

УДК 681.518:629.5.018

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ СВЕРХМАЛОГО ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО КОРАБЛЯ

Д.Г. Ляхов,
А.И. Ким, Д.Д. Минаев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт проблем морских технологий ДВО РАН»¹
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «СКБ САМИ ДВО РАН»²

Морские безэкипажные автоматизированные системы становятся все более важной отраслью техники и объектом растущего интереса научных и оборонных организаций. В мировой практике некоторое количество мелкосерийных и опытных образцов уже применяется как мишени на морских полигонах, в противоминном поиске, в задачах долгопериодического мониторинга и изучения водной среды. СКБ САМИ ведет исследовательское проектирование сверхмалых самоходных плавсредств с 2001 г. Ранние работы СКБ были посвящены изучению принципиальной возможности целенаправленного плавания сверхмалых морских объектов в условиях открытого моря. Текущая работа посвящена выявлению надобности применения СмТК для инженерных изысканий в мелководных водоемах и возможности размещения на сверхмалых платформах необходимого для таких целей геодезического оборудования. Изучение публикаций и другой разнородной информации о разработке и применении безэкипажных плавсредств (БП) показывает, что самым заметным на сегодня (несколько сотен в эксплуатации) является сектор долгопериодического мониторинга в открытом море. Для геодезической съемки, напротив, БП практически не применяются. Эксперименты, проведенные на оз. Тунайча, выявили, что макет СмТК справляется с волнами высотой до 0,8 м, а значения динамических характеристик СмТК лежат в пределах, позволяющих установку и корректную работу многолучевого эхолота любой из коммерчески доступных марок.

ВВЕДЕНИЕ

Первое безэкипажное телеуправляемое судно «Telautomatics» было продемонстрировано Николой Тесла почти одновременно с изобретением радио (Нью-Йорк, 1898 г.). Тогда же реализация идеи была им запатентована [1].

Ранние работы и эксперименты с безэкипажными плавсредствами (БП) проходили в послевоенный период, однако системная разработка изделий класса Unmanned Surface Vehicles (USV) началась гораздо позднее, приблизительно с начала 90-х. Тогда же в ряде экономически развитых стран появились коммерчески доступные элементы информационных технологий, составляющих основу управления подвижными объектами, и началось финансирование соответствующих целевых программ. В 2007 г. был опубликован план мероприятий министерства

обороны США «USV Master Plan» [2]. Появление этого плана, ориентированного, прежде всего на использование безэкипажных плавсредств в противоминных задачах, предварялось различными прототипами систем миноискания. Например, на Kgroup-МАК в середине 70-х были заказаны 6 противоминных комплексов Troika MCM-SDS (surface drone system), представляющих собой 6 кораблей управления и 18 безэкипажных телеуправляемых плавсредств

Телеуправление для самоходных мишеней в составе морских полигонов еще ранее применялось достаточно часто. Плавсредствами-мишенями (Seaborne Target) являются востребованным средством любого ВМФ, по назначению должны быть безэкипажными, с необходимостью выполняя заданные элементы движения.

Безэкипажные автоматизированные платформы для океано-

графических исследований в виде стационарных и дрейфующих буев работают с начала 50-х [3]. В период 1951–1970 гг. десятки метеорологических якорных буев типа NOMAD были построены и развернуты на акваториях [4]. В настоящее время наряду с якорными применяются автономные буи с динамическим позиционированием, которые, в сущности, являются самоходными безэкипажными плавсредствами.

Трудоемкость постановки на якорь на значительных глубинах привела к вопросу обеспечения управляемого нулевого дрейфа без привязи, который ставился еще в 60-х и реализовывался в экзотических проектах типа SKAMP

¹ 690091, Владивосток, ул. Суханова, 5а. Тел/факс: (423) 243-24-16. E-mail: lyakhov@marine.febras.ru

² 693023, Южно-Сахалинск, ул. Горького, 25. Тел: (424) 255-49-66, факс: (424) 273-75-37. E-mail: aleksey.kim@skbsami.ru, minaev_dd@inbox.ru

(Station Keeping Autonomous Mobile Platform, 1969–1971 гг.) [5] и позднее в виде NUWS Station Keeping Buoy (рис. 1, 2).

Коммерческое использование USV до настоящего времени фактически не развито. Хотя разработка аппарата DOLPHIN (Deep Ocean Logging Platform with Hydrographic Instrumentation and Navigation) была начата компанией ISE [5] еще в 1981г., к настоящему времени известно только об опытной эксплуатации противоминной версии этой системы в общем количестве 12 экз. Вариация этой системы – ORCA (Oceanographic Remotely Controlled Automaton) [6] – стала прототипом известного противоминного комплекса Lockheed Martin AN/WLD-1 Remote Minehunting System (RMS).

Если экономический эффект от эксплуатации обычных морских судов в основном лежит в области торгового мореплавания (перевозки грузов, пассажиров и багажа³), то БП на сегодня рассматриваются только как носители изыскательского/исследовательского оборудования либо спецсредств оборонного назначения.

Недавно намерение развивать идеи безэкипажного морского транспорта (Unmanned Cargo Ships) были высказаны Rolls Royce [7]. Если оценить годовые мировые расходы на содержание экипажей (50 тыс. судов по 20 чел.) в 50–70 млрд \$, порядок величины выходит сравнимым с объемом мирового фрахтового рынка в сотни миллиардов, что делает работу по увеличению степени автоматизации судов экономически привлекательной.

В англоязычной литературе как в оборонной, так и в гражданской области уже сложилась определенная терминология для описания безэкипажных плавсредств. Военные ведомства США и НАТО в открытых публикациях [8] при-

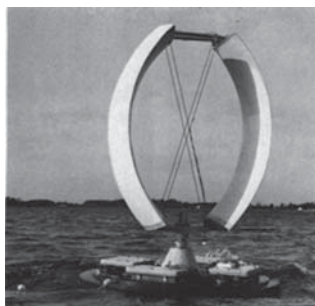


Рис. 1. SKAMP



Рис. 2. NUWS Station Keeping Buoy

держиваются понятия беспилотной системы (Unmanned System), а в военно-морском сегменте – Unmanned Maritime System [9, 10]. Эксперты корпорации RAND, исследуя текущий рынок [11], обнаружили наличие 63 БП, допуская с разными оговорками эксплуатацию нескольких сотен изделий. Согласно американскому плану мероприятий Unmanned Systems Integrated Roadmap FY2013–2038, в текущем году на морской сектор⁴ планируется потратить 0,3 млрд \$.

Учитывая множество параллелей в развитии беспилотных морских и авиационных систем, стоит упомянуть, что русскоязычная авиационная терминология по теме содержится в циркуляре ИКАО №328, 2011г., а также в проекте Федерального закона «О внесении изменений в Воздушный кодекс Российской Федерации в части использования беспилотных воздушных судов» (Минтранс РФ, окт. 2012 г.)

Для целей данной работы достаточно уточнить, что безэкипажное плавсредство является лишь частью комплекса технических средств иерархической автоматизированной системы (АСБП). Для работы (эксплуатации) система с необходимостью требует оператора/ов и программного обеспечения. Основным назначением АСБП является несение и работа полезной нагрузки на борту БП, например гидрографических, геодезических или иных приборов.

Ключевой особенностью АСБП является необходимость передвижения БП по поверхности воды (либо в полупогруженном состоянии) нужным для работы полезной нагрузки образом.

■ Типовые задачи безэкипажных плавсредств

АСБП вне зависимости от конкретной технической реализации имеют, в общем, те же основные области применения, что и появившиеся ранее авиационные и подводные системы. Хронологически это оборона, наука и коммерция. НИОКР, связанные с созданием и внедрением АСБП, тесно переплетены с проблемами океанологии, военного дела, экономическими науками, поэтому такое разделение имеет условный характер.

Военно-морские задачи

Задачи (missions), обрисованные в USV Master Plan, как и варианты применения (employment options) из недавнего исследования RAND, затруднительно перевести дословно, без потери смысла, поэтому, анализируя информацию об опытной эксплуатации и планах применения АСБП за рубежом, можно говорить о следующих основных группах задач ВМС США, которые предполагается решать с помощью USV:

³ В смысле Hague rules

⁴ Вместе с UUV- Unmanned Underwater Vehicle

а) противоминное картирование: площадная съемка дна при помощи ГБО и других ГАС, площадная фото/видео съемка, съемка магнитного и других физических полей, неконтактное траление, обезвреживание мин путем применения искателей-уничтожителей;

б) организация связи и навигационного обеспечения других беспилотных и обычных сил флота. Ведение информационного противодействия (ложные цели, приманки, помехи т.п.). Поиск и обнаружение подводных лодок и других военных объектов (сбор сигналов, локация/выявление элементов движения и пр.), применение торпедного, минного и другого вооружения;

в) патрулирование/охрана акваторий, мест дислокации собственных соединений флота, сбор океанографических данных района для нужд соединений флота (химический, радиологический и прочие анализы водной среды), метеорологическое и гидрографи-

ческое обеспечение. Поддержка спецопераций типа десант/захват и т.п., включая непосредственное применение оружия.

Основные разработки АСБП оборонного характера ведутся в противоминной тематике, заметные результаты имеются в построении систем большой автономности, в т. ч. трансокеанских, патрулирование акваторий имеет, по крайней мере, несколько готовых решений.

Противоминные действия с помощью БП могут вестись двумя основными способами: буксировкой трала (неконтактного), что реализуется в программе Unmanned Influence Sweep System (UISS), и буксировкой ГАС миноискания полупогруженным аппаратом в составе Remote Minehunting System (RMS).

БП для UISS разрабатывался с 2003 г. Maritime Applied Physics Corp., строился совместно с Oregon Iron Works. Два опытных образца были испытаны ONR в

2005 г. Этот тип катеров именуется USSV-HTF (Unmanned Sea Surface Vehicles–High Tow Force). Стадия LRIP (Low-Rate Initial Production) таких катеров предполагается в 2016 г., а постановка на вооружение LCS⁵ в 2018 г. (табл. 1; рис. 3, 4). БП для RMS - RMMV (Remote Multi-Mission Vehicle) на стадии LRIP, производится Lockheed Martin с 2005 г. В 2005–2008 гг. было поставлено 8 аппаратов общей стоимостью \$103.7 млн.

Полезная нагрузка обеих систем представляет собой серийные изделия BBT, в частности, интегрированный МК 104 акустический/электромагнитный трал и ГАС миноискания AN/AQS-20. Техническое решение буксировки такого рода устройств безэкипажным катером было запатентовано в 2003 г. корпорацией EDO [12].

Существует и третий способ, когда противоминный поиск (и, возможно, нейтрализация мин) возлагается целиком на автономные или привязные подводные аппараты меньшего класса, АСБП для которых выступает лишь носителем с необходимой системой постановки/подбора. Еще 10 лет назад компании «Bluefin Robotics» и «Brooke Ocean Technology Ltd» провели соответствующее исследование [13]. Одна из текущих работ в этом направлении называется LROHSS (automated Launch, Recovery, On-board Handling and Servicing System). Другим примером может служить интеграция противоминного аппарата SAAB Double Eagle с платформой Common Unmanned Surface Vessel (CUSV) корпорации AAI.

Для решения задач группы «в» возможно использование аппаратов типа Wave Glider, которых уже на апрель 2013 г. было более 200 ед. в эксплуатации (рис. 5), а в апреле текущего года было объ-

Таблица 1. Краткие характеристики USSV-HTF

№	Наименование	Значение
1	Длина, м	12
2	Ширина, м	3
3	Осадка, м	0,7
4	Водоизмещение порожнее/полное, кг	4080/8165
5	Двигатели	2×360л.с. Yanmar 6YLA-STP
6	Скорость крейс./макс. узл.	21/25
7	Буксировка 19/21 узл.	1360/1134 кгс
8	Автономность (ч) на скорости 21 узл.	19, не менее 350 миль

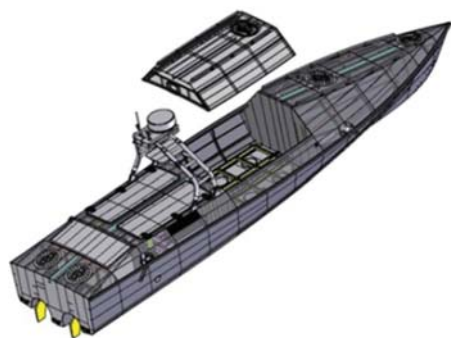


Рис. 3. Модуль полезной нагрузки USSV-HTF



Рис. 4. USSV-HTF на ходу

⁵ LCS – Littoral Combat Ship

явлено о начале работ по интеграции противолодочных гидроакустических систем Sentinel Passive Acoustic Sensor компании «Ultra Electronics». Другая система большей автономности – AutoNaut (рис. 6) – была успешно испытана, зимой 2013/14 г. в рамках второй фазы проекта LEMUSV (Long Endurance Marine Unmanned Surface Vessel) на предмет буксировки устройства Low Profile Array (LPA), многоэлементной ГАС малого диаметра (16 мм), длиной 18 м.

Стоит упомянуть растущее внимание к автономным парусным аппаратам, типичными экспериментальными образцами которых можно считать VAIMOS и SailBuoy. Все упомянутые БП могут работать в режиме Station Keeping, удерживая позицию в радиусе нескольких десятков метров от заданной точки в любом районе мирового океана, кроме покрытых льдами. Некоторые компании (Harbor Wing Technologies) занимаются автономными парусниками уже более десятка лет, другие появились совсем недавно (Ocean Aero), с весьма необычными гибридными системами типа Submaran.

Для патрулирования и охраны акваторий созданы опытные образцы Rafael Protector (2003 г.), Ebit Silver Marlin (2006 г.), ECA Robotics Inspector (2008 г.) и многие другие на основе серийных катеров стандартных типоразмеров 7–12 м и набора коммерчески доступных компонент, в итоге с весьма похожими характеристиками. Заслуживают внимания проекты малогабаритных АСБП MUSCL (Modular Unmanned Surface Craft Littoral) (рис. 7) и EMILY (Emergency Integrated Lifesaving Lanyard), первый предназначен для базирования на патрульных и десантных катерах



Рис. 5. Wave Glider мод. SV3 (2013 г.)



Рис. 6. AutoNaut (2014 г.)

RPB (Riverine Patrol Boat) и RAC (Riverine Assault Craft), а второй, в сущности, является самоходным спасательным кругом. Три первых экземпляра MUSCL были поставлены на флот в 2012 г. EMILY проходит опытную эксплуатацию и уже имеет патрульную версию HASS (Hydronalix Autonomous Science & Security).

Научные задачи

Первая группа задач представляет собой НИОКР, связанные, собственно, с построением АСБП, а вторая – с проведением исследования водной среды, морской биоты, климата и пр., где АСБП выступает уже в роли инструмента.

Классическое судоходство имеет две основные задачи управления морскими подвижными объектами. Одну из них решает штурман, прокладывая курс и определяя местоположение, другую выполняет рулевой, обеспечивая движение по заданному маршруту

с определенными показателями. Коммерчески доступная аппаратура (GPS, электронный компас, микроконтроллеры и сервоприводы), достаточная для построения АСБП, т.е. автоматического выполнения двух вышеуказанных задач, появилась в начале 90-х годов. С 1993 г. в MIT Sea Grant стали разрабатывать АСБП для включения в сеть AOSN (Autonomous Ocean Sampling Networks) [14], концептуально состоящую из множества небольших (1–3 м длиной), но дешевых (\$10–50 тыс.) автономных устройств с выбегом ~ 100 км. Прототипу ASC (Autonomous Surface Craft) ARTEMIS отводилась роль батиметрической съемки (bathymetric survey) прибрежных районов (рис. 8).

Полнота Ocean Sampling подразумевает измерения в толще воды и придонной области, поэтому на обычном НИС до сих пор важнейший элемент – это гидрологическая лебедка. Так как измерительные приборы все равно тре-



Рис. 7. MUSCL



Рис. 8. ASC ARTEMIS

буется погружать, идея сделать их (приборы) самоходными была реализована в АНПА типа «Odyssey», дрейфующих-всплывающих буях типа «Argo», глайдерах «Slocum» и др. Для АСБП «осталось» изучение приповерхностного слоя, батиметрия труднодоступных водоемов, например, затопленных кальдер вулканов, ледовых озер и просто районов, куда обычному НИС невозможно или несообразно дорого добраться. АСБП гораздо удобней больших НИС при измерениях на границе раздела сред и, конечно, при морских исследованиях, заведомо опасных для судов с экипажем.

NOAA в 2012 г. закуплен десяток портативных БП «Hurricane Tracker» (автономность 5–10 суток на скорости 7 узл.), с погодным мультисенсором Airmap PB200 и термосалинографом MicroTSG SBE 45 в качестве основной полезной нагрузки. Как миниатюрные (VITO AquaDrone), так и сравнительно крупные (11 м SeaRobotics) АСБП все же снабжаются лебедками для буксировки или опускания зондов, чем существенно расширяют область их применения.

Коммерческие задачи

Реальный коммерческий дебют АСБП состоялся в области учета переноса/расхода воды в водоемах (discharge), а вовсе не в гидрографических сервисах, как того ожидали. В основе метода измерения расхода, например реки, лежит замер профиля скоростей посредством перемещения ADCP⁶ по поверхности поперек течения. Корейская компания «DSME UTech Co., Ltd» начала разработку радиоуправляемого плавсредства Sonar Boat в 2003 г. и впоследствии

поставила различным заказчикам десятки систем.

Компания «QinetiQ» на выставке «Oceanology International 2002» представила MIMIR AAV (Above water Autonomous Vehicle), однако информации о дальнейшей эксплуатации этой системы в работах типа shallow water survey не наблюдалось. Фактически только несколько компаний на сегодня могут выставить коммерческое предложение на поставку невоенной системы заинтересованному покупателю, причем изделия Kingfisher и C-Worker анонсированы в этом году (табл. 2).

■ Технические решения

Поначалу безэкипажные морские системы строились на базе существующих проектов катеров, тральщиков и т.п., с добавлением контура телеуправления. В качестве плавсредств опытных образцов систем брались маломерные суда, каяки и даже судомодели. Контур телеуправления, а именно береговая станция, система связи, контроллер/автопилот, навигационные датчики, контроллеры управления движителем и сервопривод руля, в принципе представляют собой законченный комплекс технических средств, неоднократно структурно и покомпонентно описанный [15–18]. Подобные комплексы предлагаются некоторыми компаниями в качестве законченного продукта

(SIEL UAPS20 Unmanned AutoPilot System, Nymphaea Environnement Remote Survey Vehicle)⁷.

БП в массогабаритах маломерного катера почти всегда используют пропульсивные комплексы на базе ДВС мощностью в сотни киловатт для достижения необходимых крейсерских скоростей (20–40 узл.) в глиссирующем режиме и автономности ~20–70 ч. В качестве движителя и источника энергии малых водоизмещающих БП часто применяются электродвигатель + гребной винт + аккумулятор. В большинстве случаев БП размером с морской каяк со снаряженной массой около 50–100 кг при скорости 3–5 узл. будет иметь автономность не менее 8–10 ч при использовании подвешенного троллингового электромотора мощностью ~150–300 Вт. Иногда для энергообеспечения применяется портативный бензогенератор (EMILY Hurricane Tracker, USV-2600). Кроме электромотора с гребным винтом для мелководных водоемов применяют воздушные винты с электроприводом, что позволяет избежать зацепов и застреваний. БП «Pioneer» компании «NjordWorks Inc.» построен как раз по такому принципу, однако масса и автономность таких БП составляет десятки килограммов и часы соответственно. Для БП с автономностью от месяца до года применяется концепция environmental energy harvesting, позволяющая

Таблица 2. Мировые поставщики коммерческих АСБП

№	Производитель	Изделие	Год старта продаж
1	DSME E&R Ltd	SB-100S	2004
2	Sea Robotics	USV-2600	2008
3	EvoLogics	SONOBOT	2010
4	Autonomous Surface Vehicles	C-Hunter, C-Worker	2011
5	Oceanscience	Z-Boat 1800	2011
6	Hydranalix	EMILY Hurricane Tracker	2012
7	Deep Ocean Engineering	I-1650, H-1750	2013
8	Clearpath Robotics	Kingfisher	2014

⁶ ADCP – Acoustic Doppler current profiler.

⁷ QinetiQ серийно производит наборы Radio Remote Control kit для погружников BobCat.

утилизировать энергию солнца/ветра/волнения и т.п. Яркими примерами таких изделий являются WaveGlaider и AutoNaut, которые, обладая годовой автономностью при скорости 1–2 узл., могут пересекать океаны, питая целевую полезную нагрузку с энергопотреблением в десятки ватт от солнечных батарей (опционально рассматриваются топливные элементы и другие энергоемкие решения). По этим же причинам чрезвычайно активно развивается направление роботов-парусников (рис. 9, 10).



Рис. 9. IFREMER VAIMOS



Рис. 10. CMR SailBuoy

■ Разработка и испытания СмТК

В СКБ САМИ в течение длительного периода ведутся теоретические и экспериментальные исследования, связанные с разработкой автономных морских самоходных приборных комплексов, построением сверхмалых платформ для исследований в морских условиях – сверхмалых телеуправляемых кораблей (СмТК) [19]. Данная работа осуществлялась в рамках научно-технического проекта ДВО РАН «Разработка технологий создания сверхмалого автономного телеуправляемого корабля (СмТК) повышенной мореходности для инженерных изысканий и экологического мониторинга морских акваторий и устьев рек», 13-НТП II-06.

Одной из практических задач, для решения которой могут быть использованы СмТК, является задача ведения батиметрических съемок морских акваторий. Наиболее эффективным и экономически обоснованным может стать применение СмТК при ведении батиметрических съемок мелководных морских акваторий и акваторий со специальным режимом плавания. Вместе с тем получение батиметрических дан-

ных, отвечающих требованиям национальных и международных стандартов [20, 21], предполагает использование современных технологий гидрографических работ, обеспечивающих построение цифровых моделей рельефа дна со 100%-ной изученностью. Выполнение таких требований возможно только в случае применения многолучевых эхолотов (МЛЭ). Сегодня ряд современных образцов МЛЭ (R2Sonic 2020, МВ-1 и др.) обладает массогабаритными и энергопотребляющими характеристиками, которые снимают ранее существовавшие технические ограничения к размещению их на борту СмТК. Однако для успешного использования СмТК в качестве носителя МЛЭ требуется провести исследование, направленные на получение практических данных, позволяющих оценить качество батиметрической информации.

Одним из основных факторов, влияющих на качество данных МЛЭ, является волнение и вызванные им пространственные перемещения корпуса судна носителя. В этой связи, безусловно, что корпус СмТК в силу своих малых (по сравнению с традиционными носителями МЛЭ) размеров будет более подвержен таким перемещениям при равных пространственно-временных характеристиках внешних воздействий. Однако существуют и общие ограничения применения

МЛЭ в части максимальных значений параметров крена и дифферента судна носителя, границы которых определены их производителями в ходе практических исследований. Считается, что данные МЛЭ могут быть корректно скомпенсированы по крену и дифференту, если их значения не превышают $\pm 15^\circ$ [3, 4]. При этом для корректной компенсации важное значение имеет и скорость этих изменений. Измерение искомых значений крена, дифферента и вертикальных перемещений носителя МЛЭ, необходимых для коррекции батиметрических данных, осуществляется датчиками перемещения судна (ДПС), от технических характеристик которых во многом зависит качество компенсации.

В настоящей работе анализируются результаты экспериментальных исследований характеристик крена и дифферента макета СмТК, полученные в ходе проведения его ходовых испытаний. Работы проводились на акватории оз. Тунайча (о-в Сахалин) в декабре 2013 года. Получение данных по крену и дифференту макета СмТК осуществлялось при помощи цифрового ДПС типа «Honeywell» НМР3000. Последующие обработка и анализ данных предполагал построение временных зависимостей крена и дифферента, определение скорости изменения значений крена, вычисление нормированных энергетических спектров крена и диф-

ферента, а также проведение сравнительного анализа полученных результатов с данными по крену и дифференту, полученными с традиционного носителя МЛЭ.

■ Экспериментальные исследования

Методика исследований предполагала получение цифровых записей параметров крена и дифферента макета СмТК для их последующего анализа. В ходе проведения исследований макет совершал равномерное прямолинейное движение по акватории. Имитация волнения осуществлялась катером обеспечения, который выполнял движение курсом, перпендикулярным направлению движения макета. Оценка параметров волнения осуществлялась визуально на основе анализа видеозаписей.

Основными характеристиками, подлежащими оценке, явля-

Таблица 3. Краткие технические характеристики СмТК

№	Наименование	Значение
1	Длина, мм	3750
2	Ширина, мм	490
3	Высота корпуса/с антенной, мм	420/970
4	Высота надводного борта, мм	100
5	Масса общая с балластом (без полезной нагрузки), кг	223
6	Полезный объем, дм ³	553

лись: значения крена и дифферента; параметры волнения (высота и период волны); спектральный состав колебаний по крену и дифференту; значения скорости изменения крена. Спектральный анализ значений крена и дифферента выполнялся посредством дискретного преобразования Фурье (ДПФ) по 512 отсчетам с последующим осреднением по 16 реализациям рассчитанных спектров, что при частоте дискретизации исходной последовательности данных, равной 4 Гц, обеспечивало полосу спектрального анализа в 0,0078 Гц. Для

вычисления спектра выбирались участки данных, в пределах которых макет осуществлял равномерное и прямолинейное движение.

Цифровая запись параметров крена и дифферента осуществлялась с использованием специализированного программного обеспечения из комплекта ДПС HMR3000, позволяющего экспортировать полученные данные для дальнейшей обработки. ДПС при этом размещался в блоке управления макета СмТК (рис. 11).

Макет СмТК обладает техническими характеристиками, приведенными в табл. 3.

Общий вид макета СмТК и компоновка бортового оборудования представлены на рис. 11, а его фотографии, полученные в ходе испытаний, на рис. 12.

■ Результаты и обсуждение

В результате визуального анализа видеозаписей движения макета СмТК было установлено, что высота создаваемых катером обеспечения волн составила от 0,5 до 0,8 м. При таких параметрах волн макет СмТК осуществлял равномерное и прямолинейное движение с отклонением от заданной линии направления движения, не превышающим 1...2,0 м на 100 м пройденного пути, без применения системы управления курсом. Мгновенные значения рысканья по курсу при движении на волнении составили 0,1...0,3° на прямолинейных участках.

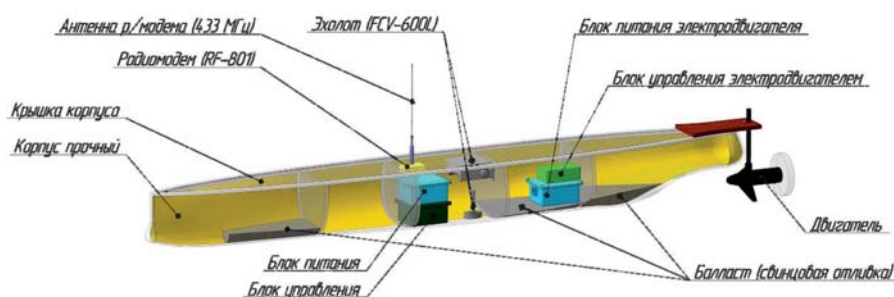


Рис. 11. Общий вид макета СмТК и компоновка бортового оборудования

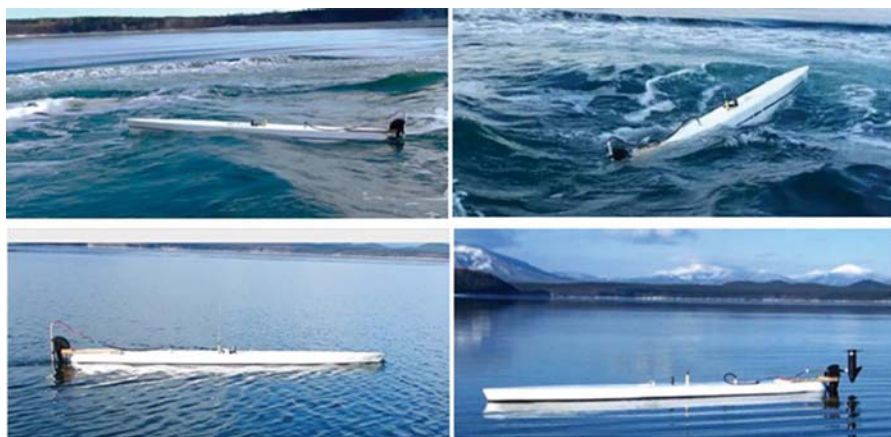


Рис. 12. Макет СмТК в ходе проведения испытаний

На рис. 13, а представлены временные реализации значений крена и дифферента на интервале 150 с. Анализ представленных зависимостей показывает, что максимальные значения крена составляют не более $8...10^\circ$, а дифферента – не более $3...4^\circ$. При этом значения крена имеют явно выраженную постоянную составляющую, равную $\sim 1,5^\circ$, обусловленную недостаточно точной дифферентовкой корпуса макета. Участки представленной реализации (см. рис. 13, а), на которых значения крена и дифферента увеличиваются, соответствуют моментам времени пресечения макетом волн, созданных катером обеспечения. На рис. 13, б представлена зависимость скорости изменения значений крена, при этом максимальные значения скорости составляют до $10...25^\circ$ в секунду. Максимальные значения скорости соответствуют моментам прохождения макета через волны, созданные на акватории катером обеспечения.

Спектрально-энергетические характеристики параметров крена и дифферента, соответствующие временному отрезку, представленному на рис. 13, а, показаны на рис. 14, а значения частот характерных спектрально-энергетических максимумов – в табл. 4. Анализ данных, представленных на рис. 14, показывает, что основная энергия в спектре колебаний корпуса макета по крену и дифференту сосредоточена в области частот от 0,7 до 1,1 Гц. При этом в спектрах присутствует не менее пяти явно выраженных дискретных составляющих, которые можно рассматривать как проявления отклика корпуса макета на внешнее воздействие. Главный энергетический максимум колебаний корпуса сосредоточен в области частот от 0,92 до 0,94 Гц, другие спектраль-

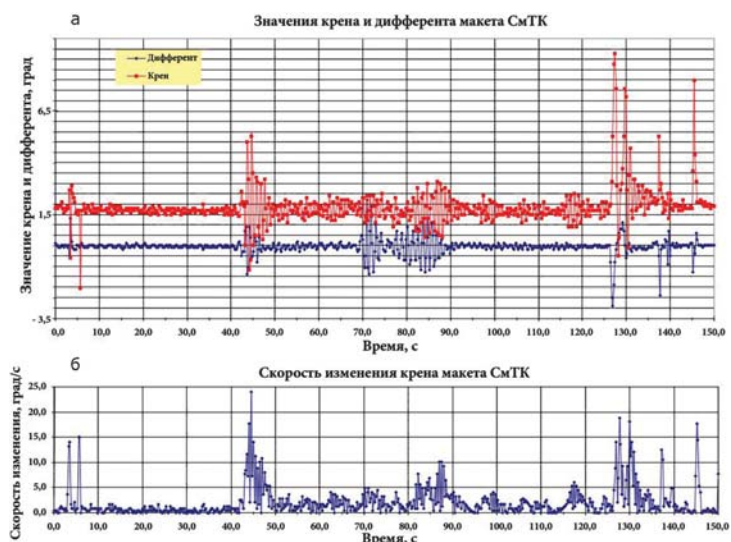


Рис. 13. Характеристика параметров крена и дифферента макета СМТК: а – значения параметров крена и дифферента; б – значения скорости изменения крена

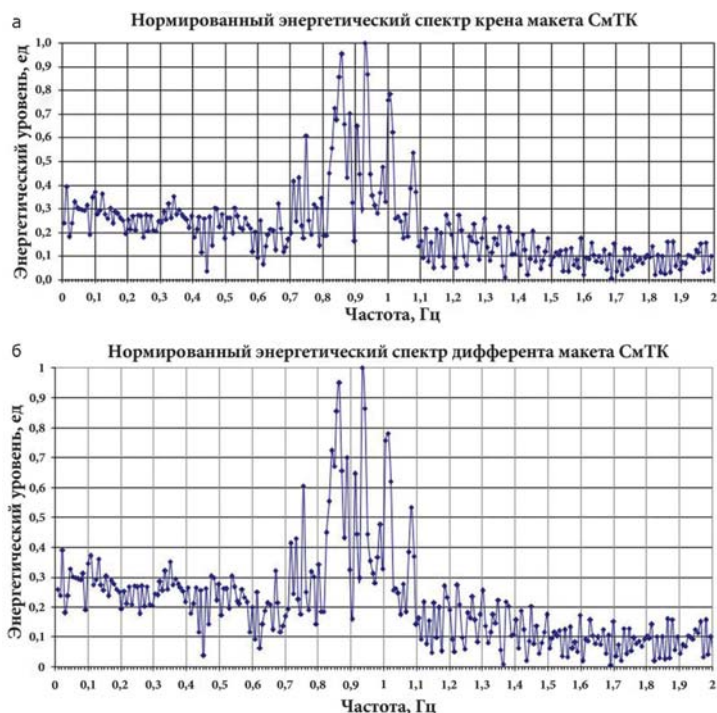


Рис. 14. Спектрально-энергетические характеристики крена и дифферента макета СМТК

Таблица 4. Частоты спектрально-энергетических максимумов, Гц

№	Частотные характеристики крена и дифферента макета СМТК					
1	Крен	0,75	0,8658	0,929	1,078	1,0078
2	Дифферент	0,7566	0,8658	0,936	1,0842	1,014

ные составляющие можно рассматривать как модуляционные с периодом от 6,5 до 14,5 с. Кроме того, из рис. 4 видно, что сплошная часть спектра имеет явно выраженный спад, ориентированный в

область высоких частот при скорости спада ≈ 6 Дб/декаду.

На рис. 15 представлены характеристики параметров крена и дифферента для судна водоизмещением ≈ 1000 т, выполняющего

батиметрическую съемку морской акватории с применением МЛЭ. На судне в качестве ДПС использовался MRU 5+ (фирмы «Kongsberg»). Анализ данных показывает, что по сравнению с результатами, полученными для макета СМТК, значения крена и дифферента, присущие судну, в среднем в $\approx 5 \dots 10$ раз меньше (рис. 15, а), что относится и к скорости изменения крена (рис. 15, б). Анализ спектра колебаний корпуса судна по крену также показывает на смещение энергетических максимумов в область более низких частот от 0,12 до 0,2 Гц (рис. 15, в).

Понятно, что эти данные можно весьма условно исполь-

зовать для сравнения с данными, присущими макету СМТК вследствие различия в пространственных характеристиках внешних воздействий, типах использованных ДПС, размерах корпусов и др. Однако такие значения параметров по крену и дифференту полностью компенсируются в конечных результатах многолучевой съемки. В случае с макетом СМТК, когда значения параметров крена и дифферента существенно выше, их компенсация может потребовать применения более точных ДПС с малым временем реакции и повышенной частотой измерений. Анализ рынка ДПС показывает, что их характеристики в состоянии обеспечить

требуемый уровень измеряемых параметров. Так, ДПС MRU 5+ (Kongsberg) обеспечивает получение данных при скорости изменения крена и дифферента до 150 град./с, RHINS (IXEA) – до 750 град./с, IMU-108 (Ship motions) – до 100 град./с при частоте измерения не менее 20 Гц в диапазоне углов крена и дифферента до $\pm 30^\circ$ [22–26]. Последнее ограничение является существенным и не позволяет использовать СМТК при значительной степени волнения, что в равной степени касается и других видов носителей МЛЭ. Вместе с тем результаты спектрального анализа колебаний корпуса макета по крену и дифференту подтверждают возможность их компенсации при использовании указанных типов ДПС, так как будет обеспечено не менее чем 10-кратное превышение частоты измерения контролируемых параметров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При разработке автоматизированного безэкипажного плавсредства (телеуправляемого корабля) главной задачей является обеспечение функционирования его полезной нагрузки в соответствии с реализуемым целевым предназначением.

Основой принципа проектирования (разработки) БП должна являться оптимизация его эксплуатационно-экономических и тактико-технических характеристик в соответствии с реализуемой целевой функцией.

Наиболее эффективным методом проектирования (разработки) БП можно считать метод исследовательского либо имитационного проектирования с полномасштабным макетированием основных элементов конструкций и приме-

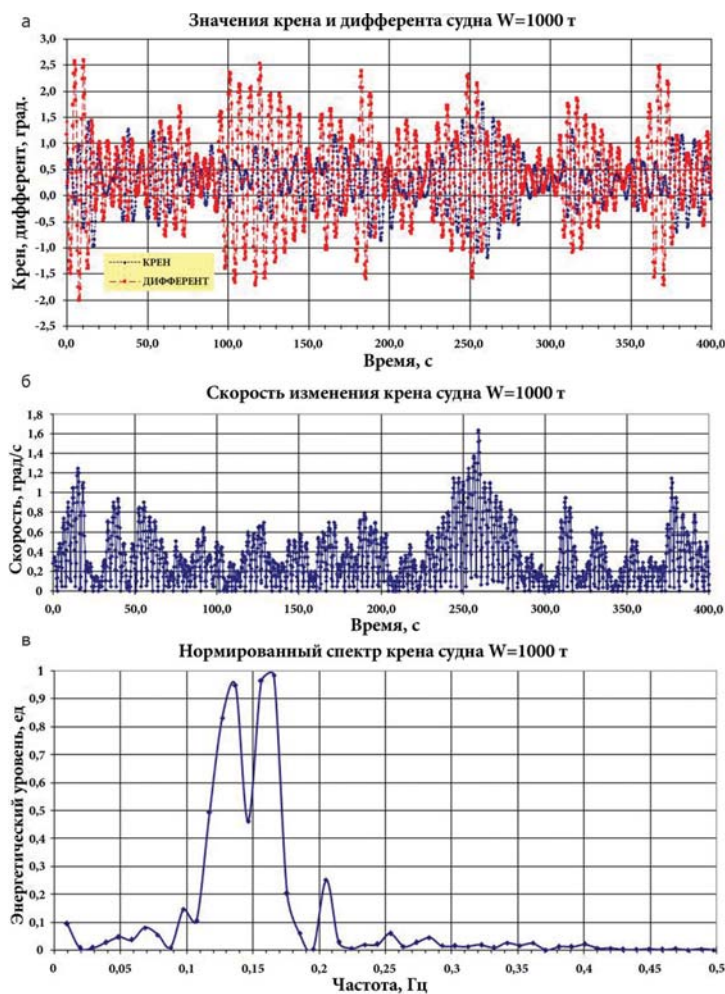


Рис. 15. Характеристика параметров крена и дифферента судна $w=1000$ т: а – значения параметров крена и дифферента; б – значения скорости изменения крена; в – спектрально-энергетическая характеристика крена

нением конкретных образцов технических средств, используемых для реализации целевых функций в натуральных условиях.

Результаты проведенных натурных экспериментальных исследований характеристик крена и дифферента макета СМТК, предназначенного для ведения батиметрических съемок мор-

ских акваторий, позволяют утверждать, что:

1) по своим техническим характеристикам и основным размерениям макет СМТК может быть использован в качестве носителя малогабаритных образцов МЛЭ;

2) количественные характеристики параметров движения маке-

та, в том числе по крену и дифференту, при его движении по волне с высотой 0,5...0,8 м находятся в пределах значений, допускающих применение МЛЭ, и могут быть компенсированы в итоговых батиметрических данных с помощью стандартных образцов ДПС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Marincic A., Budimir D. Tesla's multi-frequency wireless radio controlled vessel // History of Telecommunications Conference, HISTELCON 2008. IEEE (2008). Vol. br. P. 23–26.
2. The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV). Master. Plan. U.S. Department of the Navy, July, 2007. 122 p.
3. Timpe, G.D., Van de Voorde N.E. NOMAD Buoys: An Overview of Forty Years of Use // MTS/Oceans, 1995. San Diego, CA. P. 132–140.
4. Schlieben E. W. SKAMP – An amazing unmanned sailboat! // Ocean Industry. 1969. P. 38–43.
5. Hamilton W. DOLPHIN: A High Speed Semi-Submersible with Mine Countermeasure and Surveying Capabilities // SAE Technical Paper 891688. 1989. № 10.4271/891688. 98 p.
6. Bourgeois B., Kalcic M., Harris M. ORCA – oceanographic remotely controlled automaton // The Hydrographic Journal. 1996. P. 3–11.
7. Ackerman E. Unmanned cargo ships face industry resistance, are a good idea anyway // IEEE Spectrum. 2014. Feb. 87 p.
8. The US Department of Defense. Unmanned Systems Integrated Roadmap. FY2013-2038. 145 p.
9. Guidance for Developing Maritime Unmanned Systems (MUS) Capability [Electronic resource] // NATO Combined Joint Operations from the Sea Centre of Excellence. 2012. July. 98 p. URL: <http://info.publicintelligence.net/CJOSCOE-MUS.pdf> (accessed: 26.03.2014)
10. Savitz S., Blickstein I., Buryk P., [et al.] U.S. Navy Employment Options for Unmanned Surface Vehicles (USVs) [Electronic resource] // RAND Corporation. 2013. 159 p. URL: http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_reports/RR300/RR384/RAND_RR384.pdf (accessed: 11.04.2014)
11. Button R. A Survey of Missions for Unmanned Undersea Vehicles [Electronic resource] // RAND Corporation. 2013. MG-808-NAVY, 223 p. URL: http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/monographs/2009/RAND_MG808.pdf (accessed: 13.04.2014)
12. Ellner M. System for alternatively or concomitantly mine hunting and minesweeping: US Patent № 2004/0194684 A1 (07.10.2004)
13. Grieve R.J., DeBelie S., Moeller G. Automated Launch and Recovery of Untethered, Mini Unmanned Underwater Vehicles from Unmanned Surface Vehicles [Electronic resource] // Contract. 2004. N00014-04-M-0182. Report A978824. 85 p. URL: <https://www.stormingmedia.us/97/9788/A978824.html> (accessed: 3.04.2014)
14. Curtin T., Bellingham J., Catipovic J., Webb D. Autonomous Ocean Sampling Networks // Oceanography. 1993. Vol. 6, No. 3. P. 86–94.
15. Manley J. Development of the autonomous surface craft «ACES» // Proc. of OCEANS. 1997. Vol. 2. P. 827–832.
16. Curcio J., Leonard J., Patrikalakis A. SCOUT – a low cost autonomous surface platform for research in cooperative autonomy // OCEANS 05 MTS/IEEE Conference, 18–23 September 2005. Washington, DC. Vol. 1. P. 725–729.
17. Majohr J., Buch T. Modelling, simulation and control of an autonomous surface marine vehicle for surveying applications Measuring Dolphin MESSIN // IEE Control Series. 2006: Advances in unmanned marine vehicles. Ch. 17. P. 329–352.
18. Pascoal A., Silvestre C., Oliveira P. Vehicle and mission control of single and multiple autonomous marine robots // IEE Control Series. 2006: Advances in unmanned marine vehicles. Ch. 16. P. 353–386.
19. Антоненко С.В., Малашенко А.Е., Храмушин В.Н. Поисковые исследования штормового мореходства // Вестн. ДВО РАН. 2004. № 1. С. 26–39.
20. СП 11-114-2004: Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений / Госстрой России. М.: Произв. и науч.-исслед. ин-т по инженерным изысканиям в строительстве (ФГУП «ПНИИИС») Госстроя России, 2004. 231 с.
21. IHO standards for Hydrographic Surveys: Special Publication No. 44 (S-44): 5th Edition. Monaco: International Hydrographic Bureau, 2008. 28 p.
22. SONIC 2024/2022: Broadband multibeam echosounders: Operation Manual. Version 3.1. April 2011. 135 p.
23. EM 2040C: Technical specifications. Kongsberg Maritime AS. 369468. Rev. C. November 2013.
24. Datasheet MRU 5+. Kongsberg seatex AS. Feb. 2009. HLA.
25. PHINS (Photonic Inertial Navigation System): User Guide General Introduction, IXSEA MU-PHINSIII-002 Ed. A. July 2008. 52 p.
26. SMC IMU Motion Sensors: SMC IMU Manual Rev 20. Ship Motion Control Sweden AB. 48 p.