



ГЕОЛОГОРАЗВЕДКА
И ИНЖЕНЕРНЫЕ РАБОТЫ
В МОРЕ И НА РЕКАХ

№1 (29)
2026

ОСК АГАТ

МОРСКИЕ
ИНФОРМАЦИОННО-
УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

МОРСКИЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Межотраслевой корпоративный научно-технический журнал

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

ХРАМОВ Михаил Юрьевич
генеральный директор, генеральный конструктор
АО «Концерн «Моринсис — Агат», к.т.н., главный редактор

АСЛАНЯН Александр Александрович
генеральный директор АО «НПФ «Меридиан»

КЛЯЧКО Лев Михайлович
научный руководитель АО «ЦНИИ «Курс», д.т.н.

МАКЛАЕВ Владимир Анатольевич
генеральный директор ФНПЦ АО «НПО «Марс», к.т.н.

МОШНЯКОВ Дмитрий Андреевич
генеральный директор АО «ЦНИИ «Курс»,
генеральный директор АО «АКИН»

ИЗДАТЕЛЬ:

Акционерное общество
«Концерн «Моринформсистема — Агат»



КОЛОНКА РЕДАКТОРА

Настоящий номер журнала посвящен развитию тематики, логически объединяющей актуальные для России проблемы в области морской техники и в целом морской деятельности в современных условиях. Его содержание можно рассматривать как продолжение не теряющей своей актуальности темы импортозамещения и развития отечественных морских технических средств, в рамках которой на конкретных примерах представлены вопросы автоматизации и автономного судовождения, робототехники и ее группового применения, интеллектуального управления системами и методы оперативной океанографии.

В материалах выпуска — статьи об опыте разработки и эксплуатации отечественных программно-аппаратных комплексов морской сейсморазведки, об использовании безэкипажных катеров для автоматизации гидрографических работ. Направление по созданию мобильной многофункциональной морской робототехники для применения в зонах мелководья представлено перспективным морским автономным роботизированным комплексом с модульной полезной нагрузкой и адаптивностью к разнородным операционным условиям с учетом возможности работы в сетевцентрической системе гетерогенной группы.

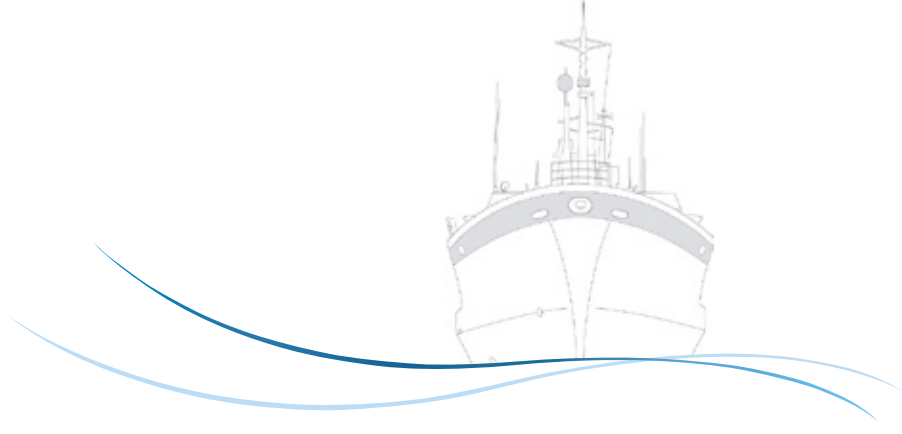
Среди ключевых направлений применения выделены батиметрическая съемка и гидрографическое картографирование, экологический мониторинг водных объектов, изучение взаимодействия «океан — атмосфера», оценка состояния биологических ресурсов, а также обследование гидротехнических сооружений и подводных коммуникаций. Необходимость изучения морского дна в рамках идеологии оперативной океанографии определена в качестве важной составной части практических задач морской деятельности. Это следует из понимания гидросферы как природной системы, взаимодействующей с литосферой, атмосферой и биосферой. Рассмотрены вопросы автоматизации и цифровых технологий применительно к современному судостроению.



**Михаил Юрьевич Храмов,
главный редактор**

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENT



Опыт разработки и применения отечественных программно-аппаратных комплексов для морской сейсморазведки 4

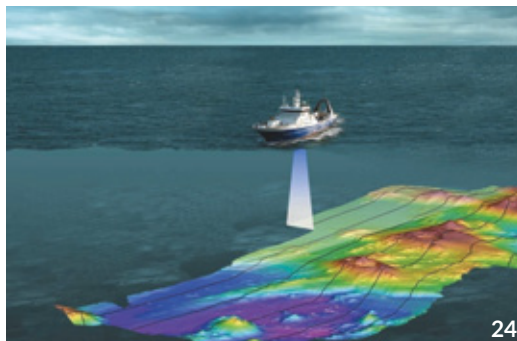
Г.А. Максимов, А.Ю. Волков, А.Г. Григорьев, З.А. Корольков,
В.Н. Коновалов, В.А. Ларичев, Д.Н. Лесонен, Д.А. Смагин,
В.А. Смирнов
АО «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева»



4

Использование безэкипажных катеров для проведения промерно-изыскательских работ для речного транспорта 24

Д.И. Кузнецов
АО «Концерн «Моринсис-Агат»



24

Актуализация данных электронных карт магнитного поля Земли при эксплуатации современных систем компенсации магнитного поля корабельных корпусных конструкций с косвенным режимом управления 30

Б.Ю. Семёнов
АО «НПФ «Меридиан»

Морской робототехнический комплекс на базе маломерного необитаемого судна проекта «Лоцман» 34

А.М. Маевский, В.Ю. Занин
АО «НПП ПТ «Океанос»



34

Геологические процессы морского дна и оперативная океанография на примере акваторий Азово-Черноморского бассейна. 48

Б.В. Сенин, Е.А. Глазырин, А.А. Шейков, Б.Н. Алёшин, Т.И. Лыгина
АО ГНЦ «Южморгеология»

Азимутальные буксиры-автоматы как ключевой элемент инфраструктуры современного порта. 56

В.Г. Сенченко, В.В. Заслонов
ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова



56

Использование IoT-платформы SmartUnity 4.0 в системах управления судов на примере СПК «Метеор 120Р» 66

Д.Ю. Гордеев, Д.Л. Щенников
АО «НПП «Радар ммс»



66

От мастерской к пьедесталу: как создаются и побеждают судомодели 70

А.А. Николаев, Е.М. Морохотова
АО «Концерн «Моринсис-Агат»



ОПЫТ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРОГРАММНО- АППАРАТНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ МОРСКОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Освоение углеводородных ресурсов континентального шельфа представляет собой одну из стратегических задач развития топливно-энергетического комплекса Российской Федерации. В среднесрочной перспективе шельфовые проекты, прежде всего в Арктической зоне, призваны компенсировать естественное падение добычи на выработанных месторождениях Западной Сибири [1]. Ключевым и наиболее технологически сложным этапом геологоразведочных работ на шельфе выступает морская сейсморазведка, результаты которой напрямую определяют успешность поискового бурения и последующей разработки месторождений.



АО «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева»
Москва

Г.А. Максимов, А.Ю. Волков, А.Г. Григорьев, З.А. Корольков, В.Н. Коновалов, В.А. Ларичев,
Д.Н. Лесонен, Д.А. Смагин, В.А. Смирнов

Современная морская сейсморазведка предъявляет исключительно высокие требования к точности и надежности применяемого оборудования. Используемые комплексы — буксируемые косы длиной до 10–12 км, донные кабельные системы, автономные станции и сети акустических транспондеров — должны функционировать в условиях значительных гидродинамических нагрузок, в широком диапазоне глубин, температур и солености, включая сложные ледовые условия арктических морей.

1. Обзор современного состояния отрасли

1.1. Мировой рынок оборудования для морской сейсморазведки

До введения санкционных ограничений российский рынок оборудования для морской сейсморазведки был практически полностью интегрирован в мировую индустрию и ориентирован на использование продукции ведущих западных производителей. Мировой рынок данной отрасли характеризовался высокой степенью концентрации: основными игроками являлись компании ION Geophysical (США), Sercel (Франция), Sonardyne (Великобритания), PGS (Норвегия) и WesternGeco (Великобритания/Нидерланды) [2, 3].

Традиционно оборудование для морской сейсморазведки подразделяется на несколько основных категорий. Наиболее распространенный тип — буксируемые сейсмодосы. Лидером в этом сегменте является компания Sercel с линейкой систем Streamer, включающей модели длиной до 12 км с шагом гидрофонов от 3,125 до 12,5 м. Современные системы оснащаются модулями управления глубиной (bird), акустическими транспондерами для позиционирования и системами компенсации качки. Альтернативные решения предлагают компании ION Geophysical (системы GPRz и Trident) и PGS (системы GeoStreamer с технологией дегазации).

Донные сейсмические системы подразделяются на два основных класса: кабельные системы (OBC — Ocean Bottom Cable) и автономные донные станции (OBN — Ocean Bottom Node). В сегменте OBC доминируют решения Sercel (системы 428XL и 408UL), обеспечивающие регистрацию как гидрофонных, так и геофонных компонент. Системы OBN, представленные продукцией компаний Sercel (UniQ), ION (SeaNode) и PGS (GeoNode), обеспечивают большую гибкость расстановки, но работают в автономном режиме без передачи данных в реальном времени.

Системы акустического позиционирования являются критически важным компонентом многокосовой 3D-сейсморазведки. Лидерами данного направления являются компании Sonardyne (системы SIPS — Sonardyne Integrated Positioning System), Sercel (системы Nautilus) и ION Geophysical (система Digicourse). Данные системы обеспечивают определение координат тысяч приемных элементов с точностью до нескольких метров путем сетевой акустической дальнометрии с использованием транспондеров, устанавливаемых на сейсмодосах с шагом 300–600 м.

Навигационное программное обеспечение представляет собой отдельный класс систем, обеспечивающих интеграцию данных от всех навигационных сенсоров, их обработку в реальном времени и управление съемочным процессом. Промышленным стандартом в данной области является система ORCA (Sercel), обеспечивающая полный цикл навигационного обеспечения — от планирования профилей до экспорта данных в отраслевые форматы UKOOA P1/90 и P2/94.

1.2. Влияние санкционных ограничений и задачи импортозамещения

Введение санкционных ограничений в 2014 году и последовавшее за ними санкционное давление с 2022 года кардинально изменили ситуацию на российском рынке оборудования для морской сейсморазведки [2, 3]. Стали невозможными как поставки нового оборудования, так и техническое обслуживание, ремонт и модернизация ранее приобретенных импортных систем. Кроме того, были прекращены поставки расходных материалов, запасных частей и программного обеспечения.

В этих условиях задача импортозамещения критически важных компонентов морской сейсморазведки приобрела характер государственной необходимости, от решения которой напрямую зависит продолжение геологоразведочных работ на российском шельфе и воспроизводство минерально-сырьевой базы страны.

1.3. Направления разработок АО «АКИН»

Начиная с 2016 года в АО «Акустический институт имени академика Н.Н. Андреева» (АО «АКИН») ведется системная работа по созданию линейки отечественного сейсморазведочного оборудования, способного полностью заместить выпадающие зарубежные аналоги. Разработки института охватывают четыре ключевых направления, соответствующих основным технологическим вызовам современной морской геофизики [3].

Первое направление связано с проведением работ в транзитной зоне «суша — море» и на сверхмелководье, где использование традиционных буксируемых кос невозможно из-за ограничений по глубине. Для решения этой задачи был создан программно-аппаратный комплекс на базе автономной секционной донной сейсмодосы (ПАК АСДС), ориентированный на проведение 2D/3D/4D-съемок и обеспечение бесшовной сейсмике в шельфовой и переходной зонах.

Второе направление — инженерная сейсморазведка и высокоточные исследования, требующие широкого частотного диапазона, малого шага между каналами и экологической безопасности. Для этих целей был разработан регистрирующий комплекс на основе цифровой твердотельной буксируемой сейсмодосы (РК ЦТБС), лишенный недостатков традиционных маслянонаполненных систем.

Третье направление — высокоточное позиционирование многокилометровых многокосовых систем, являющееся

необходимым условием современной 3D- и 4D-сейсморазведки. Буксировка до 12 сейсмоков длиной до 12 км каждая требует непрерывного определения координат десятков тысяч сейсμοприемников. Созданный в институте программно-аппаратный комплекс акустического позиционирования буксируемых сейсмоков (ПАК АПБС) представляет собой полностью отечественную альтернативу зарубежным системам позиционирования.

Четвертое направление — программное обеспечение для навигационного обеспечения съемочного процесса. Разработанная интегрированная навигационная система ИНСИНАВ обеспечивает полный цикл работ: от конфигурирования проекта и планирования траекторий до синхронизированного сбора данных, позиционирования в реальном времени и экспорта результатов в отраслевые стандарты.

Настоящая статья обобщает опыт разработки, испытаний и практического применения этих комплексов в акваториях Белого, Баренцева, Карского и Черного морей.

2. Программно-аппаратный комплекс на базе автономной секционной донной сейсмокосы (ПАК АСДС)

2.1. Назначение и область применения

Значительная часть перспективных углеводородных месторождений российского шельфа, особенно в Арктической зоне, расположена в так называемой транзитной зоне — в акваториях с глубинами от нуля до нескольких

метров, простирающихся иногда на десятки километров от низменного тундрового берега до судоходных глубин. Проведение сейсморазведочных работ в этих условиях традиционными буксируемыми косами невозможно из-за ограничений по осадке и риска повреждения дорогостоящего оборудования.

В то же время именно в транзитной зоне находятся такие крупные месторождения, как Каменномысское, Северо-Каменномысское, Харасавэйское, Крузенштернское, а также ряд месторождений, расположенных частично на суше, частично на море (Варандей, Медынское и др.). Для их разведки и последующего мониторинга разработки (4D-сейсморазведка) необходимо специализированное оборудование, отвечающее следующим требованиям:

- работа на глубинах от 0 до 50 м;
- высокая плотность наблюдений (шаг датчиков не более 12,5 м);
- регистрация сигнала как гидрофонами, так и трехкомпонентными геофонами;
- точное знание координат и ориентации каждого приемного элемента;
- возможность организации бесшовной сейсмики «суша — море».

В АО «АКИН» для решения указанных задач разработан программно-аппаратный комплекс на базе автономной секционной донной сейсмокосы (ПАК АСДС). Ключевая особенность комплекса — секционная структура, позволя-

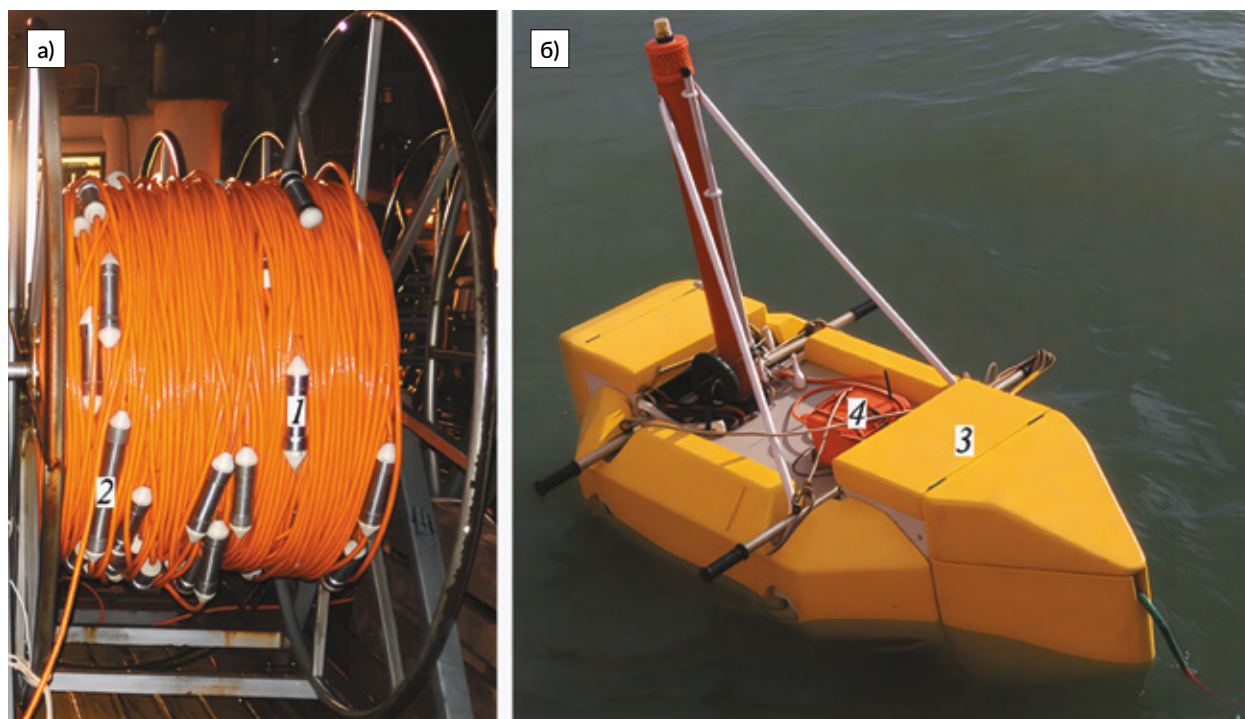


Рис. 1. а) 10 секций АСДС общей длиной 2 км, намотанные на катушку; б) радиобуй с модулем сбора данных: 1 — датчик; 2 — ЛЭМ; 3 — радиобуй; 4 — модуль сбора данных

ющая формировать приемные антенны практически любой конфигурации: от одиночной линейной косы длиной до 6 км до разнесенных планшетных расстановок для 3D-съемки. При этом каждая секция достаточно легка для ручного развертывания с маломерных неспециализированных судов, что имеет большое значение для работ в условиях необорудованного берега и мелководья.

2.2. Состав и технические характеристики

В состав ПАК АСДС входит 30 секций цифровой донной кабельной сейсмодосы общей длиной 6 км, объединяющих 480 пятиканальных датчиков 5С (два гидрофона и три ортогональных геофона) с шагом установки 12,5 м. Для автономного энергоснабжения и сбора данных используется радиобуй с дизель-генератором (1,6 кВт), топливными баками (170 л), аккумуляторами и быстросъемным модулем сбора данных. Управление комплексом, регистрация, позиционирование и визуализация осуществляются с помощью специализированного бортового программного обеспечения.

Каждая секция имеет длину 200 м, изготовлена на основе кабеля диаметром 14 мм и содержит 16 датчиков. Масса секции составляет всего 70 кг, что позволяет размещать ее на транспортировочной катушке и сматывать или разматывать с маломерного судна (рис. 1а). Соединение секций между собой осуществляется через линейные электрические модули (ЛЭМ), обеспечивающие питание и передачу данных по магистральной линии.

Датчик АСДС представляет собой герметичный модуль диаметром 48 мм и длиной 250 мм, фактически являющийся миниатюрной автономной сейсмостанцией (рис. 1а). В его состав входят два гидрофона на пьезокерамической основе, три взаимно перпендикулярных геофона (акселерометра), магнитометр (компас) для измерения курса, 24-разрядный дельта-сигма АЦП с регулируемым коэффициентом усиления. Оцифрованный сигнал от датчиков по магистральной линии через ЛЭМ поступает в модуль сбора данных на радиобуе. Оттуда по Wi-Fi-каналу (дальность — до 1 км) и УКВ-радиоканалу (дальность — до 10 км) данные и телеметрия передаются на судно, что позволяет оператору контролировать качество в реальном времени, в отличие от автономных донных станций (ОВН).

Радиобуй (рис. 1б) обеспечивает автономное электропитание комплекса в течение до 10 суток. Габариты буя — 2,5×1,4×1,2 м, масса — 340 кг. Быстросъемный модуль сбора данных (габариты — 25×23×17 см) может быть снят или заменен с воды с использованием надувной лодки. Предусмотрен также режим работы с выходом на сушу: в этом случае радиобуй не требуется, а модуль сбора данных запитывается от сети 220 В.

2.3. Позиционирование и ориентация датчиков

Эффективное использование векторных приемников (геофонов) требует точного знания пространственной ориентации каждого датчика, а суммирование трасс по

Таблица 1
Технические характеристики ПАК АСДС

Длина секции, м	200
Масса секции, кг	70
Число датчиков в секции	16
Шаг между датчиками, м	12,5
Тип датчика	5С (2 гидрофона, 3 ортогональных геофона)
Разрядность АЦП, бит	24
Частота дискретизации, кГц	0,5; 1; 2; 4
Чувствительность гидрофона, В/бар	6
Чувствительность геофона, В/(м/с)	28
Полоса регистрируемых частот, Гц	3–2000
Формат записи данных	SEG Y
Автономность радиобуя, сут.	10

общей глубинной точке невозможно без точных координат приемных элементов. В ПАК АСДС реализована оригинальная методика активного акустического зондирования, обеспечивающая определение координат с погрешностью не более 0,5 м и углов ориентации с погрешностью порядка 1° [5].

Методика включает несколько этапов. После раскладки и заглубления донной косы по району работ совершает проход судно-пингер — любой маломерный носитель, буксирующий компактный пьезокерамический излучатель. Излучатель формирует короткие (10 мс) широкополосные импульсы в диапазоне 30 кГц. Моменты излучения синхронизированы с временем ГНСС, координаты судна в момент каждого «пинга» фиксируются с высокой точностью (рис. 2). Высокочастотные сигналы регистрируются парой гидрофонов каждого датчика АСДС; частота дискретизации высокочастотного тракта составляет 4 кГц, что достаточно для точного измерения временных задержек.

По измеренным отрезкам времени пробега прямого сигнала решается обратная геодезическая задача — определяются координаты каждого датчика. Верификация методики, выполненная путем сравнения полученных глубин с данными многолучевого эхолота, подтвердила точность позиционирования не хуже 0,5 м.

Ориентация датчика в горизонтальной плоскости определяется путем корреляционной обработки сигналов, принятых на два разнесенных гидрофона. Разность фаз (времени прихода) однозначно связана с углом прихода волны. Сопоставление экспериментальных и расчетных

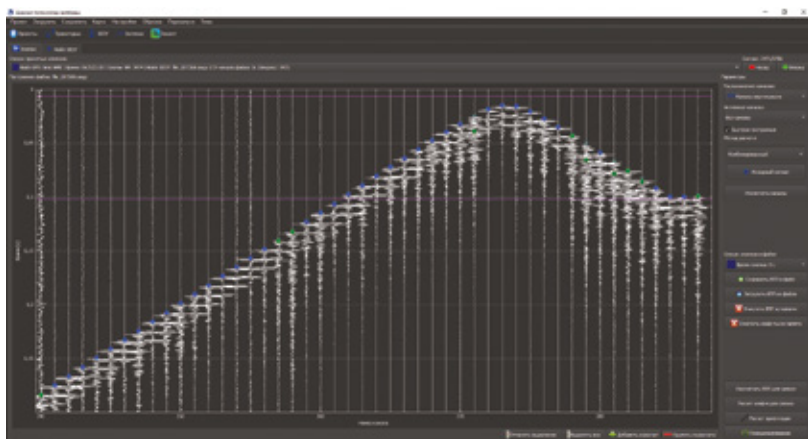


Рис. 2. Запись сигналов приемных элементов сейсмокосы при излучении серии зондирующих импульсов судна-пингера

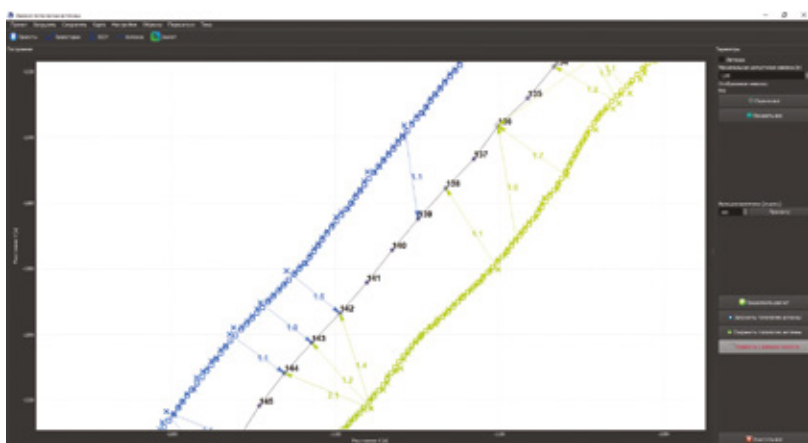


Рис. 3. Позиционирование сегмента донной сейсмокосы. Векторами показаны остаточные невязки измерений дистанций, превышающие пороговое значение



Рис. 4. Испытания ПАК АСДС в Баренцевом (Печорском) море, район Приразломной, НИС «Оникс»

взаимно-корреляционных функций позволяет определить угол разворота датчика с точностью около 1° .

Разработанное в институте специализированное программное обеспечение автоматизирует весь цикл обработки: от загрузки навигационных данных и сейсмических записей в формате SEG Y до визуализации финальной расстановки с указанием координат и ориентации каждого из 480 приемных модулей (рис. 3).

2.4. Опыт морских испытаний и опытной эксплуатации

ПАК АСДС прошел три этапа натурных испытаний в различных акваториях, последовательно подтвердивших работоспособность, надежность и эффективность комплекса.

Первые испытания ПАК АСДС проводились в ноябре — декабре 2018 г. в Баренцевом (Печорском) море, район Приразломной, НИС «Оникс» (рис. 4).

Повторные испытания состоялись в Белом море (Кандалакшский залив, район о. Высокий) в июне 2019 г. (Рис. 8). Было разложено 9 секций АСДС (1,8 км) змейкой с выходом конца косы на сушу. Установка секций проводилась с надувного катамарана. Выполнено позиционирование датчиков, произведен отстрел профилей пневмопушкой (заглубление — 3 м). Построены сейсмограммы общего пункта



Рис. 5. Испытания ПАК АСДС в Баренцевом (Печорском) море, район Приразломной, НИС «Оникс». Подготовка сейсмокоды



Рис. 6. Испытания ПАК АСДС в Баренцевом (Печорском) море, район Приразломной, НИС «Оникс». Подготовка радиобуя



Рис. 7. Испытания ПАК АСДС в Баренцевом (Печорском) море, район Приразломной, НИС «Оникс». Подготовка катера

приема (ОПП) для каждого датчика. Суммированные по ближайшим выстрелам сейсмограммы ОПП были наложены на данные высокочастотного непрерывного сейсмоакустического профилирования (ВЧ НСП), получено хорошее соответствие разрезов, подтвердившее корректность позиционирования и работоспособность методики в целом.

В сентябре 2019 г. работы были продолжены в Обской губе с борта НИС «Картеш». Испытания проводились в условиях реального объекта — района активной газодобычи. Подтверждена работоспособность комплекса при температурах, близких к нулевым, и в условиях ограниченной видимости. (Рис. 9, 10.)

Наиболее масштабные испытания состоялись в Карском море в августе 2020 г. на Белоостровском лицензионном участке в рамках проекта по созданию технологий оценки геологических рисков при бурении на шельфе. Было разложено 12 секций АСДС (2,4 км), установлен радиобуй, выполнено позиционирование каждого из 192 задействованных датчиков. В качестве источника использовался электроискровой спаркер с центральной частотой 250 Гц.



Рис. 8. Испытания ПАК АСДС в Белом море (Кандалакшский залив, район о. Высокий). Июнь 2019 г. Пунктирная зеленая линия — трек, состоящий из выстрелов пингера. Черные точки — рассчитанные положения датчиков. Оранжевая линия — линия косы



Рис. 9. Испытания ПАК АСДС в Обской губе, НИС «Картеш». Сентябрь 2019 г.



Рис. 11. Испытания ПАК АСДС. Август 2020 г. Карское море, Белоостровский ЛУ, НИС «Капитан Воронин»



Рис. 10. Испытания ПАК АСДС в Обской губе, НИС «Картеш». Сентябрь 2019 г. Сплошная синяя линия — полигон работ (900 x 900 м). Пунктирная зеленая линия — трек, состоящий из выстрелов пингера. Черные точки — результат позиционирования каждого датчика сейсмокося. Желтый треугольник — радиобуй. В ходе позиционирования пингер излучает 1 раз в 2 с импульс длительностью ~20 мс

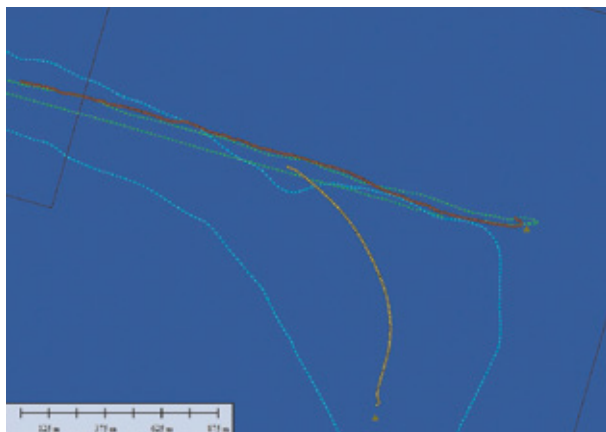


Рис. 12. Испытания ПАК АСДС. Август 2020 г. Карское море, Белоостровский ЛУ, НИС «Капитан Воронин». Пунктирные зеленая и голубая линии — треки, состоящие из выстрелов пингера при исходном и повторном позиционировании соответственно. Оранжевые и желтые точки — результат позиционирования датчиков АСДС до и после стаскивания буй судном соответственно. Желтый треугольник — радиобуй (в исходной точке и после зацепа судном) 3. Регистрирующий комплекс на основе цифровой твердотельной буксируемой сейсмокося (РК ЦТБС)



Рис. 13. РК ЦТБС. 1 — компьютер с программным обеспечением; 2 — сейсмостанция; 3 — палубный кабель 20 м; 4 — палубный модуль; 5 — заборный оптический трос-удлинитель 100 м; 6 — ЛОМ; 7 — секция твердотельной сейсмокосы 75 м; 8 — датчик; 9 — ЛЭМ

Получены сейсмограммы ОПП для гидрофонов и вертикальных геофонов. Выполнено прямое сравнение записей датчиков АСДС с данными донных сейсмостанций, установленных в районе работ. Качество записей признано сопоставимым, при этом ПАК АСДС обеспечивал передачу данных в реальном времени, тогда как донные станции работали в режиме автономной регистрации. (Рис. 11, 12.)

3. Регистрирующий комплекс на основе цифровой твердотельной буксируемой сейсмокосы (РК ЦТБС)

3.1. Назначение и область применения

Морская инженерная сейсморазведка является основным методом изучения верхней части разреза (ВЧР) при инженерных изысканиях под строительство платформ, прокладку трубопроводов, морских кабелей связи и электроснабжения, а также при поисково-разведочных работах на ранних стадиях геологического изучения. Специфика этих задач заключается в необходимости получения высокودетальных разрезов с вертикальным разрешением до нескольких метров при глубине исследования до 200–300 м.

Традиционно для этих целей использовались маслonaполненные буксируемые сейсмокосы, однако такое решение имеет ряд принципиальных недостатков. Прежде всего это экологические риски, связанные с возможным повреждением оболочки и попаданием наполнителя в воду в чувствительных акваториях. Кроме того, большой вес и размеры маслonaполненных кос требуют применения специализированных судов с грузоподъемным оборудо-

ванием. Существенным ограничением является также сложность оперативного изменения конфигурации (шага, длины, количества каналов) и высокая стоимость импортных комплектующих и сервисного обслуживания.

В АО «АКИН» разработан регистрирующий комплекс на основе цифровой твердотельной буксируемой сейсмокосы (РК ЦТБС) [4], лишенный перечисленных недостатков. Ключевая особенность комплекса — твердотельное кабельное исполнение, полностью исключающее использование жидких наполнителей. Это обеспечивает экологическую безопасность и снижает массу секции более чем в три раза по сравнению с маслonaполненными аналогами.

3.2. Состав и технические характеристики

В состав РК ЦТБС входят четыре секции твердотельной буксируемой сейсмокосы длиной по 75 м каждая, объединяющие 192 цифровых гидрофона с шагом установки 1,56 м. Для соединения с бортовой аппаратурой используется четыре оптических троса-удлиителя длиной по 100 м с линейными оптическими модулями (ЛОМ). Сбор данных и управление осуществляются сейсмостанцией, подключаемой к судовым системам через комплект палубных кабелей; обработка и визуализация выполняются с помощью специализированного бортового программного обеспечения (рис. 13).

Каждая секция изготовлена на основе твердотельного кабеля нейтральной плавучести диаметром 20 мм. Применение полиуретановой оболочки без масляного заполнения позволило снизить массу секции до 25 кг при длине 75 м, что делает возможным развертывание и буксировку косы с использованием неспециализированных судов без тяжелых кранов и лебедок. Секции могут соединяться последовательно, образуя косу длиной до 300 м, либо подключаться к сейсмостанции параллельно для 3D-съемки с несколькими приемными линиями.

Датчик РК ЦТБС представляет собой цифровой гидрофон на пьезокерамической основе диаметром 25 мм. Конструктивно датчик отвязан от центральной силовой жилы кабеля и залит акустически прозрачным полиуретаном. В состав датчика входят два пьезокерамических цилиндра встречной поляризации и 24-разрядный дельта-сигма АЦП с регулируемым коэффициентом усиления. Оцифрованный сигнал передается от датчика к датчику внутри секции, затем через ЛЭМ поступает в линейный оптический модуль (ЛОМ), где преобразуется в оптический сигнал и далее по оптическому тросу-удлинителю передается на борт судна.

Использование оптического канала преследует две цели. Во-первых, это гальваническая развязка и полная защита от электромагнитных помех, создаваемых электроискровыми источниками (спаркерами). Во-вторых, малый диаметр оптического троса по сравнению с электрическим кабелем позволяет снизить гидродинамическое сопротивление при буксировке. Пример фрагмента сейсмограммы общего пункта выстрела, полученного в ходе испытаний, приведен на рисунке 14.

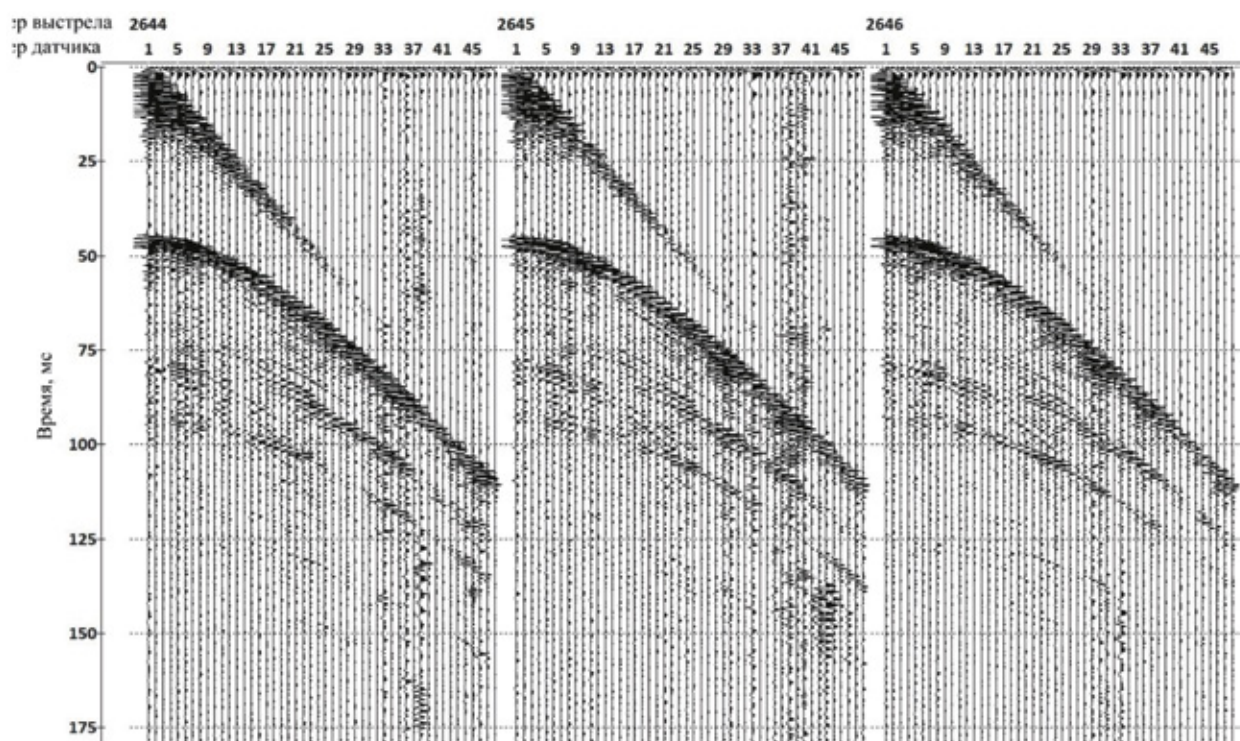


Рис. 14. Фрагмент сейсмограммы общего пункта выстрела, полученный в ходе испытаний на Карском море, для одной секции и трех выстрелов

3.3. Позиционирование датчиков

Для получения корректных сейсмических изображений при буксировке необходимо знать положение каждого из 192 гидрофонов в момент регистрации. В РК ЦТБС реализован метод ультразвуковой дальнометрии, обеспечивающий точность позиционирования в горизонтальной плоскости порядка 0,3 м.

За судном буксируется несколько модулей ультразвукового позиционирования, каждый из которых состоит из высокочастотного акустического излучателя (диапазон 28–32 кГц) и приемника ГНСС для точного определения собственных координат. Модули синхронизированы по времени ГНСС и периодически излучают импульсные сигналы по заданному циклу, работая поочередно во избежание коллизий. Ультразвуковые сигналы регистрируются всеми гидрофонами сейсмокоды, для чего в каждом датчике предусмотрен высокочастотный тракт, перекрывающий диапазон 28–32 кГц.

По измеренным временным задержкам прихода сигналов решается обратная задача, в результате которой восстанавливаются координаты каждого датчика относительно излучателей с известными координатами. Позиционирование по глубине осуществляется независимо с помощью датчиков давления, встроенных в линейные электрические и оптические модули (ЛЭМ, ЛОМ), установленные с шагом 75–100 м вдоль косы. (Рис. 15.)

Таблица 2

Технические характеристики РК ЦТБС

Длина секции, м	75
Максимальное число секций при последовательном соединении	4
Число датчиков в секции	48
Шаг между датчиками, м	1,56
Тип датчика	гидрофон
Разрядность АЦП, бит	24
Чувствительность датчика, отсчетов на Па	650; 1950; 7500; 28 500
Частота дискретизации, кГц	4; 8; 16
Полоса регистрируемых частот, Гц	3–8000
Формат записи данных	SEG D

3.4. Опыт морских испытаний и опытной эксплуатации

РК ЦТБС прошел испытания в двух различных акваториях, подтвердившие его работоспособность как в 2D-, так и в 3D-конфигурациях.

Первые испытания проводились в ноябре 2019 г. на борту НИС «Ашамба» на Черном море. Скорость буксировки составляла 3–5 узлов. Проводилась приповерхностная буксировка трех секций параллельно. Разведение осуществлялось при помощи параванов. Энергия спаркера – 500–2400 Дж. (Рис. 16.)

В августе 2020 г. в Карском море на борту НИС «Капитан Воронин» проводились испытания в рамках инженерно-геофизических исследований верхней части разреза. Использовалась одна секция сейсмокося длиной 75 м с 48 каналами в режиме приповерхностной буксировки. Глубина буксировки поддерживалась равной четверти длины волны для обеспечения конструктивной интерференции прямой и отраженной от поверхности волн. В качестве источника применялся электроискровой спаркер с центральной частотой 700 Гц.

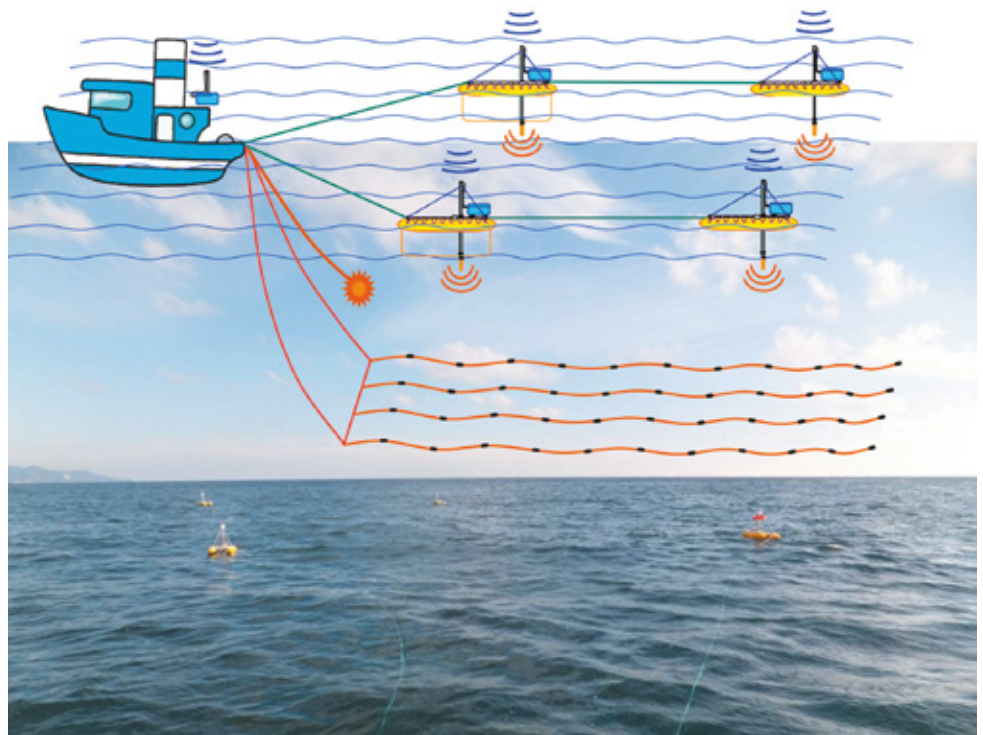


Рис. 15. Схема позиционирования датчиков РК ЦТБС. Гидроакустический маяк GPS/GLONASS-приемник для определения положения маяка. Излучатель коротких ультразвуковых сигналов с частотой несущей 32 кГц. Радиоканал для передачи данных



Рис. 16. Испытания РК ЦТБС. Ноябрь 2019 г. Черное море, Голубая бухта, НИС «Ашамба»



Рис. 17. Испытания РК ЦТБС. Август 2020 г. Карское море, НИС «Капитан Воронин»

В результате получены сейсмические разрезы глубиной не менее 150 м с вертикальным разрешением 2–3 м. Качество материалов оказалось достаточным для решения инженерно-геологических задач: картирования кровли коренных пород, выделения зон аномально высокого порового давления и оценки физико-механических свойств грунтов. Важно отметить, что оптический тракт передачи данных обеспечил полную помехозащищенность — на записях отсутствовали импульсные помехи от работы спаркера. (Рис. 17.)

В июле 2020 г. на Белом море с борта НИС «Профессор Зенкевич» проведены испытания в 3D-конфигурации. (Рис. 18.) Три секции твердотельной сейсмокосы буксировались параллельно с использованием параванов; межканальное расстояние в линии составляло 1,56 м, расстояние между линиями — около 50 м. Целью работ являлась оценка возможности проведения малоглубинной 3D-съемки для детального картирования сложнопостроенных геологических объектов. Полученный массив данных оказался пригодным для построения сейсмического куба. На построенных суммированных временных разрезах уверенно прослеживаются отражающие горизонты (рис. 19). Испытания подтвердили возможность синхронной работы нескольких приемных линий в параллельном режиме.



Рис. 18. Испытания РК ЦТБС. Июль 2020 г. Белое море, НИС «Профессор Зенкевич»

4. Программно-аппаратный комплекс акустического позиционирования буксируемых сейсмокос (ПАК АПБС)

4.1. Назначение и область применения

Современная морская сейсморазведка 3D и 4D предъявляет высокие требования к точности позиционирования буксируемых сейсмических кос. При длине кос до 12 км и одновременной буксировке до 12 линий с расстоянием между ними порядка 100 м необходимо в реальном времени определять координаты тысяч сеймоприемников

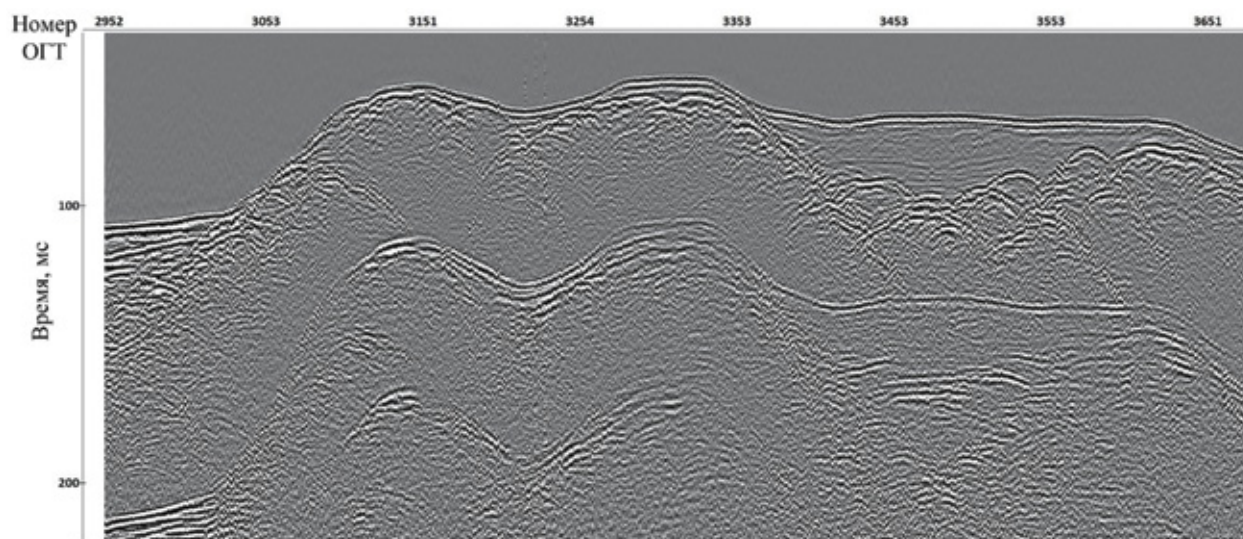


Рис. 19. Фрагмент суммированного временного разреза, полученный в ходе работ на одном из профилей на участке Белого моря

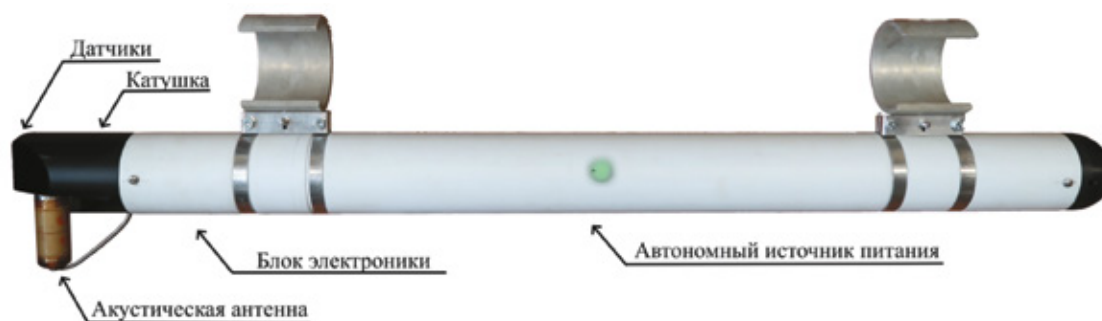


Рис. 20а. Внешний вид акустического транспондера



Рис. 20б. Внешний вид акустических излучателей для позиционирования пневмоисточников и концевых буйев

с погрешностью, не превышающей нескольких дециметров. Только при выполнении этого условия возможны корректная процедура суммирования трасс по общей глубинной точке и построение достоверных сейсмических изображений.



В АО «АКИН» разработан и испытан программно-аппаратный комплекс акустического позиционирования буксируемых сейсмоков (ПАК АПБС), представляющий собой полностью отечественную альтернативу зарубежным системам позиционирования (таким как *Sercel Nautilus*, *ION DigiCourse* или *Sonardyne SIPS*).

4.2. Состав и технические характеристики ПАК АПБС

В ПАК АПБС входят комплект навесных акустических транспондеров и модулей управления глубиной (рис. 20а и 20б), бортовая многоканальная станция сбора данных, радиомаяки с приемниками ГНСС, оснащенные акустическими модулями. Транспондеры и модули управления крепятся к индуктивным катушкам сейсмоков с помощью колец с шагом около 300 м. Бортовая станция обеспечивает питание, конфигурирование и сбор данных

с транспондеров по индуктивной связи через сейсмоков. Радиомаяки устанавливаются на начальных и концевых буйах и служат опорными точками с известными координатами от ГНСС.

Акустический транспондер (рис. 20а) — это автономное навесное устройство, работающее в диапазоне частот 40–60 кГц. Он имеет 18 приемных каналов, что позволяет одновременно детектировать сигналы от других транспондеров. Излучаемый сигнал представляет собой частотно-манипулированную кодовую последовательность длительностью 0,2 мс. Оцифровка принимаемого сигнала выполняется с частотой 40 кГц, точность измерения временных задержек в бассейне составляет 0,1 мс (эквивалент ~15 см). Время полного цикла измерений всей сети не превышает 2 с. Транспондер оснащен датчиками давления (глубины), температуры и акселерометром, автономность работы достигает двух месяцев. Связь с бортовой станцией осуществляется по индуктивной катушке сейсмоков, питание включается бесконтактно герконом.

Бортовая станция сбора данных (рис. 21) обеспечивает формирование синхроимпульсов для согласованной работы всех транспондеров и радиомаяков, конфигурирование кодовых последовательностей и порогов детектирования, прием и накопление массивов измеренных задержек и телеметрии, а также передачу данных в базу данных «ИНСИНАВ».

4.3. Принцип позиционирования

В ПАК АПБС реализован метод сетевой акустической дальнометрии, однако для получения достоверного решения о пространственном положении сейсмокос используется комплексирование всех доступных измерений в единой оптимизационной задаче. Расстановка акустических транспондеров на косах и измеряемые акустические дистанции между устройствами приведены на рисунке 22.

Основу системы составляют акустические транспондеры и приемники ГНСС, снабженные радиоканалом, работающие в едином синхронизированном временном поле (синхронизация по ГНСС либо внешняя синхронизация от модуля навигации «ИНСИНAB»). В каждом цикле измерений (около 10 с) каждый транспондер излучает индивидуальный кодовый сигнал и одновременно принимает сигналы от других транспондеров на 18 приемных каналах. По измеренным временам пробега определяются взаимные расстояния между всеми парами транспондеров, для которых обеспечена прямая акустическая видимость.

Помимо акустических измерений, в системе также используются данные курсовых датчиков (магнитных компасов и акселерометров), установленных на модулях управления глубиной вдоль сейсмокос, данные RGPS (relative GPS) на

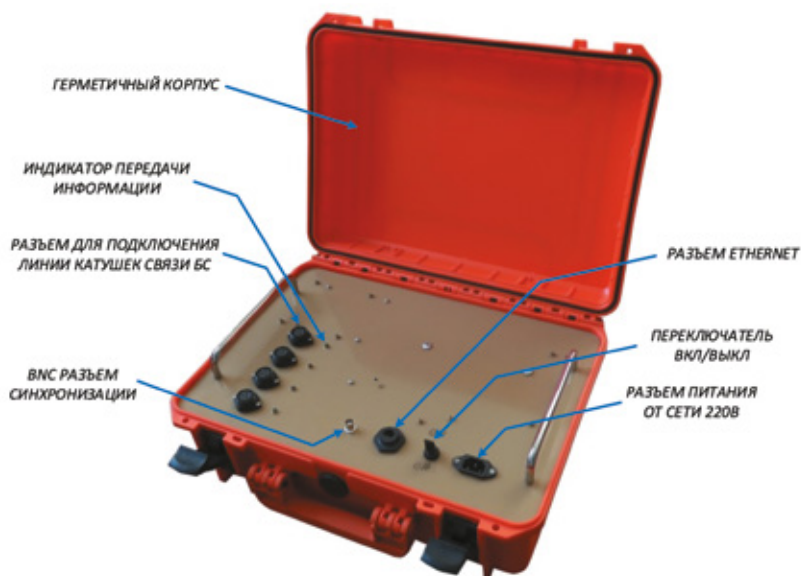


Рис. 21. Бортная система сбора данных навесного оборудования

опорных точках — концевых буйах, пневмоисточниках и параванах, а также данные датчиков давления (глубины), встроенных в модули управления глубиной.

Все эти разнородные измерения объединяются в единую оптимизационную задачу. Решается обратная задача восстановления параметров модели, описывающей пространственное положение каждого сегмента сейсмокос.

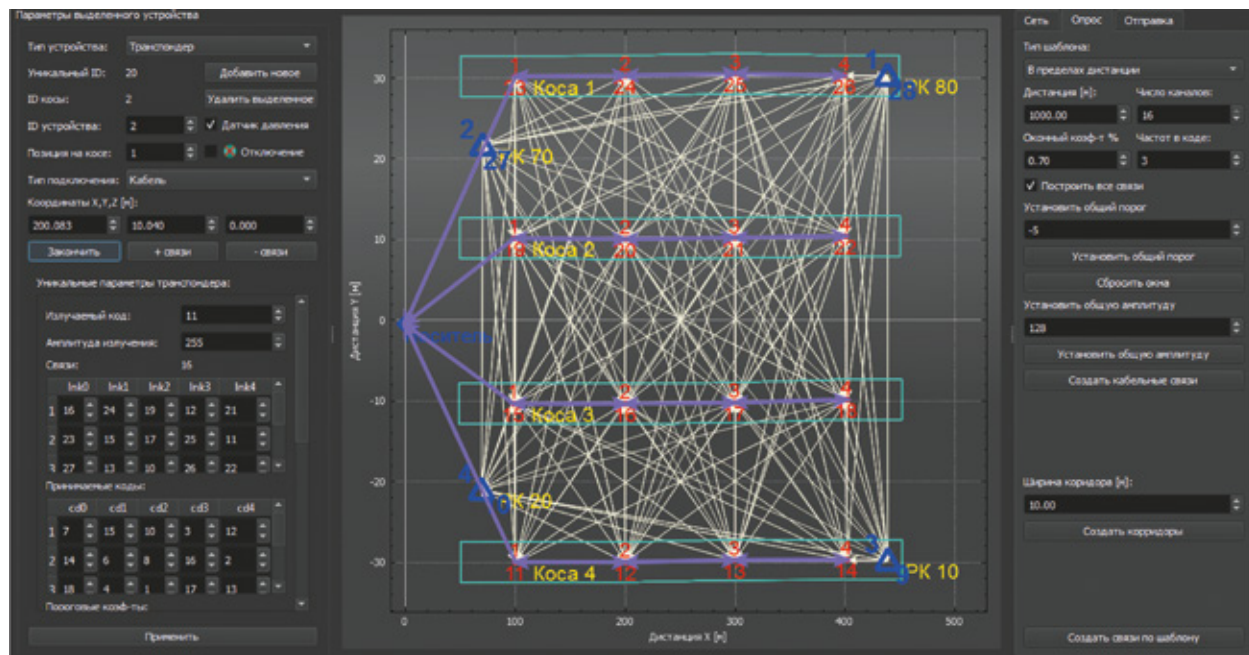


Рис. 22. Расположение акустических транспондеров на сейсмокосах и измеряемые акустические дистанции в сервисном программном модуле ПАК АПБС

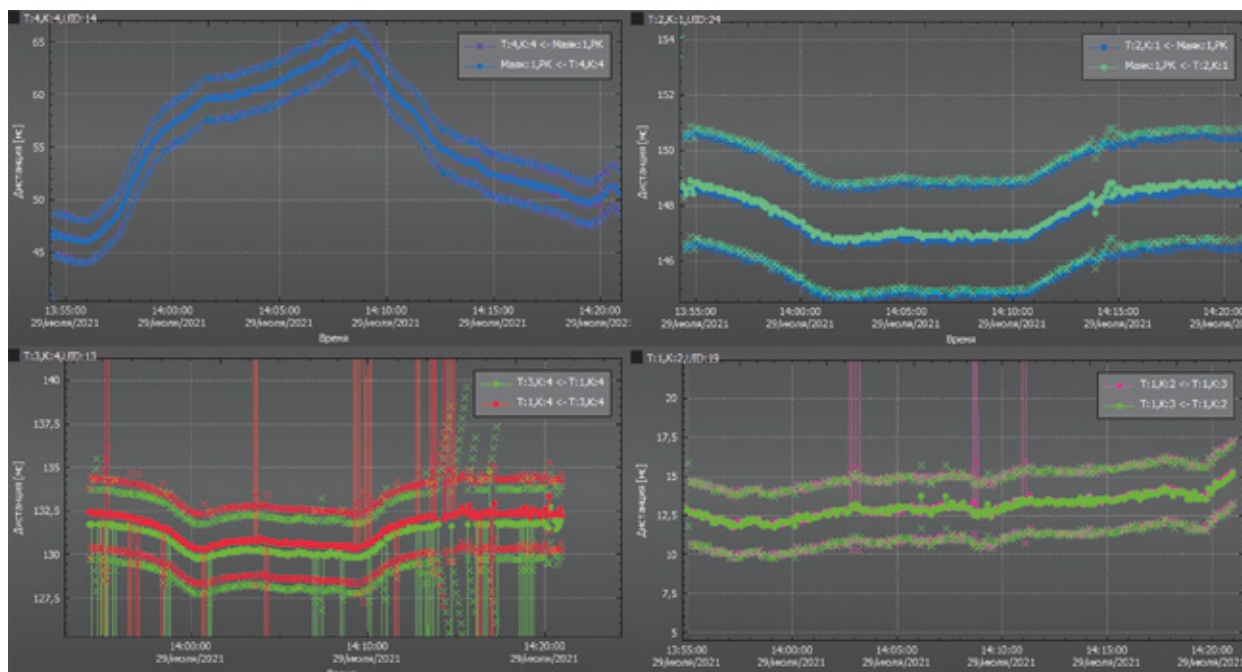


Рис. 23. Валидация, фильтрация и сглаживание данных

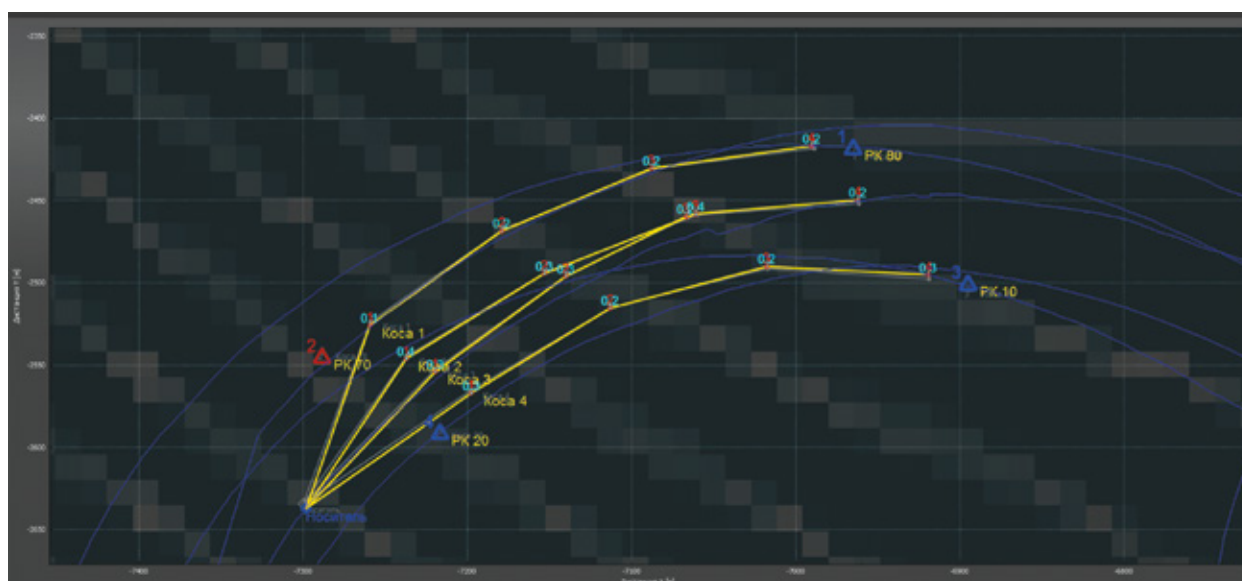


Рис. 24. Позиционирование буксируемой сети транспондеров. 2021 г. Геленджикская бухта, НИС «Борей»

Применение методов оптимальной фильтрации (в том числе фильтра Калмана) позволяет сглаживать траектории, отбраковывать anomальные измерения и получать согласованное решение, учитывающее всю совокупность наблюдений. Важным элементом является валидация измерений: сравнение встречных акустических замеров, контроль согласованности показаний курсовых датчиков с геометрией сети, следящая фильтрация с отбраковкой выбросов и автоматическое расширение или сужение окон сопровождения. (Рис. 23.)

4.4. Опыт морских испытаний ПАК АПБС

Морские испытания ПАК АПБС проводились в четыре этапа (рис. 24–27):

- в июле 2021 г. на Черном море (Геленджикская бухта), НИС «Борей»;
- в декабре 2021 г. на Балтийском море (Калининград), НИС «Академик Немчинов»;
- в октябре 2022 г. на Баренцевом море (Мурманск), НИС «Академик Лазарев»;



Рис. 25. Концевой буй сейсмокосы, оснащенный модулем дальномерной навигации и акустическим транспондером концевой буга. 2021 г. Балтийское море, НИС «Академик Немчинов»



Рис. 26. Подготовка навесных устройств (транспондеров и навесных велосиметров — измерителей скорости звука в воде) к вывеске на НИС «Академик Немчинов». 2023 г. Баренцево море



Рис. 27. Выпуск двух сейсмокос, оснащенных навесным оборудованием для позиционирования на НИС «Академик Немчинов». 2023 г. Баренцево море

- в сентябре 2023 г. на Баренцевом море (Мурманск), НИС «Академик Немчинов».

В морских испытаниях было задействовано до 40 акустических транспондеров ПАК АПБС, до 15 модулей управления глубиной со встроенными курсовыми датчиками, четыре радиомаяка с акустическими модулями и приемниками ГНСС, бортовая станция сбора данных. Конфигурации включали в себя до четырех буксируемых кос, на каждой устанавливалось от 4 до 12 транспондеров с шагом от 300 до 600 м, длина кос достигала 12 км.

Целью испытаний являлась проверка работоспособности, синхронизации, акустических измерений, алгоритмов комплексирования разнородных данных и управления заглублением сейсмокос в условиях реального морского волнения и маневрирования судна. Подтверждены возможности получения навигационных данных от всех сенсоров (акустических транспондеров, курсовых датчиков, RGPS), их совместной обработки в единой оптимизационной задаче, корректной подачи синхронизации на сеймостанцию и контроллер пневмоисточников. Анализ полученных данных показал, что средняя остаточная невязка позиционирования на узел сети составляет 1,5–2 м, что соответствует ожидаемым значениям для реальных условий работы и обеспечивает требуемую точность при последующей обработке сейсмических материалов.

5. Интегрированная навигационная система «ИНСИНАВ»: архитектура и функциональные возможности

5.1. Назначение и модульная архитектура

Интегрированная навигационная система «ИНСИНАВ» представляет собой программную платформу, обеспечивающую полный цикл навигационного обеспечения морских сейсморазведочных работ с использованием буксируемых сейсмокос. Система разработана с учетом функциональных требований фактического промышленного стандарта ORCA (Sercel) [6] и адаптирована для работы с отечественным аппаратным обеспечением (ПАК АПБС).

Архитектура «ИНСИНАВ» является модульной и масштабируемой, что позволяет развертывать систему на одном или нескольких компьютерах под управлением ОС Linux семейства Debian. В структуре системы выделено пять основных функциональных модулей (рис. 28):

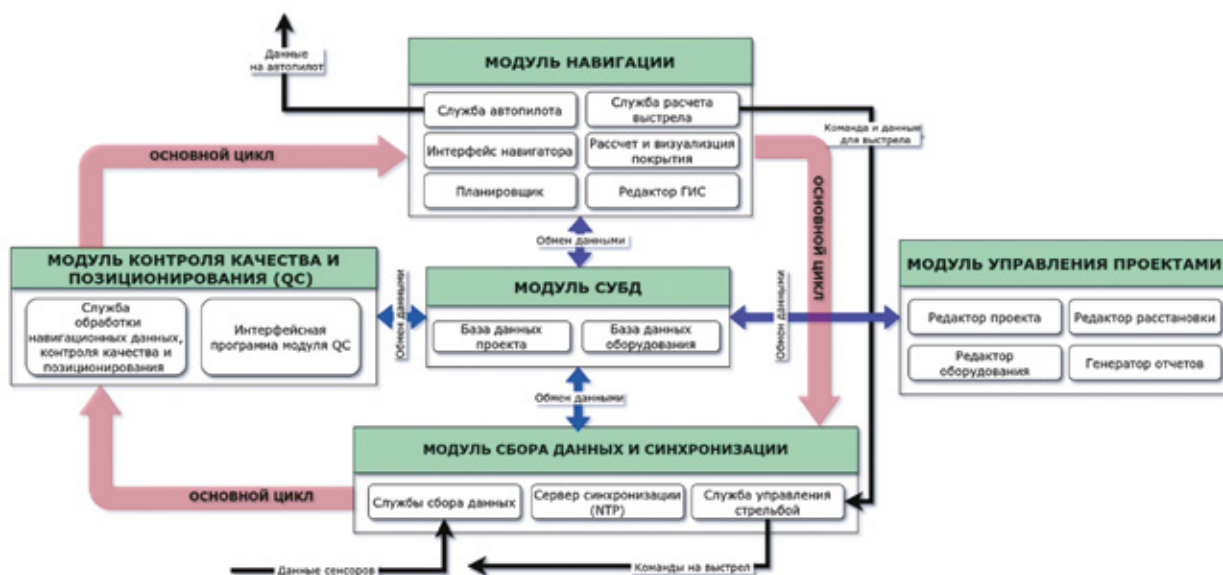


Рис. 28. Модульная структура «ИНСИНАВ»

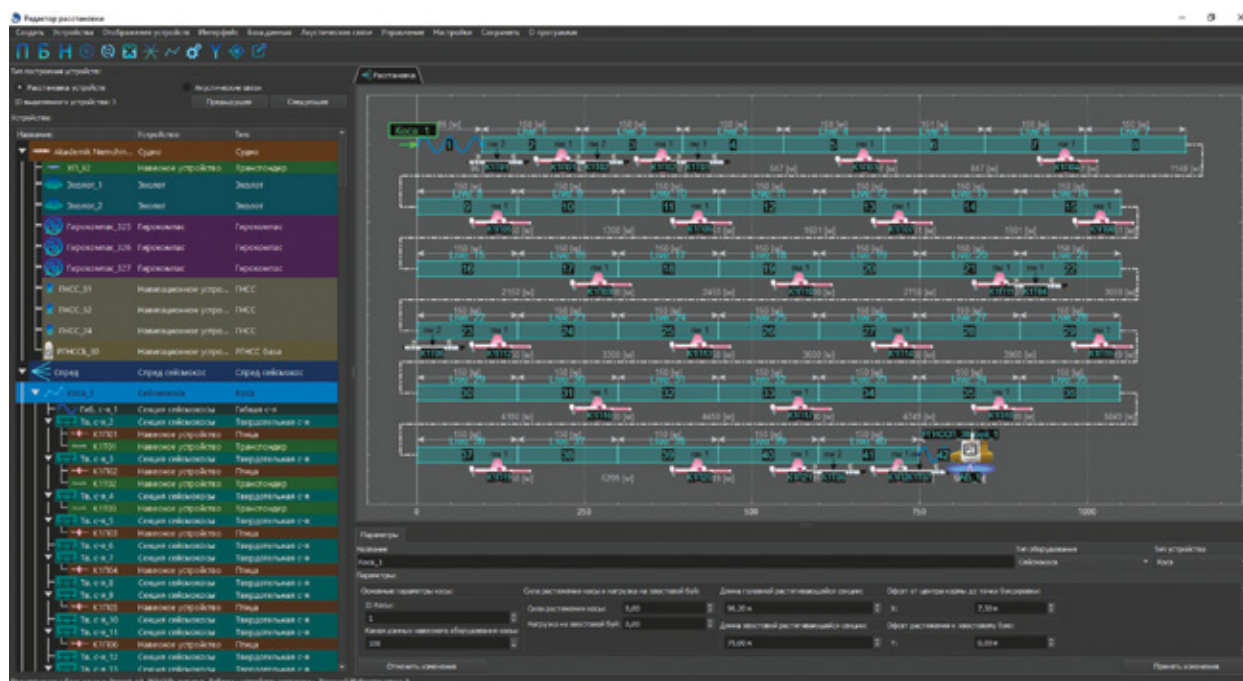


Рис. 29. Установка навесного оборудования на секции в редакторе расстановки «ИНСИНАВ»

1. Модуль управления проектом — конфигурирование параметров съемки, расстановки оборудования и геодезических систем.
2. Модуль навигации — визуализация положения комплекса, планирование траекторий и управление съемочным процессом.
3. Модуль сбора данных и синхронизации — прием данных от сенсоров, временная привязка и выдача триггерных сигналов.

4. Модуль контроля качества и позиционирования (QC) — обработка навигационных данных, расчет координат и мониторинг качества.
5. Модуль СУБД — хранение конфигурационных данных, измерений и результатов обработки.

Модуль СУБД построен на основе PostgreSQL с расширением PostGIS, что обеспечивает эффективное хранение и пространственный анализ геофизических данных. Взаи-

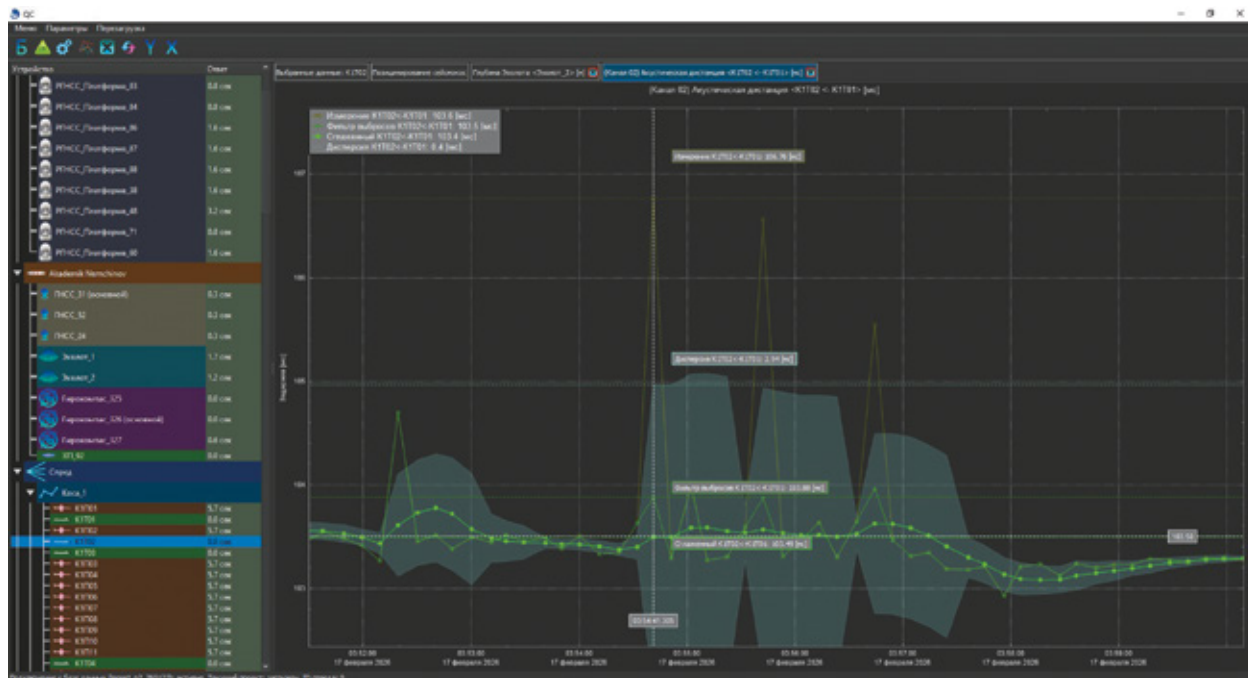


Рис. 30. Визуализация компонент измерений устройств с возможностью детальной оценки мгновенных значений и результатов промежуточной обработки данных. Измерение (тонкая желтая линия), после фильтра выбросов (тонкая зеленая линия), сглаженная компонента (жирная зеленая линия), текущая дисперсия (серо-зеленый фон)

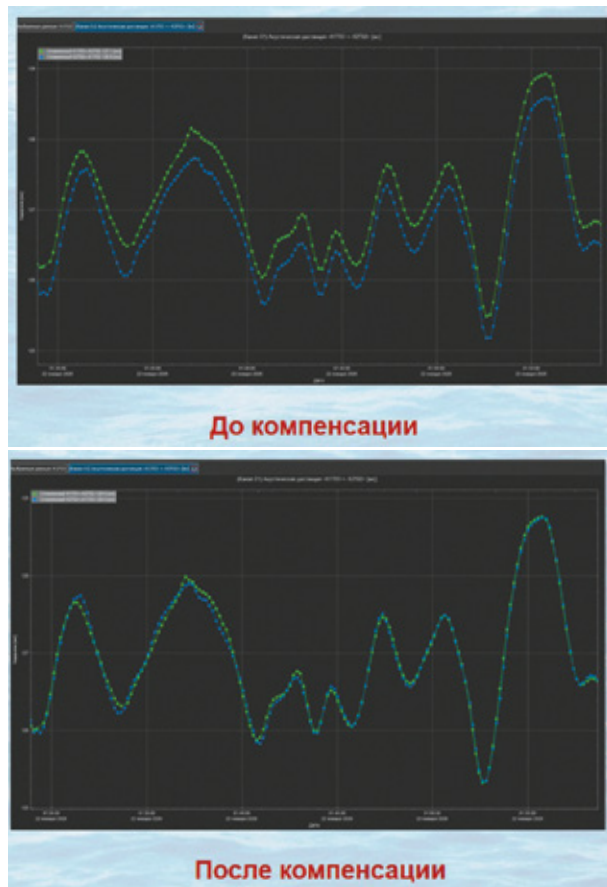


Рис. 31. Пример коррекции измерений транспондерами двух взаимных акустических дистанций при компенсации на скорость движения судна. До компенсации (сверху) и после компенсации (внизу)

модействие модулей осуществляется через единую базу данных проекта и сетевые интерфейсы с синхронизацией времени по протоколу NTP.

5.2. Управление проектом, планирование и сбор данных

Модуль управления проектом предоставляет инструменты для задания всех параметров сейсморазведочного проекта: номинальные параметры расстановки пунктов возбуждения (интервал, подходные и выходные выстрелы, перекрытия), геодезическую референц-систему координат (датум проекта, датум ГНСС, параметры трансформации) и картографические проекции (UTM, Меркатора, Ламберта и др.). Конфигурирование оборудования осуществляется через редакторы расстановки, позволяющие задавать параметры бортовых (ДГНСС, гироскопы, эхолоты), заборных (сейсмокоды, пневмоисточники) и навесных (акустические транспондеры, модули управления глубиной) устройств с учетом калибровочных коэффициентов (рис. 29).

Планировщик «ИНСИНАВ» обеспечивает импорт преплотов в формате UKOOA P1/90, создание и редактирование сетки профилей, автоматическую прокладку траектории с обходом навигационных препятствий. Система рассчитывает карту покрытия (бинирование) на заданной сетке бинов как для планируемых, так и для фактических данных с учетом сноса кос на циркуляциях. Реализована оценка времени прибытия (ETA) в контрольные точки профиля.

Модуль сбора данных обеспечивает прием информации от навигационных сенсоров по последовательным

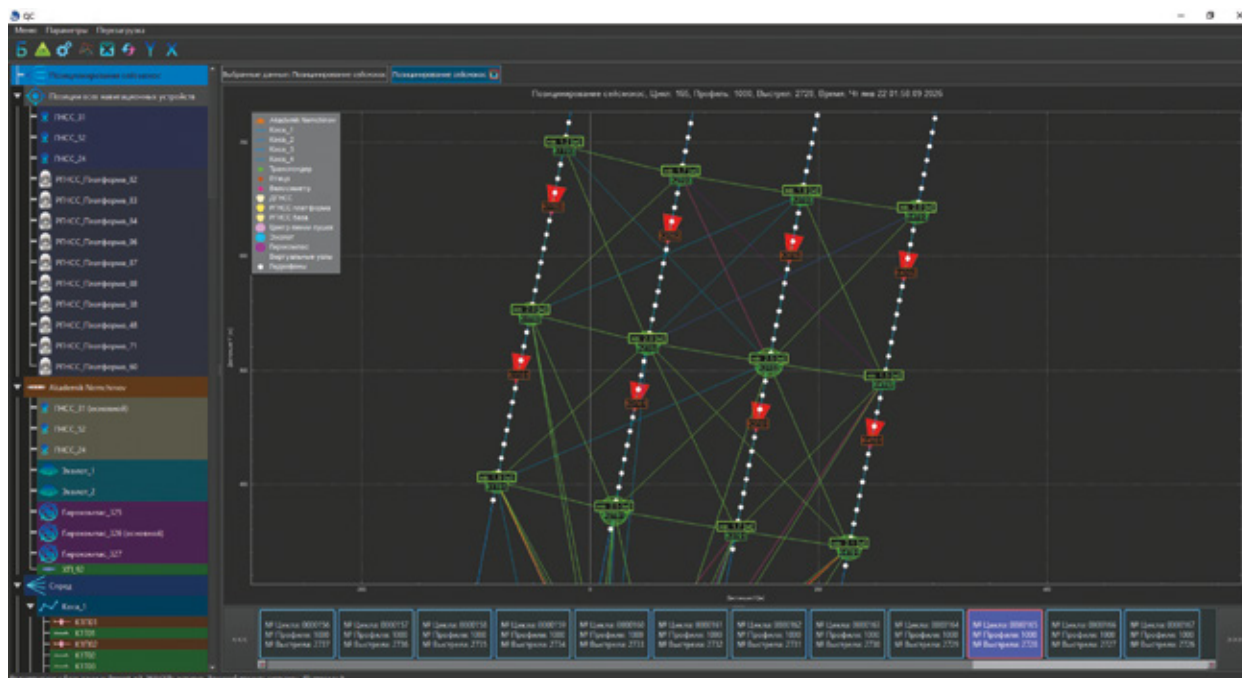


Рис. 32. Визуализация позиционирования в графическом интерфейсе контроля качества «ИНСИНАВ»

портам и сетевым интерфейсам, поддерживая основные отраслевые протоколы (NMEA, Robtrack, GCS90/LABO и специализированные интерфейсы для RGPS и акустических систем). Служба синхронизации реализует сервер времени NTP, синхронизированный по сигналу ГНСС, что обеспечивает единую временную метку для всех модулей системы и навесного оборудования. Служба триггерных сигналов формирует импульсы запуска для пневмоисточников и сейсмостанций с программируемыми задержками, рассчитанными для попадания в заданные пункты возбуждения.

5.3. Алгоритмы позиционирования и контроля качества

В модуле QC реализованы алгоритмы фильтрации, сглаживания и позиционирования в реальном времени (онлайн) (рис. 30) и по завершении профиля (постобработка). Данные измерений акустических дистанций проходят многоступенчатую валидацию по взаимности, гладкости и окну возможного изменения за интервал времени. Акустические дистанции также корректируются на набег времени прохода акустического сигнала за счет движения судна. (Рис. 31). Сейсмокоды моделируются дугowymi сплайнами фиксированной длины — гладко сшитыми дугами окружностей с учетом растяжения, зависящего от скорости буксировки. Позиционирование выполняется путем решения многопараметрической оптимизационной задачи с использованием измеренных акустических дистанций, курсовых углов модулей управления глубиной и координат опорных точек (RGPS).

Система контроля качества включает автоматизирован-

ный мониторинг более 30 параметров исключений (эллипсы ошибок позиционирования, дрейф и шум компасов, вариация растяжения кос, согласованность данных DGPS/RGPS, целостность акустических связей, невязки велосиметров). При превышении пороговых значений оператор получает предупреждения в реальном времени. Результаты позиционирования визуализируются на дисплеях навигатора (рис. 32). Также отображаются полученные эллипсы ошибок и невязок (рис. 33) с возможностью дальнейшего анализа.

Для фильтрации выбросов используются медианные фильтры и фильтры липшицева типа, накладывающие ограничения на изменение функции и ее производной за единицу времени. Для сглаживания применяются рекуррентные фильтры Калмана в сочетании с условиями Липшица на коэффициенты сглаживающего полинома. Параметры фильтров могут задаваться для групп потоков данных и для каждого потока индивидуально.

5.4. Экспорт данных и интеграция

Конечным результатом работы «ИНСИНАВ» по каждому выполненному профилю является формирование выходных файлов в отраслевом стандарте UKOOA P1/90 (данные о позиционировании приемников и источников) и P2/94 (данные об измерениях). Эти файлы передаются в систему обработки сейсмических данных для последующей процедуры суммирования трасс методом общей глубинной точки (МОГТ).

Реализован полный вывод данных в форматах P1/90 для 3D-съемки и P2/94 в соответствии с отраслевыми требованиями. Система поддерживает обмен данными с внешними

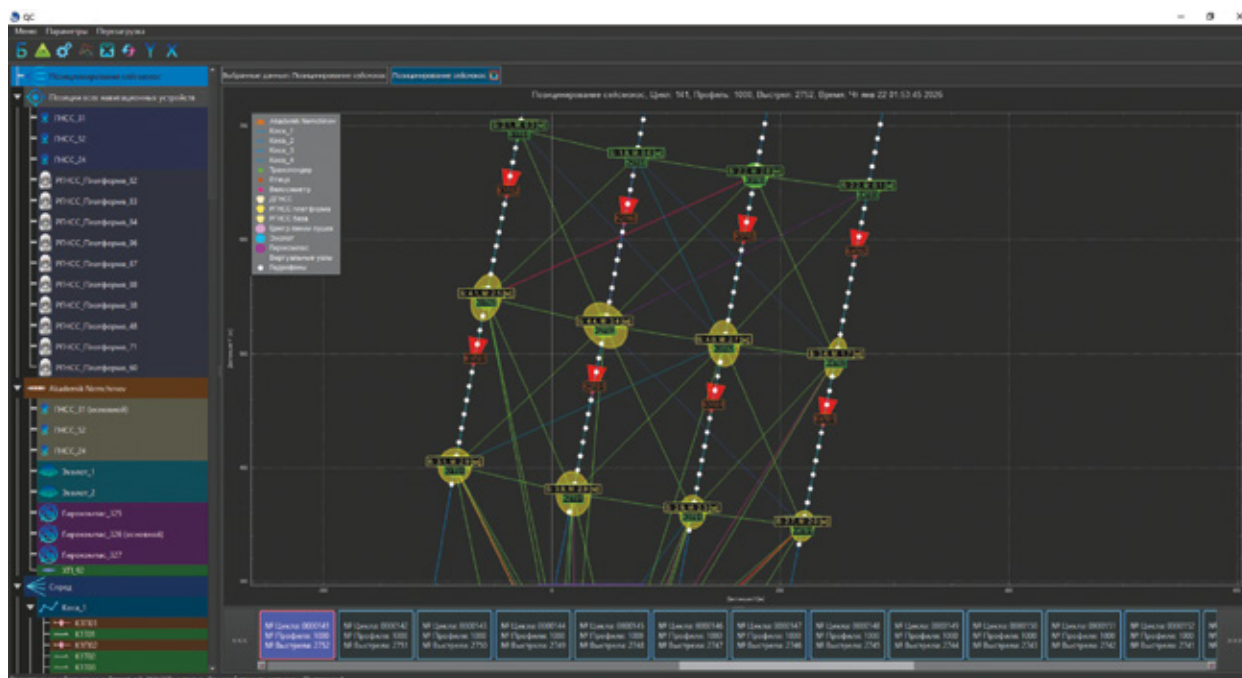


Рис. 33. Визуализация эллипсов ошибок в графическом интерфейсе контроля качества «ИНСИНАВ»

подсистемами по протоколам Robtrack (управление автопилотом), GCS90/LABO (синхронизация с пневмоисточниками и сейсмостанцией), что обеспечивает совместимость с существующими технологическими цепочками обработки сейсмических данных.

5.5. Испытания и опытная эксплуатация

Испытания и опытная эксплуатация «ИНСИНАВ» проводились на НИС «Академик Лазарев» и «Академик Немчинов» АО «СМНГ» в период 2024–2026 гг. В ходе работ система подтвердила работоспособность всех ключевых модулей в условиях реального морского волнения и маневрирования судна в реальном времени.

Система обеспечивает требуемый функционал и точность позиционирования при корректных навигационных данных. Результирующее позиционирование сравнивалось с предоставленными файлами P1 и P2, подтверждена работоспособность системы в условиях реальной эксплуатации.

Выводы

В АО «АКИН» в период 2016–2024 гг. разработаны, изготовлены и прошли полный цикл натурных испытаний три базовых программно-аппаратных комплекса для морской сейсморазведки, а также интегрированная навигационная система «ИНСИНАВ», обеспечивающая программное сопровождение съемочного процесса.

ПАК АСДС предназначен для работ в транзитной зоне и на мелководье. Он обеспечивает позиционирование 480 датчиков с точностью 0,5 м и определение их ориента-

ции с точностью 1°. Испытания на Белом и Карском морях, а также в Обской губе подтвердили его работоспособность. Ключевыми преимуществами являются передача данных в реальном времени и возможность развертывания с маломерных судов. По сравнению с зарубежными аналогами (Sercel 428XL OBC) ПАК АСДС обеспечивает сопоставимое качество регистрации при существенно меньшей массе секций и возможности работы без специализированных судов.

РК ЦТБС ориентирован на инженерную сейсморазведку. Благодаря твердотельному исполнению достигнута экологическая безопасность, малая масса секций (25 кг), шаг датчиков 1,56 м и полоса частот до 8 кГц. Точность позиционирования составляет 0,3 м. Успешные испытания в Карском и Белом морях в 2D- и 3D-конфигурациях показали, что оптический тракт передачи данных обеспечивает полную помехозащищенность при работе с электроискровыми источниками. В отличие от традиционных маслянополненных кос (Sercel Sentinel, ION GPRz), РК ЦТБС не имеет экологических рисков и может эксплуатироваться на неспециализированных судах.

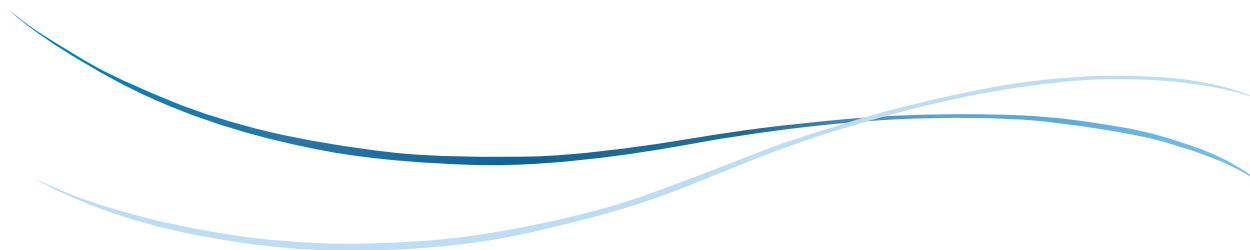
ПАК АПБС предназначен для высокоточного позиционирования многокосовых комплексов. Система включает сеть синхронных транспондеров с 18 приемными каналами (диапазон — 40–60 кГц), модули управления глубиной со встроенными курсовыми датчиками, бортовую станцию. Испытания на Черном, Балтийском и Баренцевом морях с участием до 40 транспондеров на косах длиной до 12 км подтвердили работоспособность системы; средняя оста-

точная невязка позиционирования на узел сети составила 1,5–2 м, что соответствует проектным значениям.

«ИНСИНВ» представляет собой модульную систему, реализующую функции управления проектом, планирования, сбора данных и контроля качества. Система включает в себя оригинальные алгоритмы позиционирования на основе дуговых сплайнов и оптимальной фильтрации. Верификация на данных АО «СМНГ» показала лучшую сходимость решения с исходными измерениями по сравнению с системой ORCA (невязки в ~2 раза меньше). Система прошла цикл испыта-

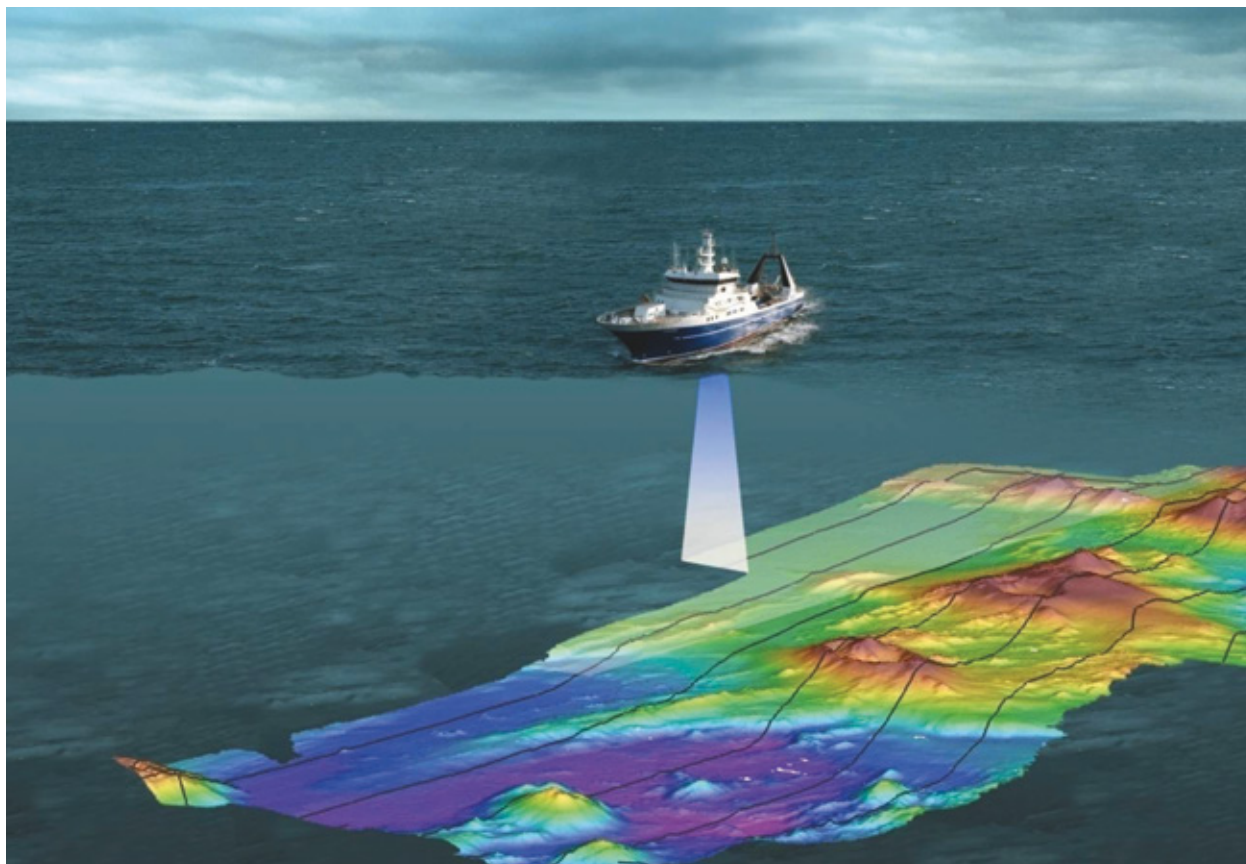
ний на НИС «Академик Лазарев» и «Академик Немчинов», подтвердив готовность к промышленной эксплуатации.

Полученные в ходе натурных испытаний материалы подтвердили кондиционное качество сейсмических данных и соответствие техническим требованиям, предъявляемым к аналогичному зарубежному оборудованию. Разработанные комплексы обеспечивают технологический суверенитет России в области морской сейсморазведки и позволяют продолжать геологоразведочные работы на шельфе в условиях санкционных ограничений. ■



ЛИТЕРАТУРА

1. Гладилин А. В. Разработка акустического оборудования в интересах топливно-энергетического комплекса // Морское оборудование и технологии. 2022. С. 94–105.
2. Ампилов Ю. П. Оборудование для морской сейсморазведки. Окно возможностей для импортозамещения // Offshore Russia. 2017, № 3. С. 38–45.
3. Ампилов Ю. П., Владов М. Л., Токарев М. Ю. Технологии морской сейсморазведки в широком частотном диапазоне: проблемы и возможности // Сейсмические приборы. 2018, т. 54, № 4. С. 42–65.
4. Максимов Г. А., Денисов Д. Н., Ларичев В. А., Лесонен Д. Н., Григорьев А. Г., Корольков З. А. Цифровая твердотельная буксируемая сейсмокоса малого диаметра для морской инженерной сейсморазведки // Ученые записки физического факультета Московского университета. 2017, № 5. 1750126.
5. Смирнов В. А., Скворцова Н. Н., Максимов Г. А., Ларичев В. А., Смагин Д. А., Лекомцев В. М. Алгоритмы обработки радиофизических сигналов для систем дистанционного мониторинга в гидросфере // Прикладная физика. 2019. № 5. С. 85–92.
6. Максимов Г. А., Корольков З. А., Коновалов В. Н., Ларичев В. А., Лесонен Д. Н., Смирнов В. А. Интегрированная навигационная система для морской 3D-сейсморазведки // Акустический журнал. 2024, т. 70, № 5.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕЗЭКИПАЖНЫХ КАТЕРОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕРНО- ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТ ДЛЯ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

Проведение промерно-изыскательских работ на внутренних водных путях связано с рядом проблем, включая высокие эксплуатационные затраты, зависимость от человеческого фактора и риски для персонала при работе в сложных гидрометеорологических условиях. Ограниченная эффективность традиционных методов требует внедрения более современных и безопасных решений. Одним из перспективных направлений является использование безэкипажных катеров, обеспечивающих автоматизацию процессов, повышение точности измерений и снижение затрат при выполнении гидрографических работ.



АО «Концерн «Моринсис-Агат»
Москва

Д.И. Кузнецов

Промерно-изыскательские работы являются важнейшей частью обеспечения безопасного и эффективного функционирования речного транспорта. Рельеф дна рек подвержен постоянным изменениям: русловые деформации, заносы, размывы, образование перекатов и отмелей, появление новых препятствий в результате паводков или хозяйственной деятельности человека. Поэтому гидрографические службы, речные администрации и проектные организации регулярно осуществляют промеры глубин, составляют и обновляют навигационные карты, анализируют состояние русел рек и акваторий портов [1].

Традиционные промеры выполняются экипажными маломерными судами, однако их использование связано со следующими проблемами:

- высокая стоимость эксплуатации;
- необходимость наличия экипажа и обеспечение его безопасности;
- ограниченная маневренность в мелководье и труднодоступных местах;
- низкая эффективность в условиях сложной гидрологии, ночью или при неблагоприятной погоде.

Развитие функциональных возможностей безэкипажных надводных катеров с целью их использования для проведения гидрографических работ позволит повысить качество и оперативность этих работ.

Назначение промерно-изыскательских работ

Промерно-изыскательские работы производятся для определения глубин и рельефа дна. Использование гидролокационных средств позволяет строить продольные и поперечные профили русла, выявлять мелководные зоны, обследовать районы мостовых опор, гидротехнических сооружений, портовых акваторий, а также контролировать изменчивость глубин в навигационный период. С помощью эхолотов и гидролокаторов бокового обзора можно также выявить затонувшие объекты, камни и выступы, инженерные конструкции, коряги и прочие посторонние предметы на дне. Промерно-изыскательские работы позволяют оценивать необходимость проведения дноуглубления, фиксировать фактические объемы выполненных работ, проводить контрольные промеры для приемки подрядных работ, что позволяет обеспечивать дноуглубительные и руслорегулирующие работы [2]. Все эти виды работ необходимы для обеспечения безопасности судоходства.



Носителем НРГК «Фарватер-2» является серийное изделие проекта РИБ «Кальмар-Т71». Его технические характеристики [5] представлены в таблице 1, изображение – на рисунке 1.

Основные характеристики безэкипажных катеров

Безэкипажный катер — это надводное судно, движущееся автономно или управляемое дистанционно оператором. Средства управления безэкипажным катером делятся на аппаратные и программные [3].

К аппаратным средствам относятся:

- центры управления — станции наземного или корабельного базирования для мониторинга и управления группой БЭК;
- системы связи — спутниковые системы, радиосистемы наземного и морского базирования, оптические системы для обмена данными;
- бортовые вычислительные системы — микроконтроллеры и компьютеры для управления катером;
- датчики и сенсоры — РЛС, инерциальные системы, оптико-электронные устройства, гидролокаторы и метеостанции для получения информации о внешней среде;
- навигационные системы — GPS, ГНСС для получения информации о местоположении судна.

Программные средства включают в себя:

- алгоритмы управления (обеспечивают управление катерами в автономном и дистанционном режиме);
- системы обработки данных (анализируют данные с датчиков и сенсоров);
- протоколы обмена данными — стандартизированные средства передачи информации между внутренними блоками катера.

Преимущества применения безэкипажных катеров в промерно-изыскательских работах

Главные преимущества применения безэкипажных катеров в промерно-изыскательских работах [4]:

- экономические (сниженные эксплуатационные расходы, менее дорогостоящее проведение работ, обслуживание и транспортировка технических средств, сокращение времени на подготовку и запуск работ, возможность круглосуточного функционирования при наличии автономного питания);
- технические (высокая точность промеров, возможность работы в мелководных, труднодоступных и опасных зонах, автоматическая передача данных в режиме реального времени);
- в сфере безопасности (катер может действовать там, где человеку находиться рискованно).

Безэкипажные катера для проведения промерно-изыскательских работ

Вариантом безэкипажного катера для проведения промерно-изыскательских работ для речного транспорта является надводный робототехнический гидрографический комплекс (НРГК) «Фарватер-2» разработки АО «Концерн «Моринсис-

Таблица 1
Технические характеристики РИБ «Кальмар-Т71»

Длина габаритная (максимальная), м	7,9
Ширина габаритная (максимальная), м	2,9
Ширина по жесткому корпусу (транспортно-вочная), м	2,2
Ширина палубы (рабочая), м	1,8
Высота борта (максимальная), м	1,35
Высота борта (на мидельшпангоуте), м	1,05
Габаритная высота от ватерлинии до верхней точки крыши, м	2,15
Стандартный вес собранного катера (без учета веса двигателей, топлива и переменных грузов), кг	1600
Полезная нагрузка (максимальная), кг	1200
Полное водоизмещение катера (100% полезной нагрузки и 100% топлива в основном баке), т	3,4
Пассажировместимость, человек	10
Объем основного топливного бака, л	300
Объем резервного топливного бака, л	130
Мощность основного двигателя + вспомогательного, л.с.	200/ 350 +20
Скорость максимальная (2 человека, 50% топлива) 200/350 л.с., км/ч	60/92
Дальность плавания экономичным ходом (минимальная), км	350
Осадка по килу (максимальная), м	0,45

Агат», предназначенный для проведения гидрографических работ и обеспечения поиска объектов на дне в автоматизированном и автоматическом режимах в портовых и прибрежных зонах, на внутренних водных путях.

НРГК «Фарватер-2» обеспечивает следующие возможности дистанционного и автономного управления:

- удаленный пульт управления (ПАК-У);
- связь ПАК-У с катером по Wi-Fi (передача изображения с видеокамер, данных от гидроакустического оборудования) и УКВ (передача команд ручного управления и телеметрии);
- планирование маршрута на удаленном пульте;
- автоматическое движение по заданному маршруту;
- отображение на удаленном пульте положения катера на фоне карты, координат и параметров движения;



Рис. 1. Судно проекта РИБ «Кальмар-Т71»

- отображение на удаленном пульте положения и параметров движения судов, данные о которых получены через АИС;
- отображение на ПАК-У изображения от судовой видеокамеры.

Еще одним вариантом безэкипажного катера для обеспечения промерно-изыскательских работ может являться БЭК «Лабиринт» разработки АО «Концерн «Моринсис-Агат».

Безэкипажный катер «Лабиринт», разработанный на базе гидроцикла, предназначен для охраны, патрулирования и наблюдения за акваторией. Функционирует в автономном и ручном режиме управления в качестве выносной системы освещения обстановки. Его технические характеристики [6] представлены в таблице 2, изображение — на рисунке 2.

Представленные безэкипажные катера можно использовать в группе для обеспечения сопровождения судов. Группа БЭК «Лабиринт» с установленными многолучевыми эхолотами идет впереди и сканирует дно реки для безопасного прохождения следующих за ними судов. Группой БЭК [7–8] управляют с судна, на котором расположен центр управления. Иллюстрация схемы прохождения представлена на рисунке 3. При использовании мобильного центра управления управляющее судно можно исключить, разместив центр управления на одном из судов, следующих по руслу реки за группой БЭК.

Также данный сценарий можно применить для обеспечения расстановки навигационных знаков. Спереди идет группа БЭК и выполняет промерно-изыскательные работы, а за группой БЭК — суда, расставляющие навигационные знаки. Новая схема приведена на рисунке 4.



Группа БЭК «Лабиринт»



Рис. 2. БЭК «Лабиринт»

Таблица 2
Технические характеристики БЭК «Лабиринт»

Длина габаритная (максимальная), м	2,95
Ширина габаритная (максимальная), м	1,19
Масса (без полезной нагрузки), кг	272
Полезная нагрузка, кг	100
Максимальная скорость, узлы	Не менее 20
Запас хода, км	Не менее 250
Автономность (минимальный ход), ч.	48
Мореходность, баллы	До 3
Дальность управления, км	Не менее 4

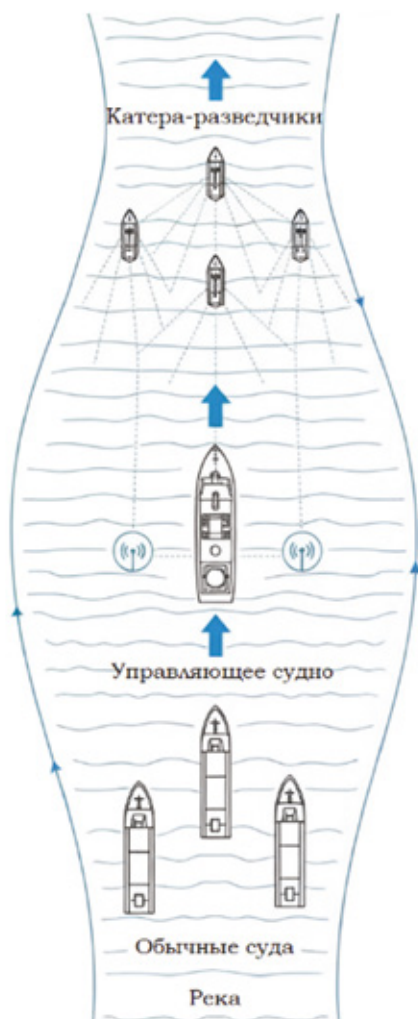


Рис. 3. Сценарий применения БЭК «Лабиринт» для обеспечения сопровождения

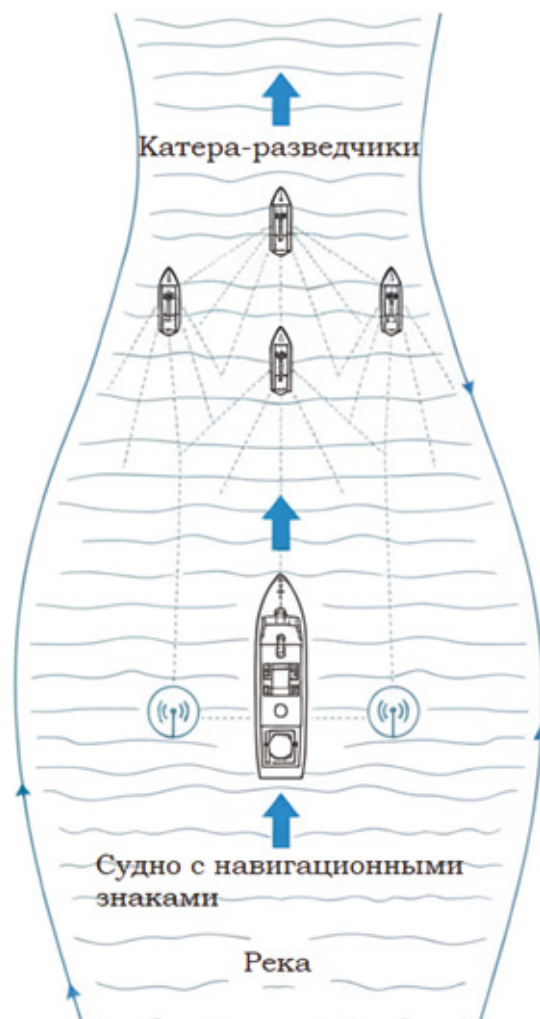


Рис. 4. Сценарий применения БЭК «Лабиринт» для расстановки навигационных знаков

Ограничения и особенности эксплуатации

Несмотря на значительные преимущества, БЭК обладают рядом специфических особенностей и ограничений, которые необходимо учитывать при их эксплуатации.

К числу таких особенностей относится прежде всего ограниченная автономность. Хотя современные БЭК способны работать без непосредственного участия человека, продолжительность их функционирования все еще зависит от энергетического запаса. Это особенно важно при выполнении длительных или удаленных миссий.

Не менее важным фактором является наличие устойчивого и надежного канала связи. Обмен данными зачастую происходит в режиме реального времени, поэтому любые перебои связи могут привести к потере контроля, а в крайнем случае — к утрате устройства.

Кроме того, эффективность работы БЭК во многом зависит от погодных условий. При сильном волнении, ветре

или неблагоприятной гидрометеорологической обстановке точность измерений может снижаться. Это ограничивает возможности применения БЭК в сложных морских условиях.

Также стоит отметить необходимость привлечения квалифицированного оператора. Несмотря на высокий уровень автоматизации, для настройки оборудования, контроля выполнения миссии и интерпретации полученных данных требуется профессиональная подготовка.

В то же время развитие БЭК открывает широкие перспективы. Одним из ключевых направлений является создание полностью автономных систем маршрутообразования, способных самостоятельно планировать и корректировать траекторию движения с учетом окружающей обстановки и поставленных задач.

Существенное внимание уделяется совершенствованию сенсорных систем. Повышение их точности, надежности

и дальности действия позволит получать более детализированные и достоверные данные, а также расширит область применения БЭК.

Важным направлением является интеграция с цифровыми навигационными картами и геоинформационными системами, что сделает возможным более эффективное планирование миссий и упростит обработку и визуализацию результатов.

Перспективным является также развитие технологий автоматизированной обработки данных непосредственно на борту. Это позволит значительно сократить время между сбором информации и ее использованием, а также снизить нагрузку на каналы связи.

Активно развивается внедрение методов машинного зрения и искусственного интеллекта. Такие технологии позволяют автоматически распознавать объекты, выявлять аномалии и принимать решения без участия оператора, что повышает эффективность и автономность систем.

Отдельного внимания заслуживает концепция создания флотилий БЭК, работающих синхронно. Координированная работа нескольких аппаратов существенно

ускорит проведение гидрографических работ, повысит плотность и точность промеров, а также обеспечит резервирование в случае выхода одного из устройств из строя.

В совокупности развитие указанных технологий приведет к ускорению процессов сбора, обработки и анализа гидрографической информации, улучшит общую эффективность и надежность проведения исследований.

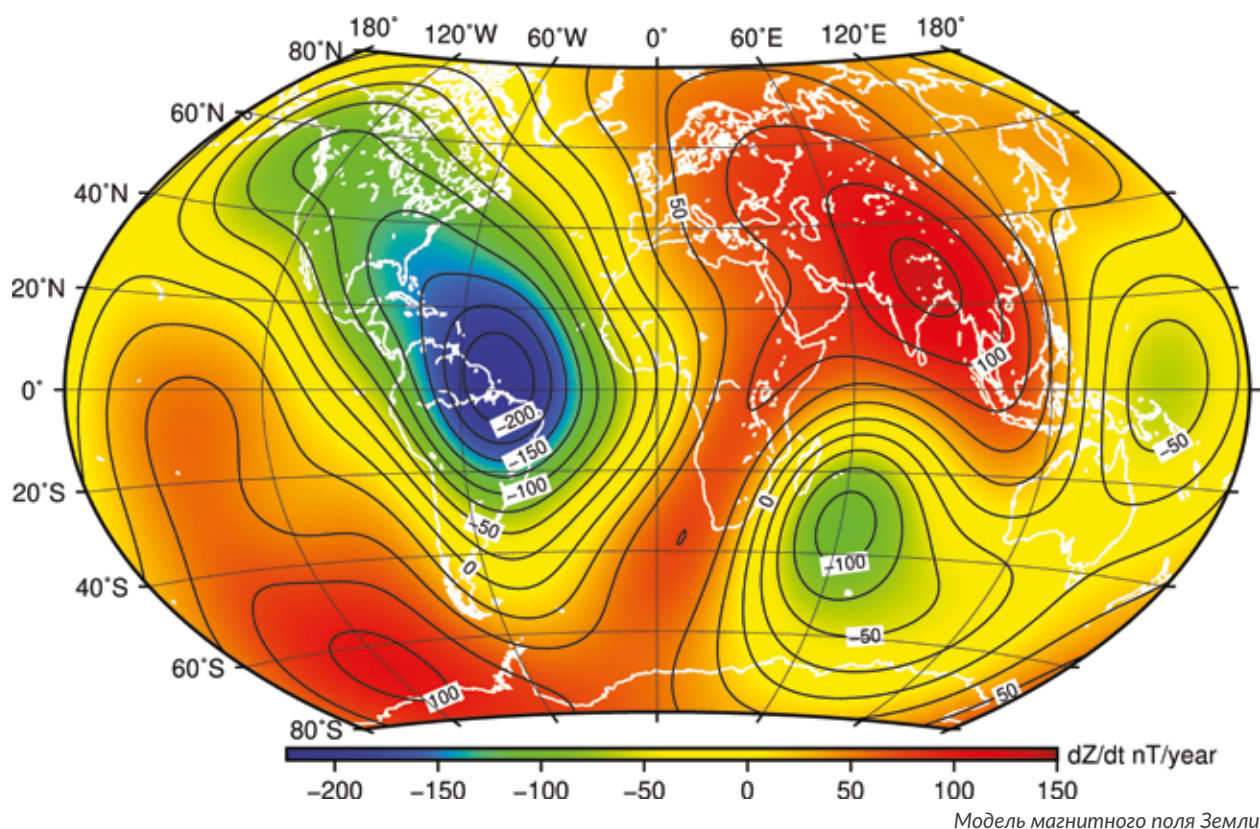
Эти технологии позволят значительно ускорить сбор и анализ информации.

Выводы

Использование беспилотных катеров значительно повышает эффективность и качество промерно-изыскательских работ на реках. БК обеспечивают более глубокий анализ состояния русла и акватории, снижают затраты и повышают эффективность управления водными путями. Безэкипажные технологии продолжают развиваться и в ближайшие годы могут стать стандартным инструментом для речных администраций, проектных организаций и гидрографических служб. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Мониторинг глубин в порту и на подходах // Морские вести России. 2025 [Электронный ресурс]. URL: <https://morvesti.ru/themes/1700/53352/> (дата обращения: 25.11.2025).
2. Внутренний водный транспорт. Гидрографические работы. Общие требования // ГОСТ Р 58743-2019 — 2019 [Электронный ресурс]. URL: gost.gtsever.ru/Data/731/73125.pdf (дата обращения: 02.12.2025).
3. Zhichao Lv Unmanned Surface Vessels in Marine Surveillance and Management: Advances in Communication, Navigation, Control, and Data-Driven Research // Marine Science and Engineering: электронный научный журнал. 2025. [Электронный ресурс]. URL: https://www.mdpi.com/2077-1312/13/5/969?utm_source (дата обращения: 02.12.2025).
4. Применение автономного судовождения в условиях современных угроз // МАРИНЭК. 2025 [Электронный ресурс]. URL: <https://seacomm.ru/dokumentaciya/stati/primeneniye-avtonomnogo-sudovozhdeniya-v-usloviyakh-sovremennykh-ugroz> (дата обращения: 03.12.2025).
5. РиБ с каютой кальмар т-71 // Специальные катера. 2024 [Электронный ресурс]. URL: katera.pro/catalog/catalog00_192.html?ysclid=mm8qqbitau473585513 (дата обращения: 04.12.2025).
6. В Петербурге дебютировал безэкипажный катер «Лабиринт» // Судостроение.Инфо. 2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://sudostroenie.info/novosti/40376.html?ysclid=mm8qqxsqpp323782691> (дата обращения: 05.12.2025).
7. Xiaoming Xia Leader-Follower Formation Tracking Control of Underactuated Surface Vehicles Based on Event-Triggered Control // MDPI. 2023 [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/371620093_Leader-Follower_Formation_Tracking_Control_of_Underactuated_Surface_Vehicles_Based_on_Event-Triggered_Control (дата обращения: 08.12.2025).
8. Guoqing Swarm Control for Multiple Unmanned Surface Vehicles with Unknown Time-Varying Environmental Disturbance and Input Saturation // WILEY Journal of Control Science and Engineering. 2022 [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/361916147_Swarm_Control_for_Multiple_Unmanned_Surface_Vehicles_with_Unknown_Time-Varying_Environmental_Disturbance_and_Input_Saturation (дата обращения: 08.12.2025).



АКТУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ КОМПЕНСАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КОРАБЕЛЬНЫХ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С КОСВЕННЫМ РЕЖИМОМ УПРАВЛЕНИЯ

Необходимость регулярного обновления данных электронных карт магнитного поля Земли в составе современных систем компенсации магнитного поля корпусных конструкций подтверждает опыт эксплуатации кораблей ВМФ Российской Федерации. В статье приведены аргументы, подчеркивающие важность разработки организационных процедур по актуализации информации.



АО «НПФ «Меридиан»
Санкт-Петербург

Б.Ю. Семёнов

Традиционные корабельные системы компенсации магнитного поля корабельных корпусных конструкций, разработанные более полувека назад, до сих пор находятся в эксплуатации на кораблях ВМФ России и характеризуются тем, что в основном режиме работы получают сигнал управления токами от датчиков магнитного поля Земли. Опыт эксплуатации подобных систем показал, что они чрезвычайно сложны в настройке, а также сильно подвержены воздействию помех от мощного радиотехнического оборудования, расположенного на корабельных мачтах, то есть в зоне высокой чувствительности датчиков магнитного поля Земли. Тем не менее в ряде случаев датчик магнитного поля Земли является единственным источником управляющей информации, обеспечивающим ее необходимую точность. Поэтому данный вид управления до сих пор продолжает использоваться в системах компенсации постоянных магнитных полей ВМФ России, а также ВМС других стран. На рисунке 1 показан внешний вид датчиков магнитного поля Земли, разработанных немецкой фирмой Sam Electronics.

Возможность технической реализации иного, значительно более помехозащищенного и простого способа получения управляющего сигнала для систем компенсации магнитного поля корабельных корпусных конструкций появилась в начале XXI века в связи со стремительным увеличением мощности и быстродействия вычислительных машин, а также снижения их габаритов. Он основывается на хранении в памяти вычислительной машины аналитической модели магнитного поля Земли и расчета компонент магнитного поля Земли при нахождении корабля в точке с известными географическими широтой и долготой. Этот способ получил название косвенного, поскольку управление осуществляется по данным, получаемым не путем непосредственного измерения, а расчетным путем, исходя из математической модели.

Высокая помехозащищенность данного способа очевидна: исходные управляющие данные не содержат составляющей помехи, а точность данных определяется точностью модели и точностью определения географических координат. Кроме того, вычислительную машину нет необходимости располагать на мачте и подвергать воздействию помех высокой интенсивности.



Рис. 1. Датчики магнитного поля Земли производства Sam Electronics

При всех названных выше преимуществах косвенный способ управления по сравнению со способом непосредственного управления имеет ряд проблем, среди которых существенной является проблема актуализации исходной информации для проведения расчетов магнитного поля Земли. Рассмотрим этот вопрос подробнее.

Постановка проблемы устаревания исходной информации

В соответствии с документом [1], вступившим в действие в 1985 году, до настоящего времени действующим без изменений, магнитное поле внутриземных источников состоит из:

- поля электрических токов в земном ядре (главного поля);
- поля земной коры (поля магнетизма земных пород).

Вклад главного поля в поле внутриземных источников составляет около 98%, а оставшиеся 2% приходятся на поле магнетизма земных пород, поэтому, принимая во внимание незначительность вклада, им пренебрегают.

Второе немаловажное обстоятельство, указанное в документе [1], касается погрешности вычисления главного поля. Вычисление поля осуществляется путем суммирования членов ряда Гаусса, и при учете 10...13 его членов погрешность вычисления геомагнитного поля на поверхности Земли составляет 2%.

Наконец, третье условие, согласно [1], состоит в необходимости наличия информации об эмпирических коэффициентах ряда Гаусса. Изменение структуры главного поля за один год (так называемый вековой ход) учитывается путем линейной экстраполяции на основе отдельных эмпирических данных.



Казалось бы, однажды получив необходимый объем исходных данных путем математической процедуры, закрепленной в государственном стандарте, можно приводить расчетные данные к текущему году, тем самым решив проблему актуализации данных. К сожалению, механизм и законы векового хода главного поля Земли на сегодняшний момент известны лишь приближенно, поэтому эмпирические данные, на основе которых осуществляется вычисление параметров поля, требуют постоянного уточнения.

Согласно данным, приведенным в [2], магнитное поле Земли меняется даже в течение суток. Обнаружено это было в результате наблюдений за положением магнитных полюсов. Суточные колебания положений магнитных полюсов составляют около 65 км, и для решения задач компенсации магнитного поля корпусных конструкций эти изменения структуры поля Земли несущественны. Гораздо более существенны изменения, связанные с годовым движением полюсов Земли. На рисунке 2 показана динамика движения Северного магнитного полюса (км/год). Исходя из допустимой погрешности расчета, принят пятилетний период годности модели, после истечения которого модель должна быть «перезагружена» новыми эмпирическими коэффициентами.

Актуализация информации о геомагнитном поле

Поскольку информация о геомагнитном поле Земли востребована во многих областях жизнедеятельности, а проведение периодической магнитной съемки по всей поверхности Земли представляет собой практически невыполнимую задачу ввиду ее огромной трудоемкости, был разработан и принят на международном уровне ряд моделей геомагнитного поля.

На сегодняшний момент существует и используется в практической деятельности большое количество моделей геомагнитного поля, но самыми востребованными следует считать Международную аналитическую модель геомагнитного поля (IGRF) [3] и Мировую магнитную модель (WMM) [4]. Упомянутые модели основаны на разных эмпирических данных, каждая из них обладает своими преимуществами

и недостатками. Несомненным преимуществом моделей типа IGRF и WMM является международный статус, открытая публикация принятых эмпирических коэффициентов и разрешение свободного использования без каких-либо предварительных условий.

Что касается России, то в нашей стране также ведется регулярная работа по созданию и уточнению аналитической модели геомагнитного поля, осуществляемая ИЗМИРАН. Однако эта модель не имеет свободного хождения, а, например, магнитная обсерватория «Москва» ИЗМИРАН [5] предоставляет онлайн-услугу по расчету параметров геомагнитного поля на основе модели IGRF (рис. 3).

Упомянутый ранее стандарт [1] предоставляет эмпирические данные на период 1985–1990 гг., а указания на действия после 1990 г. отсутствуют. Поэтому, опираясь на фактические достижения науки о земном магнетизме и наличие в открытом доступе модели типа IGRF, отечественные разработчики изделия для управления системами компенсации магнитного поля корпусных конструкций, что называется, по факту ориентируются на эту модель, так как она обновляется регулярно.

Примеры возможностей, обеспеченных разработчиками аппаратуры в части актуализации эмпирических данных для расчета геомагнитного поля, приводятся на рисунках 4 и 5. Подобные модели относятся к разным изделиям отечественной промышленности, но их объединяет общий подход: хранение в памяти вычислительной машины соответствующих коэффициентов и при необходимости их обновление либо путем прямого ввода, либо путем считывания массива с носителя данных.

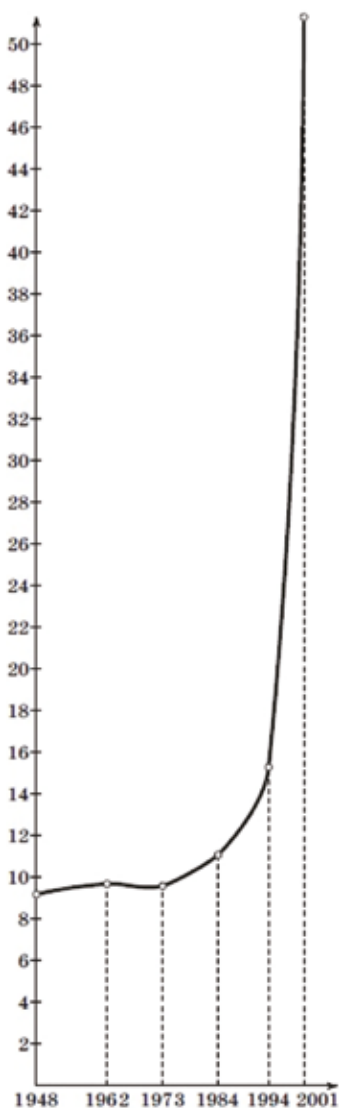


Рис. 2. Динамика изменения положения Северного магнитного полюса Земли, км/год

Рис. 3. Форма онлайн-расчета параметров геомагнитного поля на сайте обсерватории «Москва»

Проблемы актуализации эмпирической информации

Прочитав изложенное выше, читатель может предположить, что никакой проблемы не существует. Доступен необходимый набор данных, он регулярно обновляется и контролируется ведущими мировыми учеными, производители аппаратуры управления обеспечили возможность ввода и обновления эмпирических данных. Более того, производители аппаратуры ввели функцию автоматического контроля пригодности данных к использованию, и по истечении пяти лет на главный управляющий экран выводится предупреждение о необходимости актуализации информации.

Фактически с технической точки зрения проблемы не существует. Но она существует в организационной области. Системы компенсации магнитного поля корабельных корпусных конструкций нового поколения, использующие в своем составе модель геомагнитного поля, прошли период внедрения и адаптации в условиях ВМФ Российской Федерации. Чтобы поддерживать техническую готовность этих систем на должном уровне, необходимо обеспечить регулярное снабжение ВМФ актуальными данными, заранее планировать эти мероприятия, выделять для них соответствующие ресурсы и назначать ответственных за их выполнение. Кроме того, поскольку речь идет об обеспечении обороноспособности страны и безопасности государства, актуальные данные модели геомагнитного поля должны быть доступны в условиях полного отключения системы Интернет. Также эти данные должны быть верифицированы перед установкой в аппаратуру, и наибольшую компетенцию в этом вопросе имеют ученые — специалисты в области геомагнетизма.

Выводы

Проведенный экскурс в область современных систем компенсации магнитных полей корпусных конструкций, эксплуатируемых в ВМФ Российской Федерации, показывает, что назрела необходимость совместной работы военных, промышленности и ученых для решения вопроса о регулярной доступности актуальных и верифицированных эмпирических данных для поддержания необходимого уровня технической готовности систем компенсации, что в конечном итоге отражается на параметрах скрытности кораблей ВМФ и их надежной защиты от средств самонаведения оружия вероятного противника. ■



Рис. 4. Окно задания эмпирических данных для расчета геомагнитного поля (пример 1)

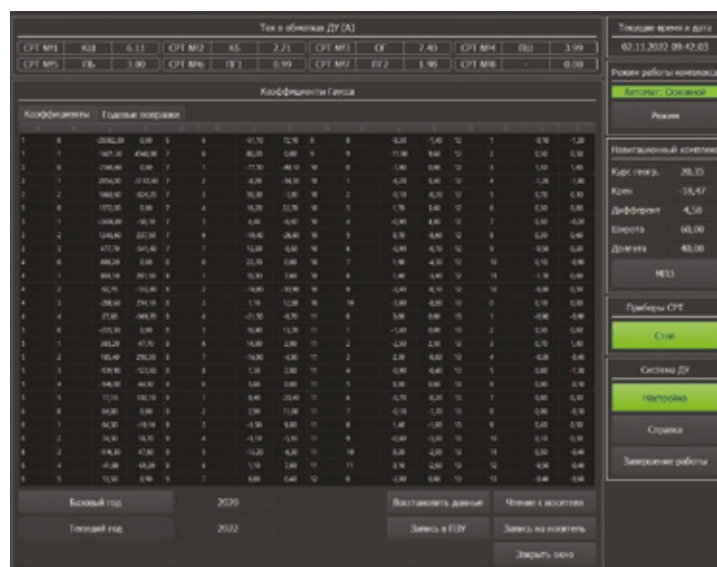


Рис. 5. Окно задания эмпирических данных для расчета геомагнитного поля (пример 2)

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 25645.126-85 «Поле геомагнитное. Модель поля внутриземных источников».
- А.И. Дьяченко «Магнитные полюса Земли». – М.: Издательство Московского центра непрерывного математического образования, 2003.
- <https://www.ncei.noaa.gov/products/international-geomagnetic-reference-field>.
- <https://www.ncei.noaa.gov/products/world-magnetic-model>.
- <http://serv.izmiran.ru> (Магнитная обсерватория «Москва»).



МОРСКОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС НА БАЗЕ МАЛОМЕРНОГО НЕОБИТАЕМОГО СУДНА ПРОЕКТА «ЛОЦМАН»

АО «НПП ПТ «Океанос» в 2024–2025 годах провел работу на базе собственного многолетнего научно-технического задела в области МРТС и МРТК, связанную с формированием концепции, проектированием и изготовлением МНС «Лоцман» — многофункционального сборно-разборного модульного МРТК на базе плавучего средства архитектурного типа «катамаран», ориентированного на обеспечение широкого спектра морских научно-исследовательских и прикладных промышленных операций в первую очередь в условиях удаленных акваторий, зон мелководья и предельного мелководья.



АО «НПП ПТ «Океанос»
Санкт-Петербург

А.М. Маевский, В.Ю. Занин

Российский морской регистр судоходства с 1 сентября 2025 года ввел в практический оборот Часть III Классификации маломерных необитаемых судов «Правил классификации и освидетельствований маломерных судов» (НД № 2–020101–147) — применительно к судам длиной до 20 метров, способным осуществлять плавание без экипажа на борту. В документах различных организаций такие объекты могут обозначаться как роботизированные плавательные средства, маломерные необитаемые суда (МНС), безэкипажные катера (БЭК), необитаемые надводные (поверхностные) аппараты (ННА/USV), морские робототехнические средства и комплексы (МРТС и МРТК), автономные и полуавтономные суда и т.д. Такое многообразие терминологических подходов, а также рост на примере «Правил...» нормативно-технической базы свидетельствуют как о фактически идущих процессах развития отечественного направления данной морской техники, так и о сопутствующей в определенной мере нормативно-правовой и нормативно-технической нестабильности регулирования, когда даже организации Минтранса России (РМРС и РКО) имеют негармонизированные подходы по одной тематике.

Наблюдаемое развитие тематики морской робототехники обусловлено как эффектом применения БЭК различного назначения, давлением информационного фактора мировых трендов «цифровизации» и практического применения «высокотехнологичных решений», так и поэтапным ростом интереса (пока нельзя сказать, что потребности) отечественных представителей науки и бизнеса к проведению автономных и дистанционно управляемых морских операций в широком спектре прикладных областей: в инструментальной гидрографии и батиметрической съемке, сейсмоакустическом и геофизическом зондировании морского дна, комплексном экологическом мониторинге акваторий, техническом обследовании гидротехнических сооружений (ГТС), а также к проведению поисково-исследовательских работ. С учетом недостаточности на текущий момент

практических компетенций как у заказчиков, так и у разработчиков (выступающих и в роли эксплуатантов), ограниченных в основном опытом экспериментальных работ или опытно-промышленных испытаний технологий с применением МРТС типа БЭК, в указанных задачах они, как правило, предъявляют повышенные требования к функциональной универсальности и эксплуатационной гибкости морских робототехнических платформ, ожидая от них одинаковой эффективности при операциях в морских, прибрежных зонах и на внутренних водных путях (ВВП).



В данных условиях особую научно-практическую актуальность приобретает формирование отдельного направления — мобильной многофункциональной морской робототехники, адаптированной к применению в зонах предельного мелководья морских прибрежных зон и речных устьевых районах ВВП.

Мобильность платформы определяется операционной необходимостью транспортировки и развертывания МРТК крайне малочисленной исследовательской группой (2–3 специалиста) в удаленных и труднодоступных районах проведения работ, а также количественных ограничений на специальный персонал при судовом базировании. Специфика эксплуатации МРТК в транзитных зонах (акватории с глубинами до 0,5–0,7 м), зонах предельного мелководья (акватории с глубинами от 0,5–0,7 м до 2–3 м), мелководья (глубины до 20 м), включая замкнутые и полузамкнутые водоемы с развитой прибрежной растительностью, топками или обрывистыми берегами и разнородными донными препятствиями, обуславливает необходимость обеспечения высокой ходкости, маневренности аппарата, устойчивости к засорению движительного комплекса

и способности к выполнению спускоподъемных операций непосредственно с береговой полосы с последующим автоматическим выходом в рабочие точки по маршруту со сложной навигационной обстановкой. При этом необходимо особо отметить, что ветро-волновые условия в морской и прибрежной мелководной зонах (глубины менее 1/2 длины волны, в среднем от 7 м глубины и менее) применения при одинаковой балльности имеют разительное отличие в силу возрастающей крутизны склонов волны на мелководье (рис. 1).

1. Крутизна склона ветровой волны в глубоком море
2. Длина волны (в среднем 5–15 м при ветровом волнении 2 балла РД 52.10.865–2017)
3. Зона трансформации, глубина — около 1/2 длины волны
4. Крутизна склона ветровой волны на мелководной акватории

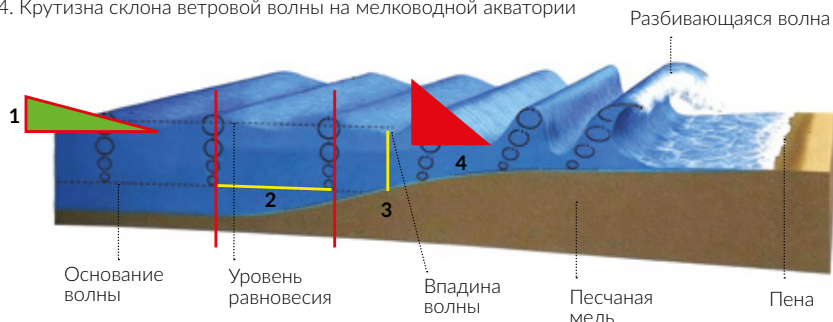


Рис. 1. Иллюстрация фактических изменений основных условий применения МНС при переходе с глубоководной акватории на мелководную с сохранением балльности по волнению и ветру



Рис. 2. Saildrone BMC США — немного паруса, немного «Старлинка», а также государственно-частного партнерства и инвестиций в высокие технологии при ставке ФРС в 0,25%

Многофункциональность МРТК детерминирована требованием совместимости с широкой номенклатурой научно-исследовательского оборудования: акустическими профилографами и многолучевыми эхолотами, гидролокаторами бокового обзора, многопараметрическими океанографическими зондами, батометрами, пробоотборниками грунта и макрозообентоса, сетями сбора зоопланктона, а также системами сброса полезной нагрузки (типа автоматических буйев и донных станций) и системами гидроакустического взаимодействия с телеуправляемыми необитаемыми подводными аппаратами (ТНПА).



В совокупности перечисленные требования формируют облик перспективного МРТК как интегрированной киберфизической системы, сочетающей автономность принятия решений, модульность полезной нагрузки и адаптивность к разнородным операционным условиям с учетом возможности работы в сетевых системах гетерогенной группы робототехнических комплексов (АНПА, БПЛА, МНС).

Имея такой набор технических требований и граничных условий, коллектив АО «НПП ПТ «Океанос» в 2024–2025 годах провел работу на базе собственного многолетнего научно-технического задела в области МРТС и МРТК, связанную с формированием концепции, проектированием и изготовлением МНС «Лоцман» — многофункционального сборно-разборного модульного МРТК на базе плавучего средства архитектурного типа «катамаран», ориентированного на обеспечение широкого спектра морских научно-исследовательских и прикладных промышленных операций в первую очередь в условиях удаленных акваторий, зон мелководья и предельного мелководья.

Уровень развития маломерных необитаемых судов в мире

Интенсивное развитие технологий автономных и дистанционно управляемых систем в последние два десятилетия обусловило формирование принципиально нового класса морской техники — маломерных необитаемых судов (МНС). Широкое внедрение данных платформ в практику морских и речных исследований продиктовано совокупностью факторов: это возрастающие требования к безопасности персонала при выполнении морских операций в труднодоступных, экологически опасных и/или мелководных акваториях, необходимость повышения производительности работ и снижения операционных затрат на проведение океанологических, геофизических, гидрографических и экологических исследований, а также технические ограничения традиционных судов при обеспечении непрерывного долгосрочного мониторинга и работах в зонах мелководья.

К настоящему времени в мировой практике сформировалось несколько устойчивых классов МНС, различающихся по принципу обеспечения движения (механическая тяга — с приводом от двигателей внутреннего сгорания, электродвигателей, ветропарусные и волновые движительные установки), степени автономности (дистанционное управление, режим управления курсом, режим управления траекторией при автоматическом или автономном управлении и полностью автономный режим с управлением автономной навигационной системой) [1], а также по целевому назначению. Среди ключевых направлений применения выделяются батиметрическая съемка и гидрографическое картографирование, экологический мониторинг водных объектов, изучение взаимодействия «океан — атмосфера», оценка состояния биологических ресурсов, а также обследование гидротехнических сооружений и подводных коммуникаций.

Ведущие позиции в разработке и коммерческом производстве МНС занимают США, Китай, Канада и ряд европейских государств.

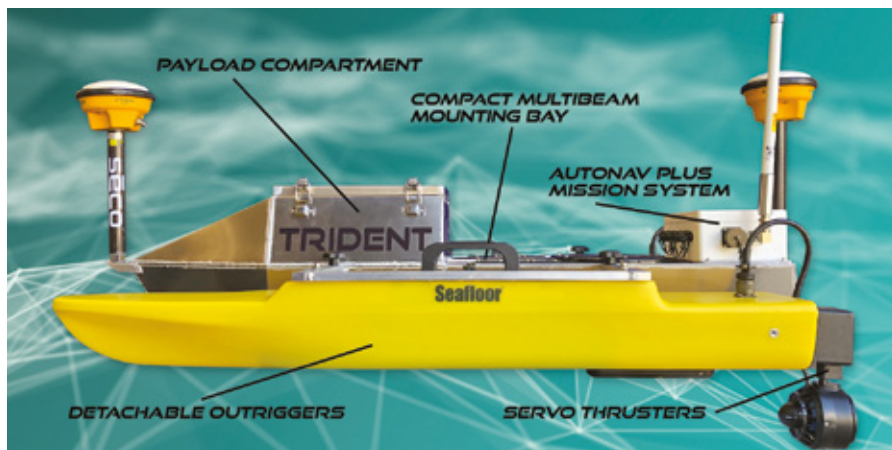


Рис. 3. Пример роботизированного катамарана Trident USV

Американская компания Sairdronе, Inc. [1] реализует концепцию долгоресурсных ветропарусных аппаратов, обеспечивающих непрерывное автономное плавание продолжительностью до 365 суток в открытом океане.

Sairdronе Explorer (рис. 2) — МНС длиной 7 метров, способное находиться в море до 365 дней [2], средняя скорость — около 3 узлов. Предназначен для рыбохозяйственных миссий, сбора метеоокеанических данных, мониторинга экосистем и калибровки спутниковых данных. Sairdronе разворачивались в Арктике, Атлантике, Северном море, Тихом и Южном¹ океанах для отслеживания рыбы и морских млекопитающих, измерения поглощения CO₂, изучения быстрой интенсификации ураганов. Аппараты даже входили внутрь ураганов 4-й категории для сбора данных [4].

TriDrone (США) [5] — сверхкомпактная мобильная платформа для гидрографических съемок в стесненных и удаленных акваториях. Устойчивость обеспечивается многокорпусной конструкцией архитектурного типа «тримаран», при этом аппарат разбирается на три части для переноски одним человеком. Высокую маневренность обеспечивают две поворотные винторулевые колонки с защитой винта от водорослей, что позволяет заходить в труднодоступные узкости.

Trident USV (Seafloor Systems, США) [6] — дистанционно управляемая платформа, разработанная специально для гидрографических съемок многолучевым эхолотом (рис. 3). Центральный корпус имеет специальный отсек для монтажа различных многолучевых гидроакустических систем.

¹ В 2000 году государства — члены Международной гидрографической организации приняли решение выделять Южный океан как самостоятельный пятый океан, соединяющий в себе южные части Атлантического, Индийского и Тихого океанов в пределах, ограниченных с севера 60-й параллелью южной широты, а также Договором об Антарктике [3].



Рис. 4. Катамаран ME120 производства OceanAlpha и его расположение в фургоне



Рис. 5. БЭК катамаранного типа BlueBoat. Спускоподъемные работы осуществляются одним человеком

OceanAlpha (Китай) — ведущий разработчик МНС, поставляющий решения для гидрографических съемок (с многолучевыми эхолотами, ГБО и ADCP), океанографических исследований, промышленных патрульных миссий на объектах нефтегазовой отрасли и экстренного реагирования. Аппараты используются коммерческими заказчиками, государственными организациями и университетами по всему миру.

OceanAlpha ME120 [7] — разборный катамаран для гидрографии. Разработан для автономных гидрографических съемок (рис. 4). Разборная конструкция катамарана позволяет легко собирать и разбирать аппарат, перевозить его в фургоне.

Параллельно активно развивается сегмент малобюджетных модульных платформ высокой мобильности с открытой архитектурой программного обеспечения, в частности BlueBoat компании Blue Robotics, что существенно расширяет доступность технологии для научных организаций и университетов, предприятий малого и среднего бизнеса.

BlueBoat [8] — одно из наиболее доступных по цене МНС для гидрографических съемок с открытым программным обеспечением ArduRover и стоимостью «входного билета»

в лигу эксплуатантов высоких технологий от 4400 американских долларов (рис. 5). Отличается модульной архитектурой электроники, гибкими точками монтажа полезной нагрузки и дизайном корпуса, устойчивым к намотке водорослей.

Otter / Otter X (Maritime Robotics, Норвегия) [9] — высококомбинированный катамаранный БЭК, предназначенный для батиметрических и гидрографических съемок, сбора научных данных, экологического мониторинга и наблюдения (рис. 6). Два электрических двигателя от четырех аккумуляторных батарей обеспечивают до 20 часов работы на скорости 2 узла в режиме нулевых выбросов.

В Российской Федерации развитие технологий автономных и дистанционно управляемых систем приобретает особую актуальность в контексте как реализации политики технологического суверенитета и импортозамещения, так и плавного давления законодательной базы, нацеленной на обеспечение замены производственных процессов и операций, связанных с наличием вредных и (или) опасных производственных факторов, процессами и операциями, при которых указанные факторы отсутствуют или имеют меньшую интенсивность [10].



Рис. 6. БЭК Otter в процессе выполнения миссии

Отечественные разработки в области МНС представлены такими коммерческими продуктами, как серийный безэкипажный гидрографический комплекс «Калан» (рис. 7) ООО НПП «Форт XXI» на базе линейки МНС типоразмеров М1 (длиной 1,5 м), М3 (длиной 3 м), М4 (длиной 4 м), и образцами иных организаций — например, МНС «Морена» и «Визир-700» СПбГУ (рис. 7), МНС «Оркан» и «Бриз» ЗАО «Си Проект» (рис. 8), МНС «Странник» АО «Ситроникс КТ» (рис. 8) и др.

Конструктивно МНС «Калан» [11] и «Морена» являются катамаранами (рис. 7), исполнение «Калан» М4 (с жесткими поплавками, верхний и нижний левый снимки) и базовое исполнение «Морена» (с надувными поплавками, нижний правый снимок) обеспечивают устойчивое движение в условиях глубокого моря при волнении до 3 баллов, гидрографическая съемка выполняется при волнении не более 2 баллов.

В 2025 году в качестве элементов апробаций новых технологий логистики [12] состоялись экспериментальные морские переходы МНС «Бриз» (ЗАО «Си Проект») из Архангельска до Соловецких островов и МНС «Странник» (АО «Ситроникс КТ») из порта Невельск на остров Монерон с фактической доставкой грузов.

Вместе с тем, несмотря на наличие первичной технической базы, отечественный рынок беспилотных судовых систем находится в стадии формирования. Нормативно-техническая и нормативно-правовая базы создания и применения МНС вошли в этап активной разработки с ускоренным выпуском документа и длительным этапом его доводки, затрудненным ведомственным и межведомственным взаимодействием (помимо ранее отмеченной проблемы компетенций). Так, только в Минтрансе России нормативная база по МНС разрабатывается Российским морским регистром судоходства и Российским классификационным обществом (по факту с негармонизированными результатами), притом что МНС имеют смешанный регион применения: прибрежная зона и внутренние водные пути — наиболее вероятностный и востребованный район их использования. Тем не менее эксплуатация первых отечественных серийных МРТК на базе МНС в интересах ФГУП «Росморпорт» и МНС России уже началась.

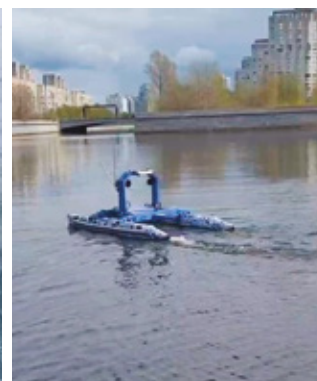
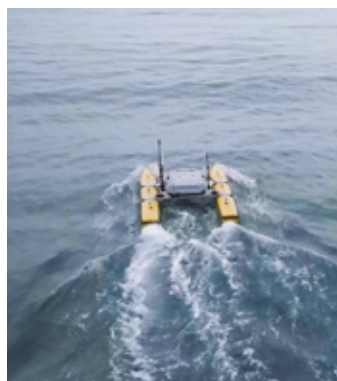


Рис. 7. МНС «Калан», МНС «Морена» (внизу справа)



Необходимо отметить, что катамаранный архитектурный тип МНС со сборно-разборной конструкцией де-факто стал отраслевым стандартом для отечественных серийных МНС: он оптимально сочетает устойчивость на волнении, возможность монтажа и применения гидроакустических средств, а также мобильность.

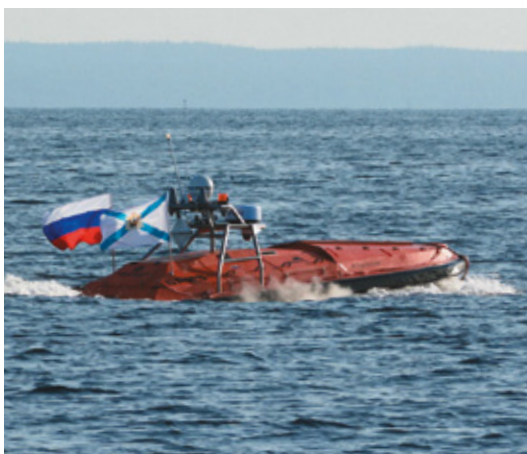


Рис. 8. «Бриз» (слева) и «Странник» (справа) — состоявшиеся морские беспилотные грузовички

Особенности МРТК на базе МНС «Лоцман»

МНС «Лоцман» — мобильное модульное сборно-разборное плавучее средство, предназначенное для проведения гидрографических, геофизических, экологических и научно-исследовательских работ (рис. 9). К основным особенностям, выделяющим МНС «Лоцман», можно отнести следующие:

- Простота транспортировки МНС. Модульная конструкция судна позволяет осуществлять переноску МРТК вручную, не нарушая требований охраны труда для мужчин, так как масса одного модуля не превышает 30 кг.
- Легкость в сборке/монтаже/демонтаже МНС. Развертывание МНС происходит без применения специального инструмента, а сборка осуществляется двумя подготовленными членами экипажа (расчета) МНС в течение 40–60 мин.
- Высокая несущая способность МНС. Плавсредство способно нести общий вес полезной нагрузки до 200 кг, что позволяет разместить широкий спектр научно-исследовательской аппаратуры (к примеру, оборудование для гидрохимического мониторинга IN SITU бренда NAECO).
- В базовом исполнении МНС «Лоцман» имеет укомплектованную массу без полезной нагрузки менее 200 кг. Мощность двигателей составляет менее 8 кВт и не подлежит государственной регистрации и классификации маломерных необитаемых судов, что существенно увеличивает спектр возможностей применения МНС в интересах заказчика в первую очередь за счет экономической эффективности и снижения организационно-бюрократической нагрузки.
- Система связи способна обеспечить удаленную связь и управление на дистанциях до 15 км (передача телеметрии и управления, передача видеопотока). Такие показатели достигаются благодаря применению

отдельных или комбинированных современных технологий «удаленного Wi-Fi», систем связи 4G/5G, Lo Ra и отечественного спутникового канала связи, что позволяет оператору осуществлять (в зависимости от бюджета заказчика, естественно) удаленное управление и контроль из пунктов, находящихся за многие километры от места проведения работ, а производителям — обеспечить сервисную и техническую поддержку, обновление ПО МНС и многое другое.

МНС «Лоцман» обладает собственной автономной системой управления (САУ), основанной на имеющемся технологическом заделе и обеспечивающей безаварийное перемещение в заданной акватории по целевым точкам при максимальной скорости движения до 7 км/ч. Накопленный АО «НПП ПТ «Океанос» опыт по интеграции подводных манипуляторных комплексов в состав МРТК обеспечивает принципиальное расширение функциональных возможностей МНС «Лоцман» при решении научно-исследовательских и аварийно-спасательных операций, а возможность перемещения МРТК «Лоцман» вручную делает его универсальным решением, пригодным для миссий в арктических районах, на труднодоступных островах, в районах паводков, болот, лесных рек, где обычный спуск техники невозможен.



Плавсредство может самостоятельно осуществлять постановку и сбор автоматических донных сейсморазведочных станций, гидрографических вех, транспортировать грузы, нести приборные комплексы научно-исследовательских и изыскательских работ, участвовать в аварийно-спасательных операциях и иной хозяйственной деятельности в условиях предельного мелководья.



Рис. 9. МНС «Лоцман» АО «НПП ПТ «Океанос»

Таблица

Базовые технические характеристики

Дальность прямой связи	До 15 км
Масса полезной нагрузки	200+ кг
Работа на акваториях с глубиной	Предельное мелководье — глубоководные районы
Скорость на воде	6–7 км/ч при загрузке 200 кг
Мореходность	Ветер 3 балла по шкале Бофорта; высота волны 3% обеспеченности 0,5–0,75 м (2 балла по шкале ГУГМС-53)
Автономность по энергетическим ресурсам движительного комплекса	4,5–5 часов в зависимости от температуры воздуха и уровня заряда перед началом работ
Автономная и дистанционная система управления	Прямое и/или ретрансляционное дистанционное управление, удержание курса, удержание заданной траектории движения, удержание точки, опциональный автономный режим с частичным соблюдением МППСС-72 или ППВВП
Система безопасности	Система ситуационной осведомленности, навигационные, специальные огни и знаки, оборудование по согласованию с заказчиком, рекомендованное РМРС и РКО для МНС и безэкипажных судов
Планировщики миссий	Возможность группового применения и планирования миссии с учетом прогноза и текущих гидрометеорологических условий
Интеграция	ГБО, профилограф, гидрохимическая аппаратура бренда NAECO (гидрологические датчики, экологические буи, манипуляторный комплекс, ТНПА класса мини), транспортер ленточного типа (с приводом и датчиком сброса) для постановки/сброса модулей полезной нагрузки типа «донная станция» с борта МНС

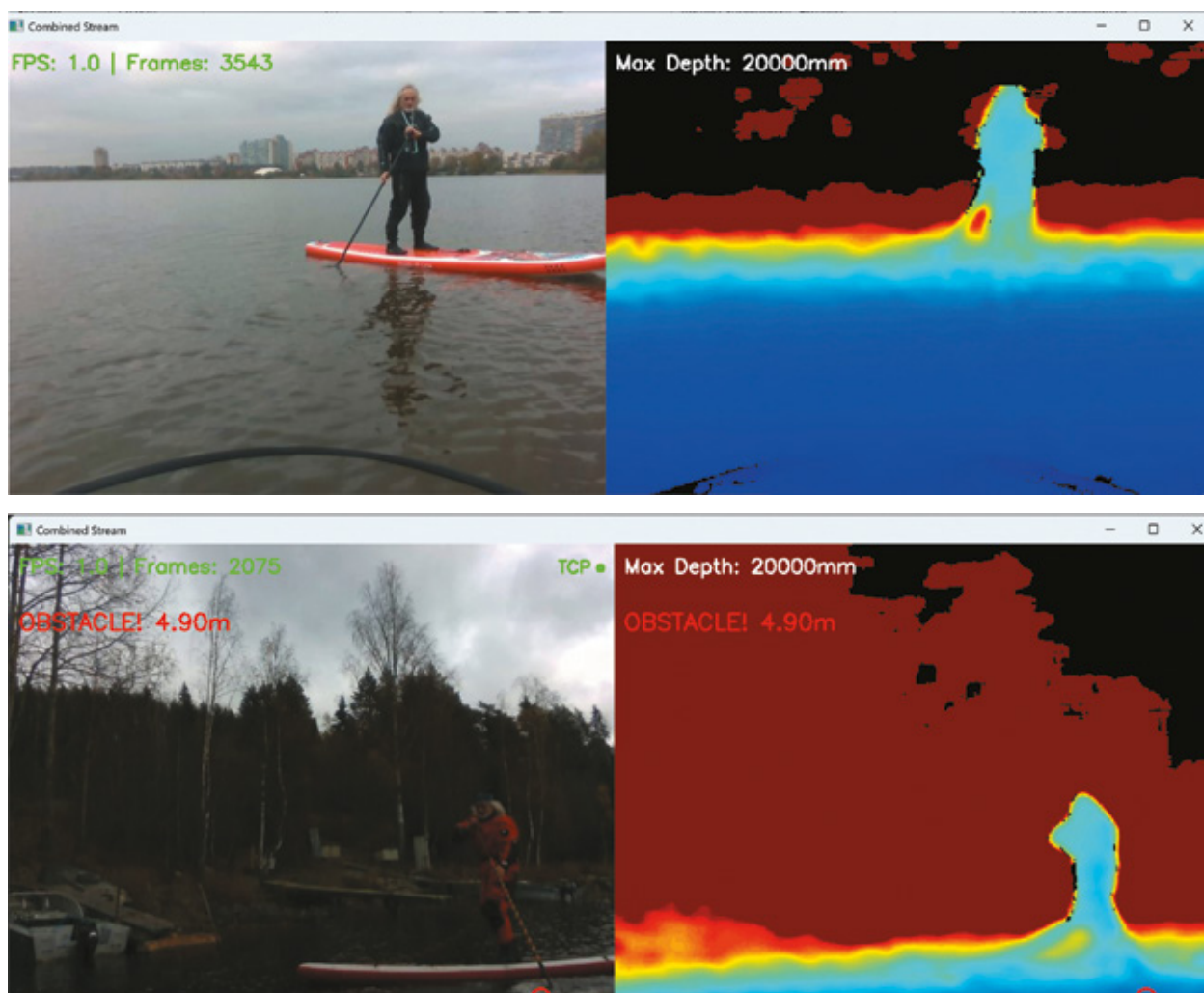


Рис. 10. Иллюстрация элементов системы ситуационной осведомленности (ССО) с ИИ-анализом обстановки в процессе отработки алгоритмов САУ МНС «Лощман»

Система бортового обеспечения разработана на основе собственных программно-алгоритмических и программно-аппаратных решений АО «НПП ПТ «Океанос». Принципиально новым технологическим решением, разрабатываемым в рамках данного проекта, является учет на уровне САУ правил движения МНС как на основе рекомендаций МППСС-72, так и на основе собственных алгоритмов с учетом текущей гидрометеорологической и ветроволновой ситуации. Разработанная САУ имеет возможности реверсивного управления двигателями, что позволяет увеличить маневренность МНС и осуществлять движение задним ходом и удержания точки.

Система технического зрения реализована на основе модуля трехмерных стереокамер и отдельного бортового вычислителя, отвечающего за обработку данных (рис. 10). Система оснащается вспомогательным модулем ИИ [13, 14], способным детектировать и классифицировать обнаруженные препятствия, их положение и ориентацию относительно МНС, тем самым формируя корректирую-

щие воздействия для обеспечения безаварийного движения МНС.

Программное обеспечение берегового поста управления выполнено таким образом, чтобы предоставить оператору всю необходимую информацию о состоянии МНС и его систем с учетом минимизации когнитивной нагрузки.

Работоспособность комплекса была апробирована в ходе выполнения ряда исследований, проведенных совместно с предприятиями группы компаний NAECO, получившими данный комплекс (рис. 11). К основным задачам, ставившимся перед МРТК «Лощман», можно отнести:

- автономное движение по заданным точкам;
- режим автономного сброса полезной нагрузки (научно-исследовательского буя производства NAECO) в заданной точке;
- режим сброса и ретрансляции команд управления ТНПА (производства СПбГМТУ) для обеспечения удаленного подводного осмотра.

Серия натурных испытаний и опытная эксплуатация были проведены в период с марта по ноябрь 2025 г. в акваториях реки Вуоксы (пос. Лосево), Верхнего Суздальского озера, Ладожского озера (залив Найсмери) и Черного моря.

В процессе движения по заданным точкам были исследованы различные формы маршрута и маневренные характеристики МНС «Лощман» (рис. 12). В частности, рассматривался процесс преодоления МНС «Лощман» области с повышенным течением и волнением (район впадения реки Вуоксы в Суходольское озеро) и повторяемости маршрута при циклическом движении по заданным точкам.

Во время комплексных совместных испытаний АО «НПП ПТ «Океанос», NAECO и СПбГМТУ на Верхнем Суздальском озере на первом этапе рассматривалась задача автоматической постановки научно-исследовательского буя в заданных координатах в процессе автономного движения МНС «Лощман». Вес научно-исследовательского буя — около 80 кг. Процесс сброса представлен на рисунке 13.



Рис. 11. МНС «Лощман» с установленным научно-исследовательским буем и программное обеспечение контроля и управления

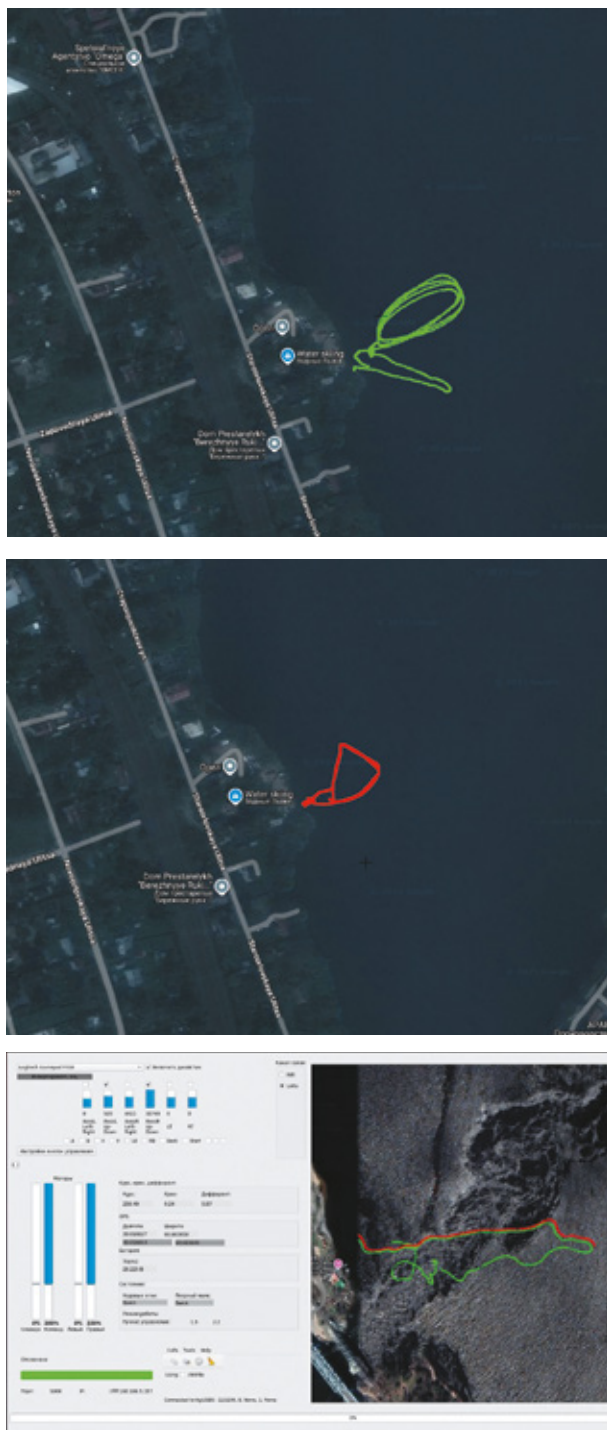


Рис. 12. Выполнение циклических маршрутов движения МНС «Лоцман» (в том числе преодоление области с повышенным течением)

Вторым этапом рассматривалась возможность использования МНС «Лоцман» как системы сброса и ретрансляции сигналов управления на мини-ТНПА, выполняющий осмотровые операции [15, 16]. В процессе работы на пункт управления оператора поступал видеопоток данных, передаваемых от МНС.

Таким образом, была продемонстрирована ключевая идея использования МНС как мобильной платформы-носителя (рис. 14). В случае обнаружения объекта интереса в процессе батиметрической съемки МНС может перейти в режим DP (удержания точки) и осуществить автоматический сброс ТНПА для выполнения детального обследования придонного объекта или аномалии, выявленной в режиме реального времени по данным многолучевого эхолота или гидролокатора бокового обзора.

В контексте геологоразведочных работ связка открывает возможность двухуровневого обследования: катамаран обеспечивает площадную съемку рельефа и акустическое профилирование, а ТНПА под управлением через МНС производит визуальную инспекцию геологических объектов — выходов коренных пород, уступов, газовых сипов, конкреций или техногенных объектов на дне. При этом МНС с использованием данных ГНСС и гидроакустической навигации решает критическую задачу навигационной привязки ТНПА в условиях отсутствия ГНСС-сигнала под водой: зная точное положение самого маяка, система вычисляет координаты ТНПА. Видеоданные и данные бортовых датчиков ТНПА поступают на пункт управления оператора в режиме реального времени и могут быть немедленно совмещены с батиметрической подложкой.

Дальнейшие работы в развитии МНС «Лоцман» в части совершенствования архитектуры системы автономного управления предполагают углубленную интеграцию методов машинного обучения в контур ситуационной осведомленности аппарата, включая разработку адаптивных алгоритмов планирования траектории в динамически изменяющейся навигационной обстановке (в том числе гидрометеорологической), расширение классификационной базы модуля технического зрения применительно к типовым препятствиям прибрежных и мелководных акваторий, а также реализацию многоагентных сценариев координированного управления группировкой МРТК при проведении площадных съемочных работ.

Выводы

Представленные результаты испытаний и практической апробации МНС «Лоцман» в ходе совместных с НАЕО исследований подтверждают работоспособность и высокий прикладной потенциал созданного комплекса. Успешное выполнение всех поставленных задач — автономного движения по маршруту, сброса полезной нагрузки в заданных точках и ретрансляции команд управления мини-ТНПА с обеспечением видеопотока на береговой пункт



Рис. 13. Процесс сброса научно-исследовательского буя производства NAECO



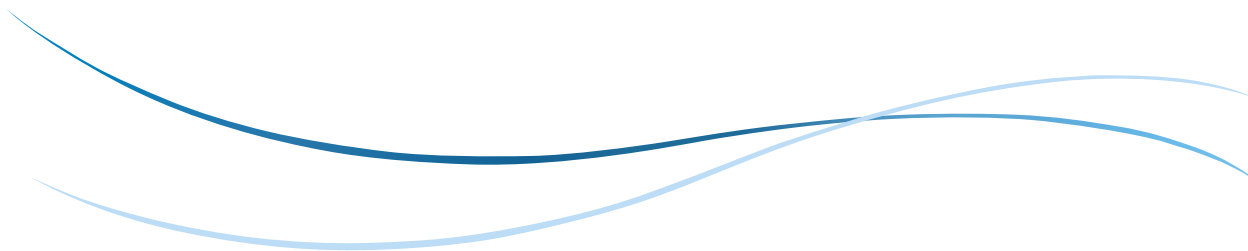
Рис. 14. МНС «Лощман» при выполнении сброса и ретрансляции управления и телеметрии с мини-ТНПА на пункт управления оператора

управления — демонстрирует готовность МНС «Лощман» к применению в реальных условиях проведения морских научно-исследовательских и геофизических работ. Реализованная связка «надводный носитель — подводный аппарат» открывает качественно новые возможности для организации комплексных обследований акваторий, объединяя площадную гидрографическую съемку и детальную донную инспекцию в единый технологический цикл.

Принципиально важным результатом проекта являются разработка и внедрение оригинальных программно-алгоритмических решений АО «НПП ПТ «Океанос», модуля технического зрения с интегрированным ИИ-ассистентом [17], а также эргономичного программного обеспечения берегового поста управления, ориентированного на минимизацию когнитивной нагрузки оператора. Совокупность этих решений обеспечивает МНС «Лощман», который гарантирует уровень автономности и ситуационной осведомленности,

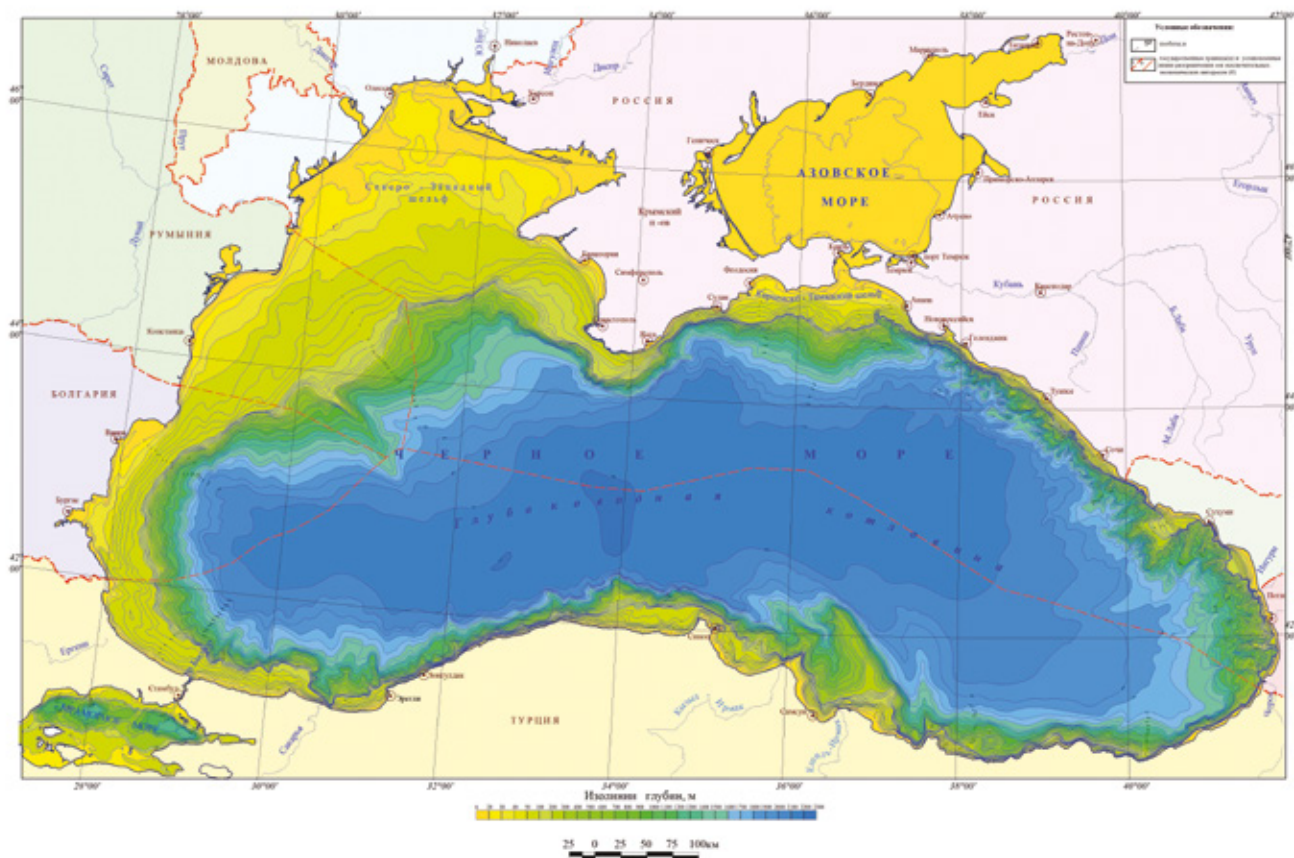
соответствующий современным требованиям к необитаемым морским робототехническим комплексам.

Модульная сборно-разборная конструкция, отсутствие необходимости государственной регистрации, высокая грузоподъемность и дальность управления, опциональный метод формирования комплекта оборудования систем МНС в совокупности формируют конкурентный облик МНС «Лощман» как универсальной мобильной робототехнической платформы для решения широкого круга задач — от гидрохимического мониторинга и батиметрической съемки до поиска и идентификации объектов на грунте. Дальнейшее развитие комплекса, включая расширение сценариев взаимодействия с подводными аппаратами и программно-алгоритмического обеспечения, позволит существенно расширить области его применения в интересах научных организаций, гидрографических служб и иных коммерческих заказчиков. ■



ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.saildrone.com/platform/explorer>.
2. <https://www.ndbc.noaa.gov/news/2023-09-saildrone.shtml>.
3. Большая российская энциклопедия [в 35 т.] / гл. ред. Ю.С. Осипов. — М., 2017. Т. 35. С. 570. ISBN 978-5-85270-373-6.
4. <https://www.noaa.gov/news-release/world-first-ocean-drone-captures-video-from-inside-hurricane>.
5. <https://www.seafloorsystems.com/tridrone>.
6. <https://www.seafloorsystems.com/trident>.
7. <https://nautikaris.com/wp-content/uploads/2024/12/ME120-OceanAlpha.pdf>.
8. <https://bluerobotics.com/store/boat/blueboat/blueboat>.
9. T.M.C. Sears, M.R. Cooper, S. Button, and J.A. Marshall. OtterROS: Picking and programming an uncrewed surface vessel for experimental field robotics research with ROS 2 // Proceedings of the Workshop on Field Robotics at the 2024 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) on April 4, 2024 [arXiv:2404.05627].
10. Приказ Минтруда России от 04.12.2020 № 858н «Об утверждении Правил по охране труда при добыче (вылове), переработке водных биоресурсов и производстве отдельных видов продукции из водных биоресурсов».
11. <https://fort21.ru/kompleksy/teleupravlyaemyj-mobilnyj-gidrograficheskij-kompleks-tmgk>.
12. <https://sudostroenie.info/novosti/45965.html>.
13. Маевский А.М., Кожемякин И.В. Применение систем искусственного интеллекта в морской робототехнике: существующие разработки в мире и возможности развития в РФ // Морские информационно-управляющие системы. № 1 (19), 2021. С. 39–49.
14. Маевский А.М., Занин В.Ю. Развитие отечественных подходов к созданию искусственного интеллекта как базовых технологий бортовых систем управления морскими робототехническими комплексами резидентного типа // Морские информационно-управляющие системы. № 1 (25), 2024. С. 48–59.
15. Маевский А.М., Печайко И.А., Турсенев С.А. Применение морских робототехнических комплексов для мониторинга и анализа потенциально опасных подводных объектов // Проблемы управления рисками в техносфере. № 2 (58), 2021. С. 32–39.
16. Занин В.Ю., Маевский А.М. и др. Разработка элементов подводных робототехнических резидентных систем на примере отечественного автономного необитаемого подводного аппарата интервенционного класса и сопутствующих технологий // Сб. работ лауреатов Международного конкурса научных, научно-технических и инновационных разработок, направленных на развитие и освоение Арктики и континентального шельфа. — М.: Министерство энергетики РФ, ООО «Технодевелоп», 2019. С. 13–22.
17. Маевский А.М., Занин В.Ю., Печайко И.А., Алексеев М.А., Буров Н.М. Прикладное применение систем искусственного интеллекта в подводной робототехнике при проведении подводно-технических работ // «Морская наука и техника», спецвыпуск № 19, 2025. С. 42–54.



ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ МОРСКОГО ДНА И ОПЕРАТИВНАЯ ОКЕАНОГРАФИЯ НА ПРИМЕРЕ АКВАТОРИЙ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАСЕЙНА

Рост интенсивности освоения Мирового океана, в том числе морского дна, а также современные геополитические вызовы требуют развития морской деятельности и морского потенциала Российской Федерации. Цели и задачи такого развития закреплены в Стратегии развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 г. (распоряжение Правительства Российской Федерации от 30.08.2019 г. № 1930-р) и в положениях новой редакции Морской доктрины Российской Федерации, утвержденной Президентом Российской Федерации 31.07.2022 г.

Акватории Азовского и Черного морей, прилегающие к побережью РФ, названы среди важных районов обеспечения национальных интересов Российской Федерации. Геолого-географическое положение этих морей, особенности геологии их дна находятся в сфере научно-практической деятельности, в рамках которой, опираясь на документы более чем двухвековой истории научных исследований, ведется наблюдение и изучение взаимодействия геологической и гидрологической сред акватории, накопление и использование их результатов в интересах навигации, безопасности мореплавания и развития морских и приморских инфраструктурных объектов гражданского и военного назначения.



ГНЦ АО «Южморгеология»
Геленджик

Б.В. Сенин, Е.А. Глазырин, А.А. Шейков, Б.Н. Алёшин, Т.И. Лыгина

Азовское и Черное моря находятся в зоне контакта древней, относительно стабильной области Евразийского материка (Восточно-Европейской платформы) и Альпийско-Гималайского пояса активных горообразовательных процессов, частью которого являются расположенные на берегах горные системы турецкого Понта, Кавказа и Крыма.



Характерными чертами пояса являются высокая сейсмичность и сопровождающие ее выраженные в рельефе и структуре земной коры сейсмодислокации и прочие многочисленные и разнообразные явления современной геодинамики, наблюдаемые на дне акваторий Азово-Черноморского бассейна.

Необходимость их изучения в рамках идеологии оперативной океанографии определяется важным значением для обеспечения практических задач морской деятельности [1, 2]. Это следует из понимания гидросферы как открытой природной системы, взаимодействующей со всеми контактирующими с ней природными системами — литосферой, биосферой, а также техносферой (рис. 1). Эти взаимодействия образуют полный комплекс факторов, в той или иной мере влияющих на гидрофизические и гидрохимические свойства и поля морской среды при безусловно лидирующем гидрометеорологическом факторе. Их интегрирование и ассимиляция в решении указанных

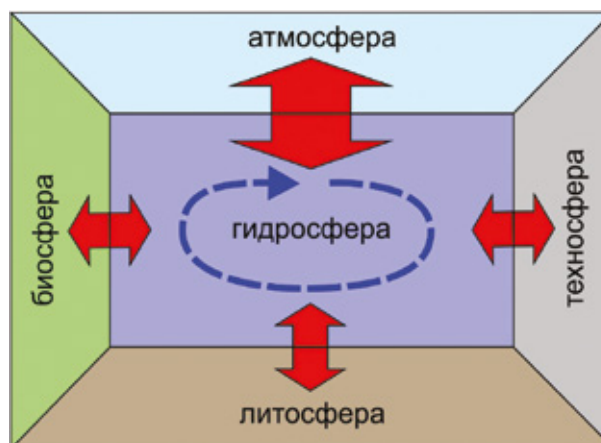


Рис. 1. Концептуальная схема воздействия на гидрофизические и гидрохимические свойства и поля морской среды

задач отвечает принципам комплексного и междисциплинарного подхода для достижения поставленной цели оперативной океанографии.

ГНЦ АО «Южморгеология» в изучении геологических процессов морского дна

Изучение геологии, геодинамики и минерально-сырьевого потенциала Азово-Черноморского бассейна в течение многих лет осуществляет ГНЦ АО «Южморгеология».

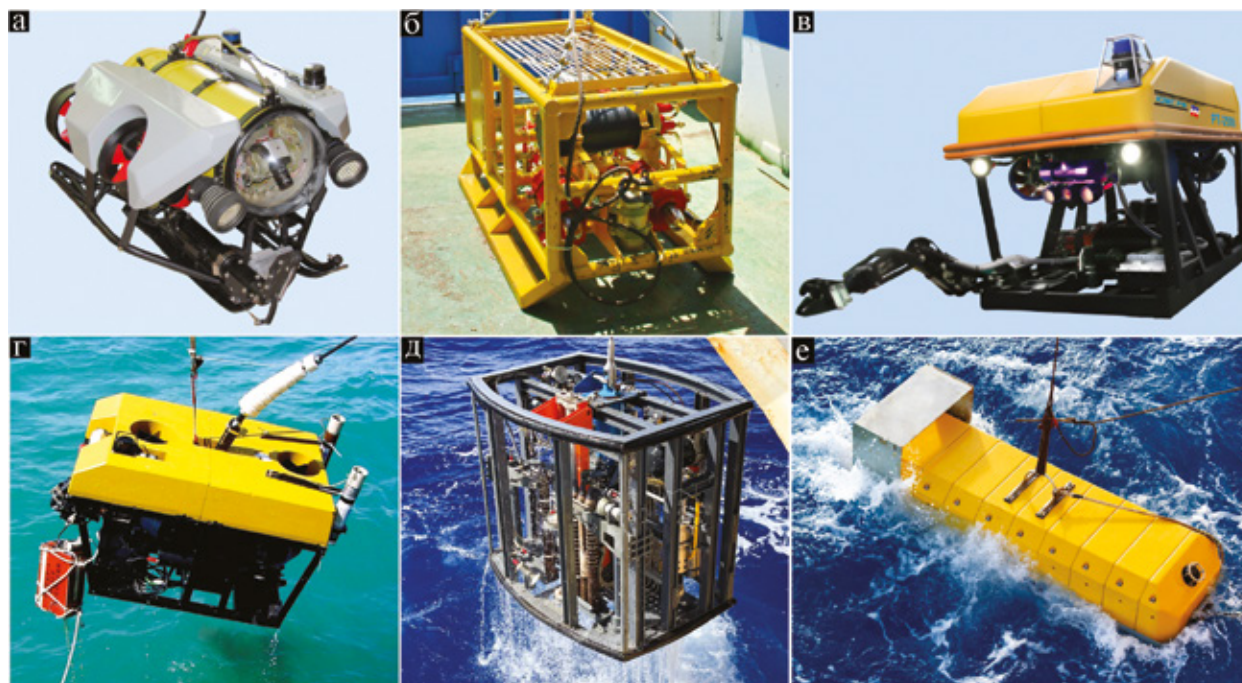


Рис. 2. Технические средства подводных исследований производства ГНЦ АО «Южморгеология» — подводные фототелевизионные аппараты: а) ТПА RTM-500; б) «Нептун-2», в) ТПА RT-2500; г) ТПА RT-1000 с поднятым «черным ящиком»; д) глубоководная буровая установка; е) гидроакустический комплекс «МАК-Рельеф»



Рис. 3. Научно-исследовательское судно «Аквамарин»

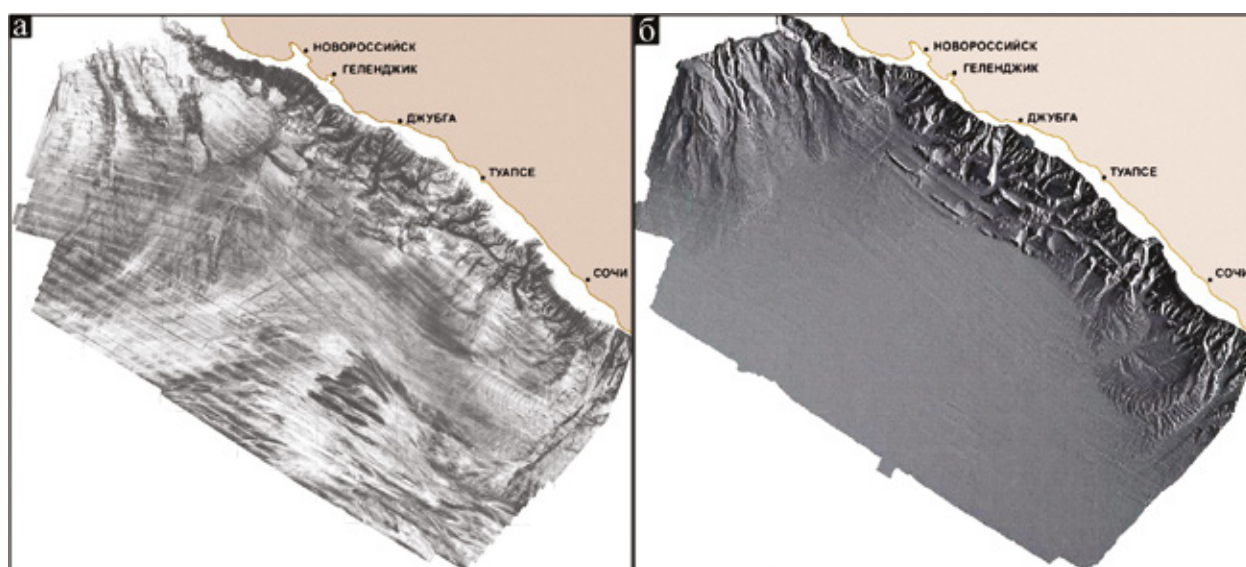


Рис. 4. Изображение морского дна прикавказского сектора Черного моря: а) акустическое изображение; б) светотеневая модель рельефа морского дна

Акционерное общество «Южморгеология» является многопрофильным морским геологоразведочным предприятием с более чем 65-летним опытом проведения работ и исследований в российских и зарубежных акваториях и входит в перечень 45 государственных научных центров Российской Федерации. К ключевым направлениям его деятельности относятся поиски и разведка рудных месторождений в глубоководных районах Мирового океана и углеводородного сырья в шельфовых и транзитных зонах морей РФ и зарубежных государств, геологическая съемка морского дна, геоэкологические исследования

и мониторинг природной среды в акваториях юга России, инженерно-геологические исследования в районах развития морских и прибрежных инфраструктурных проектов, а также добычи углеводородного сырья.

Геологические задачи по указанным направлениям решают экспедиции общества: по работам в океане, грави- и магнитометрии, сейсморазведочная и комплексных геологических работ. Центральная аналитическая лаборатория, имеющая государственную аккредитацию, изучает образцы и пробы, полученные экспедициями в период морских работ и от сторонних

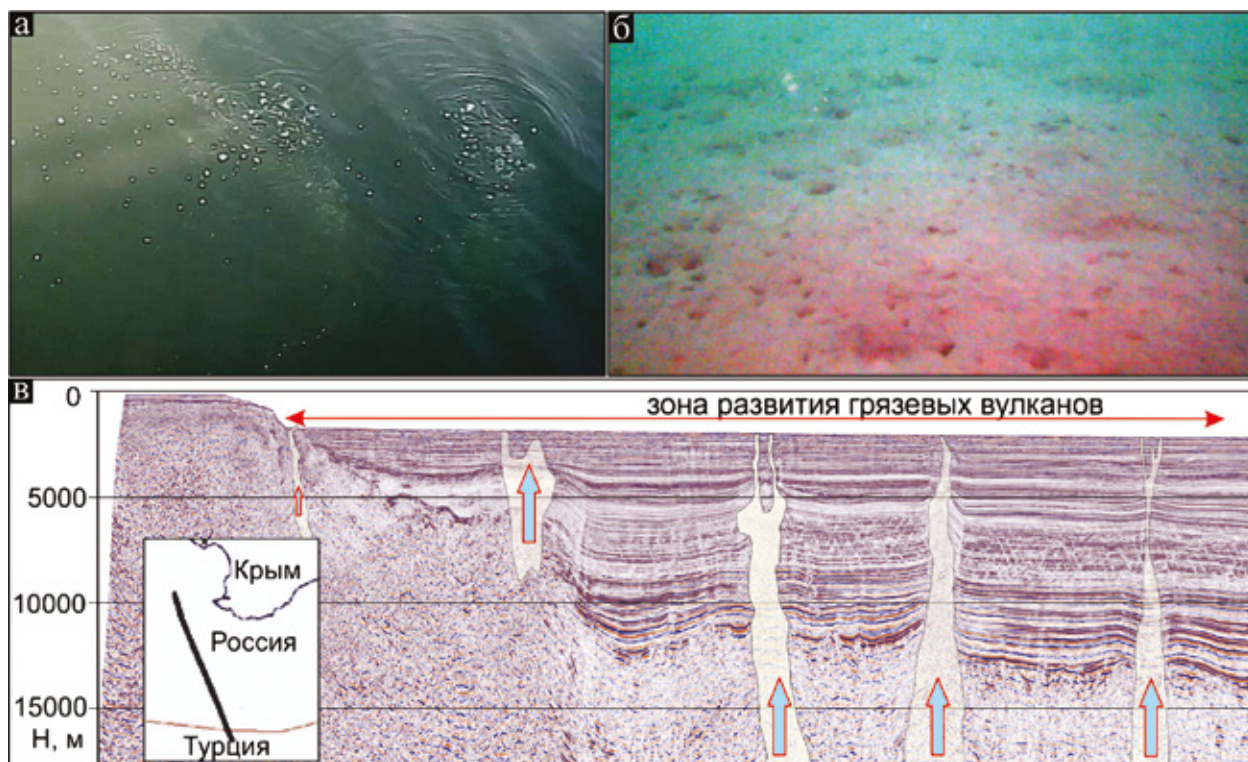


Рис. 5. Газофлюидная разгрузка: а) струйные выделения метана над подводным грязевым вулканом Темрюкский, Азовское море; б) воронки дегазации биогенного метана в грунте на шельфе Черного моря (ширина кадра — 3 м); в) сейсмический разрез с каналами газофлюидной миграции к дну моря и его региональное положение (с изменениями из [5])

заказчиков. Техничко-технологическое обеспечение, включая разработку и создание технических средств, в том числе телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (рис. 2), осуществляет научно-производственный центр, а транспортное — собственные научно-исследовательские суда различного класса (рис. 3).

Геологосъемочные работы в акваториях, проводимые предприятием с начала 70-х гг. XX века, выполняются в соответствии с федеральными программами «Госгеолкарта-200/2» и «Госгеолкарта-1000/3». На данный момент в акваториях Азовского и Черного морей завершено картирование масштаба 1:1 000 000 исключительной экономической зоны РФ. Картированием масштаба 1:200 000 охвачено около 50% площади исключительной экономической зоны РФ Черного моря и 70% Азовского моря с учетом новых территорий. Получены новые и оригинальные сведения о геологическом строении и развитии дна морей.

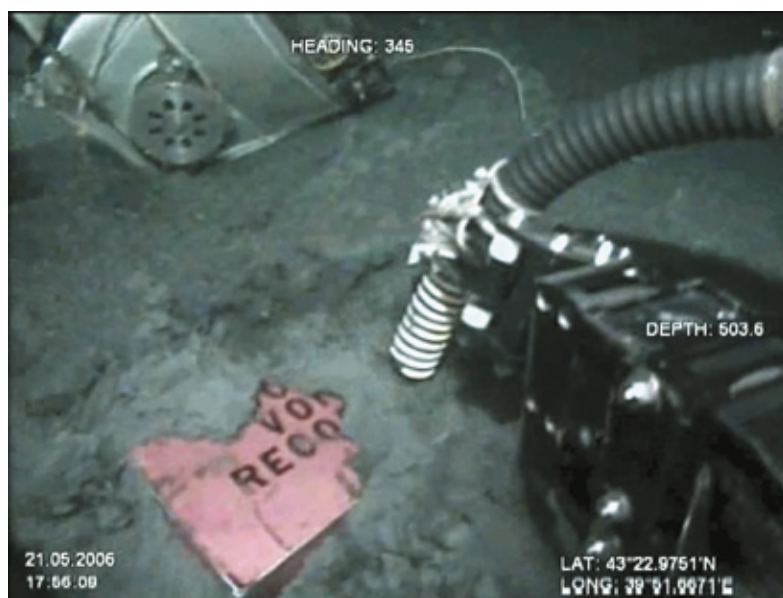


Рис. 6. Поиск и подъем с помощью ТНПА RT-1000 (рис. 2) «черных ящиков» аэробуса А-320, потерпевшего катастрофу в мае 2006 г. на траверзе г. Адлера

**Современные геологические явления и процессы в зоне взаимодействия литосферы
и гидросферы акваторий Азово-Черноморского бассейна ¹**

Явления и процессы на дне акваторий	Районы проявления и краткая характеристика
Природные высачивания нефти из недр	Не менее пяти участков в Прикавказской и Восточно-Припонтийской частях Черного моря
Подводный грязевой вулканизм	Не менее 70 грязевых вулканов преимущественно в восточной части Черного моря и на юге Азовского моря
Метановая дегазация недр	Многие тысячи газовых «факелов» – поступлений метана в водную толщу – в северных и северо-восточных районах Черного моря, иногда с эффектом «кипения» воды при выходе на ее поверхность Катастрофические выбросы и взрывы метана (в ряде случаев сопровождаемые самовоспламенением), связанные с землетрясениями или извержением грязевых вулканов в районах бассейна, примыкающих к геодинамически активным побережьям (Крым, Кавказ) Возможные причины гибели в 2001–2003 гг. судов «Память Меркурия» и «Амир-1» к югу от полуострова Крым, в районе развития более чем 30 подводных грязевых вулканов
Изменение топографии дна и береговой зоны в результате гравитационного и сейсмогенного рельефо- и структурообразования	Образование обвально-оползневых форм в рельефе дна, в том числе имеющих катастрофический характер и возникших в результате землетрясений и абразионных процессов на материковом склоне и террасовых уступах шельфа и береговой зоны
Изменения топографии дна и береговой зоны вследствие морфолитодинамических процессов	Образование потоковых и аккумулятивных форм, в том числе связанных с залповыми выносами отложений приморской гидросети в период паводков, продвижение подводных каньонов и формирование ложбин стока.

Большое значение для изучения донной структуры и рельефа глубоководной области Черного моря имела выполненная предприятием в 1996–1998 гг. съемка с использованием многолучевого эхолота (рис. 4), которая позволила визуализировать гигантские оползни на материковом склоне, выявить новые подводные каньоны, особенности распределения донных грунтов.



Основу государственного мониторинга состояния недр Азовского и Черного морей Российской Федерации заложили исследования ГНЦ АО «Южморгеология», начатые более 30 лет назад [3].

Его объектами являются подводный грязевой вулканизм и газофлюидная (метановая) разгрузка (рис. 5), литодинамические процессы (продвижение каньонов, подводные гравитационные процессы, миграция литодинамических форм и пр.), загазованность донных отложений, береговые абразионно-гравитационные процессы (оползни, обвалы) и прочие проявления современной геодинамики [4].

Комплекс морских инженерных изысканий ГНЦ АО «Южморгеология» (геологических, экологических, геодезических, гидрометеорологических, специальных) включает работы под портовое строительство, прокладку подводных трубопроводов и кабелей связи, постановку морских нефтегазовых платформ, дампинг (сброс) грунта и пр. На регулярной основе предприятие оказывает сервисные услуги по объектовому мониторингу состояния морской природной среды (вода, грунт, бентос, планктон, абразионно-эрозионные процессы) и выполнению осмотровых подводных работ инфраструктурных объектов. Его специалисты и оборудование привлекаются для специальных подводно-технических работ в районах катастроф (рис. 6), для ликвидации последствий разлива нефтепродуктов при авариях танкеров.

Геологические процессы дна Азовского и Черного морей и оперативная океанография

Совокупность процессов и явлений на морском дне, определяющих условия взаимодействия литосферы и гидросферы (рис. 1) и, соответственно, роль литосферного фактора в изменении водной среды, представлена в таблице. Краткая характеристика некоторых из них приводится ниже.

¹ По материалам Е.Ф. Шнюкова [6], данным исследований ГНЦ АО «Южморгеология» [4, 7–9], ЮО ИО РАН и региональных обобщений [5, 10–12] и др.

Газовая разгрузка широко развита на морском дне в виде как локальной струйной, так и площадной диффузной с воздействием на столб воды в десятки и сотни метров от морского дна. Характер ее прерывистый, мигрирующий в зависимости от раскрытия/закупорки тех или иных каналов разгрузки. Среди газовой разгрузки выделяют метановую дегазацию взрывного и эмиссионного характера подводного грязевого вулканизма (рис. 5а), метановый сипинг, диагенетическую дегазацию донных грунтов (рис. 5б), залповые газовыделения в результате оползневых срывов по загазованным грунтам, бурное газовыделение при разложении газогидратов. Пузырьковые потоки газа создают гидроакустические аномалии в толще воды, а также генерируют акустические сигналы. Диаметр газовых шлейфов — к примеру, Двуреченского грязевого вулкана (Черное море) — достигает 400 м, а высота над уровнем морского дна составляет до 850 м и даже 1300 м [13, 14]. Струйные газовыделения метана широко развиты на дне Черного моря [11]. Подводная газовая разгрузка может иметь катастрофический характер и привести, например, к потере плавучести и гибели находящегося вблизи судна [6].

Одним из проявлений газовой разгрузки может служить образование характерных форм рельефа на морском дне — покмарков.

Подводный грязевой вулканизм широко развит на дне Азовского и Черного морей и как активный и динамичный геологический процесс оказывает заметное влияние на морскую среду, особенно в периоды извержений [4]. Извержения подводных вулканов, как выше уже сказано, нередко носят катастрофический характер, представляя опасность

для судоходства, морской и береговой инфраструктуры. Извержения подводных грязевых вулканов создают обширные поля мутности, газовые выбросы, продуцируют сейсмособытия, активно преобразуют подводный рельеф как в виде тектонических деформаций (от положительных на подготовительной и активной стадии до отрицательных — на заключительной), так и аккумулятивных форм (грязевулканические постройки — сопки, сальзы, грифоны) вплоть до образования подводных препятствий и временных островов (рис. 7). Амплитуда тектонических смещений достигает нескольких метров, а длина — десятков и сотен метров. При крупном извержении вулканов на морское дно поставляются обычно сотни тысяч кубометров грязевой брекчии. Мощные извержения также способны разрушать конусы грязевой брекчии и содействовать гравитационным перемещениям крупных стратифицированных блоков объемом до ~50 тыс. м³ от кратера на расстояние более 1 км.

Активные грязевые вулканы поставляют в морскую среду различные химические компоненты, вплоть до очень сильного загрязнения, в том числе нефть, фенолы, тяжелые металлы, полиароматические углеводороды, ртуть [4].

Гравитационное перемещение донного материала оказывает воздействие на придонный слой морской воды в виде создания полей мутности, течений, изменяют рельеф дна. К таким гравитационным перемещениям в первую очередь относятся подводные оползни и возникающие в результате их трансформации массовые гравитационные перемещения осадочного материала — грязевые, суспензионные и мутьевые потоки, а также отколы и обвалы. Они имеют широкое распространение в Черном море — от шельфа до котловины включительно [9, 10]. Это вызвано значительной расчленен-

ностью морского дна (рис. 4) и присутствием максимального числа факторов их возникновения. Донные грунты из-за своей обводненности и малой физико-механической прочности способны к оползанию и гравитационному перемещению уже на склонах в 1° и даже менее. В связи с этим гравитационные перемещения осадочного материала имеют широкое развитие на морском дне, особенно в районах с преобладанием глинистых грунтов, а также в подводных каньонах. Генерируемые оползневые процессы мутьевые потоки могут распространяться по морскому дну на сотни километров по очень пологим склонам (обычно <0,1°) за видимую границу отложения



Рис. 7. Извержение подводного грязевого вулкана Голубицкий с образованием острова в 2015 г., Азовское море (источник: <https://r4.mt.ru/r13/photoFE89/20769612610-0/jpg/bp.jpeg>)

обломков и без видимой связи с оползнем. Способность к перемещению подводных оползневых масс на большое расстояние и на склонах даже с наклоном $<1^\circ$ связывается с эффектом аквапланирования [15], когда тонкий слой воды поддерживает скользящую массу грунта над дном, а также со взвешивающим влиянием воды.

Гравитационные перемещения осадочного материала входят в число основных активных рельефообразующих процессов на морском дне — как деструктивных, так и аккумулятивных.

Гравитационное перемещение донного материала может воздействовать и на весь столб морской воды путем провоцирования газовых выбросов и генерирования цунами. Локализованные выбросы большого количества метана связаны со сходом оползней с зеркалом скольжения по загазованным грунтам. Так, по данным опробования при фоновом содержании метана и его гомологов в донных грунтах Черного моря в объеме $535,2 \times 10^{-3} \text{ см}^3/\text{кг}$, их аномальное содержание достигает значений, превышающих $100\,000 \times 10^{-3} \text{ см}^3/\text{кг}$. Максимальные зафиксированные содержания достигают практически $500\,000 \times 10^{-3} \text{ см}^3/\text{кг}$.

При сходе оползней в зоне развития газогидратов также могут происходить выбросы метана из-за разложения газогидратов.

Движение гигантских оползневых масс в настоящее время рассматривается как распространенный механизм образования цунами [16]. Проявления цунами оползневого типа зафиксированы в Черном море и описаны в ряде публикаций.

Изменения рельефа дна в основном слишком медленны, чтобы приводить к заметным сдвигам гидрофизических полей и гидродинамики морской среды. Тем не менее государственным мониторингом состояния недр зафиксированы изменения рельефа с вертикальной скоростью в несколько метров в сутки. Примером служат эндогеодинамическое поднятие морского дна у мыса Каменный в Азовском море со скоростью не менее 6 м/сутки, формирование построек и кальдерных провалов при извержении подводных вулканов, оползневые формы рельефа, возвратно-поступательное продвижение головных частей подводных каньонов со средне-

годовыми скоростями на отдельных участках от +11,3 до -4,2 м/год, сгруживание аллювиального материала при паводковом выносе рек (рис. 8), дампинг грунта от дноуглублений.



Изучение рассмотренных выше и иных геологических процессов, происходящих на уровне дна акваторий Азово-Черноморского бассейна, указывает на необходимость учета литосферного (геологического) фактора при создании национальной системы оперативной океанографии.

С целью формирования базы для оценки его влияния на текущие навигационные условия и учета при анализе и интерпретации океанографических данных представляется целесообразной разработка предварительной (рабочей) комплексной модели донного рельефа, донных отложений и донных процессов, потенциально влияющих на динамику и свойства водной среды, а в дальнейшем — проведение специализированных исследований донных геологических процессов, влияющих на ее гидрологические свойства.

Выводы

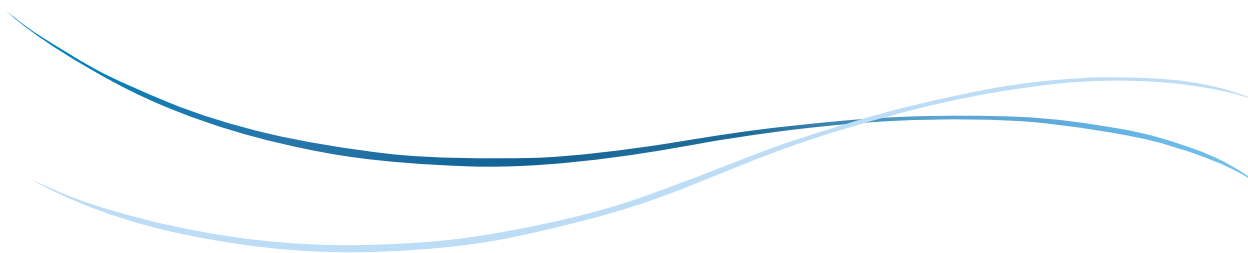
Многолетний опыт и результаты исследований ГНЦ АО «Южморгеология» и других предприятий и организаций показали, что для акватории Азово-Черноморского бассейна характерны донные геологические процессы, имеющие определенное влияние на гидрофизические и гидрохимические свойства и поля морской среды, навигационную обстановку, безопасность мореплавания и обеспечение скрытности подводных объектов. К числу таких процессов относятся газовые разгрузки (дегазация недр), грязевой вулканизм, гравитационные перемещения донного материала, изменения рельефа дна.

Согласно выполненному авторами при подготовке статьи анализу многочисленных публикаций, подобные процессы свойственны и другим районам Мирового океана, в большей степени тем, для которых, как и для рассмотренного бассейна, характерен относительно повышенный уровень современной геодинамической активности. В соответствии с принципами комплексного и междисциплинарного подхода это определяет необходимость учета геологического фактора при создании национальной системы оперативной океанографии для повышения качества и эффективности принимаемых в ее контуре решений. ■

Авторы выражают благодарность специалистам ГНЦ АО «Южморгеология» М.И. Леончику и В.П. Наполинскому за помощь и содействие в подборе и подготовке иллюстративного материала к статье.



Рис. 8. Формирование островов на траверзе устья р. Мацесты в результате выноса аллювиального материала в паводок 16.06.2023



ЛИТЕРАТУРА

1. Коваленко В.В., Мاستрюков С.И., Телегин В.А. Концептуальные представления и ключевые проблемы создания систем оперативной океанографии // Морские информационно-управляющие системы. 2020, № 1 (17). С. 22–39.
2. Легкий Н.М., Михайлов В.М., Вильфанд Р.М., Нестеров Е.С., Коваленко В.В., Мастрюков С.И., Телегин В.А. Комплексная система гидрометеорологического обеспечения морской деятельности в виде системы оперативной океанографии // Морские информационно-управляющие системы. 2022, № 1 (21). С. 38–49.
3. Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения Прикавказской зоны Черного моря / Гл. ред. И.Ф. Глумов, М.В. Кочетков. – М.: Недра, 1996. 502 с.
4. Глазырин Е.А., Карпенко А.Н., Карпенко Г.Е., Лещенко Д.П., Марфин А.А., Прокопцев Г.Н., Сильченко А.Ю. Информационный бюллетень о состоянии недр прибрежно-шельфовых зон Азовского, Черного и Каспийского морей в 2023 г. – М.: Научная библиотека, 2024. 120 с. <https://doi.org/10.36871/978-5-907823-32-7>.
5. Глумов И.Ф., Гулев В.Л., Сенин Б.В., Карнаухов С.М. Региональная геология и перспективы нефтегазоносности Черноморской глубоководной впадины и прилегающих шельфовых зон / Под ред. Б.В. Сенина. В 2 частях. Часть 2. – М.: ООО «Издательский дом Недра», 2014. 181 с.
6. Шнюков Е.Ф., Маслаков Н.А. Потенциальная опасность грязевого вулканизма для судоходства // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2009, № 2. С. 81–91.
7. Глазырин Е.А., Мараев В.Л. Подводные каньоны Мзымты и Шахе: морфология, литодинамические процессы // Система Черного моря. – М.: Научный мир, 2018. С. 84–105. <https://doi.org/10.29006/978-5-91522-473-4.2018.84>.
8. Глазырин Е.А., Прокопцев Г.Н. Подводная метановая разгрузка над Темрюкским грязевулканическим полем (Азовское море) // Геология морей и океанов. Материалы XXV Международной научной конференции (школы) по морской геологии. 2023, т. IV. – М.: Геос, 2023. С. 177–181.
9. Глазырин Е.А. Подводные оползни как опасные геологические процессы (на примере Черного моря) // ГеоРиск. 2024, т. XVIII, № 4. С. 38–73. <https://doi.org/10.25296/1997-8669-2024-18-4-38-73>.
10. Евсюков Ю.Д. Распространение оползневых тел на материковом склоне северо-восточной части Черного моря // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2009, № 6. С. 100–104.
11. Егоров В.Н., Артемов Ю.Г., Гулин С.Б. Метановые сипы в Черном море: средообразующая и экологическая роль / Под ред. Г.Г. Поликарпова. – Севастополь: НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. 405 с.
12. Система Черного моря. – М.: Научный мир, 2018. 808 с. <https://doi.org/10.29006/978-5-91522-473-4.2018>.
13. Starostenko V.I., Rusakov O.M., Shnyukov E.F., Kobolev V.P., Kutas R.I. Methane in the northern Black Sea: characterization of its geomorphological and geological environments // Geological Society, London, Special Publications. 2010, vol. 340, No. 1. P. 57–75. <https://doi.org/10.1144/SP340.5>.
14. Greinert J., Artemov Y., Egorov V., De Batist M., McGinnis D. 1300-m-high rising bubbles from mud volcanoes at 2080 m in the Black Sea: hydroacoustic characteristics and temporal variability // Earth and Planetary Science Letters. 2006, vol. 244. P. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.02.011>.
15. Harbitz C.B., Parker G., Elverhoi A., Marr J.G., Mohrig D., Harff P.A. Hydroplaning of subaqueous debris flows and glide blocks: Analytical solutions and discussion // Geophysical Research. 2003. vol. 108, No. 7, 2349. P. 3–18. <https://doi.org/10.1029/2001JB001454>.
16. Tappin D.R. Tsunamis from submarine landslides // Geology Today. 2017, No. 33(5). P. 190–200. <https://doi.org/10.1111/gto.12200>.

Азимутальный буксир-автомат представляет собой специализированное автономное морское судно, предназначенное для выполнения буксировочных операций — швартовки, отшвартовки и эскортирования крупнотоннажных грузовых судов в пределах портовой акватории без участия экипажа на борту. В отличие от традиционных буксиров, управление АБА осуществляется дистанционно из центра дистанционного управления (ЦДУ) внешним капитаном, обладающим соответствующей квалификацией или автономной системой управления [1–3].

Крупнотоннажные суда (контейнеровозы, балкеры, танкеры водоизмещением 50 000–200 000 тонн) (рис. 1) обладают низкой маневренностью на малых ходах и требуют значительного пространства для выполнения кантовки. В условиях «узкого бассейна» маневрирование с применением классической технологии буксировки с использованием буксирных канатов становится более аварийным из-за малого пространства для проведения операции буксирами совместно с буксируемым судном. АБА решают эту проблему за счет применения технологии жесткой сцепки (вакуумной, магнитной или механической), исключающей необходимость буксирных канатов и позволяющей АБА располагаться непосредственно у борта эскортируемого судна на малом расстоянии. Это позволяет эксплуатировать причальные пространства терминалов, ранее считавшихся непригодными для приема крупнотоннажных судов (например, 24-й причал Новороссийского зернового терминала порта Новороссийск) [4–7].

Инфраструктурная экосистема СОАПШ

АБА не является автономным элементом, а представляет собой исполнительное звено сложной экосистемы обеспечения автономной проводки и швартовки (СОАПШ). Эффективная эксплуатация АБА невозможна без следующих компонентов инфраструктуры [8, 9]:

- ЦДУ;
- место базирования буксиров-автоматов (МБ);
- место временной стоянки буксиров-автоматов (МВС);
- пункт технического обслуживания буксиров-автоматов (ПТО);
- системы автоматизированной швартовки к причалам (САШ);
- система связи (СС);
- персонал.

Центр дистанционного управления представляет собой комплекс технических средств, обеспечивающих мониторинг и управление АБА в порту [10, 11].

Структура ЦДУ включает в себя:

1. *Центр администрирования.* Обеспечивает координацию и согласованное взаимодействие всех подразделений.

2. *Пост дистанционного управления (ПДУ)* (рис. 2). ПДУ обеспечивает контроль за соответствующими автономными судами (АБА). ПДУ обеспечивает:

- разработку оперативного плана операции сопровождения грузового судна;
- формирование маршрутов движения АБА;
- прием информации о текущей навигационной обстановке и параметрах технических средств АБА;
- отображение информации о текущей навигационной обстановке на электронной карте;
- дистанционное управление АБА.

3. *Пост дистанционного контроля (ПДК)* (рис. 3). Предназначен для мониторинга состояния оборудования: АБА, ЦДУ, МБ, МВС, САШ и СС [12].

Место базирования АБА (рис. 4) предназначено для обеспечения долговременного размещения, безопасной стоянки, зарядки и текущего обслуживания АБА. Объектами, инфраструктурой и эксплуатацией места базирования АБА должна быть обеспечена безопасность [13]:

- подхода и швартовки;
- стоянки;
- хранения.

Место базирования АБА включает в себя:

- причальные сооружения;
- берегозащитные и берегоукрепительные сооружения;
- оградительные сооружения;
- береговые служебно-вспомогательные здания, сооружения и устройства;
- инженерные сети, средства связи, охранные средства;
- внутрипортовые подъездные автомобильные дороги и стоянки;
- средства навигационного оборудования (СНО).

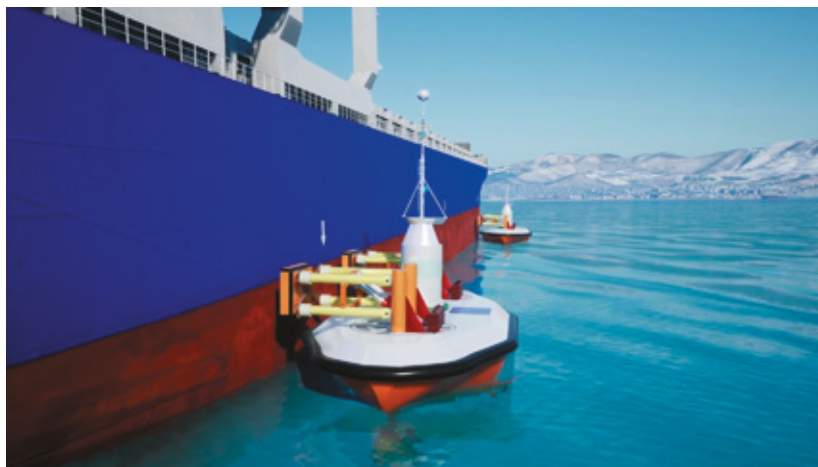


Рис. 1. Концепт реализации движения группы АБА совместно с грузовым судном



Рис. 2. Вариант реализации поста дистанционного управления (ФГБОУ ВО «ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова»). Испытания оборудования



Рис. 3. Вариант реализации поста дистанционного контроля (ФГБОУ ВО «ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова»). Испытания оборудования



Рис. 4. Концепт места базирования азимутальных буксиров-автоматов в районе 58 причала порта Новороссийск



Рис. 5. Опытный образец системы мониторинга швартовных операций

Место временной стоянки предназначено для временной стоянки и зарядки АБА в случаях, когда он не может осуществить переход к основному месту стоянки по причине [14]:

- поломки систем АБА;
- резкого ухудшения погодных условий;
- временной недоступности участка акватории или района порта;
- оптимизации перехода АБА с целью сокращения расхода АКБ;
- аварийного состояния основного места базирования.

Место временной стоянки может быть выбрано среди существующих гидротехнических сооружений порта при условии безопасного подхода и безопасной временной стоянки АБА.

САШ состоит из [15]:

- средств обеспечения подхода к причалу — системы мониторинга швартовных операций (СМШО);
- средств удержания у причала — берегового швартовного комплекса (БШК), оснащенного магнитными, механическими или вакуумными системами жесткой сцепки.

СМШО (рис. 5) представляет собой две опорные точки с лазерно-оптическими измерителями, которые производят измерения продольного и поперечного смещения корпуса судна относительно причальной линии, и интеллектуального блока для обработки полученных данных.

БШК (рис. 6) предназначен для обеспечения швартовки, перестановки, размещения и удержания морских судов у причальной линии. БШК обеспечивает удержание судна лагом у причальной линии без использования швартовных концов и участия человека [16].

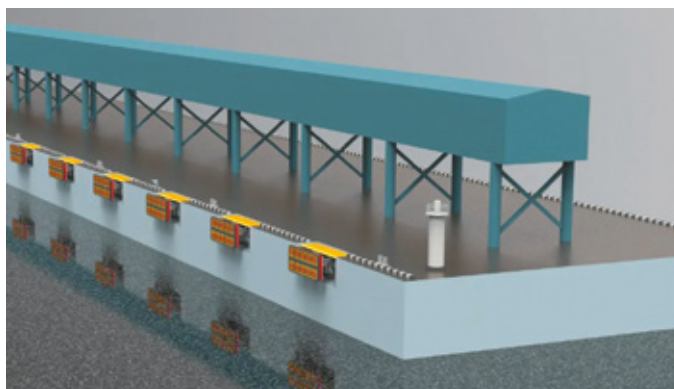


Рис. 6. Концепт реализации швартовного устройства на 23-м и 24-м причалах порта Новороссийск

Азимутальные буксиры-автоматы как ключевой элемент инфраструктуры современного порта

АБА (рис. 7) представляет собой специализированное автономное морское судно, предназначенное для выполнения буксировочных операций без участия экипажа на борту. Ключевыми конструктивными решениями, отличающими АБА от традиционных буксиров, являются [17, 18]:

- Симметричная архитектура корпуса.

АБА обладает идентичными оконечностями (носом и кормой), что позволяет ему одинаково эффективно работать в обоих направлениях движения без необходимости разворота. Данное решение критически важно для выполнения лаговых движений (бокового перемещения судна) и мгновенной смены тактической задачи. В условиях ограниченного пространства портовой акватории это сокращает время реакции на изменение ситуации по сравнению с традиционными буксирами.

- Две пропульсивные системы в диаметральной плоскости.

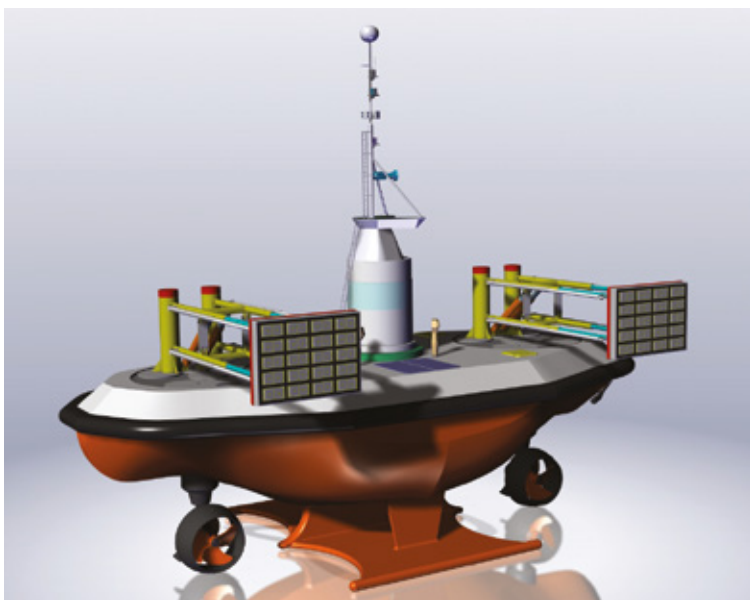


Рис. 7. Концептуальная реализация автономного буксира

Две винторулевые колонки (ВРК) расположены симметрично относительно мидель-шпангоута АБА. Такое расположение обеспечивает:

- симметричное распределение тяги, исключающее рыскание;
- возможность мгновенного изменения направления усилия без изменения курса судна.
- Килевая конструкция с горизонтальной и вертикальной составляющими.

Вертикальный киль компенсирует рыскание под воздействием ветра и волнения, горизонтальный киль (днищевой) обеспечивает поперечную устойчивость при лаговом движении и минимизирует крен под воздействием боковых усилий.

Условия и алгоритмизация процесса движения группы АБА с учетом данных инфраструктуры СОАПШ

Задача управления группой АБА при выполнении операций швартовки и отшвартовки крупнотоннажных судов представляет собой сложную многоагентную задачу оптимизации с жесткими ограничениями и является важным компонентом инфраструктуры по выполнению швартовочных операций группой АБА. В отличие от классических задач, где агенты действуют независимо, в портовой логистике группа АБА функционирует как единая экосистема, где действия каждого агента (АБА) строго координированы с действиями остальных участников ордера (группы) и динамическим состоянием буксируемого объекта. Однако прежде чем перейти к непосредственному описанию основных алгоритмических процедур движения, необходимо строго

определить фундаментальные ограничения, которые формируют допустимое пространство решений [19].

Задача обладает четырьмя фундаментальными ограничениями, каждое из которых требует отдельного математического описания и интеграции в логику работы алгоритма. Первым классом ограничений являются геометрические ограничения, которые определяют жесткие границы по расстоянию до судна. В портовой акватории пространство для маневра строго лимитировано причальными стенками, другими судами и навигационными знаками. Поэтому для каждого АБА существуют минимально допустимое расстояние $d_{\min}$, ниже которого возникает риск столкновения, и максимально допустимое расстояние $d_{\max}$, превышение которого делает невозможным эффективную передачу тягового усилия.

Вторым классом выступают тактические ограничения, ключевым из которых является условие четности состава группы $N_{\text{бук}} \in 2N$. Это требование продиктовано необходимостью баланса усилий по бортам судна для предотвращения возникновения неуравновешенного разворачивающего момента, который может привести к потере контроля над объектом буксировки.

Третьим классом являются энергетические ограничения, обусловленные ограниченным зарядом аккумуляторных батарей автономных буксиров.

Четвертым классом выступают фазовые ограничения, предполагающие смену режимов работы от минимального состава в два активных агента на этапе оттяжки до полного состава группы $N_{\text{бук}}$ на этапе совместного движения и швартовки.

Для обеспечения выполнения тактических ограничений и симметричного распределения тяговых усилий в рамках разработанной методологии введена иерархическая структура агентов. Данная структура реализуется через три ключевые роли, аналогичные социальной структуре стаи серых волков, что обусловило выбор базового алгоритма Grey Wolf Optimizer (GWO) [20]. Иерархия не является фиксированной заранее, а динамически назначается на этапе подготовки к операции на основе комплексной функции приоритета. Лидером группы выступает агент роли Альфа-буксира (α). Это единственный агент, определяющий целевую траекторию и финальную позицию для приближения к судну. Альфа обладает наивысшим приоритетом при распределении усилий и в реальной системе выбирается как АБА с наилучшим сочетанием остаточного заряда, максимальной мощности и оптимального текущего позиционирования. Следующим уровнем иерархии является роль Бета-буксира (-ов) (β), выступающая в качестве «заместителя» Альфы. Агенты этой роли

поддерживают действия лидера и совместно с Альфой обеспечивают основное усилие при швартовке, отшвартовке или удержании судна у причальной линии. Критически важным условием является то, что Бета располагается на том же борту, что и Альфа, что позволяет сконцентрировать тягу для основного маневра. Третий уровень иерархии представлен агентами роли Дельта-буксиров (δ). Это вспомогательные агенты, количество которых равно сумме количества агентов Бета и Альфа, что обеспечивает соблюдение условия четности. Дельты располагаются на противоположном борту от агентов Альфа и Бета и участвуют в коррекции смещения, предотвращая разворот судна вокруг вертикальной оси.

Динамическое назначение ролей формализуется через функцию приоритета назначения $P_{\text{назн}}$, которая является многопараметрической зависимостью. Математически это выражается следующим образом:

$$P_{\text{назн}} = f(E_{\text{ост}}, F_{\text{макс}}, X_{\text{тек}}, \theta_{\text{тек}}, b_{\text{прич}}),$$

где:

$P_{\text{назн}}$ представляет собой безразмерную величину приоритета назначения роли, вычисляемую для каждого доступного буксира;

$E_{\text{ост}}$ — остаточный заряд аккумулятора, измеряемый в процентах или киловатт-часах, что гарантирует энергетическую устойчивость операции;

$F_{\text{макс}}$ — максимальное усилие буксира-автомата, которое он может развить, измеряемое в килоньютонах, что определяет силовой потенциал агента;

$X_{\text{тек}}$ — текущая позиция буксира в глобальной системе координат, измеряемая в метрах, что влияет на время прибытия в зону операции;

$\theta_{\text{тек}}$ — направление движения буксира относительно оси судна, измеряемое в радианах или градусах, что учитывает инерционные затраты на разворот;

$b_{\text{прич}}$ — параметр бортового расположения, принимающий значение 0 для левого борта или 1 для правого борта причала, что обеспечивает тактическую корректность расстановки.

Условие четности состава группы является критическим для безопасности. Для обеспечения симметричного распределения тяговых усилий по бортам судна и предотвращения возникновения неуровновешенного разворачивающего момента операция швартовки или отшвартовки должна выполняться исключительно с четным числом автономных буксиров. Математически это требование формулируется следующим образом:

$$N_{\text{бук}} = \begin{cases} 2n, & n \in \mathbb{N}, n \geq 1, 0, \sum_{i=1}^{N_{\text{пот}}} I(E_i \geq E_{\text{мин}} \wedge F_i \geq F_{\text{трб}}) < 2. \end{cases}$$

В данном выражении $N_{\text{бук}}$ обозначает количество буксиров, допущенных к участию в операции, измеряемое в штуках. Переменная n является натуральным числом, определяющим парность состава. Суммирование ведет-

ся по $N_{\text{пот}}$ — общему количеству потенциально доступных АБА. Индикаторная функция $I(\cdot)$ принимает значение 1, если условие истинно, и 0 в противном случае. Условие внутри индикатора требует одновременного выполнения двух критериев: $E_i \geq E_{\text{мин}}$, где E_i — текущий уровень заряда аккумулятора i -го буксира, а $E_{\text{мин}}$ — минимально допустимый уровень заряда для выполнения полного цикла операции; и $F_i \geq F_{\text{трб}}$, где F_i — максимальное усилие i -го буксира, а $F_{\text{трб}}$ — требуемое суммарное усилие. Если количество квалифицированных буксиров меньше двух, операция не может быть начата, и $N_{\text{бук}}$ устанавливается в ноль. Выполнение данного ограничения гарантирует возможность симметричного смещения буксиров относительно продольной оси судна, что минимизирует риск перекоса, снижает динамические нагрузки на корпус и обеспечивает высокую точность позиционирования при подходе к причалу.

Переходя к расчету необходимых тяговых усилий, необходимо детально рассмотреть математическую модель внешних воздействий, так как именно они определяют нагрузку на группу АБА. Необходимое усилие для буксировки $F_{\text{трб}}$ рассчитывается как векторная сумма всех внешних сил, действующих на буксируемое судно. В скалярной форме для расчета требуемой мощности это выражается следующим уравнением:

$$F_{\text{трб}} = F_{\text{вет}} + F_{\text{вол}} + F_{\text{теч}} + F_{\text{ин}}.$$

Здесь $F_{\text{трб}}$ представляет собой требуемое суммарное усилие для буксировки, измеряемое в кН, где:

$F_{\text{вет}}$ — усилие от воздействия ветра;

$F_{\text{вол}}$ — усилие от воздействия волн;

$F_{\text{теч}}$ — гидродинамическая сила от воздействия течения;

$F_{\text{ин}}$ — инерционная сила, возникающая при изменении скорости движения системы.

Процесс швартовки, определяемый как прямая задача, требует последовательного выполнения ряда алгоритмических шагов, начиная от расчета состава группы и заканчивая финальным позиционированием у причала. Первым этапом является расчет необходимого количества АБА, который базируется на ранее выведенных формулах силовых воздействий. Минимальное количество буксиров $N_{\text{бук}}$ определяется через отношение общего требуемого усилия к суммарной доступной мощности группы с учетом коэффициента заряда. Если доступных АБА недостаточно для покрытия потребности с учетом коэффициента запаса, система либо запрашивает дополнительные ресурсы, либо отменяет операцию.

Математически минимальное количество БА определяется следующим выражением:

$$N_{\text{бук}} = \left\lceil \frac{F_{\text{итог}}}{\sum_{i=1}^{N_{\text{пот}}} F_{\text{макс},i} \cdot \frac{E_{\text{ост},i}}{E_{\text{полн}}}} \right\rceil.$$

где $E_{\text{ост}}$ — остаточный заряд аккумулятора буксира i , $E_{\text{полн}}$ — полный заряд аккумулятора буксира i .

Для обеспечения симметричного распределения тяговых усилий по бортам судна и предотвращения возникновения неуравновешенного разворачивающего момента операция швартовки или отшвартовки должна выполняться исключительно с четным числом автономных буксиров. Данное условие является необходимым для устойчивого и контролируемого маневрирования в условиях ограниченной акватории.

Математически это требование формулируется следующим образом. Пусть $N_{\text{бук}}$ — количество буксиров, привлекаемых к выполнению операции. Тогда должно выполняться условие:

$$N_{\text{бук}} \in 2, 4, 6, 8, \dots$$

Таким образом, множество допустимых значений $N_{\text{бук}}$ ограничено рядом четных натуральных чисел. Условие интегрируется в алгоритм на этапе формирования группы после предварительного отбора технически пригодных агентов по критериям энергетической и силовой готовности. В случае если после отбора общее количество АБА оказывается нечетным, система автоматически исключает один из них (с наименьшим запасом энергии или мощности) либо активирует резервный буксир, чтобы восстановить четность.

Выполнение данного ограничения гарантирует возможность симметричного размещения АБА относительно продольной оси судна, что минимизирует риск перекоса, снижает динамические нагрузки на корпус и обеспечивает высокую точность позиционирования при подходе к причалу.

Следующим критическим этапом является определение борта причала и целевых позиций буксиров. Перед началом движения каждому буксиру-автомату задается параметр $b_{\text{прич}}$, который указывает, каким бортом грузовое судно должно быть пристыковано к причалу. Этот параметр принимает значение:

$$b_{\text{прич}} \in 0, 1,$$

где 0 соответствует левому борту, а 1 — правому.

Далее осуществляется обновление позиций АБА согласно модели GWO. Коэффициенты $\vec{A}$ и $\vec{C}$ вычисляются как (это коэффициенты сходимости и случайности из классического алгоритма Grey Wolf Optimizer, которые управляют балансом между глобальным исследованием и локальной эксплуатацией):

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a}$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r}_2,$$

где:

$\vec{a}$ — коэффициент сходимости (линейно уменьшается от 2 до 0);

$\vec{r}_1, \vec{r}_2$ — случайные числа из интервала $[0, 1]$.

Расстояния до лидеров $(\vec{D}_\alpha, \vec{D}_\beta, \vec{D}_\delta)$ вычисляются как:

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_\alpha - \vec{X}|$$

$$\vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}|$$

$$\vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}|.$$

Новые позиции буксиров-автоматов $(\vec{X}_1, \vec{X}_2, \vec{X}_3)$ определяются как:

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot \vec{D}_\alpha$$

$$\vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot \vec{D}_\beta$$

$$\vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot \vec{D}_\delta.$$

Итоговая новая позиция буксира-автомата:

$$\vec{X}_{\text{нов}} = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3}.$$

В прямой задаче параметр препятствия должен быть учтен на этапе корректировки траекторий АБА. Если АБА оказывается слишком близко к препятствию ($d_{\text{преп}} < d_{\text{без}}$), его траектория корректируется:

$$\vec{X}_{\text{нов}} = \vec{X}_{\text{тек}} + k_{\text{преп}} \cdot \frac{\vec{X}_{\text{преп}} - \vec{X}_{\text{тек}}}{|\vec{X}_{\text{преп}} - \vec{X}_{\text{тек}}|} \cdot (d_{\text{без}} - d_{\text{преп}}),$$

где:

$k_{\text{преп}}$ — коэффициент отклонения;

$d_{\text{преп}} = |\vec{X}_{\text{преп}} - \vec{X}_{\text{тек}}|$ — расстояние между препятствием $X_{\text{преп}}$ и БА i .

В рамках итерационного процесса движения группы АБА реализуется гибридный механизм, сочетающий иерархическое обновление по GWO и генетический отбор, направленный на реорганизацию алгоритма с целью предотвращения преждевременной сходимости — быстрый и четкий поиск правильных решений при движении группы АБА во время выполнения буксировочной операции на всех ее этапах.

Перед жесткой сцепкой проверяются следующие условия:

- На этом этапе определяются роли буксиров-автоматов (Альфа, Бета, Дельта) и проверяется их способность выполнять задачу швартовки. Важно отметить следующие аспекты:
 - Альфа (α) и Бета (β) назначаются на один борт (противоположный тому, которым грузовое судно будет швартоваться к причалу);
 - Дельты (δ) занимают места на противоположном борту для обеспечения симметричности системы.
- Если заряд аккумулятора или мощность одного из АБА недостаточны для выполнения всего цикла работ, его роль может быть передана другому буксиру до начала жесткой сцепки.

После достижения целевых позиций вокруг грузового судна ($X_{суд}$) АБА стыкуются к нему. Распределение ролей зависит от того, каким бортом грузовое судно должно быть пришвартовано к причалу ($b_{прич}$), как было отмечено ранее.

Распределение ролей

Если

$$b_{прич}=1$$

(грузовое судно будет пришвартовано правым бортом):

- буксиры Альфа (α) и Бета (β) определяются на левый борт ($b=0$);
- буксиры Дельта (δ) определяются на правый борт ($b=1$).

Если

$$b_{прич}=0$$

(грузовое судно будет пристыковано левым бортом):

- буксиры Альфа — (α) и Бета — (β) определяются на правый борт ($b=1$);
- буксиры Дельта (δ) определяются на левый борт ($b=0$).

Проверка условий

Каждый АБА проверяется на соответствие следующим требованиям.

Оставшийся заряд аккумулятора должен быть достаточным для выполнения всего цикла работ:

$$E_{ост} \geq E_{мин} = E_{возврат} + E_{резерв},$$

где:

$$E_{мин} = E_{возврат} + E_{резерв}.$$

Развиваемое усилие должно соответствовать расчетным требованиям:

$$F_{макс} \geq F_{трб}.$$

Если какой-либо АБА не удовлетворяет этим условиям, его роль может быть передана другому до начала жесткой сцепки.

Таким образом, общее уравнение распределения АБА определяет количество автономных буксиров-автоматов $N_{бук}$, допущенных к участию в операции, как четное число, удовлетворяющее условию симметрии и технической пригодности.

Кроме того, жесткая сцепка требует не только физического соединения АБА с корпусом судна, но и предварительной точной ориентации каждого буксира-автомата относительно целевой зоны контакта. Для обеспечения максимально ровного лагового подхода и исключения перекоса при захвате система использует данные о расстоянии от борта грузового судна до носовой и кормовой части автономного буксира-автомата.

Пусть $d_{нос}$ и $d_{корма}$ обозначают расстояния от борта судна до передней и задней кромок i -го буксира-автомата соответственно. Тогда условие лагового подхода формулируется как:

$$|d_{нос} - d_{корма}| \leq \epsilon_{выравн},$$

где $\epsilon_{выравн}$ — допустимое пороговое значение несоответствия, определяемое габаритами АБА и точностью системы позиционирования.

Данное условие гарантирует, что АБА приближается к судну под углом, близким к прямому, а его продольная ось параллельна плоскости борта (рис. 8).

После сцепки АБА и грузовое судно движутся как единая система. Общая скорость ($V_{сист}$) определяется как:

$$V_{сист} = (\sum F_{бук} - F_{внш}) / (M_{суд} + \sum M_{бук}),$$

где:

$M_{суд}$ — масса грузового судна;

$M_{бук}$ — водоизмещение буксира-автомата i .

Каждый АБА корректирует свою траекторию с учетом развиваемого усилия ($F_{эфф}$), оставшегося заряда ($E_{ост}$) и возможного препятствия:

$$X_{нов}(i) = X_{тек}(i) + \Delta X(i).$$

Математическое описание «обратной» версии гибридного алгоритма для решения задачи оттяжки грузового судна от причала. Этот процесс представляет собой зеркальное отражение прямой задачи, но с учетом особенностей оттяжки: Альфа- и Бета-буксиры сначала оттягивают грузовое судно на безопасную дистанцию, после чего Дельта-буксиры занимают свои позиции у освобожденного борта, и далее процесс продолжается в обратной хронологии.



Рис. 8. Этап реализации и верификации алгоритмизации движения «стаи» АБА с помощью стенда ИПКАС [21]

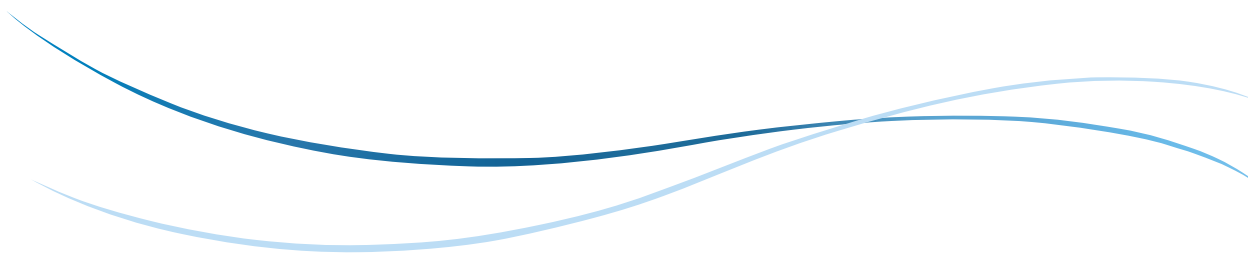
Выводы и предложения

Внедрение буксиров-автоматов является перспективным решением для модернизации портовой инфраструктуры, позволяющим безопасно обслуживать крупнотоннажные суда в условиях ограниченной акватории. Ключевым преимуществом технологии жесткой сцепки становится полное исключение буксирных канатов, что существенно повышает точность маневрирования и сокращает время операций. Однако эффективность системы невозможна без создания комплексной экосистемы СОАПШ, включающей центры дистанционного управления, пункты базирования и автоматизированные швартовные устройства. Разработанный алгоритм группового управления на основе метода оптимизации стаи серых волков обеспечивает

безопасное динамическое распределение ролей между буксирами с учетом остаточного заряда батарей и внешних воздействий. Обязательным условием безопасности является четность состава группы для симметричного распределения тяговых усилий по бортам судна.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на практическую верификацию алгоритмов в реальных погодных условиях и глубокую интеграцию с существующими портовыми системами безопасности. Таким образом, автономные буксиры способны значительно повысить пропускную способность портов, что отразится на грузообороте, при соблюдении строгих требований к надежности управления и юридической обоснованности операций [22, 23]. ■

1. Принципы оценки функциональных свойств систем автономного судовождения / С.Д. Айзинов, А.А. Буцанец, С.В. Смоленцев [и др.] // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства.— 2024, № 74. С. 83–96. EDN HNHFAA.
2. Hu Y., Zhang Y., Wang J. Dynamic trajectory compression for maritime autonomous surface ships using deep reinforcement learning // *Journal of Navigation*. 2024. Vol. 77, No. 2. P. 301–318. DOI: 10.1017/S0373463323000567.
3. Ding G., Liu M., Chen H. Behavior prediction and collision avoidance for autonomous ships in low visibility conditions // *Journal of Navigation*. 2024. Vol. 77, No. 1. P. 112–129. DOI: 10.1017/S0373463323000452.
4. Pallotta G., Vespe M., Bryan K. Vessel behavior analysis from AIS data: A survey and research outlook // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 2023. Vol. 24, No. 5. P. 4501–4517. DOI: 10.1109/TITS.2022.3230121.
5. Zhang J., Li W., Zhao X. Advances in automated mooring systems for smart ports: A review // *Ocean Engineering*. — 2023. Vol. 278. 114402. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2023.114402.
6. Hwang C.L., Kim D. H. Integrated navigation system for autonomous ships using multi-sensor fusion // *Journal of Field Robotics*. 2023. Vol. 40, No. 4. P. 587–605. DOI: 10.1002/rob.22130.
7. Kuwata Y., Wolf M. T., Zargitsky D., Huntsberger T. L. Safe maritime navigation with cooperative autonomous vehicles // *Journal of Field Robotics*. 2022. Vol. 39, No. 2. P. 245–268. DOI: 10.1002/rob.22031.
8. Szlapczynski R. Maritime collision avoidance for autonomous ships: A comparative study of algorithms and safety criteria // *Safety Science*. 2023. Vol. 163. 106123. DOI: 10.1016/j.ssci.2023.106123.
9. Xu Q., Zheng Y., Zhuang J. Cooperative path planning for multiple autonomous vessels in port waters // *Applied Ocean Research*. 2023. Vol. 135. 103630. DOI: 10.1016/j.apor.2023.103630.
10. Goerlandt F., Montewka J., Ståhl M., Kujala P. Risk analysis of autonomous ships: A state-of-the-art // *Safety Science*. 2022. Vol. 147. 105984. DOI: 10.1016/j.ssci.2021.105984.
11. IMO MSC.1/Circ.1626. Interim Guidelines for Trials of Maritime Autonomous Surface Ships.— International Maritime Organization, 2021.
12. Патент № 2809129 C1 Российская Федерация, МПК В63Н 25/04, G05D1/08, G08G 3/00. Способ проводки, швартовки и отшвартовки морского грузового судна в автономном режиме и способ работы цифровой инструментальной платформы управления движением группы автономных судов-буксиров в портовой акватории: № 2023102499: заявл. 03.02.2023: опубл. 07.12.2023 / В.Г. Сенченко, М.А. Лопатин, Д.Е. Студеникин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова». EDN IEUNZK.



ЛИТЕРАТУРА

13. Студеникин Д.Е., Кондратьев С.И., Хекерт Е.В., Модина М.А. Динамическое формирование коридора безопасности при планировании маршрута движения судна // Морские интеллектуальные технологии. 2021, № 2–4 (52). С. 128–131. — DOI 10.37220/MIT.2021.52.2.081.
14. Заслонов В.В. Метод группового движения морских подвижных объектов / В.В. Заслонов, С.Н. Стуконог // Эксплуатация морского транспорта. 2024, № 2 (111). С. 76–84. DOI 10.34046/aumsuomt111/13. — EDN OVAQNS.
15. О концептуальном облике буксира-автомата для работы в буксирном ордере или «стае» // Неделя науки Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. — 2022, № 1–1. EDN NVQFVE.
16. Биденко С.И. О концептуальном облике буксира-автомата для работы в буксирном ордере или «стае» / С.И. Биденко, В.Г. Сенченко, А.Б. Васильев // Неделя науки Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. 2021, № 1–1. DOI 10.52899/978–5–88303–611–7_170. EDN MQZWRV.
17. ZaslonoV V.V. Description of Sea Maneuvers Performed by a Group of Automatic Tugs Using the Flock Method / V.V. ZaslonoV, V.G. Senchenko, A.A. Butsanets // Transportation Research Procedia: 12, Irkutsk-Krasnoyarsk, 6–8 октября 2021 г. — Irkutsk — Krasnoyarsk, 2022. P. 347–353. DOI 10.1016/j.trpro.2022.01.056. EDN LNPZXM.
18. Патент на полезную модель № 222507 U1 Российская Федерация, МПК В63В3/00. Корпус судна-буксира: № 2023128879: заявл. 07.11.2023; опубл. 29.12.2023 / В.Г. Сенченко, А.Б. Крючков, В.В. Заслонов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова». EDN TJCDAW.
19. Участие Российской Федерации в разработке международных правовых инструментов в области автономного судоходства / В.В. Ключев, С.Д. Айзинов, Ю.С. Меленас [и др.] // Транспортное право и безопасность. 2024, № S1. С. 9–267. EDN NVFQUQ.
20. Seyedali Mirjalili et al. Grey Wolf Optimizer / Advances in Engineering Software. March 2014. Vol. 69. P. 46–61.
21. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024610995 Российская Федерация. ИП-КАС — Имитационный Программный Комплекс Автономного Судовождения: № 2024610397: заявл. 16.01.2024; опубл. 16.01.2024 / П. К. Пионтек, Е. А. Ганжа, С. П. Сульин [и др.]; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «СИМ ТЕХ». EDN ZNXWNS.
22. Головина А.А., Некоторые проблемы квалификации неокказания капитаном судна помощи терпящим бедствие на море в условиях автономного судоходства / А.А. Головина, С.Я. Пензев, Л.Г. Бакулина // Вестник государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова. 2023, № 1 (42). С. 107–111. EDN YELOOO.
23. Golovina A. On the issue of the legal status of persons exercising control of a maritime autonomous surface vessel // SHS Web of Conferences. 2022. Vol. 134. P. 00114. DOI 10.1051/shsconf/202213400114. EDN WPEUCZ.



ИСПОЛЬЗОВАНИЕ IOT-ПЛАТФОРМЫ SMARTUNITY 4.0 В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ СУДОВ НА ПРИМЕРЕ СПК «МЕТЕОР 120Р»

История судостроения включает в себя и историю создания пассажирских судов. Одно из них — теплоход «Метеор», спущенный на воду в 1959 году. Этот теплоход длиной 34,6 м и максимальной скоростью 77 км/ч стал символом эффективности судоходства. За годы эксплуатации под этим названием было построено примерно 3000 судов, которые перевозили миллионы пассажиров ежегодно.

«Метеор 120Р» — новое слово в судостроении. В нем применена самая современная радиоэлектроника, в частности интегрированная система управления с элементами искусственного интеллекта.



АО «НПП «Радар ммс»
Санкт-Петербург

Д.Ю. Гордеев, Д.Л. Щенников

После распада СССР промышленность столкнулась с ухудшением технического состояния и снижением объемов эксплуатации судов на подводных крыльях. В 2019 году в ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева было принято решение о возрождении данного направления. В рамках этого проекта было создано судно «Метеор 120Р», сочетающее в себе классические архитектурные решения и современные технологии. Его изображение представлено на рисунке 1.

В настоящее время развитие автоматизации и цифровых систем приобретает особое значение в судостроении. Благодаря этому развитию обеспечивается повышение уровня автоматизации, управления и надежности изделий отрасли. Одним из ключевых направлений сегодня считается внедрение технологий Интернета вещей (IoT). Использование IoT-платформ, таких как SmartUnity 4.0, позволяет существенно повысить эффективность, безопасность и управляемость судов.

Описание IoT-платформы SmartUnity 4.0

ПО SmartUnity — это программное обеспечение для создания автоматизированных систем мониторинга, контроля и управления разнородным технологическим оборудованием и устройствами, автоматизации взаимодействия различных технических средств, технологических процессов и взаимодействия со сторонними системами и сервисами. ПО разработано на языках TypeScript и JavaScript с использованием кроссплатформенной среды выполнения JavaScript с открытым исходным кодом Node.js и на языке Java с использованием инструментария JDK GraalVM разработки Oracle.

SmartUnity является клиент-серверным программным обеспечением и может разворачиваться на целевой вычислительной платформе (серверном или обычном компьютере), работающей под управлением свободно распространяемой операционной системы специального назначения Astra Linux Special Edition.

ПО SmartUnity используется в составе автоматизированных систем управления (АСУ) различных видов (АСУ технологическими процессами, АСУ предприятием, АСУ диспетчерского контроля и сбора данных и др.) в различных сферах:

- Интернет вещей (IoT) и промышленный Интернет вещей (IIoT);
- промышленность и производство;
- энергетика;
- цифровизация городской инфраструктуры и ЖКХ;
- судовая автоматизация;
- гидрометеорология и экология;
- интеллектуальные транспортные системы и др.

В трехуровневой структуре АСУ, включающей в себя уровень оборудования и управления технологическим процессом (датчики, контроллеры, исполнительные механизмы), средний (интеграционный) уровень и верхний (прикладной) уровень, ПО SmartUnity занимает средний уровень, выступая посредником между подключаемым оборудованием и устройствами и системами прикладного уровня — MES, ERP и т.п. Трехуровневая структура АСУ представлена на рисунке 2.



Рис. 1. Метеор 120Р. Изображение в качестве нового символа тысячной купюры

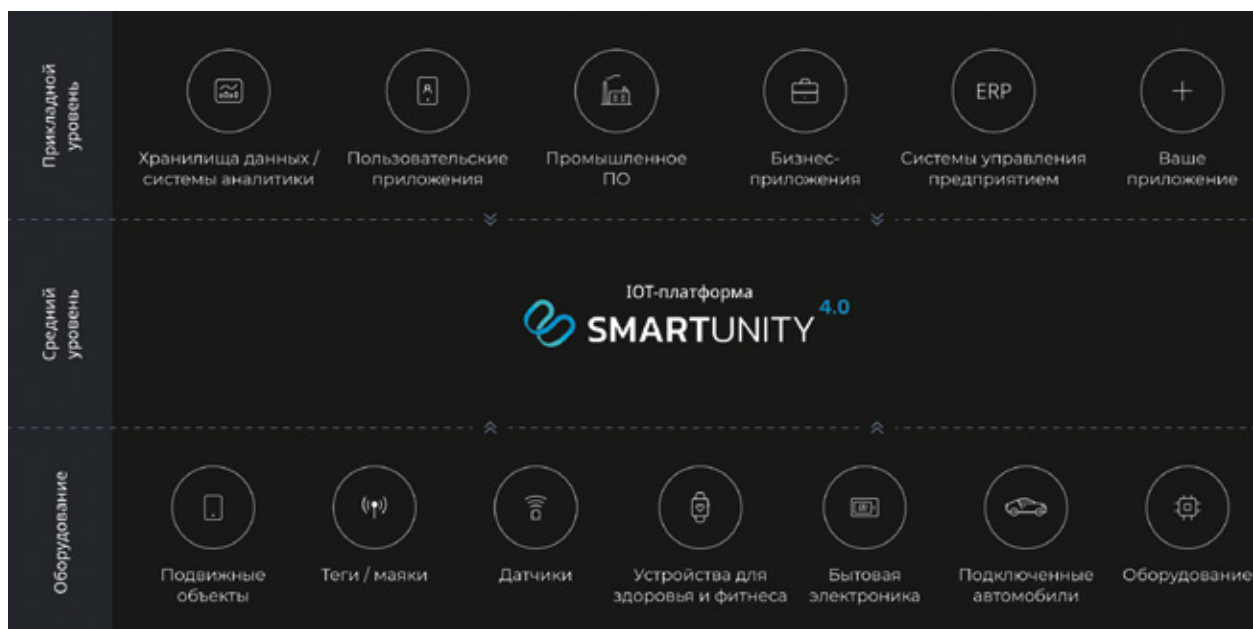


Рис. 2. Роль и место ПО SmartUnity в составе АСУ

Короткий обзор системы управления техническими средствами

Современные системы управления техническими средствами (СУТС) обеспечивают интеграцию контроля и автоматизацию функционирования различного оборудования судна. Основные функции:

- координированное управление техническими средствами судна в нормальных условиях эксплуатации, при аварийных ситуациях и борьбе за живучесть судна;
- вывод на многофункциональные индикаторы, установленные в рулевой рубке, информации о текущем состоянии технических средств (ТС) судна;
- автоматический и автоматизированный контроль технического состояния, параметров и режимов работы оборудования судовых систем;
- индикация поступающих от навигационного оборудования данных о текущих времени, курсе и скорости;
- запись, хранение и просмотр архивных данных, поступивших от навигационного оборудования за время не менее 5 дней (с меткой времени), о состоянии судовых систем и работе СУТС;
- вывод сообщений АПС (аварийно-предупредительной сигнализации).

СУТС обеспечивает бесперебойную работу систем судна как в нормальных условиях,

так и в аварийных ситуациях с акцентом на живучесть судна. Системные компоненты состоят из вычислительных модулей, систем ввода-вывода (УВВ), интерфейсов отображения и центров управления.

Инновационные решения на базе IoT и платформы SmartUnity 4.0

Использование IoT-технологий позволяет повысить интеллектуальный уровень систем судна и обеспечить их авто-



Рис. 3. Внешний вид SmartUnity 4.0 на многофункциональном дисплее (МФД) СПК «Метеор 120Р»

номность. Платформа SmartUnity 4.0 объединяет датчики, исполнительные механизмы, системы навигации и мониторинга в единую информационную сеть, что повышает эффективность контроля и реагирования (рис. 3).

Интеграция платформы SmartUnity 4.0 в СУТС увеличивает надежность, снижает эксплуатационные расходы и позволяет быстрее реагировать на аварийные ситуации.

Практическое ее применение на судне «Метеор 120Р», а именно — внедрение IoT-платформы в систему управления техническими средствами СПК, обеспечило контроль и автоматическую работу систем силовых агрегатов, навигации, аварийной сигнализации, автоматический сбор данных и их анализ, выявление неисправностей на ранней стадии, дистанционное управление системами из ходовой рубки через сенсорные дисплеи, ведение архива данных за определенный период для диагностики и профилактики (рис. 4).

Использование данной платформы повысило безопасность и упростило участие экипажа в управлении системами, что особенно важно в экстремальных ситуациях.

Перспективы и выводы

Внедрение IoT-решений в судостроении открывает возможности повышения надежности продукции и сокращения затрат. Современные системы позволяют своевременно выявить неисправности, автоматизировать процессы и значительно снизить влияние человеческого фактора.

Развитие инновационных технологий открывает новые возможности для интеграции с системами ИИ, аналитикой больших данных и автоматическими механизмами реагирования на инциденты. Это соответствует трендам цифровизации судоходства и позволяет существенно повысить безопасность морских и речных перевозок.

Использование IoT-платформ, таких как SmartUnity 4.0, является важным шагом на пути к повышению эффективности современных судов. СПК «Метеор 120Р» — один из примеров того, как цифровизация способствует повышению уровня автоматизированных систем и их надежности.

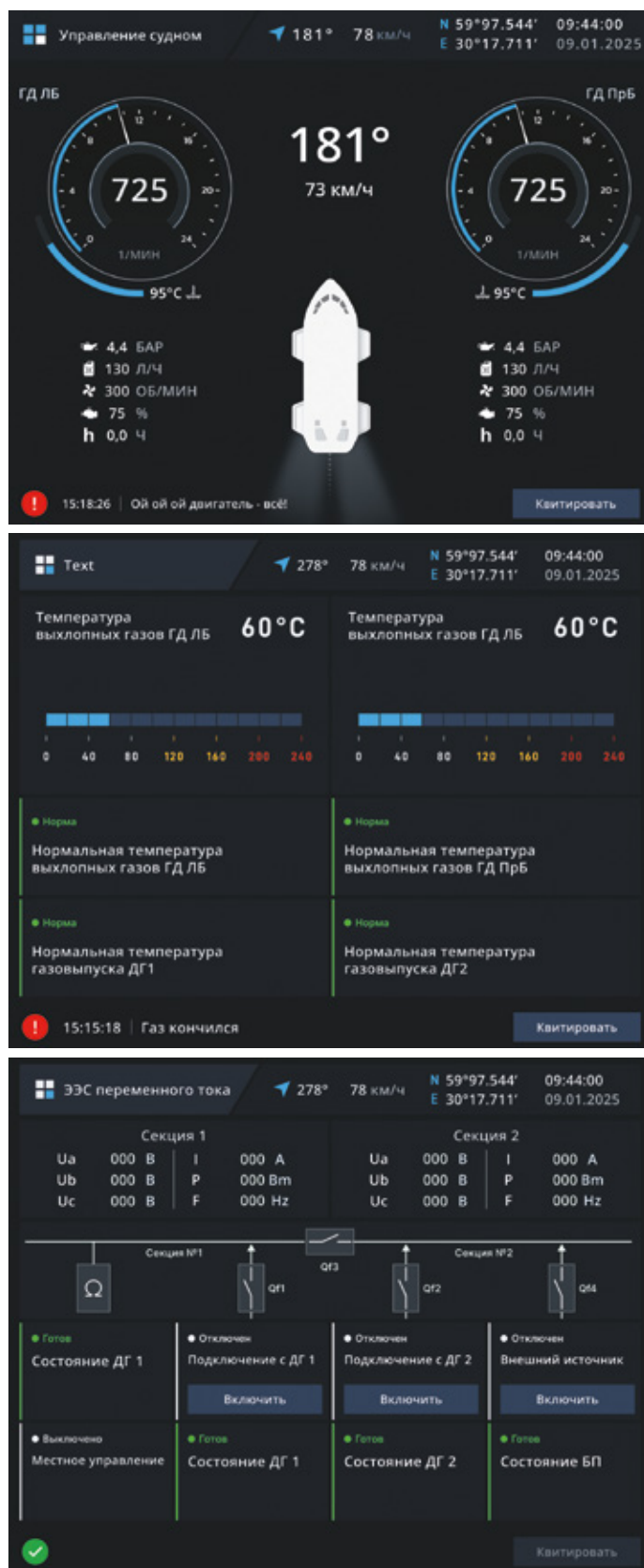


Рис. 4. Одновременный вывод на МФД состояние разных систем СУТС и управление ими



ОТ МАСТЕРСКОЙ К ПЬЕДЕСТАЛУ: КАК СОЗДАЮТСЯ И ПОБЕЖДАЮТ СУДОМОДЕЛИ

Судомоделизм давно перестал быть лишь увлекательным хобби — инженерная мысль рождается не только в конструкторских бюро, но и на верстаках юных энтузиастов. За миниатюрными корпусами, точными копиями гребных винтов и сложными системами управления скрываются будущие инженеры, конструкторы и технологи, а может быть, и операторы морских дронов Войск беспилотных систем России.

Наш собеседник чемпион России по судомodelьному спорту Александр Сидоркин — человек, чьи руки умеют превращать чертежи в движение, а идеи — в рекорды. Его путь — яркое свидетельство того, как мастерство, точность и страсть к гоночным надводным моделям, полученные от советских мастеров, через молодых спортсменов могут быть переданы нашему поколению. Увлечение судомоделизмом — отличная стартовая площадка на пути к профессии судостроителя.

ОСК АГАТ

АО «Концерн «Моринсис-Агат»
Москва

Интервью записали А.А. Николаев,
Е.М. Морохотова

Благодарим за помощь Сергея Биткова, многократного чемпиона РФ по судомodelьному спорту в гоночных классах, участника чемпионата мира, мастера спорта России

Александр Сидоркин, многократный чемпион РФ по судомодельному спорту в гоночных классах, участник чемпионата мира, мастер спорта России

— **Александр, расскажите про себя. Как вы попали в судомоделизм?**

— Интерес к моделированию судов зародился во мне в детстве, когда дедушка водил меня в судомодельный кружок. Однажды, уже после окончания института, друг как-то принес самодельную модель (так называемый бутылкоплав), и мы отправились ее запускать на водохранилище. Это напомнило мне о детском увлечении, я нашел старые советские журналы, стал делать простенькие модели. Постепенно влился в сообщество судомodelистов, где более опытные товарищи стали подсказывать, куда и как двигаться.

— **На какие классы делятся судомодели?**

— Класс моделей, которым занимаемся мы, называется FSR-V — это гоночные радиоуправляемые судомодели с погружным винтом и двигателем внутреннего сгорания. У таких моделей имеется мотор, поршень, система сгорания, зажигания, выхлопная труба, ходят они на сгораемом топливе — бензине, спирте и др. Эти модели ревут, дымят, вибрируют, трясутся — в общем, все то, что любят мужчины. Знаете, есть любители мотоциклов харизматичного бренда Harley Davidson, а есть любители гоночных мотоциклов, в конструкции которых все подчинено достижению высокой скорости. Вот мы скорее класс моделистов, которые любят «Харли-Дэвидсон». FSR-V — это большие модели, размером от 1 до 1,4 м (по официальным нормативам — до 2,5 м).

Есть еще класс гоночных лодок с электродвигателем (так называемые электрички), которые приводятся в движение полностью погруженным гребным винтом. Их размер — максимум 80 см. Они сейчас самые популярные в судомodelизме, потому что более быстрые и имеют низкий порог входа. У электрических моделей нет выхлопа, их легко зарядить: установил АКБ (аккумуляторную батарею) — и готово. Однако наши бензиновые хоть и не быстрее «электричек», зато гоняют дольше.

— **Какие еще особенности класса FSR-V?**

— Главное отличие нашего класса судомodelей FSR-V от других заключается в расположении гребного винта. Наши модели имеют погружной винт — он находится под днищем модели и практически постоянно под водой. Быстрые классы FSR-O и FSR-H снабжены полупогружным гребным винтом, который располагается сзади модели и погружен в воду наполовину. Это снижает сопротивление подводной части мотора и увеличивает его эффективность на 10–25%. На настоящие лодки тоже сзади устанавливают полупогружной гребной винт — обращали внимание, наверное, как от него летит веер брызг.

— **А время заездов у всех классов одинаковое?**

— В гонках учитываются особенности всех классов. К примеру, у нас заезд длится до получаса. Чем больше топлива нальешь, тем больше проедешь. Причем в конце гонки бак опорожняется, модель легчает — скорость растет. И это ставит нам инженерную задачу. Когда модель становится легче, она вылезает из воды, и от волны ее начинает опрокидывать. Поэтому надо сконструировать модель таким образом, чтобы по мере облегчения ее центр тяжести смещался. Это целый инженерный вызов.

У электрических моделей проще: в ходе гонки ее масса не меняется — к примеру, как была 2 кг, так и осталась. Соревнуются они по 6 минут, а категории ограничены весом модели и силой тока. Это установлено правилами соревнований, чтобы обеспечить для спортсменов примерно одинаковые условия. Так как разные модели имеют разные аккумуляторы, моторы и т.д., то чем выше мощность мотора, тем большая требуется емкость аккумулятора, а чем больше емкость аккумулятора, тем выше вес. Кроме того, для ограничения мощности на модели устанавливают специальное устройство — лимитер, который не позволяет использовать ток выше определенного. Это тоже обеспечивает для участников примерно равные условия.



— Скажите: каковы современные тенденции развития судомоделирования?

— Сейчас мало детей приходит в судомоделизм, и прежде всего из-за увлечения гаджетами. Думаю, у судомоделизма есть два пути. Либо это направление получит реальную господдержку и поддержку корпораций и будет развиваться, либо останется лишь хобби для тех, кто, несмотря на дороговизну и сложности, готов заниматься этим ради удовольствия — так сказать, ради кайфа. Раньше как было? Приходишь в парк, там какие-нибудь соревнования проходят, ты смотришь на них открыв рот и думаешь: «А где этому можно научиться, как сделать, куда пойти?» Сейчас же: «А сколько это стоит?» Нет интереса творить, есть желание только купить готовое.

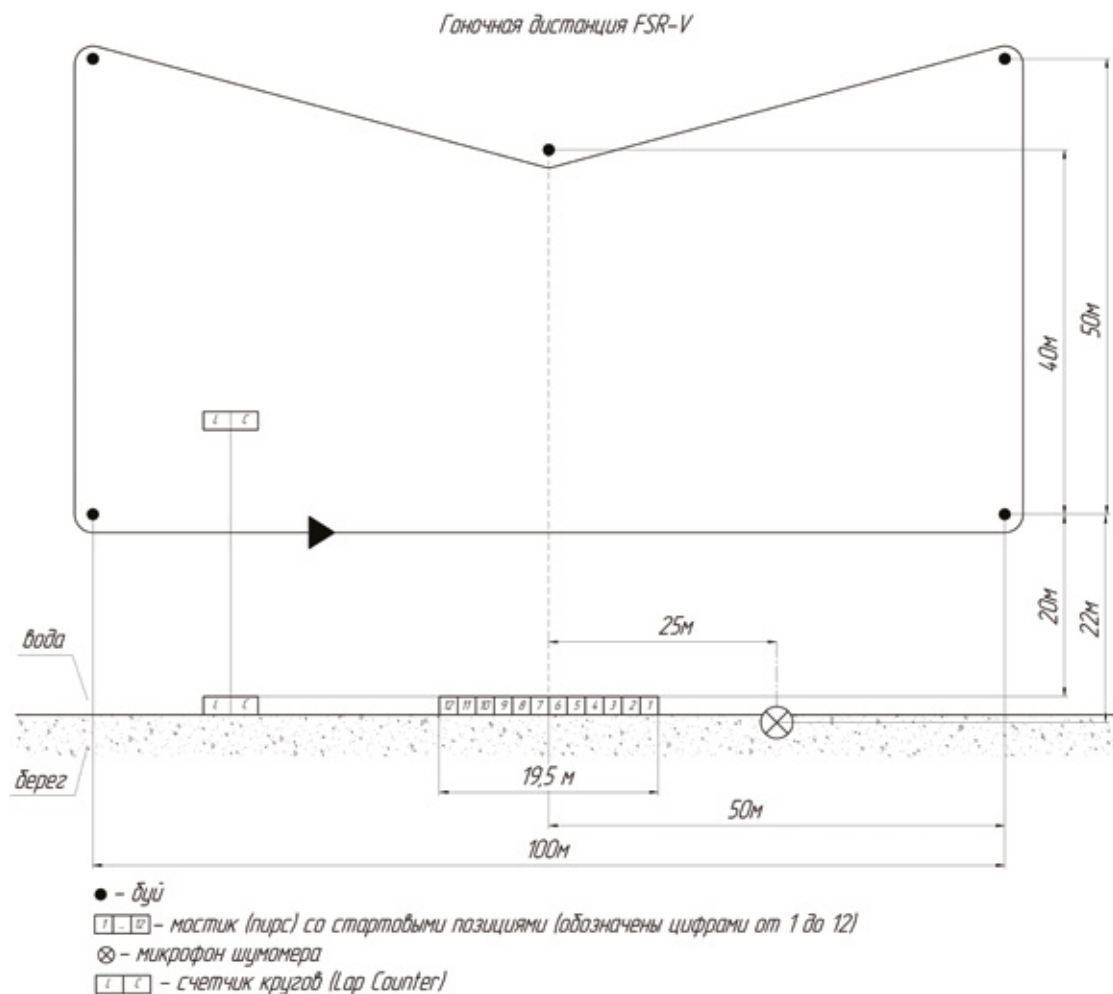
Если про спорт говорить — глобально спорт развивается, результаты растут. Технологии позволяют достигать новых вершин, точность совершенствуется. Раньше винты делали литьевым методом: лопасти несимметричные, их вручную дорабатывали. Сейчас гребные винты делают на современных точных станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Однако те, кто хочет расти профессионально, как мы с Сергеем (Битковым.— Прим. ред.), используют винты



не массового производства, а индивидуально изготовленные — выточенные под конкретные условия.

— Вы сами конструируете свои модели?

— Да, мы сейчас проектируем новую модель, у нее будет полностью открытый вал. Такой вал более уязвим: любая авария, и вал — на списание, но он позволит сделать модель





быстрее. Мы можем пойти на это, потому что нам удастся гонять без аварий. В этом году, кстати, будет проводиться чемпионат мира по судомодельному спорту, и есть надежда, что российскую сборную допустят к соревнованиям и мы войдем в ее состав.

С предыдущей моделью была другая история: мы купили немецкий корпус, отсканировали его. Потом уже сами построили модель в программе автоматизированного проектирования (CAD), дорабатывали также в CAD. Далее на 3D-принтере печатали и на нескольких станках изготавливали комплектующие.

— И где вы это делаете?

— Вначале — в своем гараже, где был один шурупверт, и больше ничего. Приходилось также ездить в ДОСААФ, чтобы подлатать модель. Потом у меня в гараже начали появляться профессиональные инструменты. Пару лет назад поставил в нем фрезерный станок с ЧПУ из Китая. Всю электронику, кабинетную защиту, механизмы, полки, поддоны — все сами на него устанавливали и добились колоссальной точности. Недавно появился токарный станок. Он пока полностью механический, то есть у него нет электронного управления. Но я уже приготовил целый ящик оборудования, чтобы сделать его с ЧПУ.

— Какими знаниями и навыками надо обладать, чтобы стать чемпионом в судомодельном спорте?

— Зимой мы строим, летом гоняем. Поэтому зимой у судомоделиста две главные задачи: дорабатывать свои модели и поддерживать навыки пилотирования. В спортивном судомоделировании вовсе идет цифровизация. Нужно знать САПР, CAD-моделирование, разбираться в ЧПУ-станках, строить чертежи для 3D-принтеров. Однако программирование производственного процесса необходимо в разумных пределах.

Для поддержания навыков пилотирования нужно пользоваться симуляторами — это когда сидишь за компом с таким же пультом и гоняешь. Таким образом можно сохранять и совершенствовать навыки. Однако есть проблема в том,



что в авиамоделизме и автомоделлизме существуют симуляторы, а для нашего направления их нет. Поэтому мы используем гоночные симуляторы.

В ходе гонок возникает азарт, желание победить, вырабатываются навыки обгона, чувство модели — понимание, как оттеснить, выдвинуть, обогнать и в конце концов победить.

— Расскажите, как и где проходят соревнования по судомоделизму.

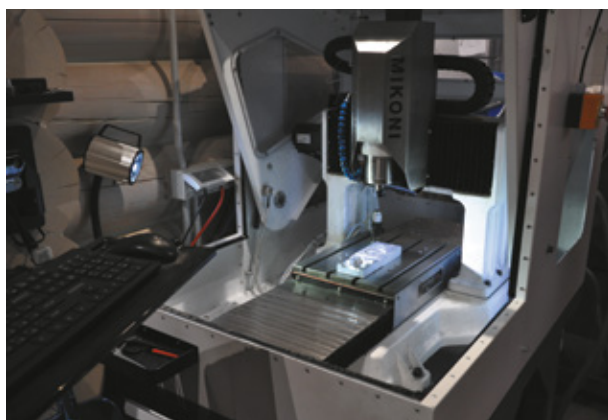
— Соревнования обычно проводятся три раза в год. Они проходят, как правило, не дальше 700–800 км от Москвы. Самое рейтинговое — это чемпионат России.

Устроены они таким образом. Приезжают спортсмены, регистрируются согласно классу модели (в зависимости от рабочего объема двигателя — 3,5, 7,5, 15, 27 и 35 м³), далее

их делят на группы. Сначала проходят полуфинальные заезды, потом финал.

— **Спортсмен в одиночку участвует в гонке или ему кто-то помогает управлять моделью?**

— Особенность этого вида спорта в том, что модель быстрая и ты как пилот сосредоточен на ней, постоянно ее ведешь. Ты не видишь, что происходит на остальной части дистанции. При этом в воде может быть мусор, заглохшая модель, на помощь может выйти спасательная лодка. Из-за большой скорости не всегда успеешь среагировать, если увидишь препятствие в последний момент. Поэтому есть механик, который все время следит за ситуацией и подсказывает: «Впереди авария, объезжаем правей; вышла лодка, аккуратно, сбрось газ» — и т.д.



— **И как проходит сама гонка FSR-V?**

— Спортсмены с моделями выходят на стартовый мостик (пирс) с размеченными местами. Судья дает подготовительное время, чтобы спортсмены запустили свои модели — прогрели моторы, убедились, что аппаратура работает нормально, пульт настроен и т.д.

Потом дается свисток на старт. В этот момент пилот бросает свою модель на воду и начинается гонка.

Фишка наших гонок в том, что это гонки на выживание — эндура (от англ. endure — терпеть, переносить). Задача — продержаться полчаса и доехать до финиша первым. Это почти контактный вид спорта. Модели могут ходить очень близко друг к другу и даже касаться друг друга: что-то неудачно сделал — они переворачиваются, плохо управляешь — они врезаются в буи, в землю, даже взлетают в воздух.

Во время гонки, как в «Формуле-1», лидеры часто меняются. Бывает так, что кто-то зазевался, не тогда повернул, когда надо, и тут же его обогнали. Случаются очень драматичные моменты, когда спортсмен всю гонку лидировал, на 19-й минуте топливо кончилось — и все, он уже вне пьедестала.

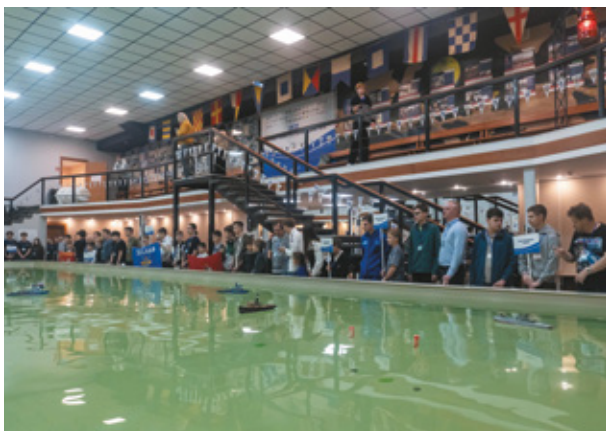
— **Как выглядит гоночная дистанция FSR-V?**

— Это международный норматив. Дистанция похожа на почтовый конверт. Стоят пять буюв: четыре — по углам и один втянут ближе к центру. Габариты «конверта» — 100 на 50 м. Модели идут всегда по одинаковой дистанции, обходя углы прямоугольника, и доходят до центра. Однако есть особенность.

Модель в гонке проходит четыре левых поворота и один правый. Гребной винт мотора крутится всегда в одну сторону, в результате возникает реактивный момент, который заваливает модель на бок. Моделисты с этим борются различными способами: навешивают грузики, делают у модели несимметричное дно. Таким образом, корпус готовится под левые повороты, единственный же правый затяжной поворот на центральном буюе оказывается особенно опасным. В этот момент модель заваливается на тот борт, на который ее скручивает винт!

— **Александр, а у вас есть своя тактика победы?**

— Казалось бы, кто в начале быстрее бросит модель, у того значимое преимущество. На самом деле все не совсем так. Гонка очень длинная, и она неспроста называется «на выживание». Модель должна проехать 20–30 минут и не сломаться. Для победы необходимы три важных качества: модель должна быть достаточно быстрой, пилот должен быть достаточно опытным и модель должна быть достаточно инженерно-выживаемой. И правда где-то посередине. Есть определенная тактика в гонке, она построена в основном на психологии. Когда пилот выходит на гонку, он очень возбужден — на него действует выделяемый его организмом адреналин. Роль механика — ослабить напряжение спортсмена во избежание ошибок. Например, механик говорит: «Не надо сейчас всех подряд обгонять. Потерпи,



еще 20 минут впереди. За 20 минут половина сами слетят. Ты и так самый быстрый. Потом кого надо догоним, кого надо не пустим». Так что дело не только в быстром старте.

— **Получается, механик — тоже важный член команды?**

— Когда мы были на чемпионате мира в Польше, произошел поучительный эпизод. В полукруге от лидера шел преследователь. За минуту до конца гонки он его догнал — началась конкурентная борьба за золотую медаль. Достаточно было на 20 см оказаться впереди, чтобы занять первое место. Ребята совсем выключили осторожность — все или ничего! А если забываешь об осторожности, то можно улететь, перевернуться, крутануться и т.д. Все зрители замерли. У лидера механиком была его дочка лет восьми. Она проглядела остановившуюся модель другого участника у бую, не сообщила вовремя. Лидер вылетает с верхнего левого бую, летит прямо на эту остановившуюся модель. Замечает модель в последний момент, прямо перед ней делает резкий поворот, и в этот момент конкурент проезжает рядом — опа, и они поменялись местами: тот, кто шел на золото, получил серебро, и наоборот.

— **Где можно посмотреть соревнования в ближайшее время? Какие соревнования планируются в 2026 году?**

— Впервые за 30 лет в мае 2025 года прошел чемпионат Москвы по спортивному судомоделизму в классах гоночных радиоуправляемых моделей. Я был одним из его идеологов и организаторов. Соревнования проводились под эгидой Федерации судомодельного спорта. Мы договорились с соответствующими инстанциями об использовании водоема в Левобережном парке города Москвы, все организовали, изготовили и возвели стартовый мостик. По сути, на таких инициативах сейчас спорт и развивается. На таких идейных ребятах все и держится, они есть по всей России: в Пензе, Твери, Новосибирске, а также в Минске в Беларуси.

Очень надеюсь, что в этом году мы повторим свой успех и в мае 2026 года проведем чемпионат Москвы по спортивному судомоделизму в классах гоночных радиоуправляемых моделей. Приглашаем всех желающих и будем рады общению.

Также в этом году проходят чемпионат России, Кубок России и международные соревнования по судомодельному спорту. Мы планируем в них участвовать и постараемся победить!

— **Федерация судомодельного спорта развивает спорт?**

— Она поддерживает этот спорт, но для развития явно не хватает ресурсов и государственного внимания. Федерация судомодельного спорта проводит три соревнования за сезон. А есть, например, Федерация воздушных дронов, там более 90 соревнований! Нам тоже нужна такая поддержка!

— **Чтобы привлечь новые кадры, нужны помещения, наставки. Что еще? Каким вы видите облик типового центра судомоделизма в регионах России?**

— Стоит помнить, что судомоделизм — это не только управление моделями, но и их построение. Поэтому должно быть помещение для мастерской, хотя бы небольшой, где будут храниться модели, стоять оборудование, производиться доработка моделей. И рядом — неглубокий бассейн (по колено) с источником волн и ветра.

— **А как в бассейне проводить занятия?**

— Для бассейна хороши электрические модели. Они маленькие, юркие, довольно быстрые. В бассейне легко выставить дистанцию, и вот тебе гоночный класс, где одновременно несколько человек на одной дистанции азартно обгоняют друг друга. Если «электричка» перевернется вверх дном, у нее есть специальная система, чтобы она сама обратно перевернулась. Поэтому не нужно будет лезть в воду.

— **Где можно купить модели для бассейна?**

— В Москве есть спортсмены, фрилансеры, которые зарабатывают на разработке моделей. И мне кажется, разумно покупать такие модели у этих профессионалов. Конечно, сразу возникнут вопросы по эксплуатации и ремонту, но это отдельная история.

Электрические модели достаточно долго могут прожить, потому что у них столкновения не такие опасные. Хотя скорости и большие, но модели легкие: коснулись друг друга, перевернулись, прокрутились — и поехали дальше.

— **Очень приятно видеть ваш неугасаемый энтузиазм! Интерес, увлеченность, желание развиваться — это здорово! Это то, ради чего хочется что-то делать, жить, творить...**

— Это действительно полноценное творчество, которое в итоге ведет к рождению новых идей, внедрению изобретений и созданию новой продукции. В России есть прекрасные условия для развития судомодельного спорта — много озер, морей, рек. И конечно, прекрасные люди с инженерным складом ума и азартом! Впереди лето, солнце, жара — почему бы не поехать с семьей к берегу реки на соревнования по гоночному судомоделизму?

РЕДАКЦИОННАЯ ГРУППА

Главный редактор

М.Ю. Храмов

Выпускающий редактор

И.И. Манохина

Технические консультанты:

М.Ю. Губанов

В.В. Коваленко

А.Г. Кулаев

Д.А. Мошняков

А.М. Попов

В.Е. Рязанцев

В.А. Телегин

Редактор

Е.П. Храмцов

Корректор

В.В. Денисова

Дизайн и верстка

О.Д. Маркин

Организационная помощь:

А.П. Хрустин

Н.Г. Шароватова

Полная или частичная перепечатка либо иное использование материалов, опубликованных в журнале «Морские информационно-управляющие системы», без письменного разрешения издателя не допускаются.

Рукописи не рецензируются и не возвращаются.

Реклама размещена на 3-й обл.

Издатель: акционерное общество «Концерн «Моринформсистема — Агат»

Адрес редакции: Москва, шоссе Энтузиастов, д. 29

Тел.: +7 (495) 603-9034

E-mail: innovation@concern-agat.ru

Website: www.concern-agat.ru

Источники фотоматериалов указаны в списках источников и литературы к статьям

Предпечатная подготовка АО «ЦНИИ «Курс»

Печать: ООО «Типография»

Санкт-Петербург, Троицкий проспект, д. 6, лит. В, пом./эт./пом. 2-Н/2/37

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Регистрационное свидетельство: ПИ № ФС 77-53922 от 26 апреля 2013 года.



ISSN 2308-2119

Обложка:

Морская 3D-сейсморазведка с использованием буксируемых сейсмокос.

© АО «Концерн «Моринсис — Агат», 2026 Подписано в печать 27 апреля 2026 года. Тираж 320 экз.

КОНФЕРЕНЦИЯ «МОРСКАЯ РОБОТОТЕХНИКА»

28–29 мая 2026 года



Владивосток
Дальневосточный центр компетенций
АО «Концерн «Моринсис — Агат»
О. Русский, ДВФУ

На конференции будут рассмотрены проблемы и перспективы развития морской робототехники, представлены решения, направленные на повышение эффективности отечественных разработок и внедрение инновационных подходов с целью обеспечения технологической независимости России в данной области.

В числе приглашенных — представители министерств, штаба Тихоокеанского флота, члены ДВО РАН, руководители ДВФУ и директора ведущих предприятий в области морской робототехники и судостроения.

ОСК АГАТ

WWW.CONCERN-AGAT.RU

