин В.А., Низов С.С., Поярков С.Г., Цибульский А.Л., Швоев Д.А. Заякоренная автоматическая измерительная система «Аквазонд» для вертикального профилирования морской среды // *Океанология*. 2008. Т. 48, № 2. С. 297–306.
3. Островский А.Г., Зацепин А.Г., Иванов В.Н., Низов С.С., Соловьев В.А., Тимашкевич Г.К., Цибульский А.Л., Швоев Д.А., Кеббал К.Г. Заякоренная профилирующая океанская обсерватория // *Подводные исследования и робототехника*. 2009. №2/8. С. 50–59.

4. Островский А.Г., Зацепин А.Г., Соловьев В.А., Цибульский А.Л., Швоев Д.А. Автономный мобильный аппаратно-программный комплекс вертикального зондирования морской среды на заякоренной буйковой станции // Океанология. 2013. Т. 53, № 2. С. 259–268.
5. Островский А.Г., Зацепин А.Г., Швоев Д.А., Волков С.В., Кочетов О.Ю., Ольшанский В.М. Автоматический подледный зонд // Океанология. 2020. Т. 60, № 6. С. 978–986. DOI: 10.31857/S0030157420060106
6. Кочетов О.Ю., Островский А.Г., Волков С.В., Ольшанский В.М. Унифицированная аппаратно-программная платформа системы управления автономных подводных аппаратов // Подводные исследования и робототехника. 2018. №1. С. 59–69. ISSN: 1992-4429. eISSN: 2409-4609
7. Ostrovskii A.G., Emelianov M.V., Kochetov O.Y., Kremenetskiy V.V., Shvoev D.A., Volkov S.V., Zatsepin A.G., Korovchinsky N.M., Olshanskiy V.M., Olchev A.V. Automated tethered profiler for hydrophysical and bio-optical measurements in the Black Sea carbon observational site // Journal of Marine Science and Engineering. 2022. Vol. 10. P. 322. DOI:10.3390/jmse10030322
8. Aracri S., Borghini M., Canesso D., Chiggiato J., Durante S., Schroeder K., Sparnocchia S., Vetrano A., Honda T., Kitawaza Y., Kawahara H., Nakamura T. Trials of an autonomous profiling buoy system // Journal of Operational Oceanography. 2016. Vol. 9. P. s176–s184. DOI: 10.1080/1755876X.2015.1115631

Справка об авторах

ШВОЕВ Дмитрий Анатольевич, н.с.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Адрес: 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36

Область научных интересов: океанологическая техника, конструирование

Тел.: +7 (499) 124-61-49

E-mail: dshv@ocean.ru

КОЧЕТОВ Олег Юрьевич, н.с.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Адрес: 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36

Область научных интересов: микроэлектронные устройства, программирование

Тел.: +7 (499) 124-61-49

E-mail: realspinner@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8413-6030

ВОЛКОВ Сергей Васильевич, вед. инженер

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Адрес: 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36

Область научных интересов: микроэлектронные устройства, схемотехника

Тел.: +7 (499) 124-61-49

E-mail: mendur@mail.ru

ОСТРОВСКИЙ Александр Григорьевич, к.г.н., и.о. заместителя директора по научной работе

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН

Адрес: 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36

Область научных интересов: технические средства и методы океанологических исследований

Тел.: +7 (499) 124-61-49

E-mail: osasha@ocean.ru

ORCID: 0000-0002-5906-0361



Для цитирования:

Швоев Д.А., Кочетов О.Ю., Волков С.В., Островский А.Г. АВТОНОМНЫЙ ЗОНД-ПРОФИЛЕМЕР «ВИНЧИ» // Подводные исследования и робототехника. 2024. № 4 (50). С. 67–77. DOI: 10.37102/1992-4429_2024_50_04_07. EDN: UCUGWU.

THE AUTONOMOUS TETHERED PROFILER WINCHI

D.A. Shvoev, O.Y. Kochetov, S.V. Volkov, A.G. Ostrovskii

The article focuses on the development of an autonomous moored profiler for operational oceanography. It describes a new version of the shallow-water tethered underwater apparatus equipped with a winch. The technical characteristics and components of the apparatus, along with the design of the newly integrated winch, are outlined. The apparatus is intended for continuous monitoring of the active layer of the sea up to a depth of 50 meters. Tests conducted in the waters of the north-eastern shelf of the Black Sea in September 2024 confirmed that the equipment fully met the specified criteria. The functionality of the apparatus was verified at a depth of 30 meters, and a 5-day trial was carried out. Throughout this deployment, the apparatus completed 227 descent/ascent cycles (every half hour) from the sea surface to the bottom anchor release at a depth of 24 meters. The tests provided valuable insights into the apparatus's motion underwater, particularly in conditions of light sea storm, intense internal waves, and strong currents. The data collected during the tests included information on the short-term variations in vertical distributions of sea temperature and salinity, dissolved oxygen, and photosynthetically active radiation. The data samples from the multiparametric survey are also shown. The article highlights the benefits of using an autonomous underwater moored profiling apparatus for positional monitoring.

Keywords: underwater tethered profiler, autonomous buoy station, monitoring, marine environment, operational oceanography

References

1. Carlson D.F., Ostrovskii A.G., Kebkal K.G., Gildor H. Moored Automatic Mobile Profilers and Their Applications. Ed. G. Oren. *Advances in Marine Robotics*. Lambert Academic, 2013. P. 169–206. ISBN: 978-3-659-41689-7.
2. Ostrovskij A.G., Zacepin A.G., Derevnin V.A., Nizov S.S., Pojarkov S.G., Cibul'skij A.L., Shvoev D.A. Zajakorennaja avtomaticheskaja izmeritel'naja sistema «Akvazond» dlja vertikal'nogo profilirovaniya morskoy sredy. *Okeanologija*. 2008. Vol. 48, No. 2. P. 297–306. (In Russ.).
3. Ostrovskij A.G., Zacepin A.G., Ivanov V.N., Nizov S.S., Solov'ev V.A., Timashkevich G.K., Cibul'skij A.L., Shvoev D.A., Kebkal K.G. Zajakorennaja profilirujushhaja okeanskaja observatorija. *Podvodnye issledovaniya i robototekhnika*. 2009. No. 2/8. P. 50–59. (In Russ.).
4. Ostrovskij A.G., Zacepin A.G., Solov'ev V.A., Cibul'skij A.L., Shvoev D.A. Avtonomnyj mobil'nyj apparatno-programmnyj kompleks vertikal'nogo zondirovaniya morskoy sredy na zajakorennoy bujkovoj stancii. *Okeanologija*. 2013. Vol. 53, No. 2. P. 259–268. (In Russ.).
5. Ostrovskij A.G., Zacepin A.G., Shvoev D.A., Volkov S.V., Kochetov O.Ju., Ol'shanskij V.M. Avtomaticheskij podlednyj zond. *Okeanologija*. 2020. Vol. 60, No. 6. P. 978–986. DOI: 10.31857/S0030157420060106. (In Russ.).
6. Kochetov O.Ju., Ostrovskij A.G., Volkov S.V., Ol'shanskij V.M. Unificirovannaja apparatno-programmnaja platforma sistemy upravleniya avtonomnykh podvodnykh apparatov. *Podvodnye issledovaniya i robototekhnika*. 2018. No. 1. P. 59–69. ISSN: 1992-4429. eISSN: 2409-4609. (In Russ.).
7. Ostrovskii A.G., Emelianov M.V., Kochetov O.Y., Kremenetskiy V.V., Shvoev D.A., Volkov S.V., Zatselin A.G., Korovchinsky N.M., Olshanskiy V.M., Olchev A.V. Automated tethered profiler for hydrophysical and bio-optical measurements in the Black Sea carbon observational site. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2022. Vol. 10. P. 322. DOI: 10.3390/jmse10030322
8. Aracri S., Borghini M., Canesso D., Chiggiato J., Durante S., Schroeder K., Sparnocchia S., Vetrano A., Honda T., Kitawaza Y., Kawahara H., Nakamura T. Trials of an autonomous profiling buoy system. *Journal of Operational Oceanography*. 2016. Vol. 9. P. s176–s184. DOI: 10.1080/1755876X.2015.1115631

Recommended citation:

Shvoev D.A., Kochetov O.Y., Volkov S.V., Ostrovskii A.G. THE AUTONOMOUS TETHERED PROFILER WINCHI. *Underwater investigations and robotics*. 2024. No. 4 (50). P. 67–77. DOI: 10.37102/1992-4429_2024_50_04_07. EDN: UCUGWU.

Information about the authors

SHVOYEV Dmitry A., Research Associate

P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences

Address: 36 Nakhimovsky Prospekt, 117997, Moscow

Area of scientific interests: oceanological engineering, construction

Phone: +7 (499) 124-61-49

E-mail: dshv@ocean.ru

KOCHETOV Oleg Yurievich, Research Associate

P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences

Address: 36 Nakhimovsky Prospekt, 117997, Moscow

Area of scientific interests: microelectronic devices, programming

Phone: +7 (499) 124-61-49

E-mail: realspinner@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8413-6030

VOLKOV Sergey Vasilyevich, Lead engineer

P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences

Address: 36 Nakhimovsky Prospekt, 117997, Moscow

Area of scientific interests: microelectronic devices, circuit engineering

Phone: +7 (499) 124-61-49

E-mail: mendur@mail.ru

OSTROVSKY Alexander G., PhD, Acting Deputy Director for Scientific Work

P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences

Address: 36 Nakhimovsky Prospekt, 117997, Moscow

Area of scientific interests: technical means and methods of oceanological research

Phone: +7 (499) 124-61-49

E-mail: osasha@ocean.ru

ORCID: 0000-0002-5906-0361

