

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ им. П.П. Ширшова РАН
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
МГТУ им. Н.Э.Баумана**

XIV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ



«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ» (МСОИ-2015)

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Том II

МОСКВА 2015

УДК 551.46.07
ББК 26.221, М 34

**Современные методы и средства океанологических исследований:
Материалы XIV Международной научно-технической конференции
«МСОИ-2015». Том II. – М., 2015. – 367 с.
ISBN**

Настоящее издание является продолжением публикаций материалов конференций МСОИ. В сборнике представлены доклады ученых-океанологов, инженеров, аспирантов и студентов, посвященные созданию и эксплуатации технических средств и методов исследования и освоения Мирового океана.

В томе II рассмотрены гидрофизические подводные измерительные приборы и комплексы, методы зондирования, технологии геолого-геофизических ресурсных исследований в океане.

This publication is a continuation of conference materials MCOI. The collection contains reports of scientists oceanographers, engineers and students dedicated to the creation and operation of technical means and methods of research and exploration of the oceans.

Volume I considered hydrophysical underwater instrumentation and systems, methods of sensing technology, geological and geophysical studies in the ocean resource

Конференция проводится при финансовой поддержке Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Российского фонда фундаментальных исследований (грант 15-05-20081), МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Составители сборника: д.т.н. Римский-Корсаков Н.А.,
к.т.н. Зарецкий А.В.

Редакционная коллегия:

д.ф.-м.н. Корчагин Н.Н., к.г.-м.н. Егоров А.В., д.т.н. Вельтищев В.В.,
д.т.н. Нерсесов Б.А., д.б.н. Флинт М.В., д.г.н. Жулёва Е.В., Свиридов С.А.

Все доклады публикуются в авторской редакции.

НАУЧНЫЙ КОМИТЕТ МСОИ-2015

- | | | |
|----|----------------------------------|--|
| 1 | Нигматулин Р.И. | академик РАН, директор ИО РАН,
председатель |
| 2 | Смирнов Г.В. | академик РАН, зав. лабораторией
ИОРАН, сопредседатель |
| 3 | Римский-Корсаков
Н.А. | д.т.н., заместитель директора по мор-
ской технике ИО РАН, сопредседатель |
| 4 | Жмур В.В. | д.ф.-м.н., нач. управления РФФИ,
сопредседатель |
| 5 | Вельтищев В.В. | д.т.н., зав. кафедрой МГТУ им.
Н.Э.Баумана, сопредседатель |
| 6 | Зарецкий А.В. | к.т.н., вед.н.с., ИО РАН,
ученый секретарь |
| 7 | Лобковский Л.И. | чл.-корр. РАН, заместитель директора
ИО РАН |
| 8 | Завьялов П.О. | д.г.н., заместитель директора ИО РАН |
| 9 | Флинт М.В. | д.б.н., заместитель директора ИО РАН |
| 10 | Вялышев А.И. | д.ф.-м.н., главный научный сотр.
ВНИИ ГОЧС МЧС РФ |
| 11 | Сагалевиц А.М. | д.т.н., зав. лаб. ИО РАН, Герой России |
| 12 | Студенецкий А.С. | заведующий отделом Министерства
образования и науки РФ |
| 13 | Мотыжов С.В. | д.т.н., Морской гидрофизический ин-
ститут, Севастополь |
| 14 | Палазов Атанас | директор Института океанологии БАН,
(Болгария) |
| 15 | Алексеев А.В. | чл.-корр. РАН, гл.н.с., ИО РАН |
| 16 | Добролюбов С.А. | чл.-корр. РАН, зам. декана географиче-
ского факультета МГУ |
| 17 | Нерсесов Б.А. | д.т.н., гл.н.с., ИО РАН |
| 18 | Вязилов Е.Д. | д.т.н., зав. лаб. ЦОД ФГБУ
«ВНИИГМИ-МЦД» Росгидрометцентра |
| 19 | Суконкин С.Я. | директор ОКБ ОТ РАН |
| 20 | Покрышкин А.А. | заместитель директора ИО РАН |
| 21 | Яхонтов Б.О. | к.б.н., ст. научный сотр., ИО РАН |

ОРГКОМИТЕТ МСОИ-2015

1. **Римский-Корсаков Н.А.** председатель, д.т.н.,
зам. директора ИО РАН
2. **Смирнов Г.В.** сопредседатель, академик РАН,
зав. лаб. ИО РАН
3. **Зарецкий А.В.** ученый секретарь, к.т.н.,
вед.н.с. ИО РАН

Члены оргкомитета:

4. **Корчагин Н.Н.** д.ф.-м.н., гл.н.с., ИО РАН
5. **Егоров А.В.** к.г.-м.н., зав. лабораторией
ИО РАН
6. **Свиридов С.А.** зав. отделом инф. технологий
ИО РАН
7. **Метальников А.А.** к.ф.-м.н., ст.н.с. ИО РАН
8. **Рогинский К.А.** к.т.н., зав. лабораторией ИО РАН
9. **Смирнов А.В.** к.т.н., ученый секретарь НИИСМ
МГТУ им. Н.Э.Баумана
10. **Панов В.А.** зам. директора ИО РАН
11. **Карабашева Э.И.** научный сотрудник ИО РАН
12. **Пронин А.А.** научный сотрудник ИО РАН
13. **Куликова Т.А.** секретарь конференции

Координационная рабочая группа:

Науч. сотр. Тихонова Н. Ф., вед. инж. Водяная Е. Г., ст. инж. Ёлкина М. М., вед. инж. Соколов А. А., вед. инж. Молчанов Б. В., вед. инж. Марин В. М., инж. Белевитнев Я. И.

СОДЕРЖАНИЕ

III. ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ И РОБОТЫ, ВОДОЛАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Подводные обитаемые аппараты ИО РАН <i>Сагалевич А. М.</i>	14
Принципы построения подводной мультиагентной робототехнической системы автономных необитаемых подводных аппаратов группового управления <i>Вельтищев В. В., Егоров С. А., Кропотов А. Н.</i>	31
К 80-летию создания первой в стране лаборатории подводных исследований <i>Королев А. Б.</i>	36
Модульные схемы построения телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов <i>Вельтищев В. В.</i>	42
Возможности использования научно-технического потенциала ИПМТ ДВО РАН в подготовке специалистов в области подводной робототехники ДВФУ <i>Алексеев Ю. К., Багнитский А. В., Костенко В. В., Медведев А. В., Михайлов Д. Н., Мокеева И. Г., Мун С. А., Родькин Д. Н.</i>	46
Спасание подводников в арктических широтах <i>Овчинников А. В., Бардадим Д. А., Мысенко М. В.</i>	53
Технология оказания помощи аварийной подводной лодке, лежащей на грунте, с использованием ТНПА <i>Овчинников А. В., Сурма В. А., Гизатуллин Р. С.</i>	57
Новое поколение отечественных приборов газового контроля для обеспечения водолазных спусков <i>Краморенко А. В., Мосейков И. Н.</i>	61
Комплексное использование гидроакустических и магнитометрических средств обнаружения затопленных химбоеприпасов <i>Нерсесов Б. А., Римский-Корсаков Н. А., Карабашева Э. И.</i>	63
Испытания и совершенствование глубоководных подводных аппаратов на основе экспериментальных исследований в опытовом бассейне <i>Соколов М. А.</i>	67

Тренажерный комплекс для обучения операторов телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов различных типов <i>Клименко Т. С., Милованов М. А., Илларионов А. В.</i>	71
Особенности применения малогабаритного АНПА ECOMAPPER для инженерных изысканий и экологического мониторинга <i>Дудко Д. И., Воробьёва Е. С., Колмак Р. В., Фёдоров И. С., Шпилёв Н. Н.</i>	75
Специфика и стандартизация требований к операторам управления подводными роботами <i>Углев В. А.</i>	79
Опыт разработки элементов функционального ряда модульных АНПА <i>Татаренко Е. И.¹, Смирнов В. Д.¹, Гафуров С. А.²</i>	82
Источники питания беспилотных подводных аппаратов длительного автономного функционирования <i>Лемминг А. Э., Шостаковский П. Г.</i>	86
Технология предсказуемого источника тока автономного необитаемого подводного аппарата <i>Волков С. В., Ольшанский В. М., Островский А. Г.</i>	88
Методологические особенности поиска поддонных объектов параметрическими гидролокаторами <i>Сычев В. А.</i>	92
Подводные навигаторы для подводных археологов и дайверов <i>Сычев В. А.</i>	96
Гидролокатор для поиска поддонных археологических объектов <i>Клюев М. С., Сычев В. А.</i>	100
Некоторые аспекты применения гидро- и радиолокационной съемки в археологических исследованиях <i>Сычев В. А., Достовалов М. Ю., Вальков Д. В.</i>	104
Современные параметрические гидролокационные системы и особенности их использования при изучении стратификации донных осадков <i>Душенин Ю. В., Сычев В. А.</i>	108
О применении водолазов при спасании экипажей аварийных подводных лодок <i>Илюхин В. Н.</i>	112

Новое поколение относительных лагов на базе лазерных измерительных технологий

*Даниелян Г. Л., Каминский Ю. Д., Мартынова В. И.,
Проскурнёв С. Ю., Проскурнёв И. С., Серых В. Я. 116*

Малый опытовый бассейн

Морева И. Н. 120

Испытательно-тренировочный комплекс на основе метода насыщенного погружения для проведения работ по перспективным космическим программам изучения и освоения Луны и Марса

Зайцев М. А. 125

Разработка системы изменения плавучести профилирующих зондов и автономных необитаемых подводных аппаратов

Островский А. Г., Швоев Д. А. 127

Проблемы обнаружения подводных потенциально опасных объектов в Балтийском море

Нерсесов Б. А., Римский-Корсаков Н. А., Карабашева Э. И. 131

Возможности классификации подводных объектов по их магнитограммам

Нерсесов Б. А., Карабашева Э. И. 136

Оптимизация чувствительности датчиков магнитного поля

Афанасьев М. С., Нерсесов Б. А. 138

Эффективность водолазных методов океанологических исследований

Яхонтов Б. О., Римский-Корсаков Н. А. 140

Принципы поддержания параметров гипербарической среды на заданном уровне в обитаемых барокамерах

Яхонтов Б. О. 144

Оптимизация состава водолазных дыхательных газовых смесей

Яхонтов Б. О. 148

Использование принципа низкикипящих рабочих тел в тепловом насосе для привода в движение подводного аппарата

Комаров В. С. 151

Анализ эффективности рабочих тел для теплового насоса в океанологических разработках

Комаров В. С. 154

Проектирование управляемости подводного аппарата за счёт управления соотношением водоизмещения и величиной метацентрического момента <i>Комаров В. С.</i>	157
Система управления электрогидравлическими манипуляторами подводного аппарата <i>Кропотов А. Н., Данилов А. В.</i>	161
Структурный анализ подводных тросовых систем <i>Зарецкий А. В.</i>	165
Голономизация гибких связей в подводных тросовых системах <i>Зарецкий А. В.</i>	169
Обследование затонувшей АПЛ Б-159 в совместной российско-норвежской экспедиции 2014 года <i>Казеннов А. Ю., Кикнадзе О. Е.</i>	173
Пороховой газогенератор <i>Комаров В. С.</i>	177
Зарядное устройство для высоковольтных литий-ионных аккумуляторных батарей подводных аппаратов <i>Веселовский П. Н., Мещерякова Р. И., Шиповской Д. М.</i>	180
Применение системы технического зрения гибридного телеуправляемого подводного аппарата для решения задач позиционирования и картографирования на поверхности корпуса обследуемого судна <i>Плясунов В. М., Кропотов А. Н., Макашов А. А.</i>	184
Экспериментальные исследования алгоритмов одиночного и группового движения автономных необитаемых подводных аппаратов по прямолинейным траекториям <i>Крючков Р. С., Егоров С. А.</i>	187
Прогнозирование потенциала корпусных сталей в морской воде <i>Душко В. Р., Родькина А. В., Татарков Д. Б.</i>	191
Модернизация системы управления ТПА для подъема изделий <i>Куценко А. С., Егоров С. А., Черненко К. В., Крючков Р. С.</i>	195
Особенности построения системы управления комплекса из двух подводных аппаратов <i>Куценко А. С., Егоров С. А., Черненко К. В., Крючков Р. С.</i>	198

Особенности формирования сигналов на движительно-рулевой комплекс автономного необитаемого подводного аппарата <i>Лямина Е. А., Егоров С. А.</i>	201
Особенности построения информационно- управляющей системы группы автономных необитаемых подводных аппаратов <i>Лямина Е. А., Крючков Р. С., Иноземцев В. В., Новиков В. И., Егоров С. А.</i>	205
Информационно-управляющая система гибридного телеуправляемого подводного аппарата <i>Гамазов Н. И., Гладкова О. И., Лямина Е. А., Егоров С. А.</i>	209
Использование энергии морского волнения для перемещения подводных и надводных автономных необитаемых аппаратов <i>Варюхин А. Н., Овдиенко М. А., Колчев С. А., Ткаченко В. В.</i>	213
О повышении эффективности использования пингера <i>Носов А. В., Демидова Т. А., Тихонова Н. Ф.</i>	215
Погружные винтомоторные агрегаты на базе 3-х фазных асинхронных двигателей для подводных аппаратов <i>Бриллиантов А. Н., Никитин А. Д.</i>	217
Ответ на вопрос: «Зачем подводному роботу ноги?» <i>Стрельцов А. Я.</i>	222
Применение робототехнических систем для морских интеллектуальных буровых платформ (технологические аспекты) <i>Жиленков А. А., Железняк А. А., Титов И. Л., Черный С. Г.</i>	224
Определение состояния организма человека в гипербарических условиях и повышение его работоспособности <i>Шищенко М. С., Андреев В. И., Рогинский К. А., Скалацкий О. Н., Скалацкий Н. О.</i>	228
Изменения в организме водолазов и акванавтов на субклеточном уровне лейкоцитов периферической крови <i>Шищенко М. С.</i>	234
Разработка дополнительной камеры высокого разрешения для манипулятора нового поколения ТНПА суперГНОМ ПРО <i>Ишмухаметов Р. Ф.</i>	237
Применение технологий облачных вычислений для анализа данных экомониторинга, полученных при помощи ТНПА ГНОМ <i>Ишмухаметов Р. Ф., Розман Б. Я., Елкин А. В.</i>	238

Методы конструирования и изготовления деталей

Артамонова А. В., Елкин А. В...... 241

IV. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Комплекс аппаратно-программных средств мониторинга морской
поверхности

Римский-Корсаков Н. А., Руссак Ю. С., Дорошенко С. Ю...... 248

Развитие новых форм обслуживания пользователей на основе ресурсов
и сервисов ЕСИМО

Вязилов Е. Д., Мельников Д. А., Чуняев Н. В...... 252

Использование топологических методов при создании единой
информационной среды пространственных данных

Гасников О. А...... 257

Информационный ресурс «Магеллановы горы (Тихий океан)»: строение
и пользовательский интерфейс

Жулёва Е. В., Рашидов В. А., Метальников А. А., Чесалова Е. И...... 261

Программный комплекс для пространственно-временного анализа
глобальных полей гидрометеорологических характеристик

Серых И. В...... 265

Новые способ и программа пост-обработки экосигналов от скоплений
морских организмов как элементы морской экосистемной акустики

Ермольчев В. А., Убарчук И. А...... 267

Боливар — высокопроизводительный программный комплекс оценки
экстремальных гидрометеорологических явлений

Лопатухин Л. И., Бухановский А. В...... 271

Изучение поведения экосистемы Чёрного моря с помощью
математической модели с ассимиляцией спутниковых измерений

Дорофеев В. Л., Коротаев Г. К., Сухих Л. И., Ратнер Ю. Б...... 274

Визуализация результатов моделирования волнения и штормовых
нагонов на основе графического пакета GMT

Лемешко Е. М., Фомин В. В., Лемешко Е. Е., Лазоренко Д. И...... 278

Многофакторный подход для расчета ледовых нагрузок с помощью
нейронной сети

Заец А. Ю...... 280

Многоканальный информационно-измерительный комплекс для подводных исследований <i>Ченский Д. А., Григорьев К. А.</i>	282
Автоматическое выявление опасных метеорологических явлений в данных ЕСИМО и оперативное оповещение об ОЯ лиц, принимающих решения <i>Чуняев Н.В., Вязилов Е. Д.</i>	284
Нейронная сеть для автоматизированного обнаружения пленок нефти на поверхности моря <i>Пименов А. А.</i>	288
Организация сбора данных в системе комплексного мониторинга 3. Петра Великого <i>Подольский Л. А., Фищенко В. К.</i>	292
Опыт разработки системы долговременного стационарного подводного видеонаблюдения <i>Суботэ А. Е., Зимин П. С., Фищенко В. К.</i>	296
Развертывание киберинфраструктуры и элементов системы комплексного оперативного мониторинга побережья и акваторий залива Петра Великого <i>Фищенко В. К., Голик А. В., Гончарова А. А., Олейников И. С., Подольский Л. А., Суботэ А. Е.</i>	300
Информационные ресурсы координационного комитета по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения Каспийского моря (КАСПКОМ) <i>Монахов С. К., Постнов А. А., Островская Е. В., Есина О. И.</i>	304
К постановке задачи создания подводных сетевых сенсорных систем <i>Коваленко В. В.</i>	307
Подводная видеосъемка как метод количественного изучения бентоса <i>Мокиевский В. О.</i>	311
Универсальный модуль «RA8-USB» <i>Руссак Ю. С., Тихонова Н. Ф.</i>	315

V. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МОРСКИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Фитоинкубатор для определения первичной продукции фитопланктона с индивидуальными настройками температуры и освещенности <i>Мошаров С. А., Гонтарев С. В.</i>	319
--	-----

Особенности методики использования микрофитобентоса как тестовой группы организмов на прибойных участках песчаной литорали <i>Сапожников Ф. В., Калинина О. Ю.</i>	323
КАР (KITE AERIAL PHOTOGRAPHY) для фото и видео съемки китообразных в природе <i>Беликов Р. А., Прасолова Е. А.</i>	326
Применение мультиплатформенной авиационной беспилотной системы для локальных авиаучетов и воздушного видеонаблюдения за беломорскими белухами <i>Беликов Р. А., Прасолова Е. А., Белькович В. М.</i>	330
Трансформация биогенных веществ и нефтяных углеводородов в водах юго-восточного шельфа Сахалина: анализ модельных расчетов <i>Леонов А. В., Пищальник В. М., Чичерина О. В.</i>	334
Определение параметров биологических ритмов планктонных сообществ методом разложения в ряд Фурье временной изменчивости поля биолюминесценции <i>Мельникова Е. Б., Лямина Н. В.</i>	338
Новая концепция для возобновления запасов Каспийского лосося (<i>Salmo trutta caspius</i>) <i>Джалилов А. Г.</i>	342
Оценка экологического статуса Севастопольской бухты (Черное море) посредством ансамбля нормированных показателей <i>Моисеенко О. Г., Орехова Н. А., Коновалов С. К.</i>	346
Основные структурные особенности биологического блока модели экосистемы зоны апвеллинга района Центрально-Восточной Атлантики (пространственно однородная подмодель <i>N-P-Z-D-FISHES</i>) <i>Подгорный К. А.</i>	350
Технология расчета водообмена и переноса загрязняющих веществ между различными частями Каспийского моря <i>Монахова Г. А., Рахимбирдиев Н. М., Попов С. К., Лобов А. Л.</i>	358
Развитие фитопланктона в акватории Черного моря, район Абхазии в весенне-осенний период 2012 года <i>Ясакова О. Н.</i>	362
Авторский указатель	366

ДОКЛАДЫ

III. ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ И РОБОТЫ, ВОДОЛАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

УДК 000.00

ПОДВОДНЫЕ ОБИТАЕМЫЕ АППАРАТЫ ИО РАН

Сагалеви́ч А. М.

*Институт океанологии им.П.П.Ширшова Российской академии наук,
117997 Москва, Нахимовский проспект, 36, +7 (499) 124 79 94,
sagalev1@yandex.ru*

The questions of the creation and use of the manned submersibles are considered in this paper. Brief historical survey of the development of this direction in the World ocean technology is introduced. Main types of the operations of IO RAS submersibles (six vehicles) as well as their results are introduced. In the paper is showed that great contribution of IO RAS in the history of the creation and use of the manned submersibles was done.

Наблюдения человека под водой – это последнее и наиболее достоверное звено в большой цепи исследований, проводимых с борта судна с помощью различных технических средств. К такому выводу пришли ученые после многолетнего использования глубоководных обитаемых аппаратов (ГОО) для научных исследований океана.

Но в начале создания и эксплуатации ГОО перед исследователями стояли иные задачи, которые заключались в достижении максимально возможных глубин океана и определения глубинных рубежей, на которых исчезает жизнь. Границы жизненного пространства постепенно расширялись, пока в конце 50-х – начале 60-х годов не было доказано, что (по Вернадскому) «жизнь всюду». Такой вывод был сделан на основании результатов тралений глубоководных желобов и впадин, а также наблюдений, сделанных во время первых глубоководных погружений батискафов. Далее создание ГОО осуществлялось в несколько этапов, которые были связаны либо с авариями подводных лодок, либо с большими открытиями в глубоком океане. Конкретно можно выделить три этапа в создании обитаемых аппаратов. Начальный этап связан с гениальной идеей Огюста Пикара о создании батискафов – подводных

аппаратов, построенных по принципу стратостата с той разницей, что вместо легкого воздуха, который создавал подъемную силу стратостата, в батискафе для обеспечения плавучести и ее регулировки использовалась легкая жидкость – бензин, а для всплытия батискафа использовалась стальная дробь. Чтобы представить себе размеры батискафа приведем две цифры: в стальной поплавок батискафа «Триест», длиной 18 м, перед погружением закачивалось 250 тонн бензина, а для обеспечения отрыва от грунта и всплытия на борту батискафа было 16 тонн стальной дроби, которая сбрасывалась либо полностью, либо частично. Батискафы сделали главное дело в глубоководных погружениях: они позволили достичь максимальных глубин в океане и сделать ряд важных открытий. Максимальная глубина 10916 м в Марианской впадине была достигнута 23 января 1960 г. Жаком Пикаром и Доном Волшем.

Начало второму этапу в строительстве аппаратов положила гибель американской атомной подводной лодки «Трешер», которая затонула в 1963 г. на глубине 2800 м недалеко от Флориды. Сразу встал вопрос о поиске затонувшей лодки и, оказалось, что кроме «Триеста» нет ни одного технического средства, способного осуществлять поиск и обследование затонувших объектов даже на этих глубинах. При проведении операций по поиску и обследованию «Трешера» возникла масса трудностей, связанных с использованием «Триеста» для этих операций. В связи с этим Конгрессом США был поставлен вопрос о создании серии новых малогабаритных обитаемых аппаратов, рассчитанных на разные глубины. Было выделено финансирование. В 1962 году Уорреном Джослиным был изобретен твердый плавучий материал синтактик, представляющий собой композит из стеклянных микрошариков и эпоксидной смолы. Применение синтактика дало возможность в течение 60-70-х годов XX века создать несколько десятков малогабаритных и легких обитаемых аппаратов с рабочими глубинами от 600 до 4000 м, которые могли работать с борта обычных научно-исследовательских или небольших специализированных судов. Основная масса аппаратов в этот период была создана в США. Несколько аппаратов с глубинами до 2-3 тысяч метров было создано в Канаде, во Франции и в Японии. Часть вновь созданных аппаратов предназначалась для использования в военных целях и часть – для научных исследований.

После того, как прошла острота момента, связанная с гибелью АПЛ «Трешер» и «Скорпион» (1968), стало ясно, что большой потребности в проведении подводных работ нет, и большинство аппаратов было выведено из эксплуатации, а некоторые совсем не использовались. Лишь несколько аппаратов продолжало использоваться для научных исследо-

ваний («Алвин» – США, «Сьяна» – Франция, «Шинкай-2000» – Япония и некоторые другие), а также для проведения подводно-технических работ в районах добычи нефти (аппараты серии «Пайсис» в Северном море и др.) и для нужд ВМФ («Си Клифф», «Тётл» – США). Следует отметить, что второй этап в строительстве ГОА был очень важен, т. к. при создании аппаратов различными фирмами был разработан широкий комплекс технических решений по системам аппаратов, которые нашли применение в дальнейших разработках ГОА [1].

В 1977 году на Галапагосском рифе было открыто явление гидротермали на дне океана. Открытие было сделано с помощью глубоководного буксируемого аппарата «Ангус» и обитемого аппарата «Алвин» (США). Далее последовали открытия гидротермальных полей на 21° с.ш. Восточно-Тихоокеанского поднятия (ВТП, глубина 2500 м) и в других более глубоководных районах. Исследования первых гидротермальных полей на дне океана показали, что наиболее эффективным техническим средством для их изучения являются глубоководные обитаемые аппараты. В то время лишь один современный ГОА – «Алвин» имел рабочую глубину 4000 м., а основная масса аппаратов была рассчитана на погружения до 2000 м и менее. Поэтому в ведущих странах мира в 80-е годы прошлого века было создано пять ГОА, рассчитанных на погружения до 6000 м (табл. 1).

Таблица 1. ГОА, построенные в ведущих странах мира в 1980-е гг.

Параметр	Наутил	Си-Клифф	Мир-1 и Мир-2	Шинкай 6500
Сухой вес, т	18.5	29.0	18.6	26.0
Длина, м	8.0	8.6	7.8	9.5
Запас энергообеспечения, кВт.ч	50	60	100	43
Запас жизнеобеспечения, чел/ч	390	300	246	380
Максимальная скорость, миль/ч	2.5	2.0	5.0	2.5
Численность экипажа	3	3	3	3
Диаметр главной сферы, м	2.1	2.1	2.1	2.0
Материал главной сферы	Титановый сплав	Титановый сплав	Никелевая сталь	Титановый сплав

Эта глубина была выбрана потому, что аппараты с такой рабочей глубиной могут исследовать дно океана на 98% его площади. Недоступ-

ными остаются лишь глубоководные желоба и впадины, занимающие лишь 2% площади океана. В последующие годы было открыто более 200 районов с гидротермальными полями на дне, и все открытия были сделаны по сходным методикам: на первом этапе – поисковые операции с помощью буксируемых аппаратов или путем измерений и пробоотбора с борта судна, а на втором этапе после определения местонахождения гидротермального поля – погружения ГОА с целью детального обследования гидротермальных излияний на дне: определение их масштабов, депозитов и химического состава сульфидных руд, видов гидротермальных животных, проведение количественных оценок плотности биомассы и т. д.

В последние 30 лет гидротермальные поля на дне являются главными объектами изучения с помощью ГОА. Вместе с тем, за последние 25 лет не было создано в мире ни одного глубоководного ОА. И лишь в 2012 г. был введен в эксплуатацию ГОА «Яолонг» с рабочей глубиной 7000 м в Китае.

Аппарат «Алвин» в США в 2013 г. был оборудован новой прочной сферой, рассчитанной на 6500 м. Однако, все остальные компоненты остаются прежними, и аппарат сертифицирован лишь на те же 4500 м.

25 марта 2012 г. кинопродюсер Джеймс Камерон погрузился в Марианскую впадину на глубину 10890 м в созданном им одноместном аппарате «ДипСи Челленджер». Это было единственное в Мировое погружение на максимальную глубину океана. Затем этот аппарат был передан в Вудсхольский Океанографический Институт, где разобран на отдельные компоненты с целью их использования в других глубоководных разработках.

В настоящее время в Китае начата разработка ГОА с рабочей глубиной 11000 м. Создание аппарата должно быть закончено в 2020 году. Других разработок обитаемых аппаратов в Мировое не производится.

Большой вклад в историю создания ГОА и их применения для научных исследований океана и подводно-технических работ сделан учеными и инженерами Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН (ИО РАН). В 80-е годы прошлого века ИО РАН владел самым большим подводным флотом: шестью подводными обитаемыми аппаратами. Два аппарата – «Аргус» и «Осмотр» были построены энтузиастами инженерами и техниками ОКБ океанологической техники. Разработкой и созданием обоих аппаратов занимались Н.Гребцов и Е.Павлюченко, они возглавляли работы по созданию аппаратов. Аппарат «Аргус», рассчитанный на глубину 600 м, был введен в эксплуатацию в 1978 году и в течение 3-х лет до 1981 г. использовался для научных исследований

Черного моря в районе Геленджика. Аппарат не имел судна-носителя, и все погружения осуществлялись с помощью берегового комплекса в Южном отделении ИО РАН в Голубой бухте.

В начале 1980-х годов были введены в строй научные суда «Рифт» и «Витязь» (рис. 1), имевшие спускоподъемные устройства для работы с подводными аппаратами.



Рис. 1. Спуск аппарата «Аргус» с кормы НИС «Витязь»

География работы «Аргуса» расширилась. В течение нескольких лет проводились погружения у берегов Болгарии – в районах устьев рек Дуная и Днестра. Были сделаны биологические разрезы от Варны до Батуми и от Анапы до Сухуми с погружениями «Аргуса» до 400 м через каждые 50 миль в названных направлениях. Эти исследования были чрезвычайно важными, ибо во время погружений изучалось вертикальное распределение планктона, которое позволило определить высокую концентрацию гребневика, пагубно влияющего на биопродуктивность Черного моря. Это был один из важнейших результатов работ «Аргуса» в Черном море. Кроме этого, были сделаны погружения в Мраморном море с турецкими биологами, а также у берегов Италии, вокруг острова Сардиния и в водах Туниса. Все эти экспедиции носили международный характер, в погружениях участвовали ученые Италии, Болгарии, Туниса.

Важные исследования были проведены в Гибралтарском проливе в рамках проекта по прокладке тоннеля под дном между Испанией и Марокко. На подводных горах Атлантики Ампер и Жозефина осуществлялись археологические изыскания на предмет поиска легендарной Атлантиды. Вдоль побережья Африки в районах Анголы и Новой Гвинеи был проведен комплекс гидрохимических и геохимических исследований совместно с учеными этих стран.

Дважды – в 1983 г. с борта НИС «Рифт» и в 1991–92 гг. с борта НИС «Витязь» «Аргус» проводил погружения в Карибском море с кубинскими учеными, в которых были получены важные результаты в области геологии и биологии исследованных районов. За время своей эксплуатации с 1978 по 1994 гг. «Аргус» совершил 768 погружений, внося существенный вклад в российскую и мировую науку. После 1994 г. «Аргус» больше не погружался ввиду отсутствия финансирования. В 2014 г. «Аргус» передан в Геологический Музей им. академика В. И. Вернадского, где выставлен в качестве экспоната.

Вторым обитаемым аппаратом, построенным в ОКБ ОТ является «Осмотр» – аппарат с водолазным отсеком, дающим возможность выхода в воду водолазам. «Осмотр» был спущен на воду в 1985 году. Создание такого аппарата в то время было очень важно, т.к. начиналась разработка нефти и газа на шельфе и применяемые для этих целей платформы, трубопроводы, насосы и т.д. требовали для своей установки и обслуживания именно таких аппаратов, которые могли бы доставлять на дно водолазов, способных проводить монтажные и ремонтные работы. Период ввода в эксплуатацию «Осмotra» продолжался 3 года – с 1985 по 1988 гг. За это время аппарат совершил 48 погружений, 13 из которых проводились в водолазном режиме (рис. 2). Во время погружений, помимо испытательных целей, решались задачи по проведению работ с новыми разработками батометров, газоотборников, подводной связи и т.д. К сожалению, «Осмотр» востребован не был, ибо по окончании его строительства обслуживание нефтяных и газодобывающих работ производилось телеуправляемыми аппаратами – гораздо более дешевыми и безопасными в эксплуатации.

Регулярные научные исследования океана, положившие начало новому направлению в изучении океанских глубин были начаты в ИО РАН в середине 70-х годов XX века приобретением аппаратов «Пайсис VII» и «Пайсис XI». Эти аппараты были построены в Канаде в 1975 и 1976 гг. соответственно, по техническому заданию ученых ИО РАН. Дизайнером «Пайсисов» являлся Мак Томсон, задачей наших ученых И.Е.Михальцева и А.М.Сагалева являлось создание научной версии

аппаратов «Пайсис», ибо фирма «Хайко» строила коммерческие аппараты, применявшиеся для проведения специальных подводных технических работ, в том числе и для нефтедобычи на шельфе. Аппараты «Пайсис» были рассчитаны на рабочую глубину 2000 м.



Рис. 2. Обеспечение погружения аппарата «Осмотр» с помощью берегового комплекса в Голубой бухте

Первоначально они были установлены на научно-исследовательские суда ИО РАН «Академик Курчатов» («Пайсис XI») и «Дмитрий Менделеев» («Пайсис VII»), разделив, таким образом, между ними регионы исследований – Атлантика и Тихий океан.

Первая крупная экспедиция с аппаратами «Пайсис» была проведена на озеро Байкал в 1977 году. Здесь была отработана методика проведения работ с аппаратами, приобрели опыт пилоты. В первых океанических экспедициях наметилась тенденция проведения исследований рифтовых зон, образованных границами между литосферными плитами. В 1979-80гг. была проведена экспедиция в Красное море на НИС «Академик Курчатов», в которой были проведены эксклюзивные погружения в глубоководные впадины Атлантик и Вальдивия. Это были единственные в мире погружения, в которых изучались горячие рассолы во впадинах Красного моря на глубинах 2030 м и 1680 м. Затем проводились исследования в рифтовых зонах хребта Рейкьянес, Аденского залива (рифт Таджура), а также гидротермальных полей бассейна Гуаймас (Ка-

лифорнийский залив), хребта Хуан де Фука в восточной части Тихого океана, района вблизи острова Парамушир в Охотском море и других. Аппараты «Пайсис» сделали ... погружений в различных районах Мирового океана и на озере Байкал (рис. 4).



Рис. 3. Глубоководный обитаемый аппарат «Пайсис»

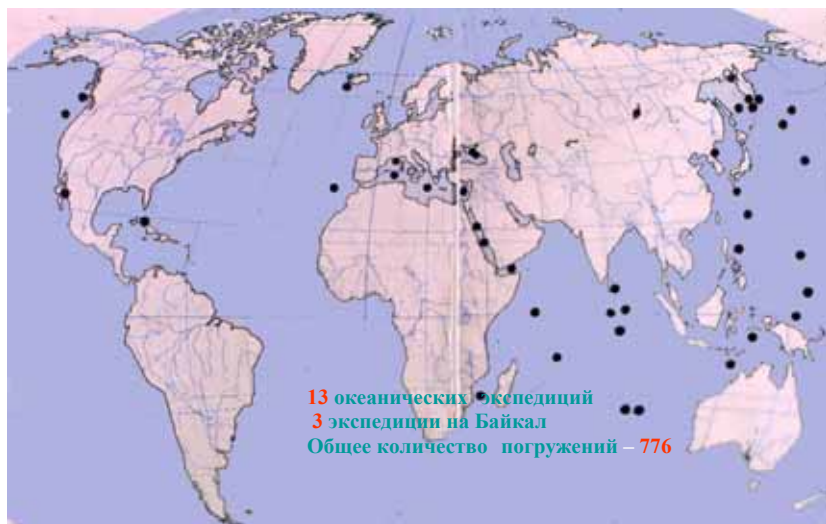


Рис. 4. Карта районов исследований с помощью аппаратов «Пайсис»

Они позволили Институту океанологии выйти на высокий международный уровень в глубоководных исследованиях, внося весомый вклад в российскую и мировую науку. В начале 90-х годов оба «Пайсиса» были выведены из эксплуатации ввиду отсутствия финансирования и невостребованности на международной арене. В 1984 г. аппарат «Пайсис VII» был передан в Музей Мирового океана в г.Калининграде (рис. 5), а «Пайсис XI» был передан в Байкальский Музей в 2013 году (рис. 6), где они используются в качестве экспонатов для обозрения посетителей.



Рис. 5. «Пайсис VII» в Музее Мирового океана (г.Калининград)

В 1987 году в Финляндии были построены ГОА «Мир-1» и «Мир-2» с рабочей глубиной 6000 м. Создателями аппаратов являются профессор И. Е. Михальцев, профессор А.М.Сагалевиц и руководитель группы финских инженеров Саули Руохонен. Им принадлежат идеи по конструированию и строительству ГОА «Мир». Необходимо отметить, что «Миры» сразу заняли особое место в мировой табели о рангах, ибо они работали с одного судна обеспечения «Академик Мстислав Келдыш». Ни одна другая страна не имела такого глубоководного, обитаемого, исследовательского комплекса (рис. 7).

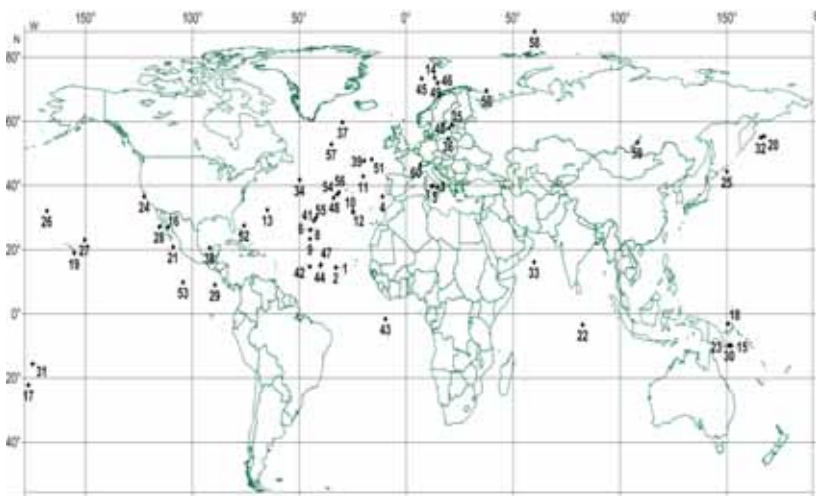


Рис. 6. «Пайсис XI» в Байкальском музее (п. Листвянка)



Рис. 7. НИС «Академик Мстислав Келдыш»
с двумя ГОА «Мир» на борту

Начав с исследования гидротермального поля ТАГ в 1988 году аппараты «Мир» провели исследования 20 гидротермальных полях Атлантического, Тихого и Арктического океанов (рис. 8). Три гидротермальных поля были впервые исследованы аппаратами «Мир», были сделаны важные научные открытия.



35 океанских экспедиций, 3 экспедиции на Байкал, 1 экспедиция на Женевское озеро. Общее количество погружений – 1095.

Рис. 8. Карта районов исследований с применением ГОА «Мир»

На подводном вулкане Пийпа в Беринговом море во время погружений «Миров» наблюдались необычные излияния белых курильщиков, из которых разгрузка гидротермального флюида происходила через ангидридные трубы высотой до 1.5 метров и диаметром до 20 см (рис. 9).

Химический анализ гидротермальных образцов, поднятых со дна, показал высокое содержание кальция, бария, серы и других элементов. Измерения температуры на выходе из трубы показало +112°C, а на расстоянии 1,5 м +33°C. Скорость истечения флюида, посчитанная на базе этих данных и визуальных наблюдений, составила около 80-100 метров в минуту. Во флюиде обнаружено высокое содержание метана (до 81%). Оно объясняет поселения двухстворчатых моллюсков *Caloptogenia*, что является эндемичным явлением для этого района. Это самое северное поселение этих животных из всех известных в настоящее время. Помимо моллюсков в донном сообществе отмечались различные виды губок,

актиний, креветок, крабов. Большие площади (в некоторых местах до 200 м сплошного покрова) донной поверхности были покрыты бактериальными матами.



Рис. 9. Белый курильщик на подводном вулкане Пийпа

Гидротермальное поле Логачева ($14^{\circ}45'$ САХ) было обследовано аппаратами «Мир» в 1995 г. после его открытия с борта НИС «Профессор Логачев» в 1994 г. В результате наблюдений с ГОА»МИР» и химического анализа, поднятых образцов серпентинитов, был сделан вывод о том, что в данном районе существует необычное явление глубинной гидротермальной циркуляции (рис. 10) [2]. Подобный механизм формирования флюида наблюдался французскими учеными с аппарата «Наутил» на поле Рейнбоу годом позже – 1996 году.

В 1988 и 1991 гг. на гидротермальном поле ТАГ была открыта целая цепочка огромных гидротермальных реликтовых построек на глубине 3600 метров с большим депозитом мультиметаллических руд. Одна из этих построек является одним из самых крупных гидротермальных тел на дне океана с депозитом сульфидных руд около 10 млн. тонн. Эта постройка получила название горы Мир в честь ГОА «Мир».

В погружениях ГОА «Мир» в различных районах Мирового океана сделаны открытия нескольких десятков видов животных, собрана уникальная коллекция глубоководных геологических и биологических образцов [4].

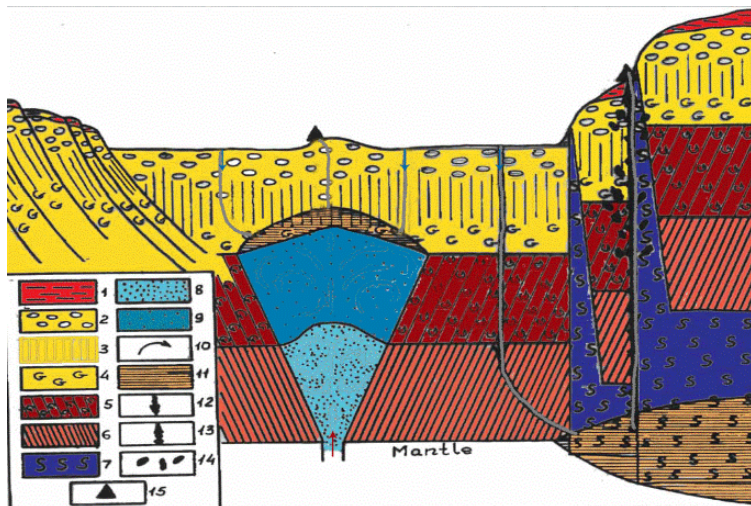


Рис. 10. Схема глубинной гидротермальной циркуляции

Аппараты «Мир» открыли новую страницу в истории проведения глубоководных операций, выполняя на больших глубинах океана съемки художественных и документальных фильмов. Идея сотрудничества с профессиональными кинокомпаниями США, Канады, Англии, Японии родилась в мае 1989 г., когда состоялась первая встреча двух аппаратов «Мир» на глубине 5000 метров в Атлантическом океане. В погружении участвовали международные экипажи, состоявшие из представителей СССР, США и Канады [5].

Начиная с 1991 г. несколько художественных и документальных фильмов было снято компаниями IMAX, BBC, Hollywood и другими [4, 5]. Фильм «Титаника» был снят фирмой IMAX (Канада) во время первой экспедиции НИС «Академик Мстислав Келдыш» на «Титаник». Этот фильм демонстрировался в кинотеатрах IMAX в двух версиях (в длинной и короткой) с большим успехом. После этого Джеймсом Кэмероном был снят знаменитый «Титаник», а также несколько документальных фильмов (табл. 2).

Работа над глубоководными фильмами имела большое значение для сохранения нашего уникального глубоководного комплекса – ГОА «Мир» и НИС «Академик Мстислав Келдыш», ибо в условиях отсутствия бюджетного финансирования это было одним из основных способов не только проведения глубоководных работ, но и выживания.

Необходимо отметить, что фильмы являются важным средством распространения знаний среди населения в различных странах мира. Благодаря фильмам, сделанным на основе погружений ГОА «Мир», люди в разных странах мира узнали о специфике глубоководных работ, о жизни на дне океана и т.д.

Таблица 2. Художественные и документальные фильмы, снятые с 1991 г.

Название	Режиссер	Год
Титаника	IMAX	1992 (экспедиция 1991)
Сокровища глубин	Эл Гиддингс	1992
Титаник	Джеймс Камерон	1998 (экспедиция 1995)
Японская лодка “I-52”	Телевидение National geographic	1999 (экспедиция 1998)
Голубая планета	BBC	2002 (Атлантика) 2003 (Тихий океан)
Бисмарк	Джеймс Камерон (HD 3D)	2002 (экспедиция 2001)
Призраки бездны	Джеймс Камерон (HD 3D – IMAX)	2003 (экспедиция 2002)
Пришельцы глубин	Джеймс Камерон (HD 3D – IMAX)	2005 (экспедиция 2002, 2003)

Важное место в работах ГОА «Мир» занимает выполнение задач большой государственной значимости по ликвидации последствий аварий на атомных подводных лодках «Комсомолец» и «Курск» [5, 6]. На АПЛ «Комсомолец» НИС «Академик Мстислав Келдыш» с двумя «Мирами» на борту провел 8 экспедиций (1989-2007 гг.) [6]. В течение всех экспедиций помимо детального визуального осмотра, фотографирования и видеосъемки проводился постоянный радиационный мониторинг и научные исследования донных осадков и водной среды вокруг лодки. Для этих цепей был разработан ряд специальных приборов, применялись новые методы исследований. Важным этапом при проведении работ явилось закрытие носовой части лодки, для чего были разработаны принципиально новые глубоководные технологии, никогда не применявшиеся ранее.

В сентябре 2000 г. НИС «Академик Мстислав Келдыш» с двумя ГОА «Мир» на борту пришло в Баренцево море для проведения исследований на атомном подводном крейсере «Курск», затонувшем на глубине 108 метров. По прибытии в район работ было сделано 10 погружений ГОА «Мир-1» и «Мир-2» (5 парных) в течение 5 дней при неблагоприятных погодных условиях.

На базе полученных результатов были приняты решения о мерах по ликвидации последствий аварии АПКр «Курск».

Одним из важнейших этапов в работе ГОА «Мир» является экспедиция на Северный полюс, во время которой были сделаны исторические погружения под лед на дно Северного Ледовитого океана на глубину 4300 метров (рис. 11). Эти погружения открыли новую эру в исследованиях Арктики, ибо впервые человек погрузился на реальный Северный полюс, увидел дно и установил флаг России [7].



Рис. 11. Спуск на воду ГОА «Мир-2» в ледовой обстановке Северного полюса

Это событие всколыхнуло весь мир и заставило ведущие страны задуматься об освоении Арктики, следствием чего явились организация ряда международных экспедиций, начало строительства новых ледоколов, создание других технических средств.

В 2007 году аппараты «МИР» были сняты с нис «Академик Мстислав Келдыш», ввиду того, что судно сдавалось в аренду без аппаратов. Поэтому последующие 4 года аппараты «МИР» использовались для проведения исследований во внутренних водоёмах на озере Байкал (2008–2010 гг.) и на Женевском озере.

На озере Байкал были сделаны целый ряд важных открытий в области геологии и биологии, наиболее важным из которых является боль-

ших депозитов твёрдых газогидратов, образующих обширные поля в виде небольших холмов, присыпанными осадком (рис. 12 а,б). На Жевневском озере изучалась экологическая ситуация этого водоёма.

За время эксплуатации ГОА «МИР-1» и «МИР-2» совершили 1095 погружений.



Рис. 12. (а) твердые газогидраты в виде холмов на дне Байкала; (б) кусок, отколотый от гидротермального холма, в манипуляторе ГОА «Мир»

На базе результатов, полученных с помощью «Миров», опубликовано 18 научных и технических книг и более 1000 статей в российских и зарубежных изданиях.

Несомненно, ГОА «Мир» создали эпоху в области глубоководных исследований океана в Мире, оставив заметный след в виде публикаций, кино- и видеофильмов, альбомов фотографий, экспозиций в крупнейших музеях Мира.

В настоящее время ГОА «Мир-1» и «Мир-2» сняты с НИС «Академик Мстислав Келдыш» и не работают ввиду отсутствия финансирования. Они находятся в ангаре в г. Калининграде (рис. 13). Очевидно, их ждет такая же участь, как и аппаратов «Пайсис» – передача в Музей в качестве экспонатов. Аппараты «Мир» являются самыми популярными ГОА в мире. Ни один аппарат не сделал такого широкого круга глубоководных исследований и специальных подводно-технических операций в океане, как аппараты «Мир». Они создали эпоху. Об этом должны знать не только ученые и специалисты-подводники, но и простые люди нашей планеты.



Рис. 13. ГОА «Мир» в ангаре в г.Калининграде

ЛИТЕРАТУРА

1. **Frank Basby**. Manned submersibles. 1976, Office of Oceanography of the NAVY.
2. **Богданов Ю. А., Лисицын А. П., Сагалеви́ч А. М., Гурвич Е. Г.** Гидротермальный рудогенез океанского дна – М.: Наука, 2006. 527 с.
3. **Сагалеви́ч А. М.** Океанология и подводные обитаемые аппараты – М.: Наука, 1987. 256 с.
4. **Сагалеви́ч А. М.** Глубина. М.: Научный мир, 2002. 320 с.
5. **Sagalevich, A.** The Deep. Botanical Press California, 2009. 295 p.
6. **Виноградов М. Е., Сагалеви́ч А. М., Хетагуров С. В.** Океанологические исследования и подводно-технические работы на месте гибели атомной подводной лодки «Комсомолец». М.: Наука, 1996. 362 с.
7. **Сагалеви́ч А. М.** Репортаж из-под ледового купола. М.: Природа, 2007. N 10. С. 50–57.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ПОДВОДНОЙ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ

Вельтищев В. В., Егоров С. А., Кропотов А. Н.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования «Московский
государственный технический университет имени Н.Э.Баумана»
105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, дом 5, стр. 1
sm42@sm.bmstu.ru*

The report covers the question of the design of Multi-Agent System (MAS) of Autonomous Underwater Vehicles (AUV). Report presents basic principles of the design of AUV for formation control tasks and technical characteristics of MAS that consists of AUV formation, hydroacoustic buoys and control board.

Одним из наиболее актуальных и приоритетных направлений развития подводной робототехники на сегодняшний день является разработка автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) группового управления.

Такие системы нового поколения, построенные с использованием группировки АНПА, потенциально могут эффективно выполнять следующие задачи:

- периодическое пространственно-временное измерение гидрофизических характеристик водного слоя, рельефа и характеристик пород дна;
- проведение мониторинга стационарных и подвижных подводных объектов;
- участие в развертывании мобильных, масштабируемых, быстро развертываемых систем освещения подводной обстановки.

Возможности группировки АНПА определяются не столько их индивидуальными характеристиками, сколько возможностями всей группы выполняющую общую поставленную задачу. При этом следует заметить, что групповое управление мультиагентными системами является новым, бурно развивающимся научно-техническим направлением. В

этой области еще не сформированы основные положения, которые могли бы быть использованы стандартным образом.

Целью предлагаемого доклада является описание результатов научно-исследовательской работы по разработке мультиагентной робототехнической системы (МАРС) группового управления автономными подводными аппаратами, взаимодействующими при совместном выполнении требуемых задач.

Объектом разработки и исследований являлся макетный образец мобильной, быстро разворачиваемой системы освещения подводной обстановки на основе АНПА группового управления.

Для достижения требуемых функциональных возможностей группировки АНПА были определены следующие технологии подлежащие исследованиям и разработке:

1. Навигационное и информационное обеспечение группировки АНПА;
2. Групповые алгоритмы управления движением АНПА;
3. Принципы организации сетевого взаимодействия в мультиагентных системах группового управления АНПА;
4. Технический и конструктивный облик АНПА группового управления.

При этом были выработаны общие принципы построения макетного образца подводной МАРС:

- минимизация объёма передаваемой гидроакустической информации в МАРС;
- отечественная комплектация;
- малые габариты и относительная дешевизна;
- модульность конструкции.

Важнейшим условием для реализации группового управления АНПА из перечисленных технологий является организация требуемого навигационного и информационного обеспечения для всех членов группировки. Было принято решение навигационный и информационный обмен осуществлять комплексно с помощью гидроакустических средств [1]. На рисунке 1 изображена схема построения такой комплексной гидроакустической навигационно – информационной системы, где: 1 – плавающие на поверхности навигационные гидроакустические буи, 2 – АНПА группового управления, 3 – пульт управления.

В состав подводной МАРС входит группа плавающих на поверхности акватории гидроакустических навигационных буёв. Каждый буй оснащен приемником спутниковой навигационной системы GPS/ГЛОНАСС и гидроакустическим модемом представляя распреде-

лѐнную длиннбазовую гидроакустическую навигационную систему. На каждом АНПА, входящем в состав группировки, расположена система счисления пути и гидроакустический модем. Такое построение подводной мультиагентной системы обеспечивает оперативное управление группировкой, навигацию, внутрисистемную и внешнюю связи, групповое управление при совместном выполнении общей задачи.

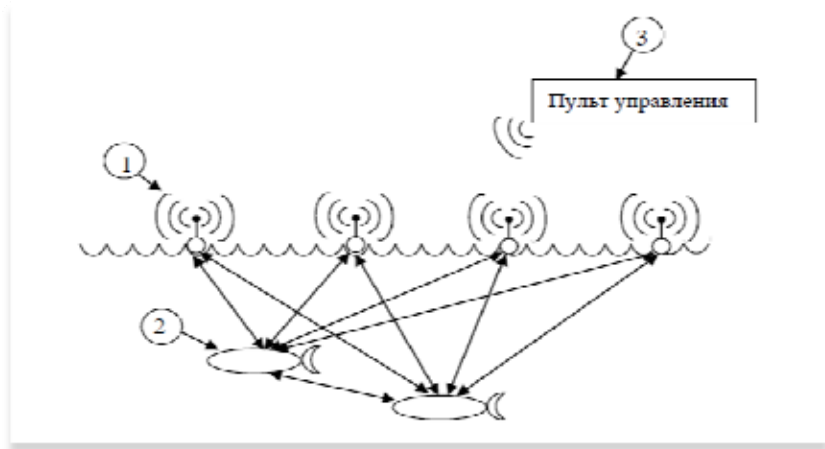


Рисунок 1 – Структурная схема подводной МАРС

В докладе представлены технические характеристики, описание принципов построения макета подводной МАРС в составе АНПА группового управления, гидроакустического навигационного буя и пульта управления. На рисунке 2 представлены конструкция разработанного АНПА группового управления и его внешний вид.

На рисунках 3 и 4 представлены конструкция и внешний вид пульта управления и навигационного гидроакустического буя.

Разработанный макет МАРС прошел экспериментальные исследования в лабораторных, бассейновых и натурных условиях.

В результате проделанной работы и исследований были разработаны научно-технические основы построения навигационного, информационного, управляющего алгоритмического обеспечения группировки АНПА, концептуальные технологии их создания и на их основе предложены основные решения, определяющие технический облик, состав и структуру группировки АНПА.

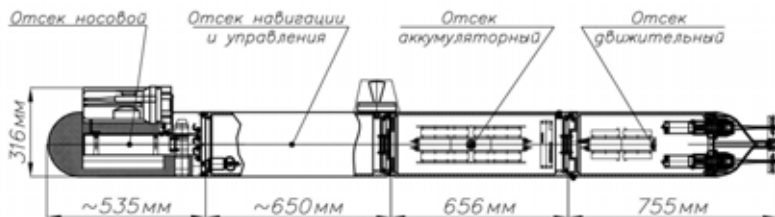


Рисунок 2 Модульная конструкция и внешний вид АНПА группового управления



Рисунок 3 – Внешний вид пульта управления

Разработано алгоритмическое и программное обеспечение макетного образца подводной мультиагентной робототехнической системы.

По результатам проделанной научно-исследовательской работы можно сделать вывод о возможности разработки эффективной подводной МАРС. Кроме того, представленные результаты могут быть исполь-

зованы при разработке надводных автономных робототехнических систем группового управления (например – катеров).

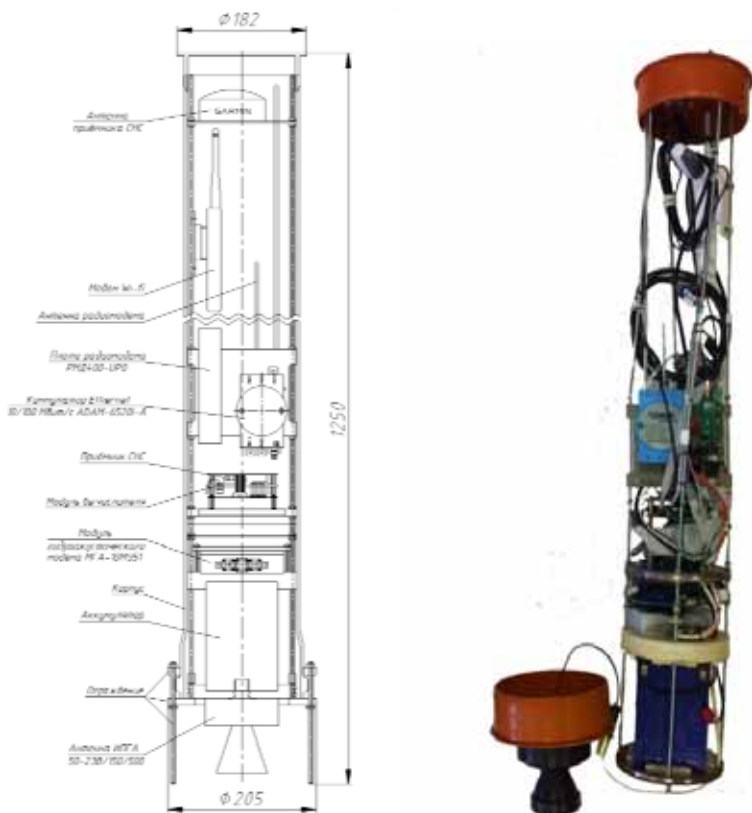


Рисунок 4 –Конструкция навигационного гидроакустического буя

ЛИТЕРАТУРА

1. Вельтищев В. В., Егоров С. А., Кропотов А. Н. и др. / Особенности разработки навигационного обеспечения группировки автономных необитаемых аппаратов // Фундаментальная и прикладная гидрофизика, 2014. Том 7. № 2. С.41–45.

К 80-ЛЕТИЮ СОЗДАНИЯ ПЕРВОЙ В СТРАНЕ ЛАБОРАТОРИИ ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Королев А. Б.

*Общество истории водолазного дела имени Р.А. Орбели,
190068, н\я 601, СПб, Россия, 8(495)674-10-70
www.hdsr.ru www.corolev.com divemaster3@yandex.ru*

В докладе представлена история зарождения подводных исследований в нашей стране, создания первой специализированной лаборатории подводных исследований. Приведены наиболее значимые, пионерские проекты созданных в лаборатории технических средств, и их оригинальные фотографии. Показана необходимость лабораторий технических средств подводных исследований в морских институтах в наше время.

Систематические подводные исследования в нашей стране были начаты в 20 – 30-е годы минувшего века под эгидой Плавучего морского биологического института созданного в 1920 и переименованного в 1921 году в Плавморнин. Институт базировался на легендарном научно-исследовательском судне «Персей», на его борту работали молодые ученые, возглавившие впоследствии все направления науки о море. Вместе с организованным в 1929 году Государственным океанографическим институтом (ГОИН) Плавморнин стал родоначальником ныне действующих институтов изучающих моря и океаны. На базе этих институтов в 1933 г. был организован Всесоюзный научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО).

Исследователи – энтузиасты И. И. Месяцев, А. С. Богданов, Д. В. Богданов, М. В. Кленова, М. С. Киреева, Т. И. Горшкова и др. использовали гидростат ЭПРОНа и вентилируемое водолазное снаряжение для сбора научного материала.

Альгологи Мария Степановна Киреева и Татьяна Федоровна Шапова, геохимик Татьяна Ивановна Горшкова в 1930–33-е годы на Мурмане не только использовали в своих работах водолазов, но и сами погружались в вентилируемом снаряжении. Собственно, в эти годы и зародились подводные прибрежные исследования с помощью водолазов.

Основоположник геологии моря, Мария Васильевна Кленова, как только появился гидростат ЭПРОНа, добивалась (и добилась!) его научного использования. В 1927 году, недалеко от Балаклавы она неодно-

кратно погружалась в гидростате и даже наблюдала работу донной трубки Экмана для взятия проб грунта. Мария Васильевна первая женщина – гидронавт и, вероятнее всего, не только в нашей стране!



Рис. 1. И. И. Месяцев (1885–1940)

В 30-е годы профессор И.И. Месяцев направлял выпускников Мосрыбвтуза в Балаклавский водолазный техникум. Первыми учеными, получившими вторую специальность – водолаз, стали Павел Ефимович Гвоздухин, Борис Александрович Каспин и Владимир Борисович Пономарев. Вместе с ними окончил водолазный техникум и уже опытный исследователь Михаил Соломонович Идельсон. Водолазная подготовка была серьезной. П.Е. Гвоздухин пишет в журнале «Рыбное хозяйство» № 1 за 1938 год, что, проводя подводные наблюдения на сельдяных промыслах в мае – апреле 1937 года, им произведены 40 научных спусков под воду, продолжительностью 193 часа в вентилируемом снаряже-

нии. А В. Б. Пономарев участвовал в Великой отечественной войне, в боях за Крым, под Ростовом, Таганрогом и на Тереке в качестве командира водолазного отряда!



Рис. 2. С. Г. Зуссер у макета батисферы

Тяжелое и неудобное снаряжение препятствовало широкому развитию водолазных методов исследований, однако, именно в 30-е годы были намечены основные направления будущих работ, разработаны методики качественного и количественного учета донной флоры и фауны. Оценив полученные результаты исследований, Иван Илларионович Месяцев в 1935 году создает во ВНИРО первую в стране специализированную лабораторию подводных исследований, а в 1938 году ее филиалы на Мурмане при ПИНРО, в Керчи и в Азербайджане. Водолазное снаряжение и гидростат ЭПРОНа уже не устраивают ученых – в планах Месяцева создание батисферы – обитаемого глубоководного снаряда

для изучения моря. Он формулирует технические требования к первому отечественному научному подводному аппарату, а инженеры – ЭПРО-Новцы Михайлов, Нелидов и Кюнстлер создают его рабочие чертежи. Война помешала энтузиастам. Почти готовая батисфера была отправлена в переплавку.

После Великой отечественной войны подводные исследования были продолжены. В большинстве морских институтов страны были созданы лаборатории подводных исследований или технических средств подводных исследований.

Решением Совета Министров СССР от 20 апреля 1957 года новая боевая подводная лодка 613-го проекта была разоружена и переоборудована в научно-исследовательскую – установлены иллюминаторы, подводные светильники и обширный комплекс специально созданной измерительной аппаратуры. Ей присвоили имя «Северянка» отправилась в первый поход в декабре 1958-го года и до 1966-го года совершила 10 экспедиционных рейсов, обследовав обширные районы Северной Атлантики, Баренцева и Белого морей от Фарерских островов до Шпицбергена и Новой Земли. Она совершила сотни длительных погружений, провела в океане 9 месяцев, прошла 25 000 миль.



Рис. 3. «Спрут» около рыбоводных садков



Рис. 4. Автономный обитаемый подводный аппарат «Гвидон»

В 1967 году был построен и испытан небольшой подводный дом из прорезиненной ткани – «Спрут» – подводная пневмоконструкция каплевидной формы диаметром 2,4 метра, высотой 2 метра, объемом около 8 кубических метров. По инициативе океанолога М.В. Федосова «Спрут» использовался как подводная гидрохимическая лаборатория.

В 1969 году Институт океанологии Академии Наук СССР выполнял масштабные подводные исследовательские работы с подводным домом «Черномор». Вокруг дома были заложены научные полигоны. В районе отдаленных полигонов на глубине 24 метра и был установлен «Спрут».

После эксперимента «Черномор» было изготовлено еще десять подводных домов этой серии. В 70-80-х годах по просьбе эстонских ученых «Спрут» устанавливали на Балтийском море близ острова Сааремаа. Для проверки возможности эксплуатации «Спрута» в

тропических зонах океана дом был установлен на глубине 12 метров в Индийском океане. Погружали «Спрут» в озера Ленинградской области под лед, для наблюдения за кормлением зимующей рыбы, которая выращивалась в садках. Здесь для работы пришлось изготовить мягкие обогревающие панели, которые размещались внутри на стенках дома. А по просьбе Арктического и Антарктического научно-исследовательского института один из «Спрутов» был установлен под лед на дрейфующей станции «Северный полюс-23».

«Гвидон» – оригинальный двухместный автономный, обитаемый подводный аппарат с вертикальным расположением гидронавтов – исследователь располагается в кресле над командиром. Сконструирован и построен в 1970 году сотрудниками лаборатории подводных исследований для изучения поведения рыб.

Прочный цилиндрический корпус аппарата опирается на три ноги – опоры. В верхней части – входной люк, ниже кольцевая балластная цистерна, под которой закреплены баллоны со сжатым воздухом. Еще ниже

– съемные кассеты с погружными аккумуляторными батареями. Между кассетами – бункер для аварийного балласта – свинцовой картечи и стальных шариков. В средней части корпуса установлены два поворотных движителя, при повороте которых вокруг оси можно добиться движения «Гвидона» в любом направлении или его вращения. В корпусе установлено десять иллюминаторов диаметром 150 мм, восемь из них у исследователя и два – у водителя. Аппарат оснащен восемью заборными светильниками.

Внутри прочного корпуса размещены система регенерации воздуха, приборы контроля микроклимата, аварийные дыхательные аппараты, гирокомпас, лаг и два эхолота, а также комплекс приборов для регистрации параметров внешней среды. Высота аппарата 4,5 метра, ширина 2,5 метра, вес 3,9 тонны. Рабочая глубина погружения 250 метров, скорость хода 1 узел, автономность 72 часа.

Аппарат прошел всесторонние испытания на Черном море. К сожалению, аппарат был утерян при испытательном спуске на предельную глубину, без людей – он отцепился от троса, на котором производился спуск. Глубокие расщелины и каньоны в месте испытаний не позволили найти «Гвидон».



Рис. 5. ROV за работой

В середине 80-х годов в лаборатории подводных исследований был построен один из первых в стране минироботов (ROV или НПА) для осмотра протяженных подводных плантаций. Его отличительная особенность – возможность работать на сильном течении. Мощные двига-

тели позволяли аппарату «выгребать» против течения, а в случае необходимости буксировать двух водолазов. К сожалению, изделие не показало необходимых характеристик, так как имеющиеся в стране видеокамеры были крайне низкого качества и имели недостаточное разрешение.

Параллельно с постройкой и эксплуатацией описанных технических средств активно применялись водолазные методы исследований.

На сегодня, в связи с появлением сложных технических устройств – необитаемых и обитаемых подводных аппаратов, погружных видео и фото камер, возросла потребность в специалистах по их эксплуатации и применению. Объединенные в лабораторию технических средств подводных исследований специалисты – эксплуатационщики обслуживают профильные лаборатории морских институтов, так как практика передачи сложного оборудования непосредственно ученым приводила к быстрому выходу приборов из строя в результате некачественной или небрежной эксплуатации.

УДК 629.584

МОДУЛЬНЫЕ СХЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Вельтищев В. В.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана», 105005, Москва, 2-я Бауманская д. 5 стр. 1,
8 (499) 263-61-15, sm42@sm.bmstu.ru*

The report examines the modular building remotely operated underwater vehicles. Results of development of modular vehicle, capable of moving along the bottom and in the water column.

Области использования телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПА) постоянно расширяются. На технические средства этого класса возлагаются все более сложные задачи, выполнение которых невозможно без существенного видоизменения их традиционного облика. Создание специализированных ТНПА, ориентированных для выполнения конкретных работ, является длительным и дорогостоящим

процессом. Использование такого аппарата в ходе проведения типовых подводных работ, как правило, уже нерационально.

Универсальность создаваемого ТНПА можно расширить, если перейти на модульную конструктивную схему. В соответствии с таким принципом в конструкции выделяется некоторая неизменяемая часть, которая включает в свой состав основные функциональные элементы (системы) ТНПА. Неизменяемая часть формирует конструктивную платформу для последующего размещения на ней сменных специализированных модулей.

Такая концепция уже реализована в ряде западных разработках. В частности, компания SeaBotix Inc (США) на основе базовой конструкции малого осмотрового ТНПА LBV300 создала серию модификаций, в состав которой входят и донно-плавающие аппараты с колесным (LBC) и гусеничным шасси (vLBC) [1].

В МГТУ им. Н.Э. Баумана создан ТНПА, конструкция которого также реализует концепцию модульного построения. На рис. 1 представлена компьютерная модель аппарата, конструктивно-функциональный состав которого представлен на рис. 2.



Рис.1. 3-D модель донно-плавающего ТНПА

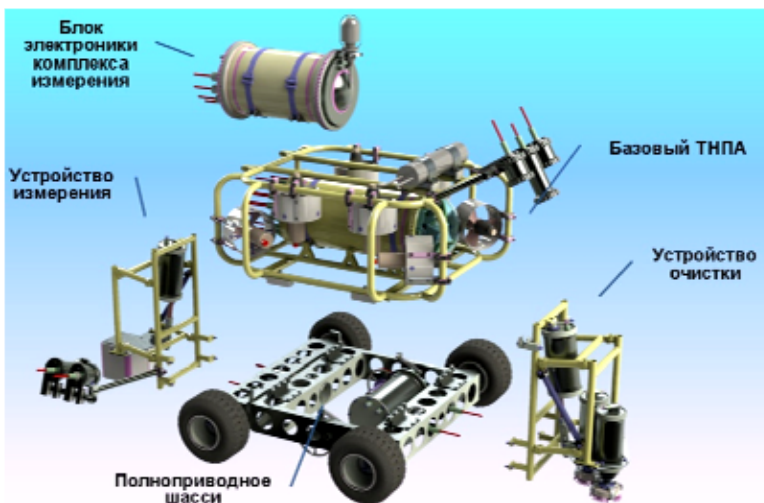


Рис. 2. Конструктивная схема модульного ТНПА

ТНПА может быть использован для выполнения различных задач. Так как базовым модулем является малый осмотровый ТНПА, то он может выполнять типовые для данного класса подводные работы. Конструкция этого аппарата была разработана ещё в 2013 году для самостоятельного использования [2]. Аппарат оснащён видеосистемой, гидролокатор секторного обзора Gemini, малогабаритным манипулятором. Внешний вид ТНПА представлен на рис. 3.

Для проведения работ по осмотру и диагностики состояния корпусов судов (освидетельствования судов на плаву), подводных трубопроводов, гидротехнических сооружений базовый модуль плавающего ТНПА был дооснащён полноприводным колесным шасси, измерительным комплексом для проведения ультразвуковой интроскопии металлических подводных объектов и устройством очистки диагностируемых поверхностей. Кроме того, в штатную видеосистему ТНПА были включены дополнительные средства визуального контроля процессов зачистки и диагностики.

Навигационная привязка выявленных дефектов осуществляется с помощью трех систем: одометрической системы счисления пути; системы счисления пути, реализующей корреляционно-экстремальные методы обработки видеоизображений; а также традиционной гидроакустической навигационной системы с длинной базой.



Рис. 3. Внешний вид ТНПА



Рис. 4. Внешний вид донно-плавающего ТНПА

Внешний вид созданного донно-плавающего ТНПА модульной конструкции представлен на рис. 4.

Результаты выполненной разработки позволяют сделать ряд обобщающих выводов:

1. Модульный принцип конструктивного исполнения ТНПА является эффективным средством снизить временные и финансовые затраты на разработку ТНПА со специфическими функциями.

2. Несмотря на некоторую избыточность систем и устройств базового модуля он может с успехом использоваться как самостоятельное изделие для выполнения традиционных подводных работ.

3. Применение модульного принципа стимулирует разработчиков на создание унифицированных конструкций компонентов подводных аппаратов, что дает дополнительный положительный эффект.

ЛИТЕРАТУРА

1. URL.<http://www.sebotix.com>. (дата обращения 1.12.2014).
2. **Вельтищев В. В.** и др. Мобильный робототехнический комплекс мониторинга подводных объектов //Современные методы и средства океанологических исследований: Материалы XXIII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2013». М., 2013. С. 313–315.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ИПМТ ДВО РАН В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ПОДВОДНОЙ РОБОТОТЕХНИКИ ДВФУ

**Алексеев Ю. К.¹, Багнитский А. В.², Костенко В. В.²,
Медведев А. В.², Михайлов Д. Н.², Мокеева И. Г.², Мун С. А.²,
Родькин Д. Н.²**

¹Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ),

E-mail: jkalekseev@mail.ru

²Институт проблем морских технологий (ИПМТ) ДВО РАН.

Владивосток

Possibilities of Institute of Marine Technologies Problems (IMTP) FEBRAS scientific and engineering potential using for experts training in FEFU are presented.

Образование на базе четырёх приморских вузов Дальневосточного федерального университета (ДВФУ) и переезд в новые недостаточно приспособленные (доставшиеся от Саммита АТЭС-2012) помещения в определённой степени ослабили прежнюю лабораторно-исследовательскую базу технического университета (ДВГТУ). С другой стороны, всё это явилось стимулом для её воссоздания на новых принципах и современной элементной базе. Многолетнее неформальное сотрудничество с ИПМТ ДВО РАН, одной из ведущих организаций в области подводной робототехники (ПР), позволяет использовать в учебном процессе её богатый научно-технический потенциал (рис. 1).

Одним из примеров использования производственных установок для проведения учебно-исследовательских работ студентов могут служить стенды ИПМТ для исследования характеристик движителей НПА. На рис. 2 представлен лабораторный стенд на грузочных испытаниях гребного электропривода. На рис. 3 приведены функциональная схема и устройство стенда для бассейновых испытаний движителей. На этих установках студенты в процессе учебно-исследовательских работ могут исследовать статические и динамические характеристики движителей, необходимые для разработки алгоритмов управления движением робота, проверить корректность технических решений, принимаемых в процессе его проектирования, а также определять требования к системе энергоснабжения подводного аппарата.



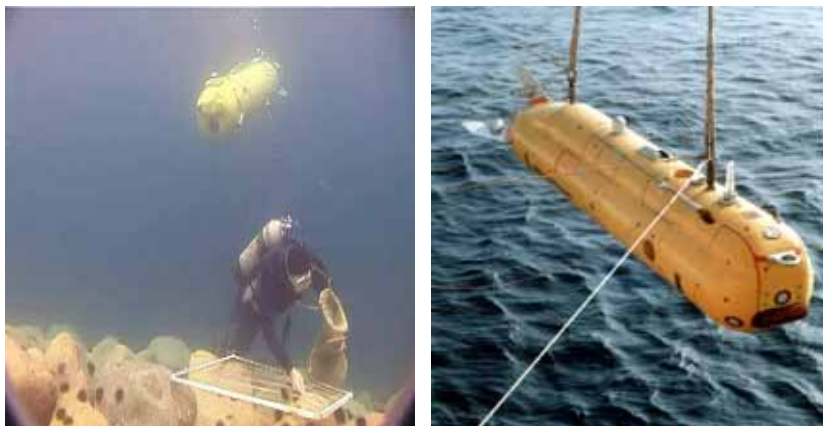


Рис. 1. АНПА Института проблем морских технологий ДВО РАН

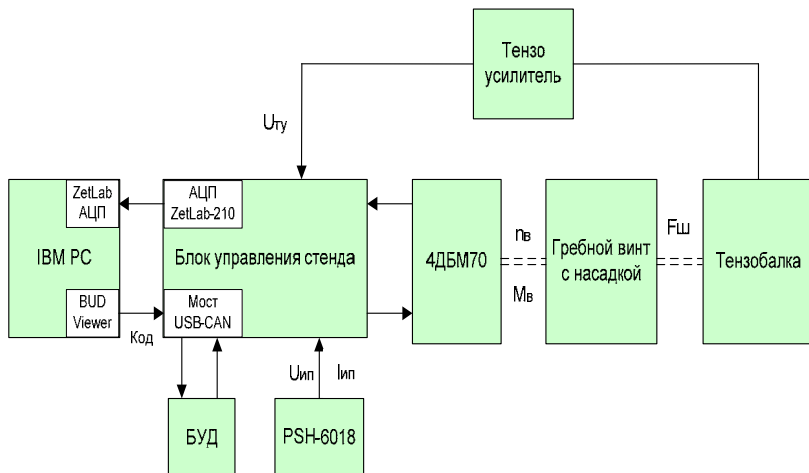


1 – нагрузочный генератор; 2 – согласующая муфта; 3 – вентильный электродвигатель в герметичном контейнере; 4 – электронная нагрузка генератора; 5 – блок управления электродвигателем; 6 – управляющий компьютер; 7 – блок электроники стенда; 8 – блок питания.

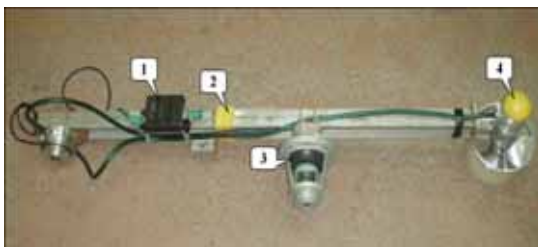
Рис. 2. Лабораторный стенд нагрузочных испытаний гребного электропривода

Другая возможность – использование программного обеспечения, созданного в ИПМТ, для постановки виртуальных лабораторных работ по подводной робототехнике охватывающих: – гидродинамические модели автономного ПА; – средства моделирования ландшафта, физических полей, датчиков и поисковой аппаратуры; – алгоритмы обхода

препятствий (рис. 7) и движения вблизи дна; – алгоритмы траекторного движения при инспектировании подводных трубопроводов (рис. 8) и линий связи; – алгоритмы группового управления АНПА.



а) Функциональная схема стенда для бассейновых испытаний движителей НПА



б) Движитель НПА в бассейне на измерительной тензобалке:
1 – тензометрический усилитель; 2 – тензорезисторы; 3 – компенсатор давления;
4 – движитель НПА

Рис. 3. Бассейновые испытания гребного электропривода

Сотрудничество ДВФУ и ИПМТ ДВО РАН привело под руководством А.Ф. Щербатюка к созданию Научно-образовательного центра «Подводная робототехника» (НОЦ ПР). Основными задачами НОЦ ПР являются:

- подготовка в области ПР специалистов высшей квалификации;
- выполнение работ по созданию и применению ПР в рамках гос. контрактов и грантов;
- привлечение студентов к выполнению НИР и участию в международных соревнованиях.

С 2008 года команда ДВФУ успешно участвует в соревнованиях «MATE International ROV Competition» (рис. 4–6), занимая в 2010 и 2012 годах первые места. В 2012 году команда впервые приняла участие в соревнованиях «RoboSub» по автономным подводным аппаратам, получив приз «За блестящий дебют», а в 2013 г. на соревнованиях «AUV Challenge 13», проходивших в национальном университете Сингапура, завоевала первое место.



Рис. 4. Первый вариант студенческого малогабаритного привязного телеуправляемого подводного аппарата (МПТПА) «Юниор»

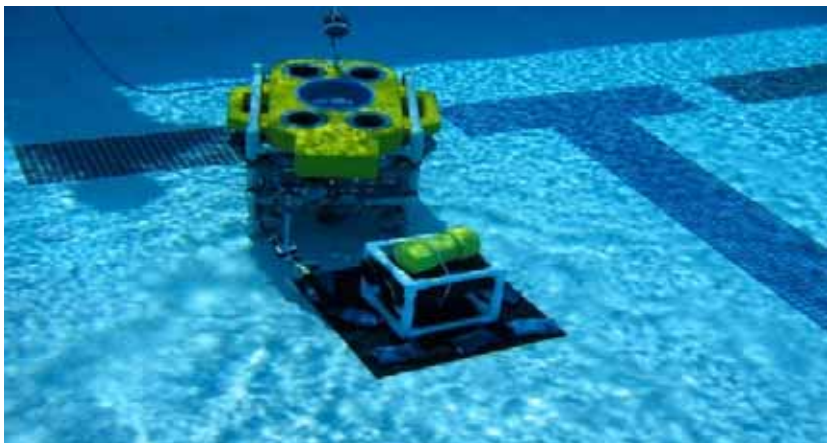


Рис. 5. Фрагмент соревнований «MATE International ROV Competition»

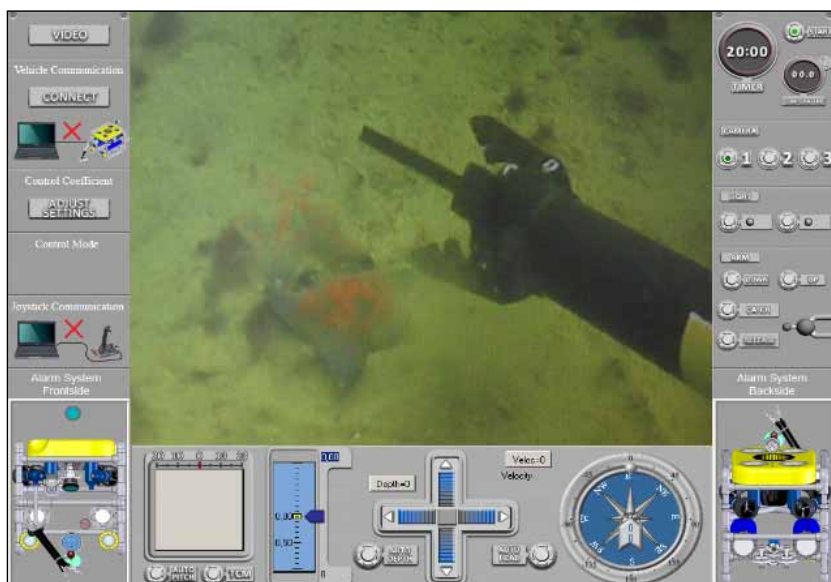


Рис. 6. Графический интерфейс оператора МПТПА «Юниор»

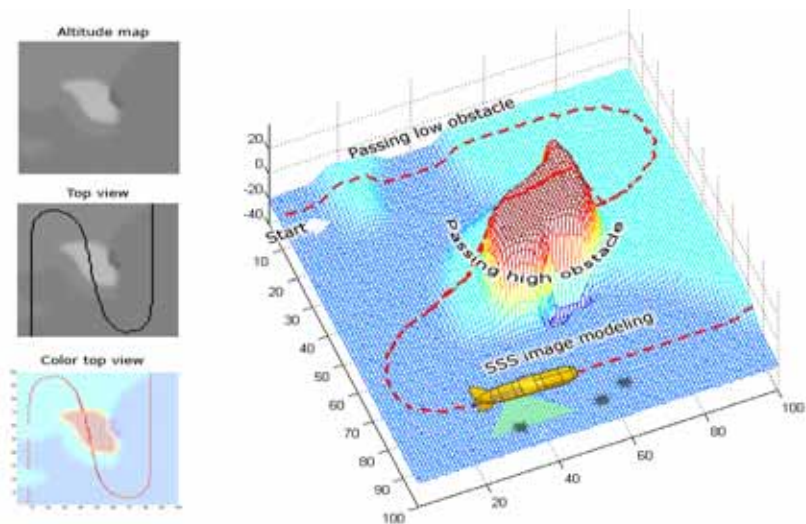


Рис. 7. Моделирование обхода подводным аппаратом препятствий

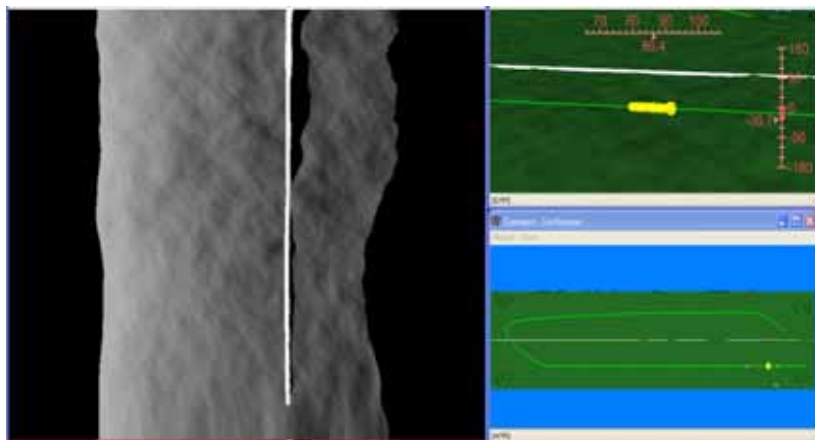


Рис. 8. Моделирование ГБО-изображения при движении АНПА вдоль трубопровода

СПАСАНИЕ ПОДВОДНИКОВ В АРКТИЧЕСКИХ ШИРОТАХ

Овчинников А.В., Бардадим Д.А., Мысенко М.В.

НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», ул. Морская, 4, 198412, г. Санкт-Петербург-Ломоносов, тел.: 8(812)422-42-64 факс: 8(812)422-76-75, vunc-vmf-5fil@mil.ru

The article presents using rescue submarine to assist submarine' crews in the Arctic conditions.

Согласно Концепции развития поисково-спасательного обеспечения (ПСО) ВМФ на период до 2025 года, утвержденной Министерством обороны Российской Федерации 14 февраля 2014 года, одной из основных задач является спасание экипажей аварийных ПЛ, лежащих на грунте, в том числе подо льдом [1]. Сложность выполнения данной задачи обусловлена тремя основными факторами:

- не обеспечивается донесение об аварии ПЛ, находящейся подо льдом (вывод о том, что ПЛ потерпела аварию можно сделать только по факту отсутствия от неё очередного планового донесения);
- поиск аварийной ПЛ подо льдом (лежащей на грунте или приледнённой), обозначенной аварийным гидроакустическим сигнализатором, может осуществляться только подводной лодкой по маршруту следования, назначенному потерпевшей аварию ПЛ, от точки из которой от неё было получено последнее плановое донесение;
- спасание экипажа аварийной ПЛ подо льдом может быть обеспечено с использованием атомной спасательной ПЛ, имеющей на борту спасательные глубоководные аппараты (СГА) и оборудованной барокомплексом для проведения лечебной декомпрессии спасаемых подводников.

С значительно меньшей эффективностью относительно спасательной ПЛ данная спасательная операция может быть проведена с использованием боевой атомной ПЛ, дооборудованной под временный носитель СГА.

За рубежом в качестве временных носителей СГА типа DSRV использовались атомные ПЛ типов «Sturgeon» и «Los Angeles» ВМС США, а также типов «Resolution» и «Vanguard» ВМС Великобритании и типа «L'Inflexible» ВМС Франции (рис. 1) [2].



Рис. 1. Спасательный аппарат DSRV на ПЛ – носителе

Преимущество атомной ПЛ – временного носителя СГА относительно спасательного судна заключается в том, что проведение спасательной операции не зависит от гидрометеорологических условий, так как выпуск СГА с носителя на аварийную ПЛ и приём его на комингс-площадку носителя со спасаемыми подводниками производится в подводном положении при нахождении носителя на стабилизаторе глубины без хода. Кроме того, в условиях ведения боевых действий, скрытно осуществить спасение личного состава аварийной ПЛ, лежащей на грунте, способна только подводная лодка, специально дооборудованная для этих целей.

Основным недостатком спасательной системы «дооборудованная под временный носитель ПЛ – СГА», существенно снижающим эффективность проведения спасательной операции, является сложность проведения декомпрессии спасенных подводников, что потребует значительных временных затрат. Кроме того, существуют проблемы организационного характера при использовании боевых ПЛ в качестве носителей СГА, а также подготовки экипажей таких ПЛ к выполнению задач спасания [2].

Отечественной промышленностью впервые в мире были разработаны и созданы спасательные ПЛ с дизель-электрической энергетической установкой. В период с 1958 по 1962 год ПЛ проекта 613 была переоборудована в экспериментальную спасательную ПЛ (ЭСПЛ) проекта 666 (рис. 2).

Опыт эксплуатации ЭСПЛ пр. 666 показал практическую возможность и эффективность использования спасательной ПЛ для спасания подводников из отсеков аварийной ПЛ, лежащей на грунте.



Рис. 2. Спасательные ПЛ пр. 666 и пр. 940 соответственно

В период с 1976 по 1979 год были созданы две спасательные дизельные ПЛ пр. 940 (рис. 2), которые показали высокую эффективность при проведении подводных поисковых работ.

За период опытной эксплуатации отработана организация и методики использования спасательных аппаратов при спасении личного состава аварийной ПЛ, комплекса водолазного оборудования с выполнением типовых водолазных работ, устройств и систем СПЛ. Было выполнено 37 всплытий и посадок СПС, 942 человеко-спуска водолазов на глубины до 200 м. Проведен вывод людей (24 чел.) с помощью спасательных аппаратов с глубины 60 м и 115 м. Впервые в практике ВМФ проведены водолазные спуски на глубины до 200 м методом длительного пребывания под повышенным давлением.

Первый (и единственный) случай применения спасательной ПЛ пр. 940 по прямому назначению имел место в 1981 г. в Уссурийском заливе при спасении экипажа дизель-электрической ПЛ С-178 пр. 613В. Лодка получила пробоину и затонула на глубине 31 м. Шестерых, из вышедших из аварийной ПЛ шестнадцати подводников в сопровождении водолазов перевели в спасательную ПЛ. Именно у этих спасенных декомпрессионной болезни не возникло, в отличие от тех, кто покинул аварийную ПЛ самостоятельно [3].

В конце 90-х годов было принято решение вывести данные корабли из состава ВМФ из-за отсутствия финансирования на ремонт.

Недостатком спасательной ПЛ с дизельной энергетической установкой является ее недостаточная энерговооруженность, не позволяющая использовать её в районах Арктики с ледовым покровом.

ОАО «СПМБМ «Малахит» в 2007 году в инициативном порядке выполнило техническое предложение по созданию спасательной атомной ПЛ, которая кроме прямых задач спасания подводников способна выполнять ряд дополнительных задач, таких как:

- выполнение подводно-технических работ в интересах ВМФ и других ведомств;
- исследование континентального шельфа с целью поиска полезных ископаемых;
- гидрологические и географические исследования акватории Мирового океана;
- исследование подледной зоны Арктического бассейна;
- проведение морских медицинских исследований с использованием барокамер и другого бортового медицинского оборудования;
- поиск и подъем затонувших и представляющих историческую ценность объектов.

В условиях курса на активное освоение Арктики [4] использование для решения данных задач специализированной спасательной ПЛ во многом компенсирует затраты на ее создание.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что задача спасения подводников аварийной ПЛ, лежащей на грунте подо льдом, а также в сложных гидрометеорологических условиях весьма актуальна. Указанная задача с наибольшей эффективностью может быть решена специализированной спасательной ПЛ с АЭУ. Опыт проектирования и эксплуатации спасательных ПЛ пр. 940 дает ценный материал для создания перспективной атомной спасательной подводной лодки и модели ее применения. Появление в составе ВМФ подобных ПЛ позволит с высокой вероятностью обеспечить сохранение жизни и здоровья подводников в случае возникновения аварии, связанной с аварийной покладкой ПЛ на грунт с живым личным составом на борту, особенно в Арктической зоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция развития системы поисково-спасательного обеспечения Военно-Морского Флота на период до 2025 года. Утверждена Министром обороны Российской Федерации 14.02.2014.
2. **Антонов А. М.** Использование боевых подводных лодок в качестве носителей спасательных глубоководных аппаратов / Судостроение. – С-Петербург, 2012. Вып. 4.
3. **Гундаров В. А.** «Ленок» – спасатель субмарин // Красная Звезда. – 31 октября 1995 г.
4. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года, утверждена Президентом Российской Федерации 20.02.2013.

ТЕХНОЛОГИЯ ОКАЗАНИЯ ПОМОЩИ АВАРИЙНОЙ ПОДВОДНОЙ ЛОДКЕ, ЛЕЖАЩЕЙ НА ГРУНТЕ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТНПА

Овчинников А. В., Сурма В. А., Гизатуллин Р. С.

НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», ул. Морская, 4, 198412, г. Санкт-Петербург-Ломоносов, тел.: 8(812)422-42-64 факс: 8(812)422-76-75, vunc-vmf-5fil@mil.ru

The article presents the technology to assist rescue the disabled submarine lying on the seabed, with using a remotely operated vehicle.

Оказание помощи аварийной подводной лодке, лежащей на грунте, является сложнейшей задачей, которую необходимо выполнить спасательным силам ВМФ. При решении данной задачи в ходе проведения спасательных работ могут применяться телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА), которые могут быть разделены на следующие классы:

- малые (обследовательские);
- средние (имеющие 1 манипулятор и способные выполнять несложные операции);
- большие (рабочие, имеющие 2 и более манипуляторов и способные выполнять сложные операции).

Для оказания помощи аварийной подводной лодке, лежащей на грунте, ТНПА способны выполнять следующие виды работ:

- допоиск аварийной подводной лодки, лежащей на грунте, в ограниченном районе;
- обследование аварийной подводной лодки;
- поддержание жизнедеятельности личного состава аварийной подводной лодки;
- поддержание живучести аварийной подводной лодки;
- обеспечение спасания личного состава аварийной подводной лодки (заведение направляющих или ходовых концов, визуальный контроль процесса спасания);
- обеспечение работы водолазов, спасательных колоколов и аппаратов.

Важным требованием применения ТНПА является обеспечение точного нахождения судна-носителя над местом проведения работ. Это достигается использованием судов с системой динамического позиционирования или постановкой судна над объектом работ на якоря или рейдовое оборудование.

В случае применения судна с системой динамического позиционирования, ограничениями для выполнения работ могут являться:

- глубина выполнения работ (по длине кабеля ТНПА);
- волнение моря (по характеристикам судна-носителя);
- сложность выполнения работ (по характеристикам ТНПА).

При постановке судна на якоря или рейдовое оборудование резко ограничена глубина выполнения работ (по характеристикам рейдового оборудования до 200 метров).

Как правило, оказание помощи аварийной подводной лодке, лежащей на грунте, начинается с уточнения места, опознания и обозначения. Далее проводится визуальное обследование аварийной подводной лодки с целью определения ее состояния и положения на грунте (глубина, курс, крен, дифферент), характера повреждений, вида грунта и т.п.

В зависимости от принятого решения на оказание помощи аварийной подводной лодке, ТНПА может выполнить задачу расчистки комингс-площадки, перерезание ходового троса спасательного колокола для обеспечения посадки спасательного аппарата, наведение спасательного аппарата на подводную лодку. Для выполнения этой работы, в зависимости от технических характеристик, ТНПА могут быть оборудованы манипулятором с тросорезом или с дисковой пилой.

При необходимости обеспечить поддержание жизнедеятельности личного состава аварийной подводной лодки путем вентиляции отсеков, а так же поддержание живучести путем пополнения запасов воздуха высокого давления и продувки цистерн главного балласта, ТНПА должен выполнить ряд операций:

- открыть замки крышки «эпроновской» выгородки;
- открыть крышку «эпроновской» выгородки;
- завести направляющий трос в «эпроновскую» выгородку;
- снять заглушки со штуцеров «эпроновской» выгородки;
- присоединить безрезьбовые штуцера со шлангами;
- открыть необходимые вентили «эпроновской» выгородки.

Для обеспечения поддержания жизнедеятельности личного состава аварийной подводной лодки путем передачи имущества, запасов воды и пищи, ТНПА должен выполнить ряд операций:

- открыть клапан выравнивания давления в шахте спасательного (входного) люка, «отдраить» кремальеру верхней крышки спасательного (входного) люка;
- открыть верхнюю крышку спасательного (входного) люка;
- загрузить глубоководный пенал с имуществом или запасами воды и пищи в спасательный (входной) люк;
- закрыть верхнюю крышку спасательного (входного) люка;
- «задраить» кремальеру верхней крышки спасательного (входного) люка;
- закрыть клапан выравнивания давления в шахте спасательного (входного) люка.

Для выполнения вышеперечисленных операций с помощью ТНПА необходима предварительная разработка технологии выполнения работ и изготовление специальных приспособлений.

С целью отработки технологии выполнения работ в НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» проводятся тренировки по оказанию помощи аварийной подводной лодке с использованием ТНПА среднего класса «Тайгер» на макетах «эпроновской» выгородки и спасательного люка.

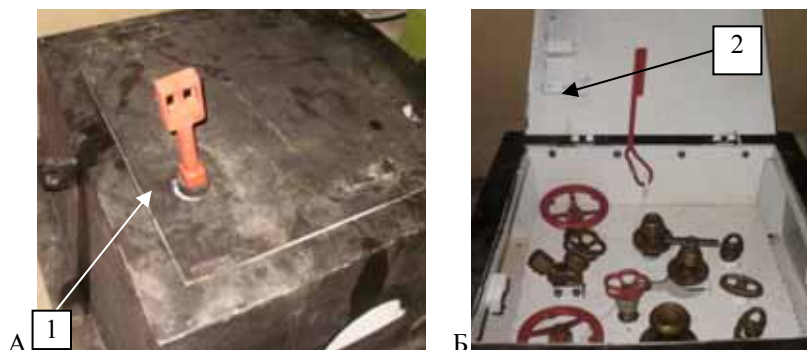
Макет «эпроновской» выгородки (рис. 1) погружают в бассейн. В манипуляторе ТНПА «Тайгер» закрепляют специально изготовленное приспособление в виде ключа, с помощью которого открывают (откручивают) винт задрайки крышки «эпроновской» выгородки и осуществляют ее открытие. После чего манипулятором ТНПА «Тайгер» отворачивают заглушку со штуцера подачи воздуха.

Далее ТНПА «Тайгер» заводит направляющий трос, который при помощи специально изготовленного приспособления в виде карабина закрепляют к обушке, расположенному в выгородке. По направляющему тросу осуществляют спуск шланга подачи воздуха высокого давления ТВД-Р на грунт.

Шланг с безрезьбовым соединением зажатый в манипуляторе ТНПА «Тайгер» вставляется в штуцер макета «эпроновской» выгородки (рис. 2). По шлангам ТВД-Р может осуществляться подача воздуха для обеспечения жизнедеятельности подводников путём вентиляции отсеков ПЛ, продувки цистерн главного балласта или пополнения запасов воздуха высокого давления.

Таким образом, в настоящее время для оказания помощи аварийной подводной лодке используются ТНПА, позволяющие проводить широкий спектр работ. Работы по оказанию помощи аварийной подводной лодке, лежащей на грунте, могут быть выполнены ТНПА среднего и

рабочего класса. Технология оказания помощи аварийной подводной лодке с использованием ТНПА отрабатывается, совершенствуется и развивается.



1 – приспособление в виде ключа для открытия винта задрайки крышки «эпроновской» выгородки; 2 – приспособление в виде карабина

Рис. 1. Макет «эпроновской» выгородки – в закрытом (А) и открытом (Б) состоянии



Рис. 2. Подключение шланга ТВД-Р к макету «эпроновской» выгородки

ЛИТЕРАТУРА

1. **Войтов Д.В.** Телеуправляемые необитаемые подводные аппараты, М., 2012.
2. Руководство по использованию ТНПА «Тайгер», 2005. – 65 с.
3. **Кулаков И., Подкопаев Д., Вассель С.** Поиск и подъем вертолёта Ка-27ПС / Морской сборник, 2004. № 5.

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПРИБОРОВ ГАЗОВОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОДОЛАЗНЫХ СПУСКОВ

Краморенко А. В., Мосейков И. Н.

НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», ул. Морская, 4, 198412, г. Санкт-Петербург-Ломоносов, тел.: 8(812)422-42-64 факс: 8(812)422-76-75, vunc-vmf-5fil@mil.ru

Problem of the provision instrument gas checking is considered In report when undertaking the undersea studies and work with participation people running on water.

В настоящее время в Российской Федерации сложилась достаточно сложная ситуация с техническим обеспечением контроля операторами режимов поддержания лечебной декомпрессии, создания кислородно-азотно-гелиевой среды, а также содержания кислорода, диоксида углерода и водорода в сосудах, работающих в условиях повышенного давления при проведении водолазных и аварийно-спасательных работ на различных глубинах. Существующие ранее приборы контроля дыхательной газовой среды по разным причинам морально устарели и не пригодны к ремонту. Предприятия-производители прекратили свою деятельность, элементная база изменилась, многие приборы, работающие, в условиях повышенного давления, производились на Украине. В частности, возникли значительные трудности при проведении Государственных испытаний нового водолазного рейдового катера комплексного аварийно-спасательного обеспечения ВМФ проекта 23040. Поставщик водолазного оборудования вынужден был установить на барокамеру прибор газового контроля, который не работал в условиях гелиевой среды, хотя по остальным параметрам подходил по требованиям Правил водолазной службы ВМФ.

В качестве выхода из сложившейся ситуации ЗАО «ИНСОВТ» (по требованиям НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия») разработало ряд новых эффективных и надежных приборов для обеспечения водолазных спусков, работающих в условиях повышенного давления и в гелиевой среде. Приборы созданы на современной элементной базе, установлены на барокамерах 328 ЭАСО

СПН ВМФ, а также НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» и успешно применяются на практике.

Речь идет о приборе комплексного контроля параметров гипербарической газовой среды водолазных декомпрессионных и рекомпрессионных барокамер «Конвой-2», который выполнен в щитовом исполнении и предназначен для установки в составе пультов управления барокамер типа ПДК-2у, РКМу и РКУМу. Прибор контролирует параметры по парциальному давлению кислорода до 250 кПа, диоксиду углерода до 4,0 кПа, работает под давлением до 110 м вод. ст. при температуре до 500 °С и относительной влажности от 30 до 100 %.

Для контроля состава газовой среды системы жизнеобеспечения (СЖО) отсеков спасательных глубоководных аппаратов (СГА) создан прибор «Конвой-3», работающий при давлении до 0,7 МПа. Прибор имеет предупредительную сигнализацию о содержании кислорода, диоксида углерода и водорода в отсеках СГА и изолирующей дыхательной системе выше предельно-допустимых значений. В сравнении с прибором «Конвой-2» прибор «Конвой-3» имеет более узкий диапазон измерения парциального давления кислорода (до 150 кПа), но способен определять объемную долю кислорода до 30 %, диоксида углерода до 2,6 % и водорода до 5 % при избыточном давлении до 60 м вод. ст.

Еще более широкие возможности имеет переносной прибор контроля параметров гипербарической газовой среды и информационной поддержки декомпрессии ПКГС «Конвой-4». Он позволяет оператору ввести в память режимы декомпрессии и получать рекомендации по их выбору в зависимости от времени экспозиции и других параметров газовой среды, также осуществляет контроль параметров жизнеобеспечения при самостоятельной декомпрессии подводников в КСВ. Прибор контролирует парциальное давление кислорода до 150 кПа и диоксида углерода до 4,0 кПа при избыточном давлении до 60 м вод. ст., при скорости снижения давления от 0,3 до 2 м вод. ст./мин. и повышения давления до 20 м вод. ст./мин.

Новые приборы контроля дыхательной газовой среды «Конвой-2», «Конвой-3» и «Конвой-4» могут быть рекомендованы к широкому использованию в системах жизнеобеспечения при проведении водолазных спусков, работающих в условиях повышенного давления и гелиевой среде, а так же в океанологических исследованиях с участием водолазов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет о научно исследовательской работе «Сбор и анализ информации: обобщение и анализ опыта по проведению глубоководных водо-

лазных спусков и работ; обобщение и анализ требований отечественных и зарубежных нормативных документов по проведению глубоководных водолазных спусков и работ». СПб – Ломоносов: НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», 2013. – 56 с.

2. Отчёт о научно исследовательской работе «Обобщение и анализ требований отечественных и зарубежных нормативных документов по проведению водолазных спусков и работ». СПб – Ломоносов: НИИ спасания и подводных технологий ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», 2013. – 23 с.

УДК 623.98

КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ И МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАТОПЛЕННЫХ ХИМБОЕПРИПАСОВ

Нерсесов Б. А., Римский-Корсаков Н. А., Карабашева Э. И.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., д. 36, 117997 г. Москва
8(495)719-03-70 nba1940@yandex.ru*

Разработаны практические рекомендации по комплексному использованию гидроакустических и магнитометрических средств обнаружения химических боеприпасов на дне Балтийского моря с учетом специфики рельефа дна и характеристик грунта.

Традиционно задача поиска подводных объектов (ПО) решается с использованием гидролокаторов бокового обзора (ГБО), буксируемых за судном. Однако эксплуатация этих средств в мелководных районах шельфа связана с определенными ограничениями.

Кроме того, предполагаемая степень покрытия осадком ПО не дает оснований для их эффективного обнаружения только гидроакустическими средствами.

Морская же магнитометрия успешно используется для их поиска в условиях естественной маскировки (илистый грунт, донная флора, складки рельефа дна) подводных объектов.

Поэтому эффективность обнаружения и обследования ППОО может быть значительно повышена за счет комплексирования средств гидроакустики и магнитометрии.

1. Гидроакустические средства поиска подводных объектов.

Отметим, что дальность действия ГБО повышается с понижением рабочей частоты, что, в свою очередь, приводит к увеличению их массогабаритных характеристик.

Однако на работу ГБО оказывают влияние маскирующие и искажающие акустические помехи, вызываемые вертикальной пространственно-временной изменчивостью региональных океанологических процессов [1].

Серьезным ограничением использования ГБО являются также реверберационные помехи, вызываемые отражениями и рассеяниями исходного звука от дна, а также от неоднородностей придонной среды и наблюдаемые в условиях мелководья.

Обнаружение ППОО, как правило, проводится гидролокаторами с длиной волны акустических колебаний, соизмеримых с эквивалентными радиусами обследуемых объектов, т.е. с частотами более 70 кГц. При этом для их надежного обнаружения соотношение сигнал/помеха должно быть не менее 2–3.

Для выделения объекта на фоне дна скорость движения ГБО должна позволять получение не менее 6–10 отметок от цели.

Кроме того, для снижения влияния дна поиск объектов целесообразно осуществлять при углах скольжения более 40°, т.е. за пределами так называемой малоинформативной зоны.

В процессе экспедиционных работ по исследованию ППОО использовались ГБО, разработанные Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН и предназначенные для исследования дна акваторий на глубинах 40–100 м:

- среднечастотный «Мезоскан-М» (рабочие частоты 70/240 кГц; дальность действия – 750 м, масса подводного носителя – 60 кг; габариты 1,5×0,3×0,3 м (рис. 1а);

- высокочастотный «МКС-240» (рабочая частота – 240 кГц; дальность действия 200 м, масса подводного носителя – 3 кг, габариты – D 0,65×0, 0,7 м (рис. 1 б).

2. Магнитометрические средства поиска подводных объектов.

Как показала практика, для надежного их обнаружения ППОО в условиях заиленного мелководья целесообразно использовать буксируемые магнитометрические средства [2].

Известно, что магнитометр является эффективным средством неакустического обнаружения объектов, имеющих ферромагнитную конструкцию.

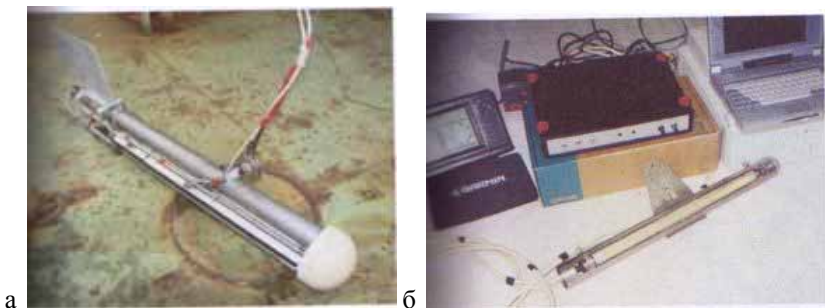


Рис. 1. Гидролокаторы бокового обзора
«Мезоскан-М» (а) и «МКС-240» (б)

Это уникальный прибор с успехом используется для поиска подводных объектов в условиях низкой эффективности гидроакустических средств: в любых средах (воздухе, воде, грунте) и, главное, – на границах раздела этих сред («воздух – вода», «вода – грунт»). Особенно эффективен магнитометр при поиске затонувших подводных объектов.

Градиентометрический метод измерений магнитного поля

Важным техническим решением, снижающим уровень собственных и геомагнитных помех, является переход от одиночного датчика магнитного поля к градиентометрической системе датчиков, снижающей уровень не только геомагнитных пульсаций, а также внешних помех из-за углового рассогласования датчиков (за счет дифференциального соединения пары датчиков, находящихся на некотором фиксированном расстоянии друг от друга, называемом измерительной базой).

Традиционно магнитометры – градиентометры подразделяются на две категории:

- курсовые (продольные), измеряющие приращение поля в направлении продольном движению;
- траверзные (поперечные), измеряющие приращение поля в направлении перпендикулярном движению.

3. Выбор полосы пропускания канала обнаружения подводных объектов

При измерении магнитных полей от единичных образцов химснарядов, группы снарядов, контейнеров, затопленных судов с ХБ следует иметь ввиду, что основная часть сигнала создается дипольной составляющей магнитного поля объекта обнаружения.

Однако характерный размер диполя может быть разным – от единиц метров (для отдельных снарядов и бомб) и десятков метров (для контейнеров и барж) до сотен метров (для группы снарядов, рассыпанных по дну моря).

На полосу пропускания канала («спектральное окно») обнаружения влияют: скорость движения ММС, расстояния до подводного объекта и характерный размер диполя или суперпозиции разноректорных диполей.



Рис. 2. Внешний вид магнитометров градиентометров: курсового (а) и траверзного (б)

В соответствии с этим для повышения селективности ППОО требуются различные по ширине «спектральные окна». Целесообразно при обработке магнитограммы объекта наличие трех «спектральных окон»: от самого узкого (с постоянной времени порядка 0,1 с – при обнаружении одиночного диполя) до широкого – (1–3 мин. – при обработке сигнала от суперпозиции диполей). При поиске затонувших судов следует использовать среднее «спектральное окно» (с постоянной времени порядка 10–20 с).

Таким образом, комплексирование активных (гидроакустических) и пассивных (магнитометрических) средств поиска, в зависимости от океанологической обстановки в районе проведения подводных работ, позволит избавиться от принципиальных ограничений, присущих каждому из них, а также повысить эффективность их использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев С.П., Римский-Корсаков Н.А. и др. / Справочник технических средств изучения параметров природной среды Мирового океана. //ГНИНГИ МО РФ. – СПб, 2009. 183 с.

2. Афанасьев М.С., Нерсесов Б.А. /Морские магнитометрические системы поиска и контроля // ГНУ «Экспертно-аналитический центр Минобрнауки РФ». – М., 2012. 165 с.

УДК 629.584.018.7

ИСПЫТАНИЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ГЛУБОКОВОДНЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОПЫТОВОМ БАССЕЙНЕ

Соколов М. А.

*ФГУП «Крыловский государственный научный центр»,
Московское шоссе 44, Санкт-Петербург, 196158,
тел.: +7(812)415-46-07, факс: +7(812)727-96-32.
E-mail: krylov@krylov.spb.*

The paper justifies the necessity to carry out tests of full-scale submersibles in the deep-water towing tank of the Krylov Centre as well as feasibility of these tests.

За последние десятилетия заметно увеличилось количество разрабатываемых проектов малых и сверхмалых подводных аппаратов (в том числе и автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА)). Причиной этого является возросший спрос на подобные аппараты, который вызван, с одной стороны, активным освоением ресурсов морского дна и связанными с ним проблемами экологического мониторинга, с другой стороны, совершенствованием конструкции самих аппаратов в связи с бурным развитием электроники и робототехники. Если 15–20 лет назад подводный необитаемый аппарат, по сути, являлся дистанционно управляемой подводной камерой и был пригоден в первую очередь для наблюдения (см. рис. 1), то современный подводный аппарат, оснащённый мощным процессором и манипуляторами (см. рис. 2), способен выполнять целый спектр подводных работ. В определённых ситуациях он

даже может заменить водолаза, особенно при выполнении работ на больших глубинах и в стеснённых условиях.



Рис. 1. Подводный аппарат старого образца



Рис. 2. Подводный аппарат нового образца

Требования, предъявляемые к ходкости и управляемости подводных аппаратов, как правило, невысоки. Важной характеристикой является точность позиционирования, но она обеспечивается в первую очередь системами управления. Жестких требований к тяге маневровых движителей, как правило, не предъявляется. Вследствие этого при проектировании подобных аппаратов оценка гидродинамических характеристик корпуса и движителей проводится в минимальном объёме, обычно на основании теоретического расчёта по упрощённой схеме, без учёта взаимодействия движителя с корпусом. С экономической точки зрения подобный подход, вероятно, оправдан, поскольку точный расчёт ходкости и модельный эксперимент, проведённые на этапе проектирования (что обязательно для подводных лодок и морского оружия) весьма дороги. При этом есть реальная опасность, что изготовленный аппарат не сможет обеспечить заданной скорости и управляемости в силу недостаточной тяги движителей. Причиной этого (помимо ошибок в расчётах) может недооценка влияния взаимодействия движителей с корпусом аппарата. Указанный корпус очень часто является плохообтекаемым телом, оценить сопротивление которого – непростая задача. Движители, расположенные вблизи такого корпуса, могут создавать перед собой зону разрежения, существенно изменяющую условия работы самого движителя, и вызывать на корпусе силы, направленные против тяги движителя (рис. 3). Кроме того, следует учитывать, что маршевые движители подводных аппаратов имеют небольшой диаметр и из-за высокой частоты вращения рабочего колеса и малой скорости поступательного движения аппарата работают при низкой кажущейся от-

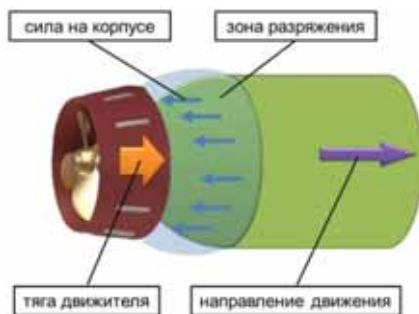


Рис. 3. Схема сил возникающих на корпусе перед работающим двигателем

носительной поступи $J_v \approx 0.3$, а обычные движители проектируются на поступи $J_v \approx 0.8 \div 1.0$. Соответственно, основные расчётные методики для проектирования гребных винтов ориентированы именно на указанные поступи. Использование таких методик может оказаться источником погрешности. Так, например, в глубоководном опытовом бассейне ФГУП «Крыловский государственный научный центр» (ФГУП «КГНЦ») испытывался подводный аппарат,

который вместо расчётных 2 м/с не смог набрать 1 м/с. При этом возникла реальная опасность, что аппарат не сможет позиционироваться при заданной заказчиком максимальной скорости подводного течения.

Одним из выходов из сложившейся ситуации может быть испытание изготовленного подводного аппарата (или его корпуса) в глубоководном опытовом бассейне. Например, подобный бассейн ФГУП «КГНЦ» (рис. 4) имеет следующие размеры рабочего участка: длина – 600 м, ширина – 15 м и глубина – 7 м. Это позволяет исследовать в нём подводные аппараты длиной до 10 м (при определённых условиях до 15 м). Имеющееся в доковой части крановое оборудование позволяет опустить в чашу бассейна изделие массой до 15 т. Практически здесь могут быть испытаны подводные аппараты любого, вплоть до тяжёлого класса.

В указанном бассейне можно проводить (и фактически неоднократно проводились) испытания реальных подводных аппаратов различных типов и назначений с целью оценить их ходовые качества, манёвренность, способность маневрировать в автоматическом режиме и взаимодействовать с оборудованием, размещённым на дне. При этом сам аппарат и обслуживающий персонал находятся в комфортных условиях, не зависящих от погоды. Прозрачность воды в бассейне позволяет, при соответствующей освещённости, наблюдать аппарат на любой глубине. Для небольших аппаратов в бассейне можно проводить этап приемных испытаний. При необходимости при помощи оборудования бассейна возможно исследование сопротивления корпуса подводного аппарата в зависимости от скорости движения; определение характеристик (упора и момента) гребных винтов в зависимости от поступи «в свободной во-

де» и оценка эффективности взаимодействия винтов с корпусом аппарата. По результатам испытаний и на основании наработанных сотрудниками бассейна методов могут быть сформированы рекомендации по оптимизации обводов корпуса и гребных винтов. Небольшие оперативные доработки могут быть произведены с использованием имеющегося во ФГУП «КГНЦ» станочного парка.



Рис. 4. Глубоководный опытовый бассейн ФГУП «Крыловский государственный научный центр»

Для подводных аппаратов, изготавливаемых небольшой серией, это сравнительно недорогая возможность на головном аппарате произвести отладку и исправление ошибок (в случае их обнаружения).

В случае, если подводный аппарат изготавливается штучно (или совсем небольшой партией – 3÷5 штук), то обнаружение в процессе испытаний существенных недостатков уже изготовленного аппарата, приведёт к отбраковке, что окажется серьёзным расходом финансовых средств. В таком случае, более рациональной может оказаться следующая последовательность действий. Проектируется и изготавливается подводный аппарат (или корпус указанного аппарата). Производятся буксировочные испытания в глубоководном опытовом бассейне, в результате получаем зависимость буксировочного сопротивления от скорости движения аппарата. По полученным результатам и заданным характеристикам двигателя проектируется гребной винт (винты). Проектирование гребных винтов также может быть выполнено во ФГУП «Крыловский государственный центр». Для проектирования подобных гребных винтов используется специальная методика позволяющая проектировать винты, работающие при малых поступях и на «швартовом

режиме». Более того, здесь же можно изготовить указанные винты из алюминиевых сплавов или бронзы. Работа выполняется на пятикоординатном фрезерном станке с ЧПУ. Допустимый диаметр винтов – до 400 мм. Единственным условием выполнимости данной схемы является достаточная мощность двигателя, заложенная при проектировании.

Более надёжным, но и более длительным, вариантом является следующая последовательность действий: буксировочные испытания корпуса с выступающими частями, подбор двигателя по результатам испытаний и проектирование гребного винта, исходя из характеристик выбранного двигателя и корпуса.

Затраты на проведение испытаний ФГУП «КГНЦ» достаточно велики, но гораздо дороже обходится построенный аппарат, который не способен пройти сдаточные испытания и решать поставленные задачи.

УДК 551.46.07

ТРЕНАЖЕРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ОПЕРАТОРОВ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Клименко Т. С., Милованов М. А., Илларионов А. В.

*ОАО «Центральный научно-исследовательский институт «Курс»
105187, Россия, Москва, Кирпичная улица, д. 34а*

In this report the structure, basic functions and main advantages of different types remotely operated vehicles (ROVs) personnel drill training system is described.

Невозможность проведения обучения операторов необитаемых подводных аппаратов (НПА) на реальных эксплуатируемых аппаратах обуславливается рисками возможных аварий или потери дорогостоящих аппаратов. Поэтому начальную подготовку операторов НПА следует проводить на специально разработанных тренажерах.

В настоящее время в ОАО «ЦНИИ «Курс» разработан тренажерный комплекс для подготовки операторов по управлению телеуправляемыми НПА (ТНПА).

Разработанный тренажер предназначен для проведения занятий и тренировок операторов ТНПА «Falcon», «Panther+», «Tiger», «Обзор» с

целью поддержания и повышения их профессионального мастерства при выполнении таких работ, как: осмотр трубопроводов и кабельных линий; работы на нефтяных и газовых промыслах; выполнение поисковых и обследовательских работ в прибрежных морских или внутренних водах и т.д.

На рис. 1 представлен внешний вид учебно-тренировочного комплекса.



Рис. 1. Тренажерный комплекс для обучения операторов телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов различных типов

Комплекс предназначен для одновременного обучения двух экипажей. В каждом экипаже обучается по два оператора: оператор движения и оператор управления манипулятором. На верхних экранах стоек тренажерного комплекса отображаются данные виртуальной гидроакустической навигационной системы (ГАНС) и имитатора гидролокатора кругового обзора (ГКО). К стойкам операторов подключаются соответствующие пульта управления (как оригиналы, так и специально разработанные для данного тренажера реплики).

На стойках операторов выполняется:

- Формирование имитируемой внешней обстановки, наблюдаемой через камеру ТНПА.
- Управление ТНПА.
- Отображение параметров движения ТНПА, состояния его систем.
- Отработка внешних воздействий (течение, удары).
- Расчет динамики перемещения элементов манипулятора в воде, захват манипулятором предметов, размещенных в водной среде (инструментов, мин, тросов, обломков, растительности и т.д.).

Помимо стоек операторов в состав тренажерного комплекса входит двухмониторная стойка инструктора, позволяющая выполнять следующие операции:

1. Загрузка предустановленных или заранее созданных инструктором миссий.

2. Создание миссий:

- с использованием имеющихся в редакторе миссий трехмерных объектов внешней обстановки;

- с использованием созданных инструктором трехмерных объектов (с помощью стороннего программного обеспечения);

- с применением цифровых моделей реального рельефа дна, что позволит отрабатывать сценарии операции при подготовке к выполнению сложных задач в открытом море.

3. В процессе обучения операторов:

- отслеживание действий операторов во время обучения;

- сохранение и регистрация данных для последующего воспроизведения хода выполнения миссии операторами;

- автоматизированная оценка действий операторов, формирование отчета о выполнении миссии.

Имитация работы гидролокатора происходит при работе двух программ: специально разработанного имитатора сигналов гидролокатора кругового обзора «SeaKing» и «SeaPrince» и программного обеспечения «SeanetPro» – программного обеспечения, предназначенного для отображения сигналов ГКО, применяемого при управлении реальными ТНПА типов «Falcon», «Panther+», «Deep Ocean» и др.

Имитация отображения информации гидроакустической навигационной системы происходит с помощью специально разработанного аналога реальной гидроакустической системы позиционирования TrackLink.

Физические процессы в учебно-тренировочном комплексе имитировались с помощью библиотеки физики «Bullet» (Bullet Physics Library) – свободно распространяемого физического движка реального времени. «Bullet» активно используется в компьютерных играх, фильмах, программах трёхмерного моделирования. Основные возможности «Bullet»: просчет столкновения таких фигур, как: сфера, параллелепипед, цилиндр, конус, выпуклый корпус; реализация алгоритма расчёта столкновений Гилберта-Джонсона-Кёрти; поддержка физики мягких тел и тканей, а так же гидродинамики сглаженных частиц и др.

Для имитации и визуализации внешней обстановки используется специально разработанное математическое и программное обеспечение.

На каждом АРМ учебно-тренировочного комплекса интерактивное электронное техническое руководство (ИЭТР), предназначенное для первоначального обучения операторов ТНПА. ИЭТР содержит данные руководств по эксплуатации ТНПА «Фалкон», «Пантера+», «Обзор», «Тайгер» о составе, функциональности, управлении, комплектующих, техническом обслуживании.

Особенностями и преимуществами тренажерного комплекса являются:

1. Использование штатных пультов управления ТНПА (а не игровых джойстиков, как в некоторых других тренажерах) с возможностью настройки управления.
2. Возможность изменения конструкции ТНПА с сохранением адекватности работы модели (навесное оборудование).
3. Самостоятельное моделирование инструктором сцен для тренировок.
4. Возможность добавления созданных инструктором трехмерных объектов в сцены для тренировок.
5. Возможность изменения параметров внешней среды и рельефа дна.
6. Автоматизированная оценка действий операторов и формирование отчета.
7. Запись и последующее воспроизведение прохождения операторами миссии.
8. Наличие справочной информации об устройстве и правилах эксплуатации ТНПА.
9. Возможность добавления новых типов ТНПА, операторы которых проходят обучение на тренажере.
10. Моделирование процессов воздействия течения на планктон, и растительность на дне.
11. Адекватная обработка внешних воздействий.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Вельтищев, В. В.** Организация технических средств подготовки операторов подводных аппаратов / В.В. Вельтищев // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». – 2012. – С. 24–31.
2. **Илларионов, А. В.** Система задания и отображения обстановки на базе ГИС / А.В. Илларионов, И.В. Шеховцова // Проблемы развития корабельного вооружения и судового радиоэлектронного оборудования. № 01 – 2012 – С. 10-19.
3. **Клименко, Т. С.** Учебно-тренировочные комплексы для подготовки специалистов по действиям в особо сложных условиях с исполь-

зованием необитаемых подводных аппаратов / Т. С. Клименко, М. А. Милованов // Научно-технический сборник «Труды научно-исследовательского института оперативно-стратегических исследований строительства ВМФ «Перспективы создания и применения робототехнических комплексов ВМФ», 2014. – С. 216–225.

УДК 556.07

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАЛОГАБОРИТНОГО АНПА ЕСОМАРРЕР ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

**Дудко Д. И., Воробьёва Е. С., Колмак Р. В., Фёдоров И. С., Шпилёв
Н. Н.**

*ФГУП Крыловский государственный научный центр,
г. Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44, 196158,
Тел.: +7 812 415-46-07, Факс: +7 812 727-96-32. krylov@krylov.spb.ru.*

This report examines Autonomous underwater vehicle Ecomapper and installed on board equipment. The results of the tests in the experimental pool and in the Neva Bay and provides some final data.

Введение

В настоящее время в зарубежной практике морских инженерных изысканий и научных исследований большое распространение получили малогабаритные («low logistic») автономные подводные необитаемые аппараты (АНПА). Как правило, такие аппараты имеют длину 1.5-2.5 м, диаметр 0.15-0.25 м и вес не более 50 кг. При таких габаритах АНПА удобно применять с борта любого плавательного средства или непосредственно с берега водоёма. Аппараты указанного класса могут быть оснащены многочисленными устройствами, включая навигационные системы, акустические системы для батиметрических, гидрофизических измерений и для освещения подводной обстановки, физико-химические измерители параметров морской среды.

В настоящем докладе представлены результаты испытаний АНПА Ecomapper совместного производства компаний Ocean Server (США) и YSI Inc. (США). Подводный носитель измерительной аппаратуры создан

компанией Ocean Server (АНПА IVER 2). Измерительные системы, включая датчики СТД, физико-химические преобразователи, доплеровский акустический профилограф течений произведены компанией YSI Inc.

Испытания выполнялись на полунатурном стенде: в открытом опытовом бассейне (ООб) и в натуральных условиях в акватории Невской губы.

Целями испытаний являлись: выбор оптимальных режимов маневрирования АНПА, которые обеспечивают получение надёжных данных о батиметрических характеристиках обследуемой акватории и определение режимов маневрирования позволяющих получать достаточно полные данные об экологическом состоянии водных масс.

Описание АНПА

На рисунке 1 показан общий вид АНПА Ecomapper и установленное на его борту измерительное и контрольное оборудование.



Рис. 1. АНПА Ecomapper

Измерители гидрологических и физико-химических параметров, размещённые в носовой части АНПА включают:

Для выполнения навигационных измерений и одновременно для определения профилей скоростей течений используется акустический доплеровский 4-х лучевой профилограф течений, для определения положения АНПА по глубине применяются акустические датчики:

Альтиметр (относительно морской поверхности) и эхолот (относительно дна). АНПА позволяет также проводить обследование дна с помощью гидролокатора бокового обзора.

Для навигационных измерений на морской поверхности применяется система GPS. Передача данных в систему АНПА и сброс измеренных данных осуществляются с помощью Wi-Fi связи.

Представленный состав измерительного оборудования обеспечивает проведение экологического мониторинга акваторий и инженерные изыскания.

Измерения в ООБ и в акватории Невской губы

Измерения с использованием АНПА Есотаррег проводились в режиме маневрирования по глубине и галсам. Для обеспечения работы АНПА применялась лодка с электромотором.

Программирование автономной работы АНПА основано на задании точек вдоль маршрута судна, в которых АНПА должен выполнить команду: погрузиться на заданную глубину, всплыть для корректировки положения, совершить поворот на заданный курс.

Программирование осуществляется с использованием масштабированной карты акватории, на которой задаются точки выполнения команд и сами команды.

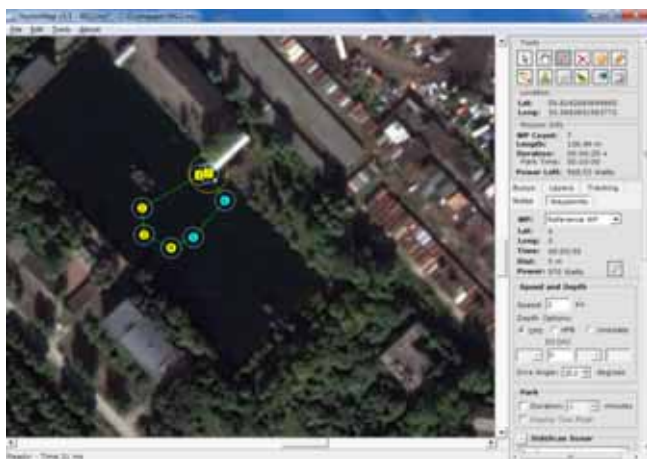


Рис. 2. Карта ООБ с нанесёнными на ней точками маршрута судна

На рис. 2 показан пример траектории движения АНПА, которая запрограммирована точками с заданными координатами на карте бассейна. В каждой точке, являющейся началом очередного участка маршрута, указана глубина, которую должен занять АНПА, направление и скорость его движения. Заданы также команды на выполнение измерений определённой группой датчиков.

На рис. 3 представлен пример трёхмерной картины маневрирования АНПА в глубоководной части ООБ. Цветовой градацией обозначены уровни содержания растворённого кислорода в воде, измеренные вдоль маршрута судна. На рис. 4 представлены результаты измерений гидролокатора бокового обзора (ГБО) в акватории Невской губы.

СПЕЦИФИКА И СТАНДАРТИЗАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ОПЕРАТОРАМ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВОДНЫМИ РОБОТАМИ

Углев В. А.

*Сибирский федеральный университет,
Кирова, 12а, 662971, г. Железногорск, 8(391)975-06-20,
uglev-v@yandex.ru*

Paper presents a specifics of the operator of underwater vehicle / robotic systems. Discussed the necessity and feasibility of establishing professional standard for this profession.

Подводные работы и исследования всё чаще выполняются с привлечением робототехнических средств. Не смотря на то, что наибольшие перспективы имеют именно автономные необитаемые подводные аппараты [1], наибольшее распространение на сегодняшний день имеют телеуправляемые подводные аппараты (ТНПА). Их спецификой является обязательное наличие человека-оператора в контуре управления на всём цикле выполнения роботом своей задачи.

Подводные роботы по характеристикам сложности управления и стоимости уступают лишь космическим. В связи с этим возрастает риск потери аппарата не только по внешним факторам [2], но и по вине оператора. В этих условиях всё зависит от врождённых или приобретённых навыков (компетентностей), которыми должен обладать человек-оператор. Поэтому очевидно, что для управления всеми видами подводной робототехники (включая батискафы), требуется не только специфическая практическая, но и специальная теоретическая подготовка.

Требования к квалификации людей-операторов робототехнических комплексов, включая управление ТНПА, можно разделить на следующие группы:

- Физические (например, быстрая акклиматизация, переносимость качки т.п.);
- Психофизиологические (например, развитые чувствительность, внимание, реакция, точность, терпеливость и пр.);
- Когнитивные:
 - Профессиональные знания (принципы и закономерности телеуправления, динамика и кинематика манипуляционных механизмов,

специфика воздействующих на робота сил и методы их компенсации при управлении и т.д.);

- Технические (архитектура и принципы диагностики состояния робота, конструктивные особенности и неисправности манипуляционных механизмов и движителей и пр.)

- Информационные (возможности и ограничения бортового вычислительного компьютера и его программного обеспечения, специфика и протоколы передачи информации от робота к системе телеуправления и т.д.);

- Отраслевые (физика рабочей среды, техника безопасности при нештатных ситуациях, виды и характеристики прочих вспомогательных устройств и приспособлений и пр.).

В связи тем, что число операций с привлечением АНПА возрастает, особенно в коммерческих структурах, а так же в Министерстве чрезвычайных ситуаций и обороны, то и профессия оператора подводного робота должна иметь вполне конкретные очертания [3]. Это тот случай, когда людей с призванием достаточно мало, а привлечение (принудительное или по желанию) «поручить» роботом может привести не только к срыву операции, он и к потере аппарата.

Зарубежный опыт подготовки операторов в направлении подводной робототехники показывает, что этим должны заниматься либо учебные подразделения фирм-производителей соответствующих аппаратов, открывая сертификационные центры [4], либо учебные заведения, ориентируясь на специфику отраслевого заказа. В любом случае, предполагается серьёзный отсев претендентов и дальнейшая целенаправленная подготовка специалистов. В нашей стране специалисты в робототехнике вообще не имеют официальной специализации, включаясь в общий стандарт машиностроения. Базовой причиной является отсутствие профстандартов, регламентирующих их деятельность на уровне самостоятельной профессии [5, 6].

Примечательно, что требования отечественного законодательства как к профстандартам Министерства труда и социальной защиты РФ, так и к федеральным государственным образовательным стандартам Министерства образования и науки РФ должны ориентироваться на заказ реального сектора экономики и государства при утверждении перечня профессий [7]. И действительно: мы видим появление в перечне утверждённых к разработке профстандартов [8] разнообразные профессии, детально регламентирующие требования к подготовке очень узких отраслевых групп специалистов (например, оператор раскряжевочной установки). Но в нём нет ни одной профессии, ориентированной на робототехнику, тем более – на подводную робототехнику.

Данная проблема послужила поводом для организации и проведения круглого стола «Легализация подготовки специалистов в области Робототехники и искусственного интеллекта» в рамках ежегодной конференции «Робототехника и искусственный интеллект» (Железнодорожск, 13 декабря 2014 г.). В ней приняли участия как представители учебных заведений Сибири (Омск, Красноярск, Железнодорожск), так и представители Министерства обороны (3 ЦНИИ МО РФ, г. Москва), а так же разработчиков робототехнических комплексов (ЦНИИ «Робототехники и технической кибернетики», г. Санкт-Петербург). По результатам обсуждения была не только подтверждена актуальность проблемы подготовки специалистов в различных областях робототехники (включая интеллектуальную) по специализированным профессиональным стандартам, но и отмечены следующие вопросы для продолжения дискуссии:

- Следует ли дифференцировать профстандарты внутри каждого направления робототехники или ограничиться общей «рамкой»?
- Как выделять категории внутри профессии и следует ли привязывать их к уровню образования (курсы повышения квалификации, диплом бакалавра, специалиста и магистра)?
- Кто должен задавать тон в разработке профстандартов (предприятия-производители робототехнических комплексов, работодатели отраслей или научно-образовательные учреждения)?
- Требуется ли открытие не привязанных к производителю техники сертификационных центров?

Таким образом, ключевым моментом в решении вопроса «быть или не быть новой группе профессий?» стало определение инициативного лидера, готового и способного возглавить работу заинтересованных сторон по формированию профессионального стандарта или их группы. И, не смотря на ряд не разрешенных вопросов как в отечественном законодательстве, так и в самой технологии разработки реально эффективных профессиональных стандартов [6], было достигнуто общее понимание важности данной проблемы и необходимости кооперации по выработке требований к квалификации и специфике подготовки операторов робототехнических комплексов с привлечением всех заинтересованных сторон.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Агеев, М. Д.** Автономные подводные роботы: системы и технологии / М. Д. Агеев, Ю. В. Матвиенко, и др. – М.: Наука, 2005. – 398 с.
2. **Углев, В. А.** Комплексный учёт рисков при проектировании подводных исследовательских робототехнических комплексов / В. А. Углев

// Современные методы и средства океанографических исследований: материалы XII международной научно-технической конференции в 2 т. Т. 2. – М.: АПР, 2011. – С. 95–98.

3. **Углев, В. А.** К вопросу подготовки операторов робототехнических комплексов / В. А. Углев // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку: матеріали Всеукраїнської науково-практичної Internet-конференції. – Черкаси: 2014. – С. 46–47.

4. **Ляхов, Д. Г.** Вопросы подготовки операторов необитаемых подводных аппаратов / Д.Г. Лях, С.А. Мун // Технические проблемы освоения мирового океана: материалы IV Всероссийской конференции. – Владивосток: ИПМТ ДВО РАН, 2011. – С. 128–133.

5. **Постановление** Госстандарта РФ от 26.12.1994 N 367 (ред. от 19.06.2012) «О принятии и введении в действие Общероссийского классификатора профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов ОК 016-94» (вместе с «ОК 016-94. Общероссийский классификатор профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов»).

6. **Углев, В. А.** Легализация специальностей в области робототехники и искусственного интеллекта / В. А. Углев // Робототехника и искусственный интеллект: материалы VI Всероссийской научно-технической конференции. – Красноярск: Центр информации, 2014. – С. 210–216.

7. **Постановление** РФ от 22.01.2013 №23 «О Правилах разработки, утверждения и применения профессиональных стандартов».

8. **Профессиональные стандарты** Минтруда и соцразвития, [Электронный ресурс]: режим доступа – [http:// profstandart.rosmintrud.ru/](http://profstandart.rosmintrud.ru/).

УДК 629.127

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕМЕНТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РЯДА МОДУЛЬНЫХ АНПА

Татаренко Е. И.¹, Смирнов В. Д.¹, Гафуров С. А.²

¹*Самарский государственный технический университет,
ул. Молодогвардейская, 244, 443100, г. Самара, 8(846)263-76-26,
comandor239@mail.ru*

²*Самарский государственный аэрокосмический университет
(национальный исследовательский университет), Московское шоссе, 34,
443086, 8(846)267-46-59, gafurov@sasau.ru*

This paper describes the conception of universal construction unit implementation for Unmanned Underwater Vehicles design. Additionally it describes the basic criterions for different technical solutions. The proposed conception is based on author's experience in UUV design describing in this paper.

Угроза национальной безопасности России в виде стремительно развивающихся в ведущих западных странах необитаемых аппаратов разных типов и назначений ставит вопрос о наиболее эффективных способах нейтрализации возникающих угроз.

За последние 20-30 лет высокую эффективность при выполнении как традиционных (обзорно-поисковых, разведывательных и противоминных), так и целого ряда новых видов подводных работ показали необитаемые подводные аппараты – НПА.

Использование НПА в современных подводных действиях является чрезвычайно многообразным; очень большим является и количество используемых архитектурно-конструктивных типов аппаратов [1].

При ограниченном уровне финансирования разработок необитаемых морских систем, имеющемуся разрыве с развитыми странами в технологиях, из-за ряда других объективных и субъективных причин надеяться на быструю ликвидацию существующего разрыва не приходится. Поэтому в данной ситуации можно говорить лишь о некоторых «асимметричных» действиях, сводящих к минимуму временное, количественное и качественное отставание в указанной сфере подводной техники.

Военная доктрина РФ базируется на концепции эффективной обороны. Поэтому сегодня в наибольшей степени соответствующим национальным интересам РФ представляется создание и совершенствование систем разведки, противоминных и противолодочных систем[2].

В свете сказанного оправданной и назревшей является задача приведения хотя бы некоторой номенклатуры выпускаемых серийно специализированных НПА и их блоков к минимально необходимому ряду типизированных конструктивных элементов-модулей в виде сборочных единиц, что позволило бы собирать из этих модулей НПА конкретного целевого назначения.

Понятно, что указанные модули должны быть рационально сконструированы, стандартизованы, унифицированы и симплифицированы.

В докладе рассмотрена попытка решения этой задачи на примере разработки универсальных модулей, используя которые, можно построить целый ряд совершенно разнородных НПА, таких, как:

– торпедообразный глайдер;

- гибридный глайдер;
- волновой глайдер;
- дистанционно управляемый НПА (ROV);
- надводный необитаемый аппарат (ННА) минной разведки.

Проведена декомпозиция указанных аппаратов на основные конструктивно-технологические модули, которые для данной генерации аппаратов можно считать типовыми и изготавливать в едином конструктиве.

За базовый архитектурно-конструктивный тип универсального базового модуля взято торпедообразное тело вращения с гидродинамически оправданной формой обводов, имеющее приемлемые гидродинамические характеристики во всём диапазоне изменения числа Рейнольдса при его движении.

Так, в составе торпедообразного глайдера двухкорпусной схемы выделены следующие основные блоки и элементы конструкции:

- лёгкий обтекаемый корпус с элементами крепления внутренних модулей;
- модуль изменения плавучести;
- аккумуляторная батарея;
- блок электроники;
- блок полезной нагрузки.

Если к перечисленным модулям добавить универсальный модуль двигательно-движительной установки, получится структура гибридного глайдера.

Волновой глайдер помимо надводной части имеет подводный преобразователь энергии волн в перемещение аппарата.

Конструктив и состав аппаратуры надводной части волнового глайдера являются теми же самыми, что и описанные выше. Кроме того, она имеет и систему изменения плавучести, позволяющую ей погружаться на заданную глубину в зависимости от выполняемой задачи или внешних условий.

Если установить на базовый модуль дополнительные двигательно-движительные модули, а в качестве блока полезной нагрузки использовать модуль кабельной связи, то получится телеуправляемый подводный аппарат – ROV.

Ещё одним устройством, которое может быть получено из указанного набора модулей и устройств, является необитаемый надводный аппарат (ННА) минной разведки.

Это устройство, снабжённое гидролокаторами бокового обзора (ГБО), видеосистемой, химическим анализатором воды и др. измерительными системами, перемещается у поверхности воды, управляясь

либо по радиоканалу, либо руководствуясь заранее заданными координатами с помощью системы спутниковой навигации.

При необходимости отметить на дне обнаруженный объект или провести дополнительные исследования, он может погрузиться и подойти ближе к этому объекту.

Указанные унифицированные модули могут служить основой построения и других универсальных или специализированных систем.

Важное обстоятельство, заставляющее использовать единый конструктив для функционально законченного ряда аппаратов – это организация спуско-подъёмных операций.

Единый архитектурно-конструктивный тип аппаратов данного ряда позволяет унифицировать технологии и оборудование для перевозки, спуско-подъёмных работ на берегу и судне сопровождения, системы причаливания и стыковки аппаратов с зарядными и док-станциями и пр.

Авторы доклада представляют результаты работ, проводимых в 2012–2014 годах сотрудниками кафедры «Информационно-измерительная техника» Самарского государственного технического университета (СамГТУ) совместно с учёными Самарского государственного аэрокосмического университета (СГАУ), Санкт-Петербургского государственного морского технического университета (СПбГМТУ) и ЗАО «НПП ПТ «Океанос» (г. Санкт-Петербург).

В соответствии с изложенной концепцией построения подводных аппаратов был разработан,



изготовлен и успешно испытан в натурных условиях базовый аппарат ряда – торпедообразный глайдер (рис. 1), разработан и испытан в натурных условиях волновой глайдер, разработаны и готовятся к натурным испытаниям гибридный глайдер торпедообразного типа, глайдер класса «мини», а также универсальный надводно-подводный модуль, способный выполнять функции носителя миниглайдеров, надводной части волнового глайдера и автономного аппарата минной разведки.

Рис. 1. Базовый архитектурно-конструктивный тип аппаратов разрабатываемого ряда – торпедообразный глайдер двухкорпусной схемы на испытаниях

В докладе приводятся общие критерии выбора основных технических решений, положенных в основу конструкции аппаратов, примеры практической реализации основных блоков и систем, а также аппаратов в целом.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Илларионов, Г.Ю., Сиденко, К.С., Бочаров, Л.Ю.** Угроза из глубины: XXI век. – Хабаровск: КГУП «Хабаровская краевая типография», 2011. – 304 с.

2. **Красильников, Р.В.** Системы борьбы с необитаемыми аппаратами – асимметричный ответ на угрозы XXI века: [Электронный ресурс].

УДК 634.67

ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ ДЛИТЕЛЬНОГО АВТОНОМНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Лемминг А. Э., Шостаковский П. Г.

*ООО «КРИОТЕРМ» 197348, Санкт-Петербург, ул. Аэродромная дом 6
+7 (812) 394 13 10 +7 (812) 394 12 67, info@kryotherm.ru*

The article deals with installed power of unmanned underwater vehicles (UUV). Identified and justified the need to address the creation of small power sources of long period of operation. It is shown that robotics plays in the modern world a key role: in the field of security and conduct of scientific research. On the basis of this review the authors propose to focus on promising areas of installed power UUV -based on thermoelectric phenomena.

Различные виды подводных роботов давно исследуют море. Для их движения и маневрирования используют винтовые или водомётные двигательные установки, которые нуждаются в аккумуляторных батареях и судах поддержки. Содержание таких аппаратов недешево.

Традиционно используемые в подводных аппаратах батареи, просто не могут отвечать современным требованиям флота, так как их мощности не в состоянии обеспечить аппарат электричеством при его нахождении более 70 дней под водой.

На сегодняшний день существует основное техническое препятствие: не удаётся обеспечить достаточную энергоёмкость, чтобы беспилотный аппарат мог выполнять сложные задачи в течение длительного времени. Для решения этих задач требуется внедрение новых технологий в области энергетики и робототехники.

Обеспечение бесперебойной работы БПА требует постоянной необходимости пополнения электрической энергией аккумуляторных батарей.

Применение стандартных источников энергии (дизельные двигатели и ядерные реакторы) в таких устройствах сопряжено с целым рядом ограничений. С другой стороны процесс миниатюризации электронных устройств, повышения их энергетической эффективности с возможностью эксплуатировать БПА с периодическим включением мощных потребителей энергии (двигателей, рулевых машин, насосов), позволяет применять относительно маломощные источники питания длительного функционирования. В качестве такого источника питания наиболее целесообразным представляется использование термоэлектрического преобразования в сочетании с радиоизотопным источником тепла (РИТ).

Термоэлектрическое преобразование является высоконадёжным методом преобразования тепловой энергии в электрическую. Термоэлектрическая генераторная батарея (ТЭБ) в составе радиоизотопного термоэлектрического генератора (РИТ) с повышенным ресурсом работы для космических и подводных аппаратов.

Устройства, основанные на термоэлектрическом преобразовании, обладают следующими преимуществами:

- не имеют механических движущихся деталей, что обеспечивает высокую надёжность и долговечность устройств на их основе;
- имеют компактные размеры и высокие показатели получаемой энергии на единицу объёма.
- По мнению разработчиков, к основным доводам конкурентоспособности и целесообразности использования РИТЭГов следует отнести следующие характеристики:
 - Высокие технические характеристики РИТЭГ (малый вес, высокий КПД преобразования Вт/см³);
 - Повышенный срок службы 20 лет;
 - Высокая надёжность РИТЭГ;

Всего двадцать лет назад американский океанограф Генри Стommel в своём фантастическом рассказе описал целые флотилии, состоящие из глайдеров, патрулирующих моря и океаны, собирая научные данные. Проект доказывает, что от научной фантастики до научного достижения – один шаг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баукин В. Е., Вялов А. П., Гершберг И. А., Муранов Г. К., Соколов О. Г., Тахистов Ф. Ю. Оптимизация термоэлектрических генераторов большой мощности // Термоэлектрики и их применения. Доклады VIII Межгосударственного семинара (ноябрь, 2002). СПб: ФТИ, 2002.
2. Баукин В. Е., Шостаковский П. Г. Автономные источники электроэнергии подводных робототехнических комплексов // Экстремальная робототехника. Труды международной научно-технической конференции (октябрь, 2014). СПб: Изд-во «Политика-сервис», 2014. – 416 с.
3. Шостаковский П. Г. Термоэлектрические источники альтернативного электропитания // Компоненты и технологии. 2010. № 12 (113).

УДК 621.3

ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕДСКАЗУЕМОГО ИСТОЧНИКА ТОКА АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Волков С. В.¹, Ольшанский В. М.¹, Островский А. Г.²

¹ ИПТЭЭ РАН, Москва, Ленинский проспект, 33, +74951359745,
vmolsh@yandex.ru

² ИО РАН, Москва, Нахимовский проспект, 36, osasha@ocean.ru

The Li-Ion batteries can be made safe enough for the most critical AUV missions by using modern electronic components. A new modular BMS built upon Impedance Track Fuel Gauge bq34z100 and Cell Precision Protector bq77910, both by Texas Instruments Inc., is designed to monitor and protect the secondary battery of 96 Li-Ion high power battery cells Panasonic NCR18650PF assembled as follows 16P6S. The BMS offers dynamic commutation of the parallel packs of the sequential cells providing the AUV with a reliable and efficient battery.

Электрические батареи определяют многие важные технические характеристики автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА): габариты, вес, возможности предельных режимов, общее время автономной работы и, главное, общую надежность систем. Отказы батарей могут привести и к сбоям работы, и к потере данных измерений, и даже к разрушению всего устройства. В отличие от электронных компонент,

где производитель гарантирует миллионы рабочих циклов в широком диапазоне температурных режимов эксплуатации, производители элементов электропитания, как правило, вообще ничего не гарантируют. Разработка надежной предсказуемой батареи – одна из важнейших частей ОКР по тематике АНПА. Решение этой задачи основано на использовании современных специализированных электронных компонент. Такие компоненты имеют сложную внутреннюю структуру и соответственно высокую стоимость. Требуются большие усилия на разработку схемных и программных решений, но важность задачи делает эти затраты денег и труда оправданными.

Основу современной диагностики аккумуляторов (вторичных элементов) представляют кулоновские счетчики, с большой точностью подсчитывающие как накопление заряда в процессе зарядки, так и его расход в процессе эксплуатации, а также Impedance Track Technology – технология постоянного отслеживания внутреннего сопротивления вторичных элементов. В отличие от широко распространенного и гораздо более простого способа диагностики степени разряда по уровню напряжения аккумулятора, непосредственный мониторинг заряда и разряда, а также диагностика по внутреннему сопротивлению позволяет раньше и надежнее обнаруживать ухудшение состояния источника тока. Аномальный ход химической реакции в аккумуляторе приводит к возрастанию его внутреннего сопротивления. Изменения внутреннего сопротивления могут быть зафиксированы задолго до падения напряжения на клеммах аккумулятора и до истощения его заряда. Обнаружив увеличение внутреннего сопротивления, можно предпринять меры по сохранению данных миссии АНПА и обеспечению безопасности аппаратуры.

Следует отметить, что разработки микросхем контроля и защиты современных литий-ионных вторичных элементов начались совсем недавно. Минимум три крупных компании – Texas Instruments Inc., Maxim Integrated и Linear Technology Corporation – пытаются стать лидерами этого перспективного рынка и делают конкурирующие продукты. В условиях рыночной гонки эти продукты имеют недостатки, включая умолчания и несоответствия в технической документации производителей, ориентирующихся в первую очередь на массовые сектора рынка, такие как электроинструмент, медицинское оборудование, солнечная электроэнергетика. Для таких приложений главное защитить аккумуляторы и избежать возможных возгораний, взрывов или разрушения аппаратуры вследствие перегрева при возникновении нештатных ситуаций. Поэтому первое, что делают микросхемы защиты – разрывают цепи питания; позже, когда ситуация возвращается к нормальной, цепи питания восстанавливаются.

В отличие от обслуживаемых устройств, в АНПА, находящихся под водой, внезапная перезагрузка или сбой программ могут привести к полной потере аппаратуры. На этапе разработки АНПА должны быть заложены решения, позволяющие микросхеме контроля уровня заряда проводить постоянную сверку текущего разряда с занесенной в память микросхем таблицей «идеального хода разряда». На этапе изготовления АНПА необходимо проводить тестирование вторичных элементов, их сортировку по надежности и стабильности поведения.

Решение задачи сохранения работоспособности АНПА в условиях истощения или начинающегося разрушения одного или нескольких аккумуляторов предполагает организацию батареи из нескольких параллельно соединенных сборок последовательно соединенных аккумуляторов, с тем, чтобы иметь оперативную возможность в процессе работы выбирать из имеющихся наиболее надежные и менее истощенные. При этом каждая сборка должна контролироваться и коммутироваться отдельно. Коммутация сборок требует применения электронных ключей. Одной из основных характеристик современных ключей, определяющих их выбор, служит сопротивление в открытом состоянии, составляющее ~ 0.001 Ом.

Последовательное соединение элементов в сборки необходимо для обеспечения требуемых напряжений, например, 24 В для питания моторов и других исполнительных устройств. При этом повышение напряжения позволяет уменьшить ток, что по многим причинам целесообразно. Для каждого из последовательно соединенных вторичных элементов необходим контроль напряжений, с целью предотвращения перезаряда и переразряда. Современные микросхемы, обеспечивающие защиту элементов внутри сборки, часто реализуют еще и функцию балансировки, т.е. обеспечения равенства напряжений на каждом из элементов в сборке, что особенно важно при заряде.

При выборе элементной базы для АНПА, предназначенного для длительной автономной эксплуатации, важным критерием служит величина тока, потребляемого в спящем режиме. Токи потребления микросхем, вполне приемлемые для бытовой техники в пересчете на год автономной эксплуатации приводят к разряду аккумулятора на недопустимо большую для АНПА величину, например при токе 10 мА разряд составит 87,6 А·час в год. Производители предлагают микросхемы с низким энергопотреблением, хотя, конечно, они уступают менее экономичным микросхемам по своим возможностям.

С учетом вышесказанного при разработке блока питания (рис. 1) для АНПА нами были выбраны следующие основные компоненты:

- в качестве микросхемы мониторинга уровня заряда и внутреннего сопротивления сборок bq34z100@TI;

- в качестве микросхемы защиты элементов по напряжениям, току и температуре, а также балансировки элементов, bq77910A@TI;

- в качестве ключей, коммутирующих сборки – N-канальные полевые транзисторы IRF6618 с сопротивлением открытого ключа 2 МОм, предельным напряжением 30 В и предельным током 32 А;

- в качестве вторичных элементов Panasonic NCR18650PF 3,6 В, имеющие лучшую для литий-ионных элементов удельную емкость (2,9 А·час / 53 г) при максимальном непрерывном токе разряда 10 А.

В процессе работы АНПА модуль управления блоком питания осуществляет коммутацию сборок последовательно соединенных аккумуляторов. Как правило, часть мисси АНПА находится в спящем режиме. При выходе из сна для осуществления той или иной операции, например, для изменения глубины или для дифферентовки АНПА, процессор модуля управления питанием выбирает сборку с наибольшим запасом энергии и подключает ее к нагрузке.

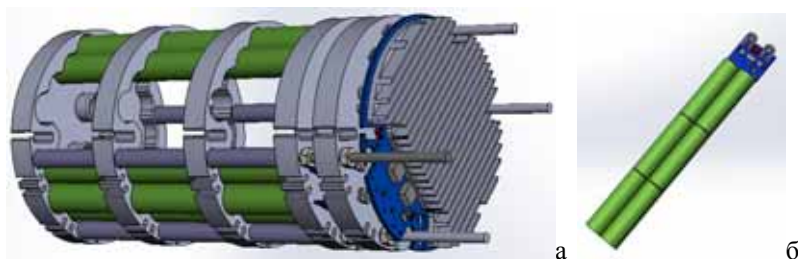


Рис. 1. Общий вид блока питания из 16 сборок аккумуляторов Panasonic NCR18650PF с общей платой управления (а); общий вид сборки из 6 аккумуляторов с платой контроля и защиты (б)

Связь модуля управления с платами контроля и защиты сборок осуществляется по последовательным интерфейсам I2C. Поскольку для каждой из 16 сборок нужно по две пары транзисторов – одна на заряд и одна на разряд, а для каждой пары транзисторов нужен свой драйвер, то общее число транзисторов и драйверов велико. Эти транзисторы и драйверы конструктивно размещены на разных сторонах печатной платы модуля управления аккумуляторной батареи. Со стороны мощных транзисторов (рис. 2а) плата «накрывается» алюминиевым радиатором. Со стороны драйверов расположены разъемы, идущие к узлам контроля

сборок (рис. 2б). На этой же стороне размещены процессор MSP430F47186 и 2 разъема USART, обеспечивающие связь блока питания с центральной процессорной платой АНПА и с дополнительными источниками тока.

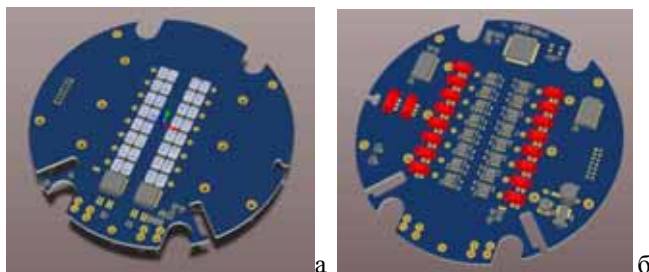


Рис. 2. Вид плат управления аккумуляторной батареи

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №14-50-00095.

УДК 537.867+523.034.43000.00

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОИСКА ПОДДОННЫХ ОБЪЕКТОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКИМИ ГИДРОЛОКАТОРАМИ

Сычев В. А.

ИО РАН, г. Москва, Нахимовский пр., 36, 8(915) 370 28 34, gbo@mail.ru

This report describes the features of the parametric sonar applications for search and identification of the different sub bottom objects. The various approaches are considered that taking account the effect of the sound full internal reflection.

При проведении работ, связанных с поиском и идентификацией объектов подводного культурного наследия (ОПKN), находящихся на поверхности дна, может быть использован широкий спектр гидроакустических средств (ГС) (от однолучевых и многолучевых эхолотов до различных модификаций гидролокаторов бокового обзора и многолучевых эхолотов).

Однако при решении аналогичных задач, связанных с поиском ОПКН, покрытых осадками, для обеспечения проникновения акустических сигналов в осадки необходимо использовать низкие частоты, на которых ГС получаются громоздкими и не обеспечивают приемлемого пространственного разрешения. В этом случае обычно используют традиционные, однолучевые, низкочастотные акустические профилографы с широкой характеристикой направленности, или же их параметрические аналоги с узкой характеристикой направленности.

Как показано на рис. 1а-1г, в первом случае эхограммы поддонных объектов представляют собой отметки в виде характерных гипербол, по которым можно определить наклонную дальность до объектов, оказавшихся в пределах характеристики направленности антенны, которая может оказаться одинаковой как для поддонного объекта 1, так и для аналогичного объекта, лежащего на поверхности дна 2.

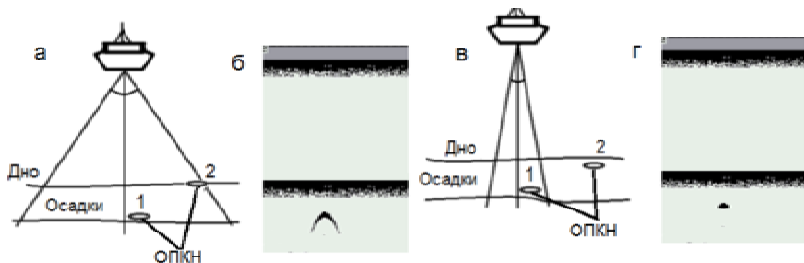


Рис. 1. Регистрация ОПКН слабонаправленным и остронаправленным профилографом

Во втором случае эхограмма поддонного объекта представляет собой локальную отметку, позволяющую оценить его положение и размеры, если только он оказался в пределах характеристики направленности профилографа. Следовательно, в первом случае обеспечивается определенная ширина обзора, но не гарантируется однозначность фиксации положения ОПКН, а во втором случае положение объекта однозначно фиксируется, но существенно сужается полоса обзора, что требует использования многолучевых ГС или чрезвычайно густой сетки профилей.

В перспективе же выходом из указанной ситуации является создание параметрических аналогов традиционных ГС, в которых низкочастотные акустические сигналы генерируются вследствие нелинейного взаимодействия высокочастотных сигналов на двух близких частотах [1].

При этом ширина характеристики направленности на низкой частоте, которая формируется виртуальной антенной бегущей волны, оказывается, почти такой же узкой, как и на высокой частоте и практически не имеет боковых лепестков. Более того, длительность акустических импульсов оказывается практически равной одному периоду низкочастотного сигнала.

Следует отметить, что создание всего спектра коммерческих параметрических аналогов традиционных ГС по ряду причин оказалось трудной задачей. Реально на рынке широко представлены только однолучевые параметрические эхолоты и профилографы, но есть все основания надеяться на появление на рынке параметрических аналогов многолучевых профилографов и поддонных гидролокаторов бокового обзора. По крайней мере, нет принципиальных препятствий для реализации на основе однолучевых параметрических профилографов так называемых профайлеров, в которых эхограммы дна и ОПКН в направлении, перпендикулярном направлению профиля, формируется путем механического сканирования антенны в заданном угловом диапазоне [2].

Таким образом, параметрические аналоги традиционных ГС обеспечивают получение информации, как о поверхности дна, так и о поддонных структурах. В связи с этим представляет интерес анализ ограничений, связанных с распространением звука в донных осадках, которыми могут быть покрыты ОПКН. Акустические характеристики некоторых из них приведены в таблице 1, где так же даны значения критического угла, $\Theta_{кр}$, (угла полного внутреннего отражения), который определяется выражением:

$$\Theta_{кр} = \arcsin (c/V_{ос}), \quad (1)$$

где c – скорость звук в воде и $V_{ос}$ – скорость звука в осадках.

При наклонном зондировании ОПКН в поддонных осадках с использованием ГС интерес представляют, прежде всего, такие параметры, как затухание звука и коэффициент преломления, равный отношению скоростей звука в воде и в осадках, соответственно. От первого параметра зависит дальность лоцирования объектов в осадках, а от второго – предельные углы зондирования, которые не должны превышать величины критического угла.

Как видно из данных, приведенных в таблице 1, полное внутреннее отражение звука на границе «вода – осадки» может наблюдаться в широком диапазоне углов зондирования поддонных структур. Этот фактор необходимо учитывать при выборе расстояния между профилями, чтобы не допустить пропуска ОПКН.

Поскольку акустические характеристики грунта в районе проведения исследований могут оказаться неизвестными, то в отдельных случаях

можно воспользоваться подходом, который иллюстрируется на рис. 2. Данный подход применим в случае, когда дно может быть описано простейшей, но достаточно распространенной моделью, в которой дно представляет собой плоскую поверхность из акустически жесткого материала (такого как, например, коренные породы), покрытого слоем осадков.

Таблица 1. Акустические характеристики донных грунтов [3]

Тип грунта	Коэффициент отражения	Плотность (г/см ³)	Скорость звука (км/с)	Затухание (дБ/м кГц)	Коэффициент преломления	Критический угол, град.
Ил жидкий	<0,15	1,45–1,5	1,1–1,2	0,04	>1	–
Ил глинистый	0,15–0,20	1,45–1,46	1,4–1,5	0,08–0,1	>1–1,0	–
Ил с алевритом и песком	0,2–0,27	1,41–1,48	1,6–1,7	0,2–0,3	0,94–0,88	71–62
Пески тонко и мелко-зернистые	0,27–0,30	1,55–1,6	1,95–2,03	0,4–0,5	0,77–0,74	51–48
Глины плотные	0,3–0,42	1,52–1,59	1,82–1,98	0,48–0,61	0,82–0,75	56–49



Рис. 2. Преломление звука при падении на границу «вода-осадки»

В этом случае по данным вертикального зондирования определяется толщина осадков, Δh , а по данным зондированию дна под углом $\Theta_{вод}$ – приращение наклонной дальности в осадках ΔR , что позволяет оценить угол $\theta_{ос}$ и скорость звука в осадках $V_{ос}$ с использованием выражений:

$$\theta_{ос} = \arcsin(\Delta h / \Delta R); V_{ос} = c (\sin \theta_{ос} / \sin \theta_{вод}). \quad (2)$$

Подставляя (2) в (1), можно оценить величину критического угла в районе работ.

Таким образом, при зондировании ОПКН, покрытых осадками, необходимо избегать превышения величины угла полного внутреннего отражения. При отсутствии данных о скорости звука, необходимых для определения критического угла, в ряде случаев могут быть использованы данные вертикального и наклонного зондирования осадков в районе проведения работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Новиков, Б.К.** Параметрические антенны в гидролокации / Б. К. Новиков, В. И. Тимошенко. – СПб.: Судостроение, 1990. – 256 с.
2. **Сычев, В.А.** Современные гидроакустические средства поиска, обследования и мониторинга подводных потенциально опасных объектов / В.А. Сычев // Доклады сессии Научного Совета РАН «Диагностика и прогноз чрезвычайных ситуаций». М., 2014. – С. 35–46.
3. **Касаткин, Б.А.** Опыт использования акустического профилеграфа с использованием алгоритмов синтезирования и фокусирования. Б. А. Касаткин, Г. В. Косарев. – Режим доступа: www.imtp.febras.ru/images/stories/konf/tpomo-5-30...4.../sekcija2.pdf (дата обращения 12.01.15).

УДК 534.222

ПОДВОДНЫЕ НАВИГАТОРЫ ДЛЯ ПОДВОДНЫХ АРХЕОЛОГОВ И ДАЙВЕРОВ

Сычев В. А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(495)380-41-50, gbo@mail.ru*

This report provides an overview of the modern underwater hydro acoustic navigation systems for the underwater archaeologist and divers. Their modifications are considered that can called by the term «underwater navigators».

Потребность в навигационном обеспечении подводных исследований обусловила появление на рынке широкого спектра гидроакустических навигационных систем (ГАНС). Некоторые из них указаны в таблице 1, наряду с названиями фирм-изготовителей и их сайтов, где мож-

но ознакомиться с их подробными характеристиками. Как правило, принцип действия их основан на использовании транспондеров (маяков-ответчиков (МО)), которые переизлучают сигналы запроса от судовой системы, что позволяет определить расстояние до МО и их угловые координаты относительно запросчика, находящемся на судне обеспечения.

Таблица 1. Гидроакустические навигационные системы

Изготовитель, сайт	Наиболее известные ГАHC	Тип ГАHC
IXSEA (http://www.ixsea.com)	GAPS	МО
Kongsberg (http://www.km.kongsberg.com)	HiPAP family	МО
Sonardyne (http://www.sonardyne.com)	Scout USBL	МО
Tritech (http://www.tritech.co.uk)	MicronNav	МО
RJE International (http://www.rjeint.com)	Trak Pro	МО
Desert Star (http://www.desertstar.com)	PILOT	МО
ACSA-ALCEN (http://www.acsa-alcen.com)	ACSA	МО
Jvfishers (http://www.jvfishers.com/pingers.htm)	PR-1	Пг
ETEC Electronics Engineering (http://www.etec.dk)	PD-1102	Пг

Установка МО на подводных объектах позволяет определить их координаты в судовой системе координат, которая может быть, в случае необходимости, привязана к географической системе координат по данным спутниковой навигационной системы. К достоинствам ГАHC данного типа (таких как GAPS, HiPAP family, Scout USBL, MicronNav, Trak Pro, PILOT, ACSA) относится возможность их использования для точного позиционирования подводных объектов практически на любых глубинах, а к недостаткам – высокая стоимость, громоздкость аппаратной реализации и необходимость привлечения высоко квалифицированных специалистов, что часто оказывается неприемлемым при проведении подводных археологических исследований.

С другой стороны, при использовании в ГАHC (таких как PR-1, PD-1102) вместо МО, пингеров (Пг), периодически излучающих в воде акустические импульсы на определенной частоте, отсутствует возможность точного определения расстояния до подводного объекта. Так в случае PR-1 дальность до пингера оценивается на основе показаний об амплитуде сигнала от пингера, которые зависят не только от дальности, но и от ряда других параметров среды, а в случае PD-1102 пользователь вынужден довольствоваться только функцией определения пеленга на пингер.

Для устранения указанного недостатка в работе [1] предложен подход, согласно которому расстояние до пингера определяется по результатам измерения временных задержек между импульсами пингера, при-

нятыми гидрофоном ГАНС, и импульсами с выхода генератора опорных импульсов, период повторения которых совпадает с периодом повторения импульсов пингера. При этом перед началом работы с системой производится ее калибровка, в процессе которой пингер вводится в акустический контакт с гидрофоном ГАНС, а импульсы с выхода генератора опорных импульсов синхронизируются во времени с импульсами с выхода гидрофона, после чего указанные временные задержки оказываются пропорциональными дальности до пингера.

При определении направления на пингер в указанных ГАНС обычно определяется направление на максимум диаграммы направленности остронаправленной приемной антенны, или же – направление на минимум приемной антенны дипольного типа. Несмотря на то, что при этом точность определения координат пингера оказывается низкой, в ряде приложений такие системы оказываются незаменимыми в силу простоты их использования, малых габаритов и невысокой стоимости.

Для повышения точности определения направления на пингер в работе [2] предлагается использовать три пары гидрофонов (G_0, G_x), (G_0, G_y), (G_0, G_z), расположенных вдоль координатных осей (O_x, O_y, O_z) прямоугольной системы координат, привязанной к судну обеспечения.

Как видно из рис. 1, временные задержки ($\Delta t_x, \Delta t_y, \Delta t_z$) между сигналами в указанных парах гидрофонов оказываются пропорциональными направляющим косинусам единичного вектора направления на пингер:

$$\Delta t_x = k_x \cos \alpha; \Delta t_y = k_y \cos \beta; \Delta t_z = k_z \cos \gamma.$$

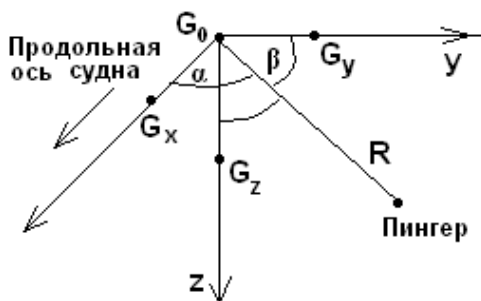


Рис. 1. Схема, поясняющая метод определения направления на пингер

Коэффициенты (k_x, k_y, k_z) можно определить расчетным путем, исходя из известных значений расстояний между гидрофонами и скорости звука в воде, или же путем калибровки системы перед началом работы.

Для этого достаточно измерить временные задержки между сигналами на гидрофонах, когда пингер располагается на одной линии с этими гидрофонами. Поскольку при этом соответствующий направляющий косинус равен единице, то величины калибровочных коэффициентов оказываются пропорциональными величинам измеренных временных задержек.

Соответственно, координаты пингера (x, y, z) в прямоугольной системе координат вычисляются с использованием известных выражений:

$$x = R \cos \alpha; y = R \cos \beta; z = R \cos \gamma,$$

где R – дальность до пингера от судовой антенны, определенная в соответствии с рассмотренным выше методом.

Следует отметить, что указанные выше ГАНС на основе пингеров (как PR-1 и PD-1102) представляют собой модификации пеленгатора, позволяющего, прежде всего, оценить направление на пингер. В то же время практическая реализация указанных выше подходов позволяет создать простые в использовании подводные навигаторы, которые могут быть использованы для определения координат пингера относительно приемной части навигатора.

В судовом варианте системы, используемой для позиционирования ПА или дайвера относительно судна, предпочтительно иметь конфигурацию, в которой судовая приемная антенна содержит все три пары гидрофонов, что позволило бы оперативно определить положение пингера в декартовой системе координат, привязанной к судну обеспечения.

В случае же варианта, рассчитанного на использование дайвером для определения дальности и направления на судовой пингер, достаточно использования одной пары гидрофонов. В этом случае на дисплее подводного навигатора дайвера отображаются дальность до пингера, находящегося на судне обеспечения, и угол между направлением на пингер и осью, вдоль которой располагаются гидрофоны.

Настоящая работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные основы технологий двойного назначения в интересах национальной безопасности» (Проект 46П «Исследование и разработка параметрических гидроакустических средств и технологии их использования для поиска, идентификации и мониторинга объектов в водной среде, на поверхности дна и в толще неуплотненных осадков).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Sychev, V. A.** Underwater hydro acoustic navigation systems for the underwater archaeology / M.A. Sychev, S. M. Fazlullin // Proceedings VII International Conference on Underwater Research. – Wrocław. Poland. 2013. P.13.

2. Сычев, В. А. Гидроакустическая навигационная система для мини-ПА / В.А. Сычев // В сб. «Современные методы и средства океанологических исследований». Ч. 2. М., 2007. – С. 145–148.

УДК 534.222

ГИДРОЛОКАТОР ДЛЯ ПОИСКА ПОДДОННЫХ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Клюев М. С.¹, Сычев В. А.²

¹*Институт океанологии им. П.П. Ширикова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(495)380-41-50*

²*Институт океанологии им. П.П. Ширикова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(495)380-41-50, gbo@mail.ru*

The report reviewed the sonar alternative to the traditional sonars, providing a more efficient search technology of the archaeology objects. The sonar antenna is placed in the bottom sediments to provide more range of finding objects that buried in sediments.

Известно, что появление на рынке параметрических аналогов традиционных гидроакустических средств (ГС) сделала актуальной решение задач визуализации объектов, покрытых неуплотненными осадками. Такие задачи возникают, в частности, при проведении подводных археологических исследований и в ряде других приложений [1].

Отличительной особенностью указанных параметрических ГС является потенциальная возможность одновременного формирования гидроакустических изображений на высоких и на низких частотах, отличающихся в десятки раз [2]. Соответственно, пространственное разрешение таких изображений оказывается практически одинаковым, а их характер на высоких частотах определяется, главным образом, акустическими характеристиками объектов на поверхности дна, а на низких частотах – как поверхностных, так и поддонных объектов, покрытых осадками. Используя современные программные продукты, такие как SonarWiz5, можно на их основе получить разностные изображения, на которых фиксируются только поддонные объекты.

В то же время особенности прохождения звука на границе «вода – осадки» и затухание звука в осадках накладывает определенные ограни-

чения на дальность и предельные углы зондирования поддонных структур при съемке в соответствии с традиционными подходами. Так, например, если при обследовании поддонных структур НЧ ГКО, как показано на рис. 1, угол зондирования превышает угол полного внутреннего отражения (критический угол), то определенные поддонные структуры оказываются невидимыми для данного ГС, даже при малом затухании звука в осадках.

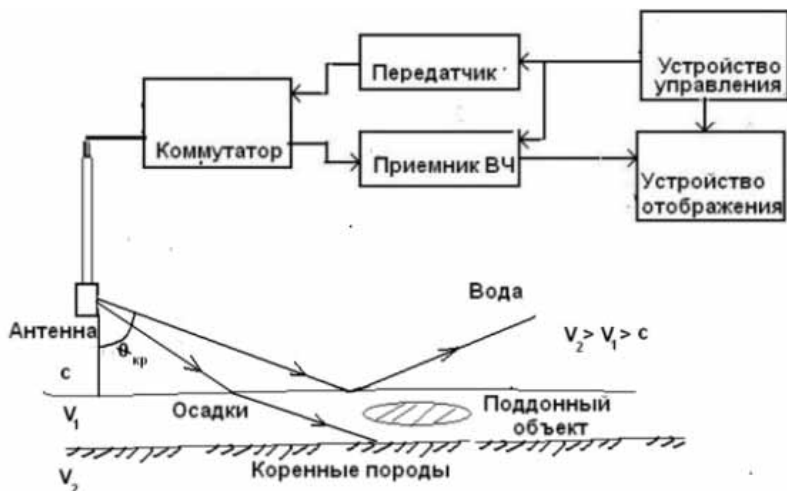


Рис. 1. Схема, иллюстрирующая влияние критического угла на съемку поддонных объектов

Для устранения указанного недостатка ниже рассмотрен подход, согласно которому, как показано на рис. 2, антенна ГС помещается непосредственно в толщу осадков. Антенна гидролокатора ориентируется параллельно границам раздела «вода – осадки» и «осадки – коренные породы», вследствие чего распространение звуковых сигналов от антенны гидролокатора ограничивается в вертикальной плоскости указанными границами раздела, формирующими звукопроводящий слой, и практически не зависит от формы характеристики направленности антенны. В то же время, в горизонтальной плоскости разрешение гидролокатора определяется шириной характеристики направленности антенны, которая для получения приемлемого разрешения должна иметь размеры, существенно превышающие длину волны акустических сигналов.



Рис. 2. Схема, поясняющая предлагаемый подход к зондированию поддонных объектов

Таким образом, предлагаемый подход обеспечивает существенно более благоприятные условия для локации объектов, находящихся в толще неуплотненных осадков, чем в случае традиционного подхода.

Следует отметить, что обеспечение приемлемого углового разрешения на низких частотах требует использования крупногабаритных линейных антенн, что затрудняет практическую реализацию способа на очень низких частотах и ограничивает дальность локации поддонных объектов. Поэтому в предпочтительном варианте для реализации подхода в качестве акустической антенны используется параметрическая антенна, которая позволяет сформировать на низкой, разностной частоте, узкую характеристику направленности, практически совпадающую с характеристикой направленности антенны на высокой частоте накачки [2, 3].

Необходимо иметь в виду, что на полученных таким образом изображениях, помимо поддонных объектов, могут фиксироваться и объекты, располагающиеся на поверхности дна. Для устранения возможной неопределенности в обнаружении поддонных объектов в предпочтительном случае желательно одновременно получить также изображение обследуемого участка с использованием обычного гидролокатора, работающего на высоких частотах, на которых звук не проникает в осадки, а затем устранить неопределенность в интерпретации данных путем получения разностного изображения с использованием известных программных продуктов, как было указано выше.

Для определения дальности действия рассмотренного типа гидролокаторов в различных неуплотненных осадках может быть использовано уравнение гидролокации. Однако для оценки дальности можно воспользоваться приведенными в Таблице 1 данными о предельной глубины зондирования осадков, полученными на основе данных производителей параметрических профилографов.

Таблица 1. Зависимость глубины зондирования от частоты для параметрических профилографов по данным их производителей

Наименование	SeaKing SB	Atlas Parasound 70	SES-2000 medium-70	TOPAS PS18
Разностная частота, кГц	20	4 – 15	3 – 12	0,5 – 6,0
Глубина проникновения, м	до 10	до 40	до 100	> 200

Таким образом, появление на рынке параметрических ГС, антенны которых, несмотря на малые габариты, формируют на низких частотах узконаправленные характеристики направленности, позволяют реализовать поддонные модификации предлагаемых ГС. В ряде приложений такой подход может оказаться предпочтительным. Для экспериментальной проверки предлагаемого подхода предполагается использовать параметрический профилограф SeaKing SB.

Настоящая работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные основы технологий двойного назначения в интересах национальной безопасности» (Проект 46П «Исследование и разработка параметрических гидроакустических средств и технологии их использования для поиска, идентификации и мониторинга объектов в водной среде, на поверхности дна и в толще неуплотненных осадков»).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сычев, В. А.** Современные гидроакустические средства поиска, обследования и мониторинга подводных потенциально опасных объектов / В.А. Сычев // Доклады сессии Научного Совета РАН «Диагностика и прогноз чрезвычайных ситуаций». – М. 2014. – С. 35–46.
2. **Клюев, М. С.** Принципы построения гидролокатора донного обзора. // Вопросы прикладной математики и вычислительной техники. Сборник трудов. № 12. МГСУ, 2009. С. 195–197.

3. **Новиков, Б.К.** Параметрические антенны в гидролокации / Б. К. Новиков, В. И. Тимошенко. – СПб: Судостроение, 1990. – 256 с.

4. **Новиков, Б.К.** Нелинейная гидроакустика / Б.К. Новиков, О. В. Руденко, В.И. Тимошенко. – СПб.: Судостроение.; 1981. 264 с.

УДК 537.867+523.034.43

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРО- И РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СЪЕМКИ В АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Сычев В. А.¹, Достовалов М. Ю.², Вальков Д. В.³

¹ИО РАН, г. Москва, Нахимовский пр., 36, 8(915) 370 28 34, gbo@mail.ru

²ОАО «НИИ точных приборов», г. Москва, E-mail: kotik_55@mail.ru

³г. Москва, НПП «Универсальные технологии и разработки», г. Самара, e-mail: valkovd@mail.ru

Paper considers the use of radar and sonar imageries in the archaeological applications. There is noted the approaches commonalities in obtaining and interpreting of the radar Earth's surface and seabed sonar images.

Целью данной работы является анализ возможностей современных методов дистанционного зондирования при проведении археологических исследований на суше и в акваториях, прилегающих к городам и городищам средневековых государственных образований (Великая Булгария, Хазарский Каганат, Золотая Орда, Киевская Русь, Казанское Ханство и т. д.).

Проведение археологических исследований традиционными методами требует больших затрат и часто оказывается недостаточно эффективным. В то же время появление новых технических средств, таких как радио- и гидролокационные средства, геолокаторы, магнитометры и спутниковые навигационные системы, позволяет рассчитывать на изменение ситуации. Так, использование изображений, полученных низкочастотными радиолокаторами, позволяет выявить подповерхностные археологические объекты на суше. Аналогично, использование низкочастотных гидролокаторов, сигналы которых проникают в осадки, позволяют обнаруживать подводные археологические объекты, покрытые слоем осадков.

В связи с этим интерес представляют работы по созданию параметрических аналогов традиционных гидроакустических средств (ГС), таких как профилографы, гидролокаторы бокового обзора (ГБО) и многолучевые эхолоты, позволяющие одновременно получать изображения поверхности дна, поддонных структур и их разностные изображения. Изменяя параметры гидролокатора можно существенно изменять дальность обзора и глубину проникновения в осадки [1].

Так, используя многочастотную съемку гидролокационными (под водой) и радиолокационными (на суше) методами можно рассчитывать на выявление археологических объектов культурного наследия (ОКН), которые не могут быть обнаружены другими методами. Более того, аналогия в механизме получения изображений указанными методами и ряд других факторов делает актуальным работы, где эти методы используются одновременно с традиционными подходами.

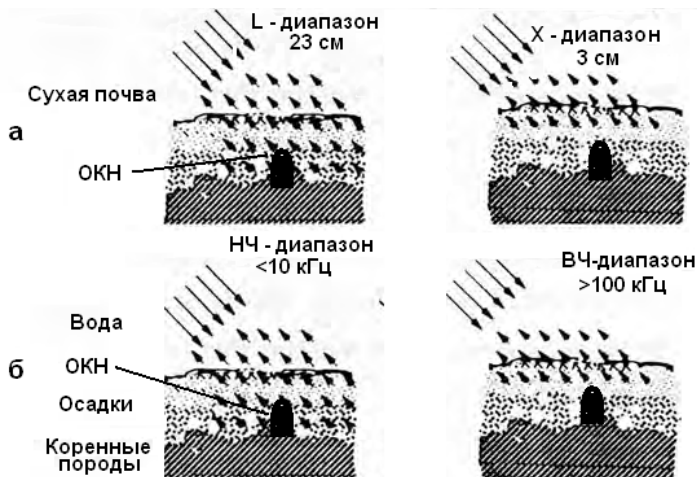


Рис. 1. Схема, поясняющая механизм формирования ГЛ- и РЛ изображений на низких, средних и высоких частотах

Как показано на рис. 1а, на высоких радиочастотах (X – диапазон) изображение поверхности суши формируется неоднородностями на поверхности суши, а на более низких радиочастотах (L – диапазон) вклад в формирование изображения дают неоднородности, располагающиеся как на поверхности суши, так и в грунте. Аналогично, как показано на рис. 1б, высокочастотные акустические сигналы (ВЧ – диапазон) фор-

мируют изображение поверхности дна, а низкочастотные акустические сигналы (НЧ – диапазон) формируют изображения, характеризующие как поддонные структуры, так и структуры на поверхность дна. При наличии в толще осадков ОКН они могут проявиться на изображениях, полученных в НЧ диапазоне. Очевидно, что изображения, полученные на промежуточных частотах, могут дать дополнительную информацию об ОКН.

Рассмотренная ситуация иллюстрируется на рис. 2 и 3, где представлены изображения, полученные четырехдиапазонным РЛ комплексом «КОМПАКТ». Сюжет включает области лесных массивов, поля, населенный пункт, участки шоссе и железной дороги [2].

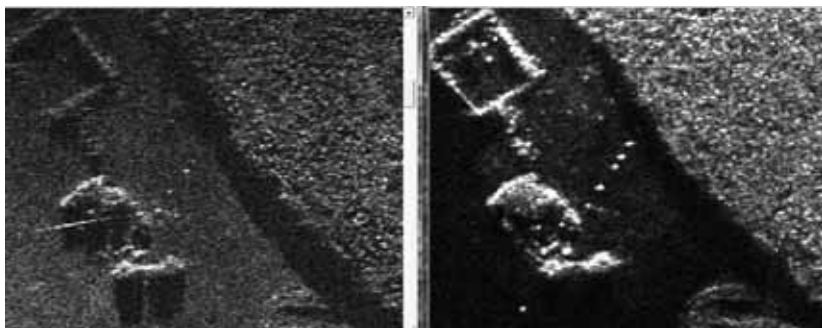


Рис. 2. РЛ изображения X диапазона (слева) и L диапазона (справа)

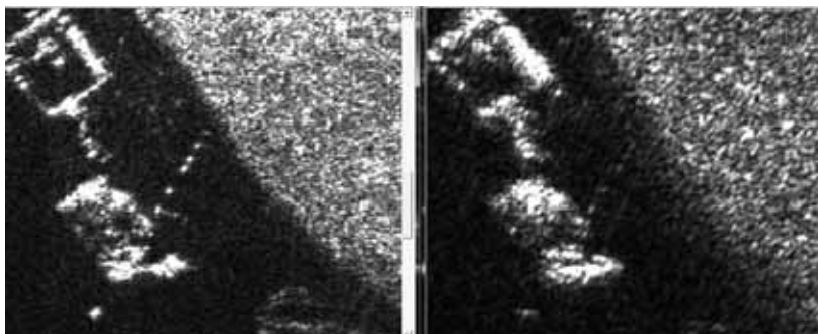


Рис. 3. РЛ изображения P диапазона HH (слева) и VHF VV)

Примеры гидролокационных изображений одного и того же участка дна, полученные гидролокатором с синтезированным антенным раскры-

вом на высоких и на низких частотах приведены на рис. 4 и 5 [3]. Как и в случае приведенных выше РЛ изображений, заметны существенные отличия изображений, полученных на высоких и низких частотах, что указывает на перспективность их использования для выявления объектов, покрытых слоем осадков. Следует отметить, что для получения подобных изображений могут быть использованы параметрические ГБО, в которых ВЧ изображение формируется на частоте накачки, а НЧ изображение – на разностной частоте [3].

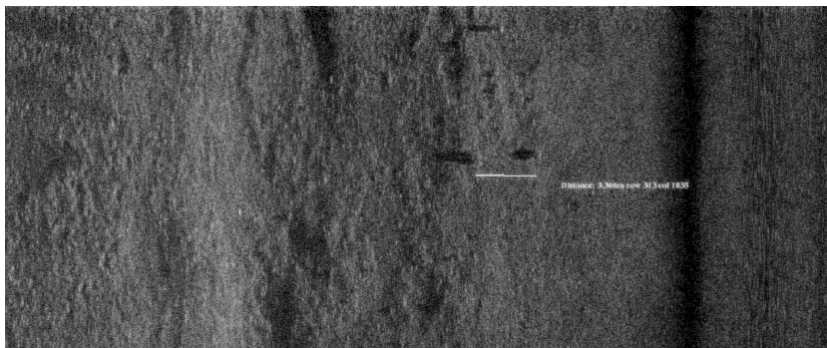


Рис. 4. ГЛ изображение двух объектов на дне, полученное ВЧ гидролокатором с синтезированным антенным раскрывом



Рис. 5. ГЛ изображение той же области, полученное НЧ гидролокатором с синтезированным антенным раскрывом

Таким образом, на территории РФ имеется множество регионов, где перспективно проведение археологических исследований дистанцион-

ными методами. Для получения сверсуммарного эффекта от их проведения необходимо объединить усилия специалистов в области радио- и гидролокации с усилиями традиционных археологов. Предполагается, что такие исследования могут быть проведены на базе Научно-культурного комплекса «Фанагория» в рамках проекта Президиума РАН «Исследование и разработка параметрических гидроакустических средств и технологии их использования для поиска, идентификации и мониторинга объектов в водной среде, на поверхности дна и в толще неуплотненных осадков» и гранта РФФИ «Разработка технологии проведения подводных археологических исследований».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сычев, В. А.** Современные гидроакустические средства поиска, обследования и мониторинга подводных потенциально опасных объектов. / В.А. Сычев. Доклады сессии Научного Совета РАН «Диагностика и прогноз чрезвычайных ситуаций». – М. 2014. С. 35–46.

2. **Внотченко, С. Л.** Авиационные мобильные малогабаритные радиолокаторы с синтезированной апертурой семейства «Компакт». / С. Л. Внотченко, М. Ю. Достовалов, А. В. Дьяков, И. В. Дьяков, Р. В. Ермаков. III Всероссийская конференция «Радиолокация и радиосвязь». г. Москва, 26–30 октября 2009 г. С. 326–340.

3. **Shippey, G.** Position Correction Using Echoes From a Navigation Fix for Synthetic Aperture Sonar Imaging / G. Shippey; M. Jonsson, Oceanic Engineering, IEEE Journal, On page(s): 294 – 306 Volume: 34, Issue: 3, July 2009.

УДК 534.222

СОВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ ГИДРОЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СТРАТИФИКАЦИИ ДОННЫХ ОСАДКОВ

Душенин Ю. В.¹, Сычев В. А.²

¹ *НКБ цифровой обработки сигналов ЮФУ,
ул. Шевченко, 2, 347922, Ростовская обл., г. Таганрог, 8(8634)31-23-50,
dyv-dsp@tgn.sfedu.ru*

² *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(495)380-41-50, gbo@mail.ru*

Paper presents advantages of parametrical sonar systems (PSS) over linear ones. The review of domestic and foreign PSS is presented. The conclusion on necessity of further PSS upgrading for solving the sediments stratification investigation and detection of silted objects is done.

При эхолокации дна с использованием линейных систем возникает ряд проблем, связанных с недостатками их антенн. К таким недостаткам относятся:

- низкие массогабаритные параметры на низких частотах, которые необходимо использовать для обеспечения большей глубины проникновения акустических волн в толщу донных осадков;
- наличие боковых лепестков в характеристике направленности (ХН), уменьшающих разрешение при изучении стратифицированных осадков;
- искажение спектра широкополосных зондирующих сигналов при работе вблизи резонанса линейных антенн.

В связи с этим возрастает интерес к применению параметрических антенн (ПА). В России и в ряде других стран проведено большое количество исследований, связанных с излучением и приемом низкочастотных сигналов в широкой полосе рабочих частот с использованием ПА. Определены направления их применения в различных приложениях [1]. Уже первые практические разработки параметрических гидроакустических средств (ПГС), выполненные как в нашей стране [2], так и за рубежом [3, 4], показали, что ПА свободны от перечисленных выше недостатков линейных антенн, их использование позволяет улучшить рабочие характеристики таких систем, расширить их функциональные возможности и получить качественно новые результаты.

ПА обладают рядом уникальных свойств, связанных с тем, что при нелинейном взаимодействии первичных волн накачки в ПА возникают источники волн разностной частоты (ВРЧ). ВРЧ излучаются в основном вдоль оси распространения волн накачки, под малыми углами к указанной оси. При этом происходит формирование узких, слабо расходящихся звуковых пучков, что недостижимо при работе с традиционными линейными антеннами. Вследствие этого, ПА формируют узкую характеристику направленности (ХН), позволяющую повысить фронтальную разрешающую способность ПГС.

В ПА практически отсутствуют боковые лепестки в ХН, что значительно повышает помехоустойчивость ПГС и позволяет избавиться от реверберационных помех. Изменяя частоты исходных волн в пределах

ширины полосы пропускания исходного преобразователя накачки, можно добиться плавной перестройки ВРЧ, что существенно повышает широкополосность ПГС.

Малые размеры исходного преобразователя ПА делают возможным установку ПГС на судах самого малого водоизмещения.

К недостаткам ПГС следует отнести низкую эффективность процесса нелинейного взаимодействия волн накачки исходной излучающей антенны, которая в оптимальном режиме не превышает 10 %. Однако в виду концентрации всей энергии в узком лепестке ХН можно получить уровни звукового давления, превышающие соответствующие уровни, излучаемые традиционными линейными антеннами [5].

Первые результаты по проникновению поля ПА в осадки были получены Мюиром [6]. При проведении экспериментов оказалось, что характеристики проникновения акустических пучков близки к теоретическим. Однако с уменьшением расстояния между границей раздела и исходным преобразователем накачки ПА имело место некоторое расширение ХН на разностных частотах.

В дальнейшем было предложено много различных моделей, в которых рассматривалось поведение поля ПА в донных осадках [3, 4].

Для описания работы ПА в осадках наиболее информативными являются работы [7, 8]. За основу теоретической модели взято решение уравнения ХЗК, где авторами рассмотрено единое решение, показывающее поведение поля ПА в многофазной среде: вода – осадки при нормальном падении звукового пучка на границу раздела и при падении под углами, близкими к критическим.

Успех исследований с применением ПГС при изучении донных осадков, ведущихся с начала семидесятых годов прошлого века, позволил ведущим фирмам, специализирующимся на выпуске гидроакустической аппаратуры, приступить к их серийному выпуску.

В таблице 1 приведены основные характеристики ПГС, выпускаемые в настоящее время ведущими мировыми фирмами.

Проведенный анализ представленных на рынке ПГС показал, что они позволяют выполнять, прежде всего, качественный анализ слоистых осадочных структур, но не могут быть использованы для точного определения вида осадков и идентификации находящихся в них объектов. В связи с этим представляет интерес разработка параметрических аналогов традиционных гидроакустических средств (таких как многолучевые эхолоты и гидролокаторы бокового обзора) и технологий их применения в различных приложениях.

Таблица 1. Основные характеристики ПГС

Наименование	Производитель	Частота накачки, кГц	Разностная частота, кГц	Диапазон глубин, м	Глубина проникновения, м	Ширина ХН, град	Разрешение по дальности, см
SES-2000 <i>compact</i>	Innomar Technologie GmbH, Germany	100	4 – 15	0,5–400	до 40	4	1÷5
–/– <i>standard</i>		–/–	–/–	0,5–500	до 50	4	1÷5
–/– <i>quattro 4 Beam Mode</i>		–/–	–/–	0,5–300	до 20	5	1÷5
–/– <i>quattro 1 Beam Mode</i>		–/–	–/–	0,5–500	до 50	3	1÷5
–/– <i>medium–100</i>		–/–	–/–	2–2000	до 70	2	1÷5
–/– <i>medium–70</i>		70	3 – 12	5–2500	до 100	3	1÷8
–/– <i>deep–36</i>		36	2–7	5–6000	до 150	3	2÷12
–/– <i>deep–15</i>		15	2 – 6	10–11000	до 200	4	2÷15
–/– <i>ROV</i>		115	5 – 15	1–1000	–	4	1÷5
–/– <i>AUV</i>		115	5 – 15	1–1000	–	4	–
TOPAS PS18	Kongsberg Maritime	18	–	10–11000	–	–	–
–/– PS40		40		5–1000			
–/– PS120		120		3–400			
Atlas Parasound P70	Krupp Atlas Electronics	30	0,5 – 6,0	10–11000	до 200	2,5 х 3	–
–/– P35					до 150		
SeaKing SBP	Tritech	200	20	–	до 10	4,5	–

Настоящее исследование выполнено при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные основы технологий двойного назначения в интересах национальной безопасности» (Проект 46П «Исследование и разработка параметрических гидроакустических средств и технологии их использования для поиска, идентификации и мониторинга объектов в водной среде, на поверхности дна и в толще неуплотненных осадков»).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Новиков, Б.К.** Параметрические антенны в гидролокации / Б. К. Новиков, В.И. Тимошенко. – Л.: Судостроение, 1990. – 256 с.

2. **Новиков, Б.К.** Нелинейная гидроакустика / Новиков Б. К., Руденко О. В., Тимошенко В. И. – СПб: Судостроение, 1981. 264 с.
3. **Ивлиев, С. В.** Применение параметрических антенн в гидроакустике / Ивлиев С. В. Судостроение за рубежом. – 1994. – № 6. – С.46–59.
4. **Ивлиев, С. В.** Обзор зарубежных патентов по параметрическим гидроакустическим антеннам / Ивлиев С. В. // Судостроение за рубежом. – 1998. – № 6. – С.38–46.
5. **Рыбачек, М. С.** Оценка возможности применения параметрических гидролокаторов в задачах дальней локации / Рыбачек М. С., Душенин Ю. В., Ожерельев В. Н. // Прикладная акустика. – Таганрог: Изд-во ТРТИ. – Вып. XIV. – 1990. – С. 18–22.
6. **Мюир, Т. Дж.** Нелинейная акустика и ее роль в геофизике морских осадков / Мюир Т. Дж. – Акустика морских осадков. – М.: Мир, 1977. – С. 227–273.
7. **Рыбачек, М. С.** Исследование взаимодействия акустических волн на неоднородной границе раздела двух сред / Рыбачек М.С., Душенин Ю. В. / Изв. высш. учеб. заведений. Электромеханика. № 4. – Новочеркасск: Изд-во Новочеркасского государственного технического университета, 1995. С. 30–32.
8. **Гурский, В. В.** Исследование основных характеристик поля параметрической антенны в донных осадках при вертикальном падении пучка на границу раздела / Гурский В. В., Душенин Ю. В. / Известия ЮФУ. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. – С. 109–114.

УДК 629.127.4

О ПРИМЕНЕНИИ ВОДОЛАЗОВ ПРИ СПАСАНИИ ЭКИПАЖЕЙ АВАРИЙНЫХ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК

Илюхин В. Н.

*Ассоциация развития поисково-спасательной техники и технологий
199155, Санкт-Петербург, улица Железноводская, дом 18,
тел.: 8(812)350-39-91 факс: 8(812)350-07-86, arpstt@yandex.ru*

The article considers the question of whether a series of rescue boats with deep-sea diving complex to 500m for rescue crews emergency submarines lying on the ground.

30 октября 2012 года состоялся спуск на воду спасательного судна (СС) «Игорь Белоусов» для сил поисково-спасательного обеспечения

(ПСО) ВМФ, на борту которого установлен глубоководный водолазный комплекс (ГВК-450) для спасения экипажей аварийных подводных лодок. Это первый корабль с таким специальным вооружением, строящийся для ВМФ России, который планируется сдать ВМФ в 2014 г.

Принятие решения о создании СС пр. 21300 в начале 2000-х гг. с ГВК-450, его проектирование, строительство, проведение испытаний и последующая эксплуатация стали одними из приоритетных задач для научно-исследовательских институтов ВМФ и предприятий промышленности. Это обусловлено прежде всего уроками катастрофы с АПК «Курск» в 2000 г., после которой руководству страны и командованию ВМФ стала более ясна необходимость скорейшего наличия в составе флота современных средств спасения экипажей аварийных подводных лодок.

Согласно заданию, спасательное судно предназначалось для спасения в дальней морской зоне экипажей аварийных подводных лодок, кораблей и судов, а также для выполнения водолазных и подводно-технических работ. Для этого на судне предусмотрены необитаемый подводный аппарат для выполнения поисково-обследовательских работ, спасательный глубоководный аппарат типа «Бестер» (по проекту ОАО «ЦКБ «Лазурит»), два импортных нормобарических (с сохранением внутри атмосферного давления на всех глубинах погружения) скафандров. Глубоководный водолазный комплекс должен обеспечивать выполнение работ на глубине до 500 м и размещение в барокамерах 60 человек – спасенных подводников и водолазов.

Уникальность ГВК-450 заключается в том, что комплекс должен обеспечивать одновременно водолазные и спасательные работы. Ключевое слово здесь – «одновременно». Оно означает, что водолазы-глубоководники должны устранить возможные причины, препятствующие процессу посадки спасательного глубоководного аппарата «Бестер-1» на комингс-площадку аварийной подводной лодки, обеспечить выход и подъем в водолазном колоколе или по буйрепу вышедших самостоятельно после аварии подводников.

Сравнительный анализ по отечественным и зарубежным судам и спасательным системам аварийным ПЛ, построенным за последние два десятилетия [3–5] показал, во-первых, что спасательные системы НАТО, например NSRS с аппаратом SR Nemo или SRDS водолазные работы выполнять не могут. Для выполнения подводных работ в этих системах предусмотрено использование нормобарических водолазных скафандров. Существующие за рубежом суда с ГВК предназначены в основном для выполнения водолажных и подводно-технических работ и

могут привлекаться, как это было на АПК «Курск» к аварийно-спасательным работам.

ГВК-450 СС пр.21300 по принятым техническим решениям и своим характеристикам должен не столько обеспечивать подводно-технические работы, сколько оказывать водолазную поддержку проведению спасательной операции с помощью основного средства спасения подводников – спасательного глубоководного аппарата (СГА). Поэтому глубина работы водолазов должна соответствовать глубине спасания подводников. Для этих целей в зарубежных комплексах используются нормобарические скафандры с рабочей глубиной до 600 м и телеуправляемые необитаемые подводные аппараты (ТНПА) различного назначения, которые способны выполнить основную часть работы водолазов на глубинах более 300 м. Предусмотрены нормобарические скафандры скафандры HS-1200 и на СС пр. 21300 на глубины до 365 м, что недостаточно для всего возможного диапазона глубин выполнения работ на аварийной ПЛ [1].

Во-вторых, стремительное развитие роботехники, в том числе и подводной, за последние годы привело к отказу от водолазных технологий при освоении шельфа на глубинах более 100–200 м как у нас в стране, так и за рубежом.

В третьих, использование же ГВК-450 для решения задачи спасания экипажей аварийных ПЛ не является определяющим, так как основным средством спасания экипажей аварийных ПЛ силами ПСО являются спасательные глубоководные аппараты пр. 1855 и 18270 и их модернизированные аналоги. Уровень развития подводных обитаемых и необитаемых аппаратов в современных условиях позволяет решать задачи поддержания жизнедеятельности экипажа аварийной ПЛ, которые традиционно решали водолазы. Это подтверждается и отечественным опытом эксплуатации построенных ранее ГВК.

Первый, можно сказать, базовый вопрос – какой опыт имеется по использованию ГВК для аварийно-спасательных работ. Ответ на эти вопросы следует из истории создания и эксплуатации ГВК в России.

Данные о проведении водолазных работ на флотах в 1970–2000 гг. показывают, что водолазные работы в морских условиях проводились на глубинах до 160 м, а экспериментальные водолазные работы в морских условиях – до 300 м.

Практической потребности выполнять работы на флотах на глубинах более 200 м по опыту проведения фактических спасательных работ (например, С-178 – 1981 год, К-429 – 1983 год, АПЛ «Комсомолец» – 1989 год, АПЛ «Курск» – 2000 год) не было.

Анализ статистических данных также показывает, что за прошедшее столетие более 80 % случаев гибели ПЛ происходит при удалении от пунктов базирования до 150–200 миль в ближней морской зоне на глубинах до 300 м.

Отсюда следует ожидать, что практическая востребованность ГВК-450 при проведении спасательных работ с участием водолазов на глубинах свыше 160–200 м в ВМФ будет незначительной.

Следует отметить также, что основное средство спасания экипажей аварийных ПЛ – СГА может использоваться при волнении моря до 3–4 баллов, а гораздо менее эффективное средство для спасания – ГВК-450 – до 5 баллов. Такое несоответствие свидетельствует о том, что применение СС типа 21300 является не самым рациональным для спасания экипажей аварийных ПЛ, как правило, в сложных гидрометеоусловиях.

Следует отметить, что надводные СС обладают существенным недостатком: они не только не способны выполнять спасательные операции в районах покрытых льдом, что весьма актуально для полярных акваторий России, но и на свободной воде имеют существенные потери во времени при усилении волнения моря.

Исходя из вышесказанного, а также имеемого бурного развития робототехники за последние 15–20 лет, отсутствия потребности в водолазных технологиях при добыче нефти и газа на глубинах более 100–200 м как в нашей стране, наличия ряда первоочередных проблем в оснащении флотов поисково-спасательной техникой следует признать, что планируемое создание шести СС пр. 21300 с ГВК-450 [2] является недостаточно обоснованным. Создание 2–3 спасательных судов с ГВК-450 позволит нашей стране, как великой морской державе, наконец реализовать в должной степени имеемый научно-технический задел в области отечественных глубоководных водолазных технологий и использовать его для решения задач освоения Мирового океана.

Выводы

Основным средством спасания экипажей аварийных ПЛ во всём диапазоне глубин является СГА. Эффективность использования ГВК-450 при решении задачи спасания экипажей аварийной ПЛ существенно меньше эффективности использования СГА.

Практическая потребность ГВК-450 для проведения водолазных работ на глубине более 200 м до 2000 г. была весьма незначительна.

Наличие СС типа пр. 21300 с ГВК-450 для решения задачи спасания экипажей аварийных ПЛ в дальней морской зоне в том числе и в Арктике в количестве 6 единиц требует уточнения с тактической, экономической, технической и организационной точек зрения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Голдовский Б. И.** Эффективность системы спасения подводников // Судостроение, 2005. № 3. С. 64–67.
2. Концепция развития системы ПСО ВМФ до 2025 г. // Морская политика России. 2013. С. 64–69.
3. **Илюхин В. Н.** Об использовании подводных технических средств при спасании экипажей аварийных ПЛ, лежащих на грунте. Сб. материалов Международной конф. ‘SubSea-2009’. – 2009. – С. 44–50.
4. **Илюхин В. Н.** Развитие средств и способов спасания экипажей аварийных ПЛ ВМФ России. Журн. «Морской сборник». – М.: Воениздат. – 2009. – № 5. – С. 30–38.
5. **Илюхин В. Н.** Международное сотрудничество в области поиска и спасания экипажей аварийных ПЛ. Журн. «Морской сборник». – М.: Воениздат. – 2010. – № 1. С. 20–25.

УДК 551.465

НОВОЕ ПОКОЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ЛАГОВ НА БАЗЕ ЛАЗЕРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Даниелян Г. Л.¹, Каминский Ю. Д., Мартынова В. И.,
Проскурнёв С. Ю., Проскурнёв И. С.², Серых В. Я.³**

¹ ИОФ м. А.М. Прохорова РАН, ул. Вавилова, д. 38, корп.5,
119991, г. Москва, 8 (499)135-23-83, gldan@yandex.ru

² ОАО «НИИТеплоприбор», Пр. Мира, 95, 129085, г. Москва
8(499)685-91-23*7, +7 916-062-08-99, kaminjd@mail.ru

³ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
serykh@ocean.ru

The report discusses the JSC “НИИТеплоприбор” results of developing laser lags to provide technical solutions of the basic units: laser Doppler sensors and Doppler signals processing systems; laboratory and ship tests.

Одно из активно развивающихся направлений развития современного научного и промышленного приборостроения – применение лазерных измерительных технологий, в частности, принципов лазерной доп-

леровской анемометрии (ЛДА) для создания нового класса приборов для измерения скорости, расхода, длины и пройденного расстояния [1, 2].

Высокие метрологические и динамические характеристики, ограниченное влияние внешних факторов, имитационная градуировка и поверка, определяют перспективность применения ЛДА для создания лазерных измерителей скорости водных потоков [3], а также лазерных относительных лагов для надводных судов и подводных аппаратов.

В ОАО «НИИТеплоприбор» были проведены исследования и разработка относительных лазерных одноосевых и двухосевых лагов для надводных судов, разработаны экспериментальные образцы

ЛАГ-ЛМ-1 и ЛАГ-ЛМ-2 и проведены их лабораторные и судовые испытания.

ЛАГ-ЛМ-1 состоит из лазерного доплеровского датчика (ЛД), системы обработки доплеровских сигналов (ПДС) и выносного индикатора-вычислителя.

Анализ возможных вариантов оптических схем лазерных доплеровских датчиков показал, что для создания надежной недорогой модификации, предназначенной для работы в тяжелых условиях эксплуатации (качка, дифферент, турбулентные пульсации, вибрации и пр.) в чистой и загрязненной воде наиболее перспективными являются схемы на основе дифракционных решеток. При использовании дифракционных расщепителей на фазовых или амплитудных решетках не требуется стабилизация длины волны лазерного излучателя и, соответственно, стабилизация его температуры, а также возможно применение многомодовых лазеров.

Для упрощения конструкции датчика и технологии юстировки, а также уменьшения количества оптических элементов датчик выполнен на базе интегрального оптического модуля. Это значительно повышает его надежность и виброустойчивость.

Преобразователь доплеровских сигналов ПДС состоит из двух основных модулей:

- модуля фильтров, состоящего из параллельных или последовательных полосовых активных RC-фильтров 6-го порядка для снижения уровня низкочастотной составляющей и шумов и формирования бинарных сигналов,

- модуля обработки и измерения доплеровской частоты на базе 32-разрядного многофункционального процессора STM32F4 с системой идентификации сигнала, которая позволяет практически исключить погрешности, связанные с регистрацией шумовых импульсов, сигналов с малым отношением сигнал/шум и наличием фазовых искажений.

Высокая производительность и богатая периферия микроконтроллера STM32 позволяет наращивать функционал прибора без значительного изменения схемотехники, например, изменять алгоритм обработки доплеровских сигналов, ввести при необходимости режим подавления гармоник, считывать динамику выходной частоты и коэффициент «качество» сигнала, записывать в файл MS Excel данные измерений для последующего просмотра и статистической обработки при помощи Excel. Динамический диапазон ПДС при использовании 15 измерительных каналов примерно 1 : 500 (100 Гц – 500 кГц).

Внешний вид ЛАГ-ЛМ-1 приведен на рис. 1.



Рис. 1 Внешний вид ЛАГ-ЛМ-1

Лабораторные метрологические испытания ЛАГ-ЛМ-1 были проведены имитационным методом на специальном стенде СИ-01, обеспечивающим погрешность воспроизведения скорости $\Delta = \pm 0,015\%$ в диапазоне скоростей 5 мм/с – 20 м/с, полную автоматизацию процесса измерений и документирование результатов. На стенд СИ-01 получен сертификат об утверждении типа средств измерений R.V.E.28/010A №31383.

По результатам испытаний инструментальная погрешность измерения скорости и пройденного расстояния ЛАГ-ЛМ-1 составляла $\leq \pm 0,1\%$ в диапазоне скоростей 0,005–12 м/с (0,01–43 узла), при времени осреднения $\geq (5-20)$ с. В принципе максимальное значение измеряемой скорости в ЛАГ-ЛМ составляет 100–150 узлов. При скорости ≥ 1 узла минимальное время осреднения составляет 50–100 мс, что позволяет использовать ЛАГ-ЛМ-1 при различных гидродинамических исследованиях.

Судовые испытания ЛАГ-ЛМ-1 были проведены на Московском море на рейдовом катере М-11-28-32 и в Каспийском море на большом гидрографическом катере БГ-К-290.

Лазерный датчик устанавливался в обтекаемом водозащищенном корпусе, который был укреплен на борту катера и погружен на глубину 700–1000 мм.

При испытаниях на Московском море проверялись стабильность показаний и работоспособность прибора в чистой, загрязненной и турбулизированной воде в диапазоне скоростей катера 2–9 узлов:

1. Оценка среднеквадратического отклонения погрешности измерения скорости составляла $<0,1\%$ при времени осреднения 10 с.

2. Коэффициент качества сигнала составлял $(38-71)\%$ при норме $\geq(5-10)\%$

3. Отношение сигнал/шум на выходе лазерного датчика составляло $(5-12)$ дБ в зависимости от показателя оптического ослабления воды в пределах $(0,1-1,5)\text{м}^{-1}$

4. Загрязнение оптического окна как во время движения, так и во время стоянки не наблюдалось.

5. Влияние турбулентных пульсаций на результаты измерений скорости не зафиксировано.

При испытаниях в Каспийском море контролировалась работоспособность ЛАГ-ЛМ-1 в различных условиях эксплуатации. На промышленном компьютере LRC-120 регистрировались следующие параметры: дата, текущее время, пройденное расстояние (мили), скорость судна (узлы), коэффициент качества сигнала (%).

По результатам испытаний на мерной миле была зафиксирована случайная средняя квадратическая погрешность измерения скорости $\leq \pm 0,12$ узла.

На базе ЛАГ-ЛМ-1 разработан экспериментальный образец двухлучевого лага ЛАГ-ЛМ-2 для измерения продольной и поперечной составляющих скорости, путевой скорости, угла дрейфа и пройденного расстояния. Лабораторные испытания подтвердили его высокие метрологические характеристики при угле дрейфа до $\pm 30^\circ$, в настоящее время изготавливается опытный образец прибора.

Полученные результаты подтверждают возможность создания ряда моделей лазерных измерителей скорости различного назначения, отличающихся высокими метрологическими и эксплуатационными характеристиками, конкурентоспособных в РФ за рубежом.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Звенигородский, Э. Г.** Лазерные и оптические приборы для измерения скорости, расхода и длины. / Э. Г. Звенигородский, Ю. Д. Каминский, В. И. Мартынова, С. Ю. Проскурнев, П. В. Рогов, В. К. Роднина – Приборы, 8, 2005. С. 12–23.
2. **Dophide, D.** Optical flow rate measurement technologies in Germany And Russia / D. Dophide, V. Strunck, H. Muller, Yu. Kaminski, S. Proskurnev // 1998 International gas research conference/ San Diego. California, USA. 8-11 November 1989.
3. **Каминский, Ю. Д.** Лазерный доплеровский измеритель скорости течения водных потоков / Ю. Д. Каминский, В. Я. Серых // МСОИ-2013. Материалы конференции, том 1.

УДК 629.54

МАЛЫЙ ОПЫТОВЫЙ БАССЕЙН

Морева И. Н.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет»,

*Ул. Университетская, 33, 299053, г. Севастополь,
+7 (8692) 54 42 32, I.N.Moreva@mail.ru*

Experimental basin equipment to determine the movement resistance of the vessel are describes.

Предварительное вычисление сопротивления движению составляет одну из важнейших задач прикладной гидромеханики корабля. Физическое моделирование во многих случаях остается единственным путем решения задачи.

Малый опытовый бассейн кафедры Океанотехники и кораблестроения (ОиК) Севастопольского государственного университета – гравитационного типа. Имеет длину чаши бассейна $L = 10$ м при ширине $B_b = 3,0$ м и глубине воды до $H_b = 1,5$ м (рис. 1). Малая длина бассейна, ограниченная колоколом волнопродуктора и волногасителем, создает ряд проблем при моделировании сопротивления судов.

где m_3 – масса буксировочного устройства (системы блоков), кг; f – коэффициент трения качения (приведенное плечо нагрузки на подшипник), м; $f = \frac{m_2 R_2 - m_1^* R_1}{m_1^* + m_2 + m_3}$ – коэффициент трения качения; m_1^* – масса груза-противовеса, при определении потерь на трении в буксировочном устройстве, кг (рис. 4).

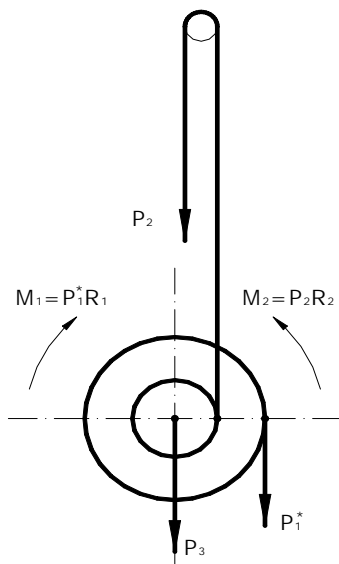


Рис. 4. Схема расположения усилий буксировочного устройства при определении потерь от трения

Замер показаний (пройденный путь, время, скорость движения модели) производился при помощи фиксирования положения блока в определенный момент его осевого вращения (рис. 5).

Принцип замера показаний основан на фиксировании времени между замыканиями контактов электроцепи. Замыкание цепи происходит в момент прохождения источника магнитного поля вблизи геркона. Источники магнитного поля (постоянные магниты) установлены на равноотстоящих угловых и линейных величинах относительно оси вращения блока. Запись и обработка показаний осуществляется с помощью ПЭВМ, включенного в цепь геркона.

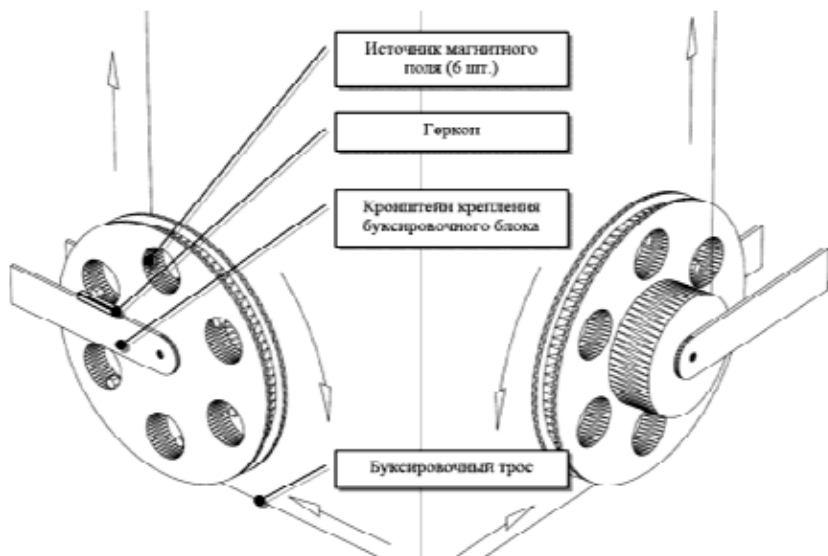


Рис. 5. Схема расположения устройств для замеров показаний на буксировочном блоке

Запись и обработка результатов осуществляется с помощью программного обеспечения специально разработанного для проведения буксировочных испытаний в опытовом бассейне.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Зиньковский-Горбатенко, В. Г.** Моделирование сопротивления судов в малом опытовом бассейне / В. Г. Зиньковский-Горбатенко, Г. Н. Грищенко // Вестн. СевНТУ : Сб. Науч. Тр. – Севастополь, 2005.
2. **Назаров, А. Г.** Экспериментальная установка для исследования нестационарных гидродинамических характеристик судов методом разгона моделей в опытовом бассейне / А. Г. Назаров, Д. А. Долинский // Вестн. СевГТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: Сб. науч. тр. – Севастополь, 2001. – Вып. 30. – С. 31–34.

ИСПЫТАТЕЛЬНО-ТРЕНИРОВОЧНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ МЕТОДА НАСЫЩЕННОГО ПОГРУЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ ПО ПЕРСПЕКТИВНЫМ КОСМИЧЕСКИМ ПРОГРАММАМ ИЗУЧЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ ЛУНЫ И МАРСА

Зайцев М. А.

*ФГБУ «Научно-исследовательский испытательный Центр подготовки
космонавтов имени Ю.А.Гагарина», Звёздный городок, Московская
область, Россия, 141160,
Телефон/факс: (495) 526-38-64, M.Zaicev@gctc.ru*

The paper considers conditions to ensure the training of groups cosmonauts, engineers and scientists, based on the method of stay in an underwater lab. Briefly presented the main tasks of the underwater complex. Also, it present The results of similar experimentation conducted at NASA.

Насыщенные погружения (водолазные спуски методом длительного пребывания человека под повышенным давлением газовой среды – метод ДП) – водолазные спуски из условий повышенного давления газовой среды барокамер водолазного комплекса с временем пребывания под повышенным давлением газовой среды, равным или большим времени полного насыщения тканей организма индифферентными газами, и последующей декомпрессией в этих барокамерах. Метод ДП предусматривает компрессию (повышение давления) до уровня насыщения, пребывание водолазов в водолазных барокамерах при этих условиях после водолазных работ (выхода в воду) и декомпрессию после установленного периода (количества) водолазных спусков.

Целью испытательно-тренировочного комплекса на основе метода насыщенного погружения является использование экстремальных условий водной среды, относительно длительной изоляции, а так же естественным имитатором поверхности планет.

Задачами проекта являются:

- Оценка возможностей автономного пребывания на поверхности осваиваемых планет, естественных спутников и пр. небесных тел природного происхождения после длительного перелёта к ним.

- Оценка воздействия физических нагрузок в процессе длительного пребывания и работы на поверхности естественных тел космического происхождения.

– Отработка автономных систем жизнедеятельности и медицинского обеспечения, а также средств профилактики неблагоприятных воздействий агрессивной среды.

– Отработка типовых сценариев пребывания на поверхности осваиваемых планет.

– Испытание специальных средств внекорабельной деятельности.

– Испытание робототехнических (в т.ч. автономных) средств внекорабельной деятельности.

Работы по созданию и эксплуатации подводных лабораторий с длительным пребыванием на них человека начались в начале 60-х годов XX века. За период двух десятилетий рядом стран на различных глубинах мирового океана были испытаны и эксплуатировались т.н. «подводные дома» обитаемого типа с различной конструкцией и набором систем автономного характера.

Проведённые эксперименты доказали возможность длительного (10-20 суток) автономного функционирования подводных систем на глубинах до 20 метров. В процессе эксплуатации члены экипажей подводных лабораторий регулярно совершали выходы из герметичных отсеков с использованием специального водолазного снаряжения и дыхательных смесей, что и обуславливало поддержание внутри лабораторий давления эквивалентного внешнему. Экспериментальные работы за пределами подводных лабораторий также доказали возможность применения тяжёлых физических нагрузок в условиях автономного пребывания без внешнего вмешательства.

Немаловажным фактором, вынужденно влиявшим на участников эксперимента, является автономность, обусловленная невозможностью экстренной эвакуации экипажа вследствие необходимости декомпрессии после работы под повышенным давлением.

В настоящее время существует единственная подводная лаборатория, принадлежащая Национальному управлению океанических и атмосферных исследований (NOAA), и активно используется NASA.

Начиная с 2001 года на борту лаборатории проведено 15 экспедиций NEEMO – NASA Extreme Environment Mission Operations (последняя 20-26 октября 2011г.), членами которых были в основном астронавты, имевшие опыт полета в космос. Целью экспериментов NEEMO НАСА называет изучение возможностей человека в различных условиях будущих космических полетов.

В первую очередь, предлагаемое ТСПК позволит использовать эффект автономности подводной лаборатории, который создаст определенную психологическую атмосферу, характерную для посадки челове-

ка на поверхность планеты. Водная среда, как единственное средство имитации длительного состояния невесомости, будет способствовать созданию эффекта прибывая на поверхности осваиваемой планеты и агрессивности окружающей среды. Ландшафт поверхности акватории пребывания подводной лаборатории также будет способствовать имитации окружающей среды, что позволит изучить особенности перемещения не только человека, снаряженного в скафандр, но и механических средств обеспечения ВКД, в т.ч. робототехнических.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Боровиков П.А.** Человек живет под водой / П.А. Боровиков, В.П. Бровко. – Ленинград : Судостроение, 1968. – 208 с.

2. Сервер технических отчетов НАСА (NASA technical report server) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ntrs.nasa.gov/>, свободный. – Загл. с экрана.

УДК 551.46.07

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛАВУЧЕСТИ ПРОФИЛИРУЮЩИХ ЗОНДОВ И АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Островский А. Г.^{1,2}, Швоев Д. А.¹

¹*ИО РАН 117997 г. Москва, Нахимовский проспект, 36, +74991246392,
osasha@ocean.ru*

²*ИТЦ «Мортехнологии» 105082 г. Москва, ул. Фридриха Энгельса, 75/3*

This presentation outlines progress of project for buoyancy engine (BE) for the autonomous underwater vehicles and the ocean mobile profilers. The research targets at development of the energy efficient BE capable of operation at 200 bar pressure. The discussion focuses on extensive laboratory trials of the budget-priced prototype model of the BE.

В заякоренном мобильном профилирующем зонде Аквалог [1] электромеханический привод обеспечивает вертикальное перемещение аппарата по ходовому тросу (буйрепу) буйковой станции за счет вращения приводного ролика, взаимодействующего с поверхностью ходового

троса. Тяговое усилие привода достигает 30–40 Н, что позволяет аппарату перемещаться вверх-вниз по тросу при скоростях течений до 0,6–0,7 м/с. Потребляемая аппаратом мощность растет с увеличением скорости движения аппарата относительно воды U пропорционально U^3 [2], но при $U \leq 0,2$ м/с не превышает 3–4 Вт. В условиях слабых течений типичная скорость профилирования зонда равна 0,2 м/с, а затраты электроэнергии на перемещение растут линейно с увеличением пройденного пути: для подъема с глубины 100 м до приповерхностного слоя они составляют минимум 0,25–0,3 Вт·час, а с глубины 800 м – 2–2,4 Вт·час.

Для сравнения, свободно дрейфующие поплавки типа АРГО циклируют между поверхностью моря и батиметрией благодаря изменяемой плавучести. Затраты электроэнергии на подъем дрейфующего поплавка с изменяемой плавучестью АРЕХ с глубины 800 м равны 1,1–1,2 Вт·час (табл. 1). Таким образом, при достаточно глубоком профилировании, эффективность балластной системы изменяемого объема по сравнению с электроприводной системой, оказывается выше. Следует отметить, что в 2012 г. удалось создать системы изменения плавучести буев Ninja и АРЕХ, работающие до глубины 4000 м [3, 4]. При постановках буйковых станций на больших глубинах с мобильными профилирующими аппаратами типа Аквалог затраты энергии будут существенно выше, чем при использовании аппаратов с переменной плавучестью, приспособленных для перемещения вдоль троса.

Таблица 1. Затраты электроэнергии на увеличение плавучести поплавок АРЕХ при подъеме с глубины 800 м по данным (<http://runt.ocean.washington.edu/swift/JES-ApexSbe-energy-budget/node2.html>)

Внешнее давление, бар	Объем перекачиваемого балласта, мл	Затраты электроэнергии	
		Дж	Вт·час
800	31	1135	0,315
450	44	1260	0,350
50	66	1339	0,372
0	16	310	0,086
Итого	157	4044	1,122

Автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) также нужны в системе изменения плавучести в целях экономии энергии батарей. Например, глайдеры погружаются и всплывают за счет изменения собственной плавучести и при этом перемещаются в горизонтальном направлении, за счёт подъёмной силы крыльев и фюзеляжа [5].

Экономичные по потреблению энергии гидравлические системы погружения/всплытия (ГСПВ) разработаны для подводных глайдеров Sloo-sim [6]. Причем мелководные (рабочая глубина до 200 м) и глубоководные (до 1000 м) системы существенно различаются: в мелководных в качестве балласта используется забортная вода, в глубоководных системах гидравлическая жидкость перекачивается между прочным корпусом и внешней расширительной емкостью.

В России системы управления плавучестью автономных подводных аппаратов серийно пока не выпускаются. Актуальной является задача разработки унифицированной платформы ГСПВ, которая позволила бы оснастить автономные подводные аппараты разных классов в сжатые сроки.

В 2014 г. нами был выполнен технический проект гидравлической системы изменения плавучести и дифферента автономного подводного аппарата. Перед собой мы поставили следующие задачи:

- разработать недорогую модульную ГСПВ с рабочей глубиной до 2000 м,
- исследовать возможности использования шестеренчатых насосов высокого давления в составе ГСПВ автономного подводного аппарата,
- предложить гидравлическую схему без контура предварительной подкачки рабочей жидкости на стороне всасывания из внутреннего резервуара в шестеренчатый насос,
- исследовать варианты контроля расхода рабочей жидкости при перекачке из внутреннего резервуара во внешнюю расширительную емкость и обратно.

ГСПВ разрабатывалась с учетом необходимости минимизации потребления электроэнергии.

Современные гидроагрегаты, потенциально пригодные по своим характеристикам для решения задач, поставленных выше, представляют собой компактные сборки, в состав которых входят:

- мотор постоянного тока,
- реверсивный шестеренчатый насос,
- вспомогательный резервуар для рабочей жидкости,
- фильтр рабочей жидкости,
- предохранительные клапаны, работающие при превышении порогового значения напора рабочей жидкости,
- гидравлические замки, прекрывающие движение жидкости в одном из направлений,
- монтажная плита.

Важно отметить, что как предохранительные клапаны, так и гидравлические замки, управляются давлением рабочей жидкости. И те и дру-

гие встроенные: наружного или внутреннего монтажа. В монтажной плите имеются гидравлические магистрали и отверстия для установки мотора и насоса. На монтажной плите, как правило, на одной стороне смонтирован мотор, а с противоположной стороны – насос внутри резервуара с рабочей жидкостью, который герметично крепится к монтажной плите. При такой компоновке вал насоса проходит насквозь через отверстие в монтажной плите и соединен с валом мотора с помощью муфты. Габариты гидроагрегата зависят не только от размеров резервуара, длины электропривода, но также от конструкций кланов и способа их монтажа.

Была проанализирована номенклатура компонент современных гидроагрегатов, удовлетворяющих требованиям к техническому проекту. На основании специальной литературы и данных производителей было проведено сравнительный анализ характеристик сборок гидроагрегатов.

Макет ГСПВ был изготовлен и прошел испытания с гидроагрегатами различных производителей. Для испытаний был разработан и изготовлен специальный стенд.

На стенде проводились:

- отработка режимов работы макета изделия, в том числе при имитации всплытия, в целях оптимизации потребления энергии,
- определение кратковременных нагрузок, возникающих при включении насоса на перекачку балластной жидкости наружу под высоким давлением до 200 бар,
- проверка надежности макета изделия, работающего непрерывно в циклическом режиме,
- контроль температурного режима мотора гидроагрегата.

По результатам испытаний был выбран оптимальный состав ГСПВ.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ №14-50-00095.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Островский, А.Г.** Автономный мобильный аппаратно-программный комплекс вертикального зондирования морской среды на заякоренной буйковой станции / А.Г. Островский, А.Г. Зацепин, В.А. Соловьев, А.Л. Цибульский, Д.А. Швоев, Океанология – 2013. – Т.53. – №2. – С. 1–10.

2. **Carlson D.F.** Moored automatic mobile profilers and their applications / D.F. Carlson, A.G. Ostrovskii, K. Kebkal, H. Gildor Special Issues in Marine Robotics, Editors: Oen Gal, Lambert Academic Publishing – 2013. – P. 169–206.

3. **Teledyne Webb Research** Teledyne Webb Research's new APEX Deep profiling float descends to 4000 meters / <http://www.webbresearch.com/newscenter/123112.aspx>.

4. **Kobayashi, T.** Deep NINJA: A New Profiling Float for Deep Ocean Observation / T. Kobayashi, K. Amaike, K. Watanabe, T. Ino, K. Asakawa, T. Suga, T. Kawano, T. Hyakudome, M. Matsuura, Proceedings of the Twenty-second International Offshore and Polar Engineering Conference, Greece, June 17–22 – 2012. – P. 454–461.

5. **Кожемякин, И.В.** Механизмы изменения плавучести, дифферента и крена подводных глайдеров. Краткий обзор литературы / И.В. Кожемякин, К. В. Рождественский, В. А. Рыжов, А. В. Смольников, Е. И. Татаренко, Морской вестник – 2013. – №1(10). – С. 113–116.

6. **Teledyne Webb Research.** Slocum Glider User Manual: Operations Manual Ver. 2 05/05/2010 / Teledyne Webb Research – 2010. – P. 101.

УДК 623.98

ПРОБЛЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ

Нерсесов Б. А., Римский-Корсаков Н. А., Карабашева Э. И.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., д. 36, 117997 г. Москва
8(495)719-03-70 nba1940@yandex.ru*

Проанализированы особенности проведения подводных хозяйственных работ в ряде акваторий Балтийского моря, с учетом влияния антропогенной нагрузки на состояние экосистемы акватории.

В качестве подводных потенциально опасных объектов, рассматриваются затонувшие корабли и суда с возможным боезапасом на борту, а также трофейные химические боеприпасы, затопленные после Второй мировой войны.

Приведены специфические аспекты технического обеспечения поиска подводных объектов в условиях мелководья.

Теоретические аспекты проблемы. При проведении подводных хозяйственных работ (геологоразведка, рыболовство, прокладка газопро-

вода «Северный поток») в Балтийском море возникает специфическая проблема, связанная с исследованием влияния на экологическую безопасность компонентов затопленных в акватории Борнхольмской котловины химических боеприпасов (ХБ) (рис. 1).

На акватории Балтийского моря вблизи датского острова Борнхольм в 1945–1946 гг. (под контролем военной администрации советской оккупационной зоны) была проведена «глубоководная утилизация» более 30 тысяч тонн трофейных ХБ, содержащих более 10 тысяч тонн отравляющих веществ (ОВ): снарядов, бомб, контейнеров, начиненных ипритом, адамситом, табуном, фосгеном.

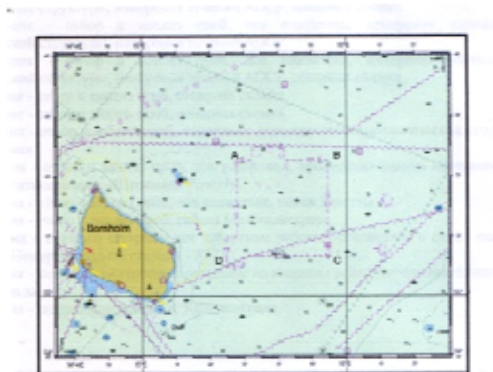


Рис. 1. Акватория Балтийского моря в районе острова Борнхольм с участком предполагаемого затопления химических боеприпасов (ABCD)

Не исключено, что ХБ затопливались также по пути следования судов их доставки от порта Вольгаст (Германия) к акватории восточнее острова Борнхольм.

К настоящему времени, по оценке экспертов, под действием коррозии разгерметизировано около 90–100% тонкостенных контейнеров с отравляющим веществом, а также 80–90% снарядов и бомб, имеющих более прочные корпуса [1].

Положение усложняется тем, что большинство районов массового затопления ХБ нуждается в уточнении и не закрыто для проведения подводных хозяйственных работ.

По мнению специалистов, реальным канцерогенным действием на людей, употребляющих в пищу рыбу, выловленную в опасных районах,

являются продукты гидролизной трансформации отравляющих веществ. Для рыбаков реальную угрозу имеют также контакты с вытравленными образцами ХБ и сгустками иприта.

Поэтому опасность экологической катастрофы и чрезвычайных ситуаций в районах массового затопления ХБ весьма серьезна.

Решением этой проблемы занимается МЧС России, по заказу которого, начиная с 1998 года, Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН в акватории Балтийского моря проводятся экспедиции по обследованию подводных потенциально опасных объектов (ППОО) с использованием судовых геофизических и геохимических средств.

При проведении работ по поиску и обследованию ППОО следует учесть особенности акваторий их вероятного нахождения: средние глубины от 40 до 90 м; наибольший градиент глубин – порядка 20 м на милю; рельеф дна слаборасчлененный; мощность залегания осадков достигает десятки метров; грунты в районе – различные комбинации ила, глины и песка.

Кроме того, как показали экспедиционные исследования, затопленные ХБ находятся в разных условиях: одни оказались погребенными под многометровым слоем ила, другие – слабо прикрыты осадками, третьи – легли на каменистое дно прибрежных шельфов [2].

Практические рекомендации. В 2005–2012 гг. на полигонах В-1, В-2 и В-3 в Борнхольмской котловине выполнялись подводные работы по обследованию мест предполагаемого затопления ОБ: гидролокационная съемка поверхности дна, промер глубин, измерение скорости и направления течений с помощью ADCP, отбор проб воды, грунта и CTD-зондирование (рис. 2).

Кроме того, проводился поиск затопленных подводных объектов, невидимых ГБО, средствами буксируемой магнитометрии.

Исходя из структуры и параметров аномальных эффектов от затонувших судов и затопленных образцов ХБ (единичных или групповых ферромагнитных масс) сформулированы требования к поисковой магнитометрической аппаратуре:

- чувствительность датчиков 0,9–1,0 нТл;
- расстояние ММС до дна (в процессе измерений) – 10–15 м;
- скорость буксировки – не более 5 узл.;
- погрешность определения местоположения магнитометра – 5–10 м.

При поиске подводных объектов использовался «продольный» градиентометр – содержащий два датчика, расположенных по курсу на расстоянии 20 м в немагнитных пластмассовых гондолах, удаленных от судна на 300 м.

Все работы по обследованию экологически опасной акватории проводились непрерывным измерением глубин судовым эхолотом, а навигационная привязка обеспечивалась дифференциальной системой космической навигации DGPS.

Опыт поисково-подводных работ, проведенных в районе острова Борнхольм, показал, что архивные сведения о местоположении затопленных боеприпасов весьма неточны.

Вероятно, в момент затопления ХБ судовые средства их доставки находились в дрейфе. Этим, по-видимому, объясняются многочисленные факты обнаружения химических боеприпасов в 5–10 км от указанных в Реестре мест их затопления.

Таким образом, В целях предотвращения чрезвычайных экологических ситуаций и установления оперативного экологического контроля в районе массовых захоронений химических боеприпасов необходимо:

- продолжить проведение площадной съемки акватории предполагаемого нахождения химических боеприпасов;
- нанести на карту (все без исключения) районы затопления ОБ в районе острова Борнхольм;
- установить контроль использования данных судовых геофизических (гидроакустических и неакустических) средств обнаружения ППОО.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Нерсесов Б. А., Спиридонов М. А.** / Проблема создания акваторий контролируемой экологической безопасности в Борнхольмском и Южно-Готландском районах массовых захоронений трофейных химических боеприпасов. //»Тезисы докладов Международной конференции по проблеме затопленного химического оружия» (12–14.01.1995, г. Калининград Московской обл.) Т. 1. С. 7–18.

2. **Нерсесов Б. А., Римский-Корсаков Н. А.** /Мониторинг экологически опасных акваторий в зоне прокладки подводного трубопровода «Северный поток» // Материалы XI МСОИ «Современные методы и средства океанологических исследований». М., 2009. Т. 3. С.8–11.

ВОЗМОЖНОСТИ КЛАССИФИКАЦИИ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ИХ МАГНИТОГРАММАМ

Нерсесов Б. А., Карабашева Э. И.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., д. 36, 117997 г. Москва
8(495)719-03-70 nba1940@yandex.ru*

На основании исследования основных характеристик магнитного поля подводных объектов различных типов предложена классификация их физических моделей, отличающихся по энергетическим, пространственным и структурным признакам, которые сводятся либо к пространственному мультиполю (суперпозиции точечных диполей), либо к точечному диполю (табл. 1).

Таблица 1. Классификация физических моделей магнитного поля подводных объектов

Физические модели магнитного поля подводных объектов			
Энергетические характеристики			
Пространственные характеристики		Структурные характеристики	
<i>Распределенные</i>	<i>Точечные</i>	<i>Мультипольные</i>	<i>Дипольные</i>
Пространственно-распределенный мультиполь (суперпозиция точечных диполей)		Точечный диполь	

Основной энергетической характеристикой ПО является вектор дипольного магнитного момента, от значения которого (при заданной чувствительности ДМП) зависит дальность его магнитометрического обнаружения.

Кроме того, в зависимости от типа подводного объекта (судно, вертолет, мина, фугас и т.п.) его магнитное поле может различаться по пространственным и структурным признакам: то есть быть пространственно-распределенным или точечным, мультипольным или дипольным.

Отмечено, что мультипольное поле, характерное для пространственно-распределенного объекта и создаваемое суперпозицией разноректорных диполей, по мере удаления трансформируется в поле точечного диполя (как правило, при соотношении дальности – D и к длине объекта – L : $0,7-1,0$).

В ходе поисковых работ с использованием буксируемого магнитоградиентометра (в районах с преобладанием илистых осадков) были обнаружены специфические подводные объекты, напоминающие скопление небольших металлических предметов в ограниченном пространстве, которые квалифицировались как пространственно-распределенный мультиполь.

При этом регистрировались «всплески» градиента магнитного поля (до 0,3 нТл/м), превышающих на порядок уровень сигнала на периферии района.

Отметим, что анализ магнитограмм обнаруженного подводного объекта позволяет классифицировать его как пространственный мультиполь – «совокупность ХБ» или как точечный диполь – «затонувшее судно» (рис. 1 и 2).

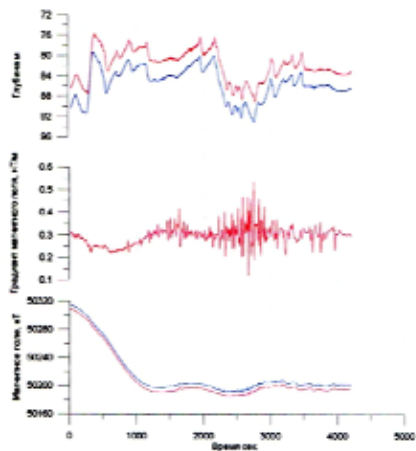


Рис. 1. Результаты измерений вариаций магнитного поля при обнаружении пространственной совокупности ХБ

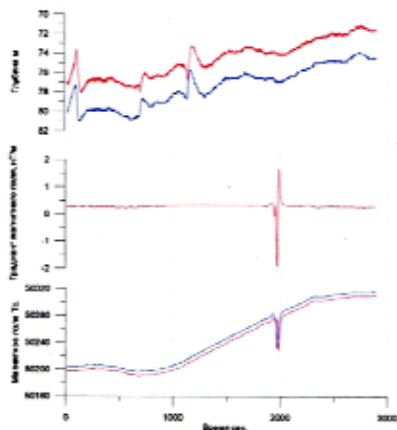


Рис. 2. Результаты измерений вариаций магнитного поля при обнаружении затонувшего судна

ЛИТЕРАТУРА

1. **Римский-Корсаков Н.А. и др.** /Итоговый отчет по государственному контракту № 1/3 ПРСН от 22.05.2007 г. «Обследование подводных потенциально опасных объектов в Балтийском море», ИО РАН. М., 2007. 183с.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДАТЧИКОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Афанасьев М. С., Нерсесов Б. А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., д. 36, 117997 г. Москва
8(495)719-03-70 nba1940@yandex.ru*

По данным анализа основных путей развития морских магнитометров выявлена устойчивая тенденция увеличения их результативности за счет повышения чувствительности датчиков, что влечет за собой увеличение их массо-габаритных характеристик.

Поэтому представляет интерес исследование влияния чувствительности датчика магнитного поля на эффективную дальность ММС – Д_э, при которой гарантируются требуемые вероятностные характеристики обнаружения подводных объектов: $P_{по} = 0,8 \dots 1,0$ [1].

Кроме того, рассчитывается потенциальная (в соответствии с характеристикой датчика, но без учета случайных факторов поиска) чувствительность – Д₀.

Для выбора оптимальной чувствительности датчика (с учетом магнитных характеристик подводного объекта и пространственно-временных колебаний буксируемой ММС) необходима оценка степени (коэффициента) реализации потенциальной чувствительности магнитометрических датчиков – $K = D_э/D_0$.

Данные зависимости коэффициентов реализации чувствительности датчика магнитного поля от значений эффективной дальности приведены (табл. 1 и рис. 1) – при обнаружении затонувшего судна и (табл. 2 и рис. 2) – при обнаружении пространственной совокупности ХБ.

Таблица 1. Зависимость коэффициентов реализации чувствительности ММС при обнаружении затонувшего судна

Чувствительность ММС (γ) (нТл)	0,1	0,5	1,0	1,5
K (0,8)	0,47	0,68	1,02	1,17
K (1,0)	0,39	0,56	0,83	0,96

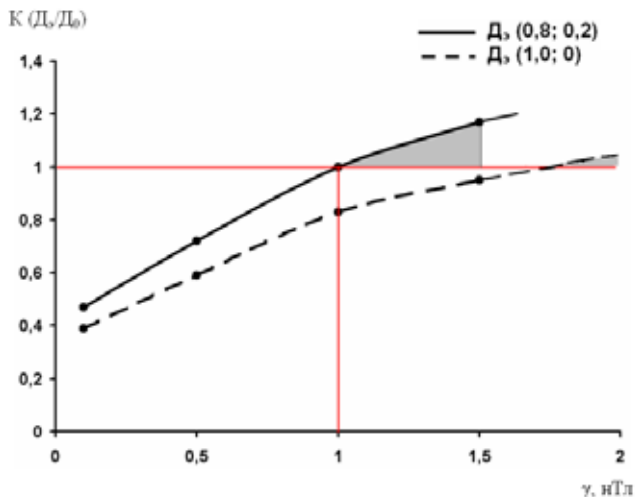


Рис. 1. График зависимости $K = D_s/D_0$ от чувствительности ММС при обнаружении затонувшего судна

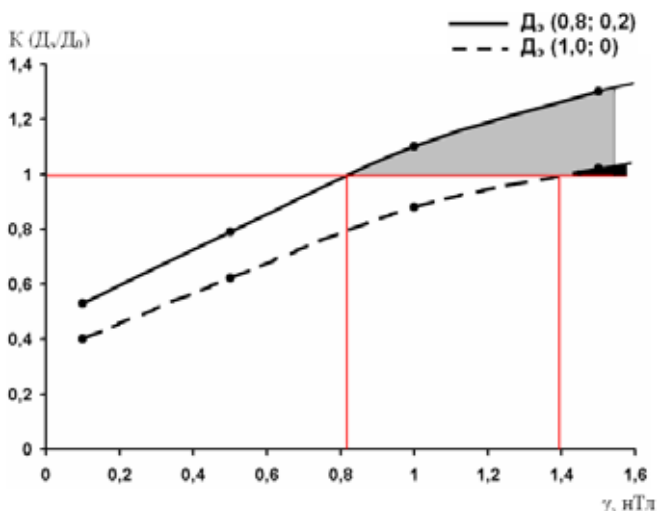


Рис. 2. График зависимости $K = D_s/D_0$ от чувствительности ММС при обнаружении пространственной совокупности ХБ

Таблица 2. Зависимость коэффициентов реализации чувствительности ММС при обнаружении пространственной совокупности ХБ

Чувствительность ММС (γ) (нТл)	0,1	0,5	1,0	1,5
К (0,8)	0,53	0,76	1,11	1,31
К (1,0)	0,41	0,59	0,88	1,02

Анализ приведенных данных показывает, что при поиске затонувшего судна оптимальными значениями чувствительности датчиков ММС могут быть: 1,0 нТл при заданных вероятностях обнаружения в дальней зоне ($P_{\text{по}} = 0,8$) и 1,7 нТл – в ближней зоне ($P_{\text{по}} = 1,0$).

При поиске же затопленных ХБ оптимальная чувствительность ММС может ограничиваться значениями: 0,9 нТл – в дальней зоне ($P_c = 0,8$) и 1,4 нТл – в ближней зоне ($P_c = 1,0$).

Таким образом, при поиске затопленного судна или пространственной совокупности ХБ чувствительность датчиков ММС может быть заглублена до 0,9–1,0 нТл, что значительно уменьшит их массогабаритные характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Афанасьев М.С., Нерсесов Б.А.** /Морские магнитометрические системы поиска и контроля // ГНУ «Экспертно-аналитический центр Минобрнауки РФ», М., 2012. 165 с.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОДОЛАЗНЫХ МЕТОДОВ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Яхонтов Б. О., Римский-Корсаков Н. А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-79-92,
giper28@ocean.ru*

The analysis and substantiation of scientific efficiency of diving methods of oceanologic researches is presented.

В России водолазные технологии в научной сфере начали активно развиваться с середины шестидесятих годов прошлого столетия, но в дальнейшем эти работы были приостановлены, однако научно-

технический задел сохранился и может быть использован в современных условиях. Основная цель этих разработок – повышение эффективности океанологических исследований за счет внедрения в практику технологий, основанных на прогрессивных методах водолазных спусков.

В отличие от подводных технических средств (необитаемые и обитаемые подводные аппараты, телеуправляемые аппараты и роботы), с помощью которых реализуется в основном научный метод наблюдения, измеряются физические параметры среды, производится отбор и вынос образцов для изучения на поверхности, водолаз под водой, кроме того, может выполнять функцию исследователя. Это важно особенно при биологических и химических исследованиях. Транспортировка на поверхность проб воды и донных видов гидробионтов даже с относительно малых глубин порождает проблему их физико-химической и биохимической трансформации. Морская вода и биологические жидкости гидробионтов имеют биологически активные газы и соединения. При подъеме образцов и организмов на поверхность изменяется давление, температура, освещенность и другие физические параметры среды. Это приводит, прежде всего, к увеличению объемов и в целом к «декомпрессионным расстройствам» у этих объектов по некоторой аналогии с последствиями неадекватного режима декомпрессии водолаза. На фоне такой трансформации результаты количественных измерений каких-либо параметров при нормальном давлении не могут быть корректными. Такие измерения должны выполняться на месте, то есть в среде обитания изучаемых объектов. Это непростая проблема, она требует наличия специальной адаптированной для подводных условий научной аппаратуры для реализации методик подводных научных исследований *in situ*. Такую работу под водой может выполнять только обученный этому водолаз или, исключая большие глубины, ученый, имеющий профессиональную водолазную подготовку.

Таким образом, подводная среда на доступной человеку глубине может рассматриваться как лабораторное место для современного океанолога. В ведущих зарубежных университетах и центрах, изучающих проблемы океана, большая часть исследований, особенно по химии и биологии, выполняется на грунте с применением водолазных технологий и донных приборов и аппаратов, включая высокочувствительные масс-спектрометры.

Использование водолазных методов подводных исследований ограничивается рабочими глубинами, что связано исключительно с физиологическими лимитами организма, поскольку водолаз при работе под водой находится под постоянным воздействием давления и измененной

дыхательной среды, что приводит к выраженным сдвигам во всех системах организма [1].

Современные технологии водолазных спусков в принципе позволяют выполнять научные задачи на глубинах до 500 м. Однако даже на малых и средних глубинах (до 60 м) океанологические исследования на грунте в настоящее время в России почти не проводятся, хотя ещё в семидесятых годах прошлого столетия водолазные погружения были признаны в Институте океанологии им. П. П. Ширшова одним из методов океанологических исследований. Выдающийся ученый – океанолог академик А. С. Монин в Большой советской энциклопедии писал: «Перспективными методами океанологических исследований являются ... непосредственное проникновение человека в пределы шельфа в подводных лабораториях (в режиме насыщения дыхательными смесями) и на океанские глубины в герметичных подводных аппаратах» [2]. Подобную точку зрения на водолазный метод исследования океана отстаивал и не менее известный океанолог Н. А. Айбулатов, который посвятил этому значительную часть своей последней книги «Вижу дно» [3]. Понимание значения водолазных спусков для повышения эффективности подводных исследований послужило толчком к развитию гипербарического направления и оснащению научно-методической базы Института новыми техническими средствами: береговой водолазный комплекс, тест-камера высокого давления, судовые глубоководные водолазные комплексы, обитаемый подводный аппарат с водолазным отсеком. Это была одна из лучших океанологических экспериментальных баз не только в нашей стране.

Научно-технический задел прошлых лет позволяет и в настоящее время развивать технологии океанологических исследований на базе водолазных методов работы с использованием современного водолазного снаряжения.

По результатам сравнительной апробации методик спусков с применением различных типов водолазного снаряжения установлено, что для океанологических исследований наиболее эффективной является методика спусков в автономном режиме. Это реализуется путем применения дыхательных аппаратов с замкнутой схемой дыхания, в которых возможно автоматическое поддержание заданного парциального давления кислорода во всем диапазоне рабочих глубин, регулировка состава дыхательных газовых смесей и их смена во время работы под водой.

Принципиально важным приложением к данной методике является возможность расчетов режимов спусков, и в частности декомпрессии, с помощью подводного компьютера. За счет этих технических инно-

ваний достигается высокая автономность и мобильность, сокращение расхода газов, времени декомпрессии по сравнению со спусками на сжатом воздухе. Увеличивается время работы на грунте, улучшается теплообмен между организмом и водной средой. Это – прогрессивный метод кратковременных погружений (КП), позволяющий водолазу работать на глубинах приблизительно до 100 м, то есть в зоне глубоководных спусков [4].

Эффективность данной методики позволяет утверждать, что она является наиболее перспективной для спусков в исследовательских целях. Между тем, её специфика предъявляет повышенные требования к самоорганизации и уровню квалификации водолаза. Для внедрения данной методики в практику необходимо оснащение водолазной службы ИО РАН современными дыхательными аппаратами типа «ребризер» и разработка системы обеспечения безопасности с учетом задач океанологических исследований. Однако на глубинах свыше, примерно, 100 м эффективность данной методики, как и в целом метода КП, снижается, так как время декомпрессии увеличивается, и КПД такого спуска становится низким. Это обуславливает необходимость перехода на метод длительного пребывания под повышенным давлением (ДП), при котором ткани организма водолаза полностью насыщаются инертным газом (азотом, гелием) в зависимости от его парциального давления в дыхательной среде. Находясь в условиях «насыщения», водолаз может практически в любое время выходить в воду для работы из жилой барокамеры судового водолазного комплекса, используя водолазный колокол, или из подводной лаборатории, установленной на грунте, и возвращаться на место без декомпрессии, потому что давление при этом не изменяется. Декомпрессия при этом проводится один раз по завершении всех работ под водой. Конечно, время декомпрессии при этом методе значительно превышает время декомпрессии после работы методом КП. Но это компенсируется эффективностью метода ДП. Этот метод реализуется главным образом с использованием судовых водолазных комплексов, в которых по фактору давления имитируются глубины океана. Следует отдать должное прогрессивно мыслящим российским океанологам, которые ещё в начале 70-х годов прошлого века предвидели эффективность судовых водолазных комплексов для океанологических исследований. Была даже предложена программа исследований с их использованием [5], при этом имелось в виду НИС «Витязь» четвертого поколения, которое, к сожалению, было утрачено в переходные 1990-е годы.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Куренков Г.И., Яхонтов Б.О., Сыровегин А.В.** и др. Действие гипербарической среды на организм человека и животных. Вып. «Проблемы космической биологии». М.: Наука. 1980. т. 39. 259 с.
2. **Монин А.С.** Океанологии институт имени П.П. Ширшова Академии наук СССР. Океанология. БСЭ. 3-е изд. М.: Советская энциклопедия. 1974. Т. 18. С. 1010–1013.
3. **Айбулатов Н.А.** Вижу дно. М.: Наука. 2006. 172 с.
4. **Черкашин, С.В.** Глубоководные водолазные спуски в автономном режиме. Перспективы развития. В кн.: «Подводные технологии и средства освоения Мирового океана». М.: Издательский дом «Оружие и технологии». 2011. С. 518–527.
5. **Айбулатов Н.А., Николаев В.П.** Некоторые соображения о применении гипербарических устройств в изучении Мирового океана и результаты океанологических исследований из подводной лаборатории «Черномор». В кн.: Подводные медико-биологические исследования. Киев. Наукова думка. 1975. С. 176–186.

ПРИНЦИПЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГИПЕРБАРИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ЗАДАННОМ УРОВНЕ В ОБИТАЕМЫХ БАРОКАМЕРАХ

Яхонтов Б. О.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва,
8(499)124-79-92, giper28@ocean.ru*

Principles of maintenance of the basic physical parameters of environment (pressure, temperature, humidity, gas structure) at the set level in hyperbaric chambers are discussed.

Эффективность функционирования системы жизнеобеспечения обитаемых барокамер определяется возможностью поддержания заданных величин основных физических параметров гипербарической газовой среды: давления, температуры, влажности и газового состава.

Поддержание заданного давления производится с помощью соответствующей подсистемы путем подачи инертного компонента газовой смеси в отсеки барокамеры. Небольшой подъём давления производится

также и путем разовых подач газа в камеру при восполнении утечек. Таким способом осуществляется поддержание заданного значения давления в ручном режиме.

Подача газов (кислород, гелий, азот, воздух) в отсеки обитаемой камеры обычно производится не напрямую в отсек, а после прохождения дыхательной газовой смеси (ДГС) через весь контур подсистемы регенерации, кондиционирования и очистки (РКО) газовой среды. Это обеспечивает лучшее смешивание газов и, главное, подачу в отсек предварительно нагретой в контуре смеси до заданной температуры.

Практически во всех подсистемах РКО предусмотрено поддержание парциального давления кислорода (PO_2) путем разовых подач его в отсеки через дозирочный баллон и вентиль тонкой регулировки. Давление кислорода в дозирочном баллоне, необходимое для нормализации PO_2 в барокамере или рабочем отсеке, рассчитывается с учетом объема камеры и баллона, рабочего давления в камере и величины отклонения PO_2 в камере от заданного уровня.

Конечно, управление давлением в барокамере и парциальным давлением кислорода в ручном режиме не является оптимальным вариантом, хотя и должно быть предусмотрено в дополнение к автоматизированным системам.

Общие принципы автоматизации поддержания параметров гипербарической среды основаны на определении величины отклонения параметра от его заданного значения и преобразовании сигнала рассогласования в исполнительный сигнал, действие которого приводит к выравниванию регулируемого и заданного значений параметра. Такие принципы автоматизации реализуются в основном на базе схем ПИ- и ПИД-регуляторов.

Для системы поддержания давления используются схемы с обратной связью, по которой сигнал рассогласования в зависимости от знака открывает подачу инертного газа или смеси в камеру либо сбрасывает избыток смеси из камеры до уровня заданного давления.

Требования к поддержанию заданного значения парциального давления кислорода более жесткие, чем к поддержанию давления среды в барокамере. Система автоматизации поддержания PO_2 должна быть более эффективной по точности и надежности, хотя принцип автоматизации по отклонению сохраняется.

Подача кислорода в камеру в идеале должна бы осуществляться непрерывно со скоростью, равной потреблению кислорода находящимися в камере людьми, но реализовать такой вариант практически довольно сложно, поскольку при этом необходимо контролировать общее, изме-

нящееся в зависимости от многих факторов потребление кислорода водолазами. Проблема решается более простым способом – автоматизация дозированной подачи кислорода в камеру по достижении нижнего допустимого предела PO_2 в отсеке. В этом случае подача кислорода в барокамеру регулируется частотой включения клапана. Первый способ, конечно, более сложный, но физиологически более правильный. Второй способ более надежный, но при этом масса и частота подачи кислорода должны рассчитываться для принимаемых за стандартные условия: давление в камере, объем отсека, количество водолазов и потребление кислорода водолазами постоянны. Последнее условие по понятным причинам практически невыполнимо, поэтому небольшие колебания PO_2 в допустимых пределах в отсеке барокамеры неизбежны, но они и не представляют опасности.

Весьма перспективным, в том числе для автоматизации, является метод дозированного получения кислорода с помощью электрохимического генератора непосредственно в камере. Таким генератором может являться электролизёр воды на основе твёрдополимерного электролита. Однако до реализации такого проекта потребовалось бы решить ряд непростых проблем, в том числе связанных с отведением из камеры водорода.

Принцип автоматизации по отклонению заложен и в системе поддержания температуры в барокамере. Датчик температуры в представительной точке барокамеры выдает сигнал по напряжению в определенном диапазоне значений. Программный задатчик выдает сигнал, соответствующий заданной температуре. Сигнал рассогласования напряжений поступает на регулятор, который выдает преобразованный исполнительный сигнал на электропневмо-преобразователь. Последний меняет расход воздуха на исполнительном пневмогидравлическом клапане, меняющем расход теплоносителя в контуре нагрева.

По этой схеме теплорегулирование может осуществляться не только с учетом величины сигнала, но и скорости его изменения.

Необходимо, однако, признать, что эксплуатационные качества такой системы невысоки. Это связано в основном с необходимостью регулирования расхода теплоносителя в большом диапазоне значений при высоких давлениях и в зависимости от объема камеры и ряда других параметров. При этом точность поддержания температуры находится в пределах не выше удовлетворительного уровня.

Эффективность систем автоматизации поддержания температуры в барокамере в большой степени связана с теплопередачей от металлического корпуса камеры в газовую среду. Поскольку нагрев ДГС в камере может быть достигнут за минуты, а корпуса – за часы, то относительное

термостатирование среды может быть достигнуто в основном за счет нагрева корпуса камеры. Высокая теплопроводность стали позволяет добиться желаемого результата даже при местном нагреве корпуса, в зависимости, конечно, от объема камеры, массы металла и других факторов. Более эффективным является поддержание постоянства температуры в камере с помощью водяной рубашки корпуса. Но наиболее простым и эффективным способом терморегулирования является использование греющего бака-аккумулятора с задатчиком-регулятором поддержания температуры. При этом температура воды при установившейся циркуляции может поддерживаться с высокой для данных условий точностью.

С процессами терморегулирования связаны и процессы влагообмена. Поэтому автоматизация поддержания влажности в барокамере также может осуществляться в соответствии с принципом регулирования по отклонению. Но измерение влажности в барокамере представляет не меньшие трудности, чем её регулирование. Как показала сравнительная проверка методов измерения влажности, для этого наилучшим образом подходит датчик зеркального типа, измеряющий температуру точки росы. Он сохраняет свою работоспособность при давлениях в десятки атмосфер.

Наиболее распространенным является конденсационный способ осушки ДГС, который реализуется в большинстве систем кондиционирования обитаемых барокамер. Циркулирующая по трубам теплообменника холодная вода охлаждает прокачиваемую через него газовую среду. Дыхательная смесь охлаждается до температуры, при которой происходит конденсация влаги. Скопившаяся влага удаляется путем слива из влагоотделителя через систему вентилей. Расход ДГС в системе осушки должен соответствовать расходу, при котором обеспечивается эффективная очистка ДГС от CO_2 . При этом осушка может регулироваться двумя путями: изменением температуры хладоносителя (воды) и изменением его расхода. При конденсационном способе осушки второе является предпочтительным.

Автоматизация процессов очистки ДГС от двуокиси углерода и вредных микропримесей не является необходимой, так как цель очистки – максимально возможное удаление этих примесей. Степень очистки зависит от количества и качества химических продуктов в фильтрах и аппаратах, кратности обмена ДГС при её циркуляции, а также от количества водолазов, находящихся в барокамере, и их физической активности.

Известно, что увеличение кратности обмена более пяти незначительно влияет на уменьшение содержания вредных примесей в среде барокамеры. Более высокая кратность обмена оправдана лишь в случае

локальных выбросов в дыхательную среду и необходимости экстренной очистки. Поэтому целесообразно поддерживать постоянную циркуляцию ДГС с автоматическим включением дополнительного контура очистки при аварийных выбросах вредных примесей в жилые отсеки барокамеры и иметь в системе регенерации, кондиционирования и очистки ДГС побудители расхода с регулируемым расходом смеси.

Следует отметить, что кроме внешнего контура очистки успешно применяются и внутренние системы. Они даже имеют определённые преимущества: более простая конструкция, отсутствие прочных корпусов, меньшие массогабаритные показатели. Во многих гипербарических комплексах предусмотрены как внешние, так и внутренние системы очистки.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ВОДОЛАЗНЫХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ

Яхонтов Б. О.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36,
117997, г. Москва, 8(499)124-79-92, giper28@ocean.ru*

Physiological principles of optimization of diving respiratory
gas mixes are discussed.

Газовые смеси, предназначенные для дыхания водолаза под водой, а также газовые среды в отсеках барокамер, с точки зрения физиологии должны обеспечивать адекватный гипербарическим условиям газообмен между организмом и средой, умственную и физическую работоспособность и сокращение времени декомпрессии. Это может быть достигнуто за счет снижения плотности смеси при использовании более легкого инертного компонента, нормирования для данного диапазона глубин величин парциального давления кислорода (PO_2), минимизации действия инертных газов на центральную нервную систему. Эти три основных принципа оптимизации дыхательных газовых смесей (ДГС) в зависимости от глубины погружений реализуются путем использования, кроме обязательного кислорода, инертных газов, отличающихся между собой по своим физическим свойствам и биологическому действию на организм – водород, гелий, неон, азот. Другие газы (аргон, криптон и ксенон) в водолазной практике не используются в связи с их высокой

плотностью и выраженной наркотической потенцией даже при дыхании в нормальных условиях.

Неон, хотя и является вполне пригодным для использования вместо азота в дыхательных смесях, так как он значительно легче азота и не проявляет заметных наркотических свойств, на практике не применяется по причине высокой стоимости. Смеси на основе аргона использовались при проведении фундаментальных и прикладных исследований по проблеме, в том числе с участием людей до давлений 8-10 кгс/см². Были получены научно полезные результаты, но ожидаемо бесперспективные для практического использования таких смесей, так как их плотность почти в полтора раза выше и они в два раза более наркотичны, чем кислородно-азотные.

Следовательно, выбор для разработки водолазных дыхательных смесей невелик – кроме обязательного кислорода, азот и гелий. На глубинах, примерно, более 500 м – и водород, который считается пригодным для использования в составе водолазных дыхательных смесей. Однако после последних рекордных погружений в море на 534 м в 1988 году и в барокамере на 701 м в 1992 году (Comex, Франция) попыток не только поставить спуски с использованием водорода на коммерческую основу, но и развития в этом направлении прикладных исследований с участием человека не было. Экономическая эффективность таких погружений с возрастанием глубины снижается в основном по причине увеличения длительности декомпрессии и наличия проблем обеспечения безопасности.

Повышенная плотность дыхательных смесей, поступающих на дыхание водолазу, и дыхательной среды в барокамере приводит к изменению механики дыхания, увеличению сопротивления и работы дыхания, снижению вентиляции легких при физических нагрузках и задержке выведения двуокси углерода (СО₂) из организма, повышению нагрузки на сердечно-сосудистую систему. Следствием всех этих физиологических сдвигов в организме является снижение работоспособности. Полностью нормализовать эти функциональные сдвиги не удастся, но ослабить влияния плотности можно включением в состав смеси более легкого, чем азот, инертного компонента.

Не менее важным при разработке ДГС является оптимизация величины парциального давления кислорода.

Снижение РО₂ до 0,18–0,16 кгс/см² от нормоксического уровня (0,21 кгс/см²) приводит к развитию гипоксии в организме, при более низких величинах – к кислородному голоданию. Превышение нормального уровня приводит к гипероксии и, как следствие, к отравлению кислородом при превышении допустимого уровня парциального давления

и времени дыхания. Реакции организма на гипероксию направлены на ограничение доставки кислорода в организм. В целом эти реакции противоположны реакциям на гипоксию.

Физиологические реакции переходят в патологические, когда кислород начинает оказывать токсическое действие на организм. Результатом могут быть различные формы отравления кислородом, которые требуют незамедлительного лечения. При многосуточном пребывании в условиях повышенного давления нетоксичные величины PO_2 находятся в пределах 0,21–0,30 кгс/см².

Таким образом, оптимизация ДГС по кислороду направлена на исключение гипоксии и отравления кислородом.

Действие на организм инертных газов при повышенном давлении проявляется в реакциях центральной нервной системы, которые необходимо минимизировать путем подбора количественного соотношения минимум двух инертных газов. Эти действия направлены, прежде всего, на снятие азотного наркоза, который проявляется при водолазных спусках и в барокамере на сжатом воздухе и азотсодержащих смесях, а также на уменьшение неврологических расстройств при глубоководных спусках с использованием смесей на основе гелия и в целом определяются как нервный синдром высокого давления.

Отрицательные влияния гелия можно свести к минимуму путем снижения скорости компрессии и применения ступенчатой компрессии с выдержками на остановках. Не менее эффективно и добавление в дыхательную смесь второго инертного компонента – азота, который является физиологическим антагонистом гелия, то есть минимизирует реакции организма на действие гелия при компрессии. Таким образом, соблюдая режим компрессии трехкомпонентными смесями, минимизируются эффекты действия гелия, которые, как и азотный наркоз, и плотность, и токсичность кислорода отрицательно влияют на работоспособность водолаза.

Водолазные ДГС можно разделить на две группы: предназначенные для спусков методом кратковременного погружения (КП) и методом длительного пребывания под повышенным давлением (ДП). Принципиальных различий по газовому составу ДГС между ними нет. В обеих группах используется кислород с одним или двумя инертными газами – азот и гелий. Разница состоит лишь в количественном соотношении газов в смеси.

Дыхательная газовая среда в отсеках барокамер водолазных комплексов длительного пребывания подразделяется в зависимости от глубин – до и более 40 м. При спусках методом ДП на глубины до 40 м ис-

пользуется двухкомпонентная кислородно-азотная смесь или кислородно-азотно-гелиевая смесь. Для глубин более 40 м – кислородно-азотно-гелиевая смесь.

При работе на грунте из условий ДП на больших глубинах водолазу на дыхание подается двухкомпонентная гипероксическая кислородно-гелиевая смесь. При дыхании такой смесью CO_2 накапливается в организме меньше в связи с меньшей плотностью, так как в смеси нет азота. Гипероксия при этом целесообразна, так как поддерживает физическую работоспособность водолаза.

Использование всех водолазных дыхательных смесей лимитируется по глубинам и длительности дыхания, что отражено в рабочих режимах спусков. Для каждой принятой для использования при водолазных спусках смеси соблюдены допустимые величины парциальных давлений кислорода и азота в зависимости от глубин. В смесях на основе азота и гелия, предназначенных для глубоководных спусков, проявляется физиологический антагонизм этих газов. Гелий снижает плотность смеси и ограничивает наркотический эффект азота, так как большая его часть замещается гелием. Азот в свою очередь блокирует признаки нервного синдрома высокого давления, обусловленного гелием, улучшает теплообмен и речевую связь с водолазом. Эти физиологические влияния газов на организм должны учитываться при разработке или оптимизации водолазных дыхательных газовых смесей.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА НИЗКОКИПЯЩИХ РАБОЧИХ ТЕЛ В ТЕПЛОМ НАСОСЕ ДЛЯ ПРИВОДА В ДВИЖЕНИЕ ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Комаров В. С.

*Институт океанологии им. П.П.Ширшова. Нахимовский пр, 36, 117997,
г. Москва, 8(499)1292045, romv2000@mail.ru*

In this paper we consider the principle of the use of low-boiling working fluids for energy from thermal gradients in the aquatic environment. The method is suitable mainly for the equatorial waters, for stand-alone devices such as scanners buoys type «Argo» and gliders, such as «Slocum». Illustrates an exemplary process efficiency.

В работе рассмотрен принцип использования низкокипящих рабочих тел для получения энергии из тепловых градиентов в водной среде. Способ пригоден в основном для экваториальных вод, для автономных аппаратов типа сканирующих буёв типа «Арго» и глайдеров, типа «Слокум». На примере показана эффективность способа.

Изучение Мировых океанов – главная климатическая задача одна из определяющих экономические условия любой государственной экономики.

Даже локальные океанологические исследования требуют чрезвычайных усилий и затрат связанных с флотом. Поэтому важно развивать робототехнику автономных автоматических средств исследования и сбора океанологической информации. Само по себе это две почти самостоятельные задачи.

Это средства сбора измерений и исследований океанологической информации. Их совокупность в зависимости от комплексной задачи представляет собой отдельный функциональный блок, объединенных логически блоком питания и связи.

И второе это собственно носитель этих модулей, объединяющий измерители в общий конструктив. Носитель имеет принципиально важную роль, так как он должен обеспечить перемещение измерительных модулей, как можно дольше, т.е. обеспечить максимальную автономность, что повышает КПД исследований.

Использование градиентов температуры поверхностных и глубинных слоев океана требуют перемещений аппарата по вертикали и основано на изменении плавучести чувствительной к температуре балластной части аппарата изменяющей свой объем в результате изменения температуры водной среды. Рабочее тело балластной части это может быть низкокипящая жидкость, имеющая большой коэффициент объемного температурного расширения за счёт активного фазового теплообмена, так, что изменение объема рабочего вещества удаётся использовать для значительного изменения сил водоизмещения аппарата.

Сама по себе сила водоизмещения способна перемещать аппарат только по вертикали, как, например, в бую – профилометре «Арех», или «Арго», но если управлять поверхностными силами, так что бы сформировать осевую равнодействующую поверхностных сил, то при управлении дифферентом, соотношением сил веса и водоизмещения, возможно получить планирующее движение в толще воды [1] по пилообразной траектории. Тип таких аппаратов и получил название «глайдеры» (Slocum, Spray, Seaglider, Coastal Glider и др.). Разработано большое количество низкокипящих хладагентов. Оценки их использования для извлечения энергии из тепловых градиентов океана показали их перспектив-

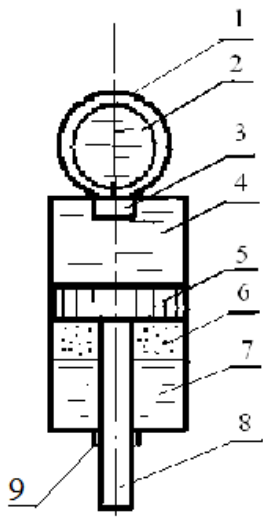


Рис. 1. Схема теплового насоса

и 7- жидкий хладагент. Поршень имеет выдвигной, через уплотнение, шток 8 радиусом r , который и меняет общий объем аппарата с фиксатором своего положения. Т.о. имея в составе аппарата (глайдера) блок управляемого объема и постоянной массы, появляется возможность управлять движением, например, формировать пилообразную траекторию. Находясь на водной поверхности, где в экваториальных морях температуры могут достигать $25-30^{\circ}\text{C}$, а давление у поверхности $P_0 \sim 1\text{атм}$, испарение хладагента активное и равновесное давление насыщенного пара достигает значительных величин: 20–30 и более.

Зная термодинамические свойства конкретного хладагента, можно подсчитать его прибавочную плавучесть из уравнений термодинамики, и гидростатики, пренебрегая в первом приближении потерями тепла на нагрев конструкции и теплоотвод в среду. Давлением газа, P_0 в шаро-баллоне задают глубину погружения. Обозначим R_0 радиус гидроаккумулятора 1 и V – его объем, R – радиус поршня 5 в камере, r – радиус штока; dP и dV , соответственно, изменение давления и объема насыщенного равновесного: P_1 давление нагретого насыщенного пара на поверхности при T_1 , и соответственно, P_2 и T_2 – тоже на глубине погружения после охлаждения и конденсации парогаса. Разность давлений dP

ность [2]. В этой связи представляется важным провести сравнительный анализ их термодинамических свойств на к-л модели теплового насоса. В основе работы такой модели лежит фазовый переход кипения и конденсации рабочего тела. На рис. 1 показана схема одной из возможных конструкций – теплового насоса – цилиндрическая модель переменного объема, где гидроаккумулятор 1 с давлением инертного газа и эластичной ёмкостью 2, заполненной маслом, и соединённой через управляемый клапан 3 с гидравлической частью 4 рабочего цилиндра, радиусом R , отделяющим поршнем 5 область низкокипящего рабочего тела, которое находится в двухфазном состоянии 6 и 7, где 6 – равновесный насыщенный пар и 7 – жидкий хладагент. Это область низкокипящего рабочего тела, которое находится в двухфазном состоянии 6 и 7, где 6 – равновесный насыщенный пар

зависит от разности температур и свойств хладагента. Например, для трифтормонохлорметана разность $T_2 - T_1 = 15^0$ даёт $dP = 9,915$ атм давления насыщенного пара при погружении на глубину 1000м. Аналогичные оценки можно сделать и для других хладагентов по формуле [3]:

$$dV = V \{ 1 - (P_2 R^2 T_1) / [P_a r^2 + (P_1 + dP)(R^2 - r^2) T_2] \}.$$

Величина $dP = f(P_1 (T_1) - P_2 (T_2))$ – свойство рабочего тела, т.е. (dP/dT) определяется его химическим составом. Оценки показывают, что по сравнению с парафинами низко кипящие рабочие тела имеют большую зависимость (dP/dT) и менее инерционны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комаров В. С., Комаров П. В. Патент РФ №2421372 от 27.03.2009.
2. Комаров В. С., Морозов А. К. Патент Р.Ф. № 2124457 от 06.01.1998.
3. ООО «АВИСАНКО» Термодинамические диаграммы $i - \lg P$ для хладагентов. М.: АВИСАНКО, 2003. – 50 с.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОЧИХ ТЕЛ ДЛЯ ТЕПЛООВОГО НАСОСА В ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ РАЗРАБОТКАХ

Комаров В. С.

*Институт океанологии им. П.П.Ширинова .Нахимовский пр, 36, 117997,
г.Москва, 8(499)1292045, romv2000@mail.ru*

The paper considers the comparative characteristics of the working bodies of low-boiling liquids. They are used in the mechanisms of transformation – heat pumps, which are used for the movement of underwater vehicles. The results may be useful for engineering design.

Изучение Мировых океанов, занимающих 5/6 поверхности Земли, задача всех поколений людей с начала мореплавания. Огромные просторы и километровые объемы водной толщи, определяющих, практически, весь климат на земле, т.к. по сути является аккумулятором и распределителем энергии Солнца приходящей на землю.

Развитие GPS и проект Арго позволили организовать глобальную сеть океанографических автоматических станций – дрейфующих буёв измерителей (Апекс и Провар), которые снабжая измеренной информацией, при этом умеют управлять горизонтом погружений. Программа, одобренная WOCE, является частью GODAE и вовлекает более 30 стран и более 3700 автономных буёв. В последнее десятилетие в эту работу оперативной океанографии включился флот глайдеров, которые для своего перемещения используют термические градиенты морской воды, но и электрическую тягу (Sprey).

Для глайдера носитель имеет принципиально важную роль, так как он должен обеспечить перемещение измерительных модулей, как можно дальше и экономичней, т.е. обеспечить максимальную автономность. В реальности тысячи автономных автоматических аппаратов постоянно исследуют Мировой океан. Подсчитано, что за время с 1999 г. только буи АРГО сделали измерений больше, чем все научные суда Мира, учитывая возрастающую управляемость и информативность с помощью GPS, GLONASS.

Перемещение носителя за счёт тепловых градиенты поверхностных и придонных водных слоев весьма удобны и эффективны в акваториях тёплых экваториальных морей. Носители последнего типа получили распространение после изобретения глайдера «Slocum» г-ном Doug Webb. В качестве рабочего тела он использовал парафиновые смеси – кристаллических предельных углеводородов в виде твёрдых растворов. Они бывают условно жидкими $T_{пл} \leq 27^\circ\text{C}$, твердые $T_{пл} = 28\text{--}27^\circ\text{C}$ и микрорекристаллические $T_{пл} \geq 60\text{--}80^\circ\text{C}$ [1]. При процессе рекристаллизации и плавлении фракций получается изменение объёма на 8–10%. Это и было использовано Веббом для утилизации тепловой энергии. Такой процесс фазовых превращений инерционный и поэтому переходный период особенно в фазе охлаждения требует времени, т.к. отсутствует усилие движущее аппарат, что так же снижает теплообмен.

Конкурентом твёрдожидкому фазовому механизму является более эффективный газожидкостный фазовый переход низкокипящих жидкостей, таких жидкие газы, фреоны, хладагенты, которых разработано множество для использования в холодильных машинах.

Тепловые насосы на основе низкокипящих жидкостей составляют основу холодильной техники и достаточно изучены. Попытки их использования для извлечения энергии из тепловых градиентов океана показали их перспективность [2]. В этой связи представляется важным провести сравнительный анализ их термодинамических свойств на какой-либо экспериментальной модели теплового насоса. В основе работы

такой модели лежит фазовый переход кипения и конденсации рабочего тела. В работе [3] (на рис. 1) показана цилиндрическая модель тепловой машины переменного объема, которая могла бы быть основой эксперимента. Сопоставление испаряемости различных хладагентов в основном фреонов приведено на рис. 1. Здесь показано давление насыщенного равновесного пара в зависимости от температуры кипения хладагента в $^{\circ}\text{C}$ для диапазона (голубой) температурного градиента характерного для экваториальных морей [4].

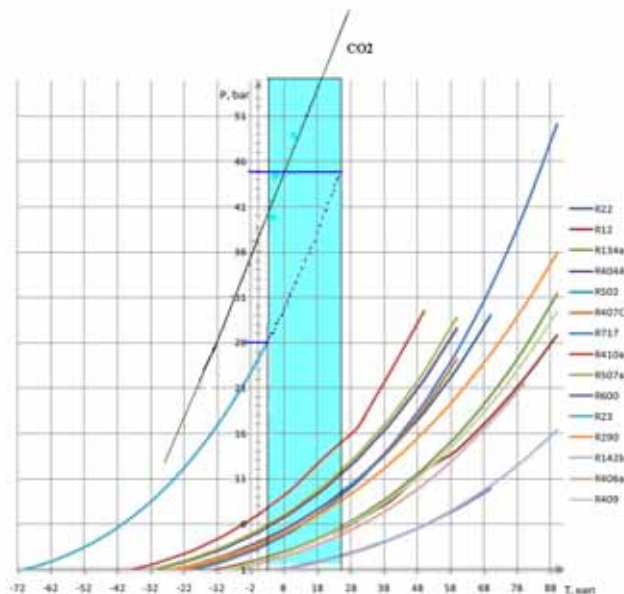


Рис. 1.

Из рисунка видно, что термодинамические параметры значительно отличаются, но среди них удобно подобрать максимально подходящие для интересующего диапазона температурного градиента. Из таблицы бР, очевидно, что максимально для КПД подходит хладон R23.

Находясь на поверхности, где в экваториальных морях температуры могут достигать $25\text{--}30^{\circ}\text{C}$ испарение хладагента активное и достигает значительных величин: 20–30 и более. Зная конкретные термодинамические свойства конкретного хладагента, можно подсчитать его прибавочную плавучесть из уравнений термодинамики, пренебрегая в первом приближении потерями тепла на нагрев конструкции и теплоотвод в среду.

Таблица перепада бР давлений равновесного пара–газа

t °C	R134	R404a	R502	R407c	R717	R410a	R507a	R600	R23	R290	R22
25	5,71	11,5	10,7	9,14	9,12	15	11,94	2,54	45,03	8,55	9,5
5	2,54	6,11	5,73	4,43	4,22	8,37	6,4	0,89	27,54	4,52	4,89
бР	3,17	5,49	4,97	4,71	4,9	6,63	5,54	1,65	17,49	4,03	4,61

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Парафины. <https://ru.wikipedia.org/> Углеводороды.
2. **Комаров В. С.** Морозов А. К. Способ и устройство перемещения по глубине подводного аппарата с использованием температурного градиента морской среды. Патент РФ № 2124457 от 06.01.98.
3. **Комаров В. С.** Использование принципа низкокипящих рабочих тел в тепловом насосе для привода в движение подводного аппарата. МСОИ-15.
4. Холодильное оборудование. ООО «Ксирон-Холод». www.xicon.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОСТИ ПОДВОДНОГО АППАРАТА ЗА СЧЁТ УПРАВЛЕНИЯ СООТНОШЕНИЕМ ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ И ВЕЛИЧИНОЙ МЕТАЦЕНТРИЧЕСКОГО МОМЕНТА

Комаров В. С.

*Институт океанологии РАН, 117997, Москва, Нахимовский пр-кт., д.36,
т. 84991292045, romv2000@mail.ru*

The way of management by a trim and a roll of the underwater device, in which basis use of property of weightlessness of objects counterbalanced in water means of buoyancy is developed. Patent.

Наряду с автономностью, важнейшим проектируемым качеством самоходных подводных аппаратов (ПА), является их управляемость, т. е. способность средств управления изменять траекторию движения согласно заданной программы или адаптивно отслеживать рельеф грунта, двигаться эквидистантно над ним. Как правило, все подводные самоходные автономные и привязные подводные аппараты – транспортные средства, маневрируя в вертикальной плоскости, совершают движения по ступенчатой траектории, сохраняя нулевой дифферент, т.е. сохраняя продольную ось в горизонтальном положении, поскольку заранее за-

проектирована высокая остойчивость – большая метацентрическая высота. Однако, управлять дифферентом, да и креном, весьма желательно, как во время движения, так и в неподвижном положении, как с точки зрения минимизации энергозатрат, так и с точки зрения манипуляции внешними устройствами и пользования измерительной аппаратурой. Например, ПА глайдер, выполняя «планирующую» глиссиду за счёт управления водоизмещением, должен управлять дифферентом и креном теми же средствами, не прибегая к гидродинамическому взаимодействию со средой, чтобы не увеличивать сопротивление и не тратить на него энергию, кроме того скорость ПА такого, как глайдер мала ≤ 1 км/час, что не эффективно для управления внешними рулями. Как правило используют управление величиной метацентрического момента, смещая вес отдельных элементов конструкции относительно центра величины. Для этого используются различные внутренние устройства взаимного смещения сил водоизмещения и веса. Чаще всего используют, перекачивания балластной жидкости. Т.е. совершая всё же энергоёмкие действия. Подавляющее большинство обитаемых и не обитаемых аппаратов не могут двигаться эквидистантно наклонной поверхности дна и двигаются «по ступенькам» (Подражанский [1]). Отдельное оригинальное решение принадлежит французам это гайдроп – довольно тяжёлая цепь, которая, свешиваясь со средней точки киля ложится на дно и тащится аппаратом. Она уравнивает избыточную плавучесть аппарата той частью своей длины, которая не опирается на дно. Любое изменение рельефа дна приводит к вертикальному смещению ПА, так что длина свисающей части постоянна. Умение тела принимать и удерживать любое пространственное положение в воде относительно центра масс – важное качество свойственное живой природе. Вот не случайно у речных и шельфовых рыб имеется плавательный пузырь, который служит не только органом чувства (слух, определение глубины и др.), но и для управления горизонтом обитания, управления креном и дифферентом, поэтому у большинства рыб он разделён на две части. А в общем его конструкция зависит от специализации вида рыбы. Анализ бионических механизмов водных обитателей позволяет сделать некоторые выводы полезные в проектировании управляемости ПА.

Теорема: Если к-л тело (ПА), погружённое в воду в статическом состоянии разделено на две части (1 и 2), связанные приводом в сборку с осью вращения «о» при этом каждая имеет нейтральную плавучесть. Однако, у одной части тела (2) центр величины совмещён с центром тяжести, а у второй части тела эти центры максимально разнесены на величину метacentра «L». Такое тело-сборка, будучи в воде ведет себя

не подвижно, но при этом выполняется условие: ориентация сборки всегда соответствует ориентации 1-го тела. Следовательно: если произвести поворот первой части тела (1) на к-л фиксированный угол « α », относительно второго (2), то это приведёт к вращению всей сборки (1 и 2 частей) тела на этот же угол, но в противоположную сторону так, что вторая часть займёт пространственную ориентацию под углом « α » к начальной. Другими словами строительная ось ПА повернётся на тот же угол « α » в сторону противоположную повороту первого тела.

На рис. 1 показаны различные статические состояния сборки. Здесь « W » и « w », « P » и « p », соответственно, водоизмещение и вес в воде, « G » и « g », а « V » – скорость движения сборки при возможном дисбалансе тела-1 и направляющего влияния окружающей среды.

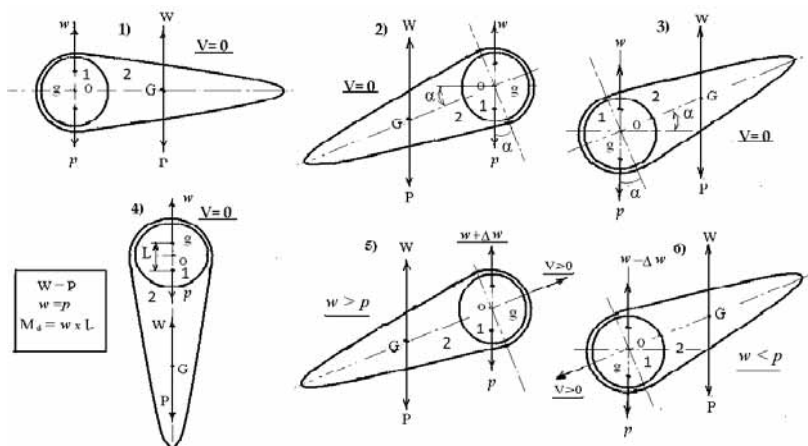


Рис. 1. Статически уравновешенные состояния

Если вывести из нейтральной плавучести тело 1, например, $p < w$, то в зависимости от ориентации главной строительной оси и угла « α » (рис. 1 (5)), получим движущую силу « v » под действием избытка плавучести, и аналогично – заглубляющую $p > w$ (рис. 1(6)). Что в сущности и является основой движения за счёт сил гравитации и мы это публиковали и раньше [2] (рис. 1(4)). Разумеется, здесь мы не рассматривали ограничивающее взаимодействие поверхностных сил вызванных взаимодействием с водой – вязкой средой.

Для ПА или глайдера, чтобы двигаться по гласседе или управляемой траектории необходимо управлять плавучестью, дифферентом и креном. В аппаратах, использующих для движения управление плавучестью, целесообразно проектировать, разделение на две сборки, у которых метацентрические моменты равны соответственно: $M_d = w \times L_{\max}$, $M_s = W \times L_{\min} = 0$ [3]. Суть изобретения в том, чтобы адаптировать пространственную ориентацию ПА к направлению движения и таким образом, минимизировать потери энергии на сопротивление среды. В кораблестроении считается, что судно устойчиво на курсе, если требуется не более 2-х переключений руля за минуту. Значит, минимизировать потери энергии на не устойчивом обтекании, а это ресурс автономности.

Приоритет использовать управление плавучестью для создания маршевого движения ПА принадлежит, по-видимому, ИО РАН, т.к. в 1989 г. получено АС [4] об использовании управляемого водоизмещения для движения ПА. Эффективность такого решения лучше показать в статике на модели, которая не имеет двигателей.

Как показано на рис. 1 модель разделена на два уравновешенных в воде тела (1 и 2), связанных осью вращения «о».

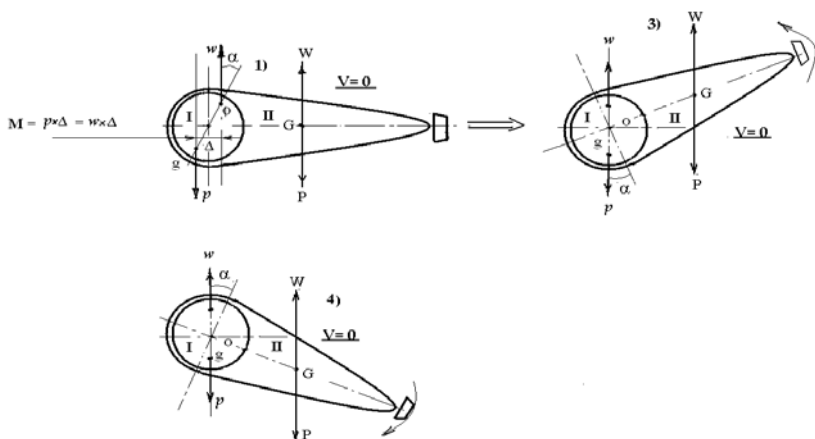


Рис. 2. Изменение ориентации неподвижного аппарата, снабжённого двигателем. Это, однако, не исключает использование совместного управления плавучестью. Особенно в тех случаях, когда траектория меняет знак

В состоянии 2 и 3 вращение на « α » тела 1 – вращает тело 2 на «- α » (в другую сторону). Неравновесные состояния 5 и 6. Здесь, как видно, появляется движущая сила « v », за счёт проекции Δv , которая может перемещать ПА такой, как глайдер.

Для активного движения ПА, снабжённого движителем и уравновешенного в воде (к чему следует стремиться), возникают возможности располагать строительную ось по касательной к траектории, не используя гидродинамического управления за счёт рулей. При этом управляемость не будет зависеть от скорости, а ПА может остановиться и зависнуть или поменять ориентацию за счёт взаимного поворота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подражанский А. М. Вижу дно Байкала. – Л.: Госгидромет, 1982.
2. Комаров В. С. АС СССР №1519102 89.
3. Комаров В. С., Комаров П. В. Патент РФ №2421372-11.
4. Комаров В. С., Ястребов В. С. АС СССР № 1519102-89.

УДК 551.46.07

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИМИ МАНИПУЛЯТОРАМИ ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Кропотов А. Н.¹, Данилов А. В.²

*Научно-исследовательский институт специального машиностроения
МГТУ им. Н.Э. Баумана 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, дом 5, с. 1,*

¹т. 8 (499) 263-61-14, E-mail: sm42@bmstu.ru

²т. 8 (916) 903-86-12 E-mail: 157304@rambler.ru

In Research Institute of Special Machinery has developed the control system of electro-hydraulic manipulators on underwater vehicle. The controlled objects are 4-th degrees left and 5-th degrees right manipulators. Manipulators control system provides the high accuracy of performance in all operations, as confirmed by natural tests.

В настоящее время при освоении шельфа водных пространств с помощью подводных телеуправляемых аппаратов (ПТА) увеличивается доля сложных подводно-технических работ проводимых манипуляци-

онными механизмами в составе ПТА. В связи с этим становится важной разработка высокоточных электрогидравлических приводов и систем управления ими, обеспечивающих качество и производительность проведения указанных работ.

В докладе представлена система управления электрогидравлическими манипуляторами (СУ ЭГМ) подводного телеуправляемого аппарата, разработанная в НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Объектом управления являются четырёх степенной левый и пяти степенной правый манипуляторы. Общий вид подводного аппарата с манипуляторами в походном положении показан на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид подводного аппарата

Система управления манипуляторами подводного аппарата управляется по вектору скорости, а также работает в режимах: ручном, автоматическом и обучения. Целью доклада является описание реализации СУ ЭГМ для обеспечения высокой точности позиционирования и динамики манипулятора.

Особенностью данной СУ ЭГМ является наличие в контуре управления зоны нечувствительности и её дрейфа. Для обеспечения точности позиционирования и динамики в системе управления предлагается использовать последовательное корректирующее устройство – ПИ-регулятор с ограничениями нарастания сигнала на интегральной ветви [1]. Перед интегральной ветвью стоит зона нечувствительности для уменьшения влияния шумов и уменьшения низкочастотных колебаний в системе на выходе интегральной ветви. В системе управления введено ограничение на сигнал, поступающий на электрогидравлический усилитель (ЭГУ). Это ограничение позволяет иметь большой коэффициент усиления системы «в малом» и малый коэффициент усиления «в большом» [2], что дает возможность с малой статической ошибкой сравнительно быстро отрабатывать задающие воздействия малой величины и сохранить устойчивость системы при отработке больших задающих воздействий.

Система управления манипуляторами подводного аппарата полуавтоматическая. Управление осуществляется оператором с помощью органов управления. Манипуляторы представляют собой удаленные объекты управления, поэтому контроль движения за ними осуществляется оператором с помощью видеокамеры, выводом значений датчиков углов

звеньев и визуализацией геометрической модели на экране пульта управления. СУ ЭГМ является распределённой и состоит из СУ верхнего уровня и СУ нижнего уровня.

СУ ЭГМ верхнего уровня выполняет следующие функции:

- отображает на экране основного пульта управления режим, положение и состояние манипуляторов,
- получает команды управления от оператора,
- передает команды в СУ ЭГМ нижнего уровня.

СУ ЭГМ нижнего уровня выполняет следующие функции:

- выдает сигналы управления на исполнительные механизмы манипулятора,
- опрашивает датчики углов,
- замыкает контуры звеньев манипулятора при работе в замкнутом режиме.

СУ верхнего уровня работает под ОС общего назначения Windows Embedded Standard 2009, которая является ОС «мягкого» реального времени. СУ нижнего уровня работает под ОС QNX Neutrino 6.3.2., которая является ОС «жесткого» реального времени. Это связано с принципиальным различием функций системы управления верхнего и нижнего уровней.

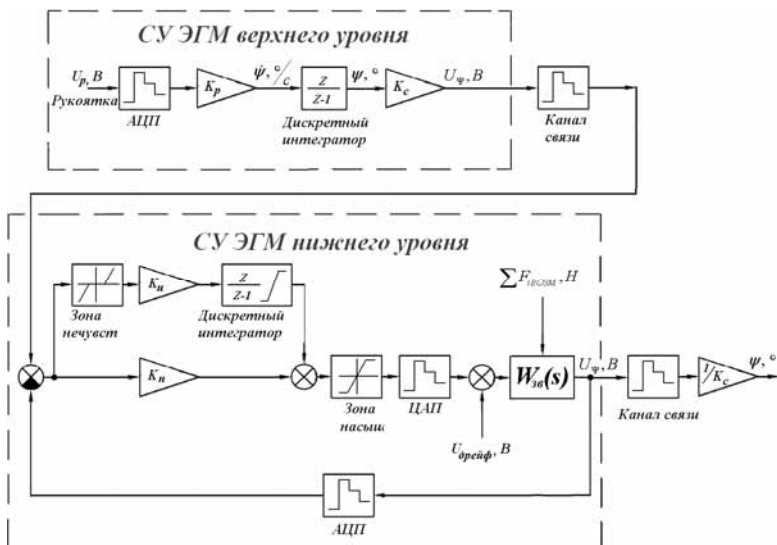
В системе управления нижнего уровня с замкнутыми контурами стабилизации звеньев манипулятора потеря режима реального времени может привести к большому фазовому запаздыванию и потери устойчивости и, как следствие, выходу из строя манипулятора.

Система управления верхнего уровня используется для формирования задающего воздействия и для индикации состояния манипулятора. Для неё работа в режиме реального времени не так важна.

Структурная схема контуров СУ ЭГМ показана на рис. 2.

На испытаниях разработанной СУ ЭГМ получены следующие результаты:

- подтверждена возможность прохождения манипуляторами по заданным траекториям в интервале заданной погрешности,
- обеспечена высокая точность его позиционирования без ухудшения динамических характеристик,
- подтверждено удобство интерфейса управления и обучения манипулятора,
- для определенных технологических операций (сверление, нарезание резьбы, взятие и возврат инструмента и пр.) подтверждена необходимость использования заданных траекторий для облегчения и ускорения работы.



U_p – аналоговое напряжение от рукоятки, АЦП – аналого-цифровой преобразователь, K_p – коэффициент пропорциональности между сигналом от рукоятки U_p и задаваемой скоростью звена ψ , K_c – коэффициент пропорциональности между задаваемым углом после интегратора Ψ от рукоятки и напряжением передачи U_{ψ} , K_u , K_n – коэффициенты ПИ-регулятора интегральной и пропорциональной ветви соответственно, ЦАП – цифроаналоговый преобразователь, $U_{дрейф}$ – возмущающее воздействие напряжения дрейфа зоны нечувствительности, $W_{3e}(s)$ – передаточная функция звена манипулятора, ΣF_{iBO3M} – возмущающие силы: силы тяжести, Архимеда и гидродинамического сопротивления.

Рис. 2. Структурная схема контуров СУ ЭГМ

Разработана и реализована кросс платформенная программа СУ верхнего уровня, с возможностью работать под линейкой ОС Windows NT и под Linux с ядром версии 2.6 и новее.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковриго Ю.М., Фоменко Б.В., Полищук И.А. Математическое моделирование систем автоматического регулирования с учётом ограничений на управление в пакете Matlab. ААЭКС, №2(20), 2007, Моделирование объектов и систем управления

2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. СПб, Изд-во «Профессия», 2003. 752 с.

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПОДВОДНЫХ ТРОСОВЫХ СИСТЕМ

Зарецкий А. В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, Москва, Нахимовский просп., 36, 8(499) 129-27-45
zaretsky@ocean.ru, <http://ocean.ru>*

Based on the analysis of more than 200 structures underwater rope systems (URS) used in various fields of ocean technology, developed a classification of URS, the basic definitions of the structure and configuration of the URS highlighted structural elements. Classification URS held by the boundary conditions, structure and signs of activity.

Исследование и освоение ресурсов Мирового океана, развитие морского судоходства неизбежно связаны с применением подводных технических средств, имеющих в своем составе гибкие связи большой протяженности, такие как, цепи, троса, канаты, буйрепы и др. Подобные технические средства можно рассматривать как подводные тросовые системы (ПТС). Наиболее важными областями использования ПТС являются следующие:

1. Океанология (буйковые станции, буксируемые системы, привязные подводные аппараты, дрейфующие системы).
2. Рыбное хозяйство и марикультура (тралы и другие орудия рыбного лова, подводные сетевые и садковые устройства).
3. Водный транспорт (транспортировка объектов, якорные системы, оборудование акватории портов и причальных сооружений, машины и механизмы для дноуглубительных работ).
4. Аварийно-спасательные работы (поисковые системы, оборудование для подъема затонувших объектов).
5. Добыча нефти, газа и минерального сырья со дна океана (плавучие буровые платформы, системы транспортировки, оборудования для разработки донных месторождений).
6. Сфера военного применения.

Имеющиеся недостатки систематизации ПТС, расхождение в используемой терминологии, отсутствие методологической базы создают определенные трудности у разработчиков подводных технических средств.

На основе анализа более чем 200 структур ПТС, применяемых в различных областях океанотехники, разработана классификация ПТС, даны основные определения структуры и конфигурации ПТС, выделены структурные элементы. Классификация ПТС проводится по граничным условиям, структуре и признаку активности.

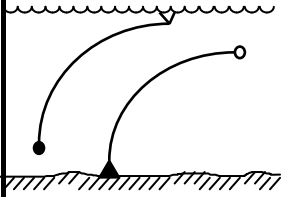
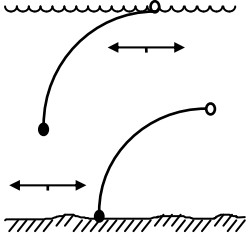
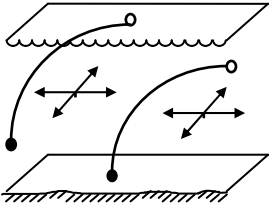
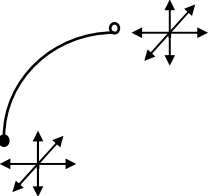
Классификация по граничным условиям и внешним связям.

Связи в системе могут быть внутренними и внешними. Внутренние связи объединяют твердые тела в систему (агрегат тел). Внешние связи накладывают ограничения на движение системы относительно некоторой системы координат в соответствии с накладываемыми граничными условиям. Соответственно система, обладающая только внутренними связями, является свободной. Система, в которой имеются и внешние связи будет несвободной или связанной. Примером свободной системы могут являться дрейфующие буи нейтральной плавучести. Основное же число ПТС являются несвободными системами: буксируемые системы, заякоренные системы и др.

Анализ применяемых в практике ПТС позволил выделить несколько типов внешних связей, реализующих задаваемые граничные условия. Классификация, условные изображения и физическая реализация внешних связей приведены в таблице.

В зависимости от характера граничных условий несвободные ПТС могут быть разделены на три большие группы: ПТС связанные с дном, ПТС связанные с поверхностью воды и комбинированные (в том числе и с освобождающимися связями) системы. В свою очередь связанные с дном делятся на подгруппы заякоренных ($\alpha=0$), перемещающихся по дну ($\alpha=1,2$) систем, где α – число степеней свободы конца гибкой связи. Связанные с поверхностью воды ПТС также делятся на опускаемые с плавучих оснований ($\alpha=0$) и буксируемые (или дрейфующие) системы с $\alpha=1,2$. Комбинированные системы объединяют в себе признаки первых двух групп. Комбинированные системы, в свою очередь, делятся на стационарные (неподвижно соединенные с дном $\alpha=0$ и поверхностью воды $\alpha=0$) и подвижные системы ($\alpha=1,2$). В каждую подгруппу могут входить плоские (располагающиеся в вертикальной плоскости) и пространственные.

Разделение на плоские и пространственные системы достаточно условно, поскольку при воздействии пространственного поля течений на плоские системы, последние могут принимать пространственную конфигурацию.

№	Числ ст. свободы	Условное изображение внешней связи	Реализация внешней связи
1	$\alpha=0$		Неподвижное плавучее основание (судно с системой динамического позиционирования, плавсредство на якорь, стационарная платформа и т.п.). Груз или якорь, неподвижно лежащие на дне.
2	$\alpha=1$		Надводное средство, перемещ. по прямой, напр. канатная дорога, или судно, идущее прямым галсом. Донное трансп. средство, перемещ. по прямой линии, напр. по рельсовому пути, или подводное ус-о перемещ. вдоль трубопровода.
3	$\alpha=2$		Надводное плавсредство. Транспортное средство, перемещающееся по дну.
4	$\alpha=3$		Подводный аппарат или подводная лодка. Тело нейтральной плавучести. Свободный конец гибкой связи.

Кроме того, ПТС можно разделить на системы с независимыми и зависимыми граничными условиями, а также на системы с постоянными и переменными граничными условиями. Кроме того, между граничными условиями может существовать дополнительная связь.

Классификация по структуре и её свойствам.

Прежде, чем переходить к анализу и классификации структур ПТС, необходимо использовать некоторые формулировки, данные в работе [1]. В ней взаимодействие между соседними телами через гибкую связь называется прямым взаимодействием, а такие тела определяются как смежные. Взаимодействие между двумя несмежными телами через третье является косвенным.

Рассмотрим структурные особенности ПТС. Тросовые системы могут иметь разомкнутую, замкнутую и комбинированную структуры. Простейшей системой с разомкнутой структурой является линейная кинематическая цепь, более сложной – система со структурой дерева. В системах с замкнутой структурой имеются замкнутые (кольцевые) кинематические цепи. Причем замкнутые кинематические цепи могут как быть внутренними, так и внешними. Внутренние замкнутые кинематические цепи состоят только из внутренних связей. В структурах с внешними замкнутыми кинематическими цепями кинематические цепи замыкаются с помощью внешних связей. Комбинированные структуры состоят из замкнутых и разомкнутых кинематических цепей.

Структуры тросовых систем могут иметь регулярную и нерегулярную структуру.

ПТС могут являться системами с однородными связями (например, только с гибкими), тогда структуру такой системы можно назвать однородной, и с неоднородными связями (например, наряду с гибкими связями имеются шарнирные соединения или связи других конструктивных реализаций) – в неоднородных структурах.

Следует использовать понятие систем с открытыми и закрытыми структурами. Открытые структуры обладают свободными от связей кинематическими цепями. В закрытых структурах все цепи являются замкнутыми.

Кроме того, ПТС можно подразделить на простые системы, имеющие в своей структуре один основной структурный элемент, и сложные.

Как указывалось выше, ПТС делятся на системы с постоянными и переменными структурами.

Классификация по признаку активности.

В механической системе могут иметь место два типа связей – конструктивные и формальные (аналитические) [2]. Конструктивными связями являются гибкие связи. Формальные связи могут быть заданы в ана-

литической форме и реализовываться путем приложения к системе управляющих сил. В этом случае система будет совершать управляемое движение в соответствии с содержанием формальных связей. Вследствие этого, в зависимости от наличия формальных связей, ПТС можно разделить на пассивные (неуправляемые) системы, и активные (управляемые).

Пассивные системы, в свою очередь, можно разделить на стационарные, имеющие граничные условия с числом степеней свободы $\alpha = 0$, и подвижные, в которых нет граничных условий с нулевым числом степеней свободы.

Активные системы могут иметь одно или несколько активных тел (к которым приложены управляющие силы). Эти системы могут быть свободными или ограниченными внешними связями.

Типовые структуры ПТС сведены в каталог, содержащий 136 наименований. В каталоге структуры представлены в графическом виде с использованием условных обозначений.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Витгенбург Й.** Динамика систем твердых тел. – М.: Мир, 1980. 292 с.
2. **Корнев Г.В.** Целенаправленная механика управляемых манипуляторов. – М.: Наука, 1979. 448 с.

УДК 551.46.077

ГОЛОНОМИЗАЦИЯ ГИБКИХ СВЯЗЕЙ В ПОДВОДНЫХ ТРОСОВЫХ СИСТЕМАХ

Зарецкий А. В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, Москва, Нахимовский просп., 36, 8(499) 129-27-45
zaretsky@ocean.ru, <http://ocean.ru>*

The report addresses the problem golonomizatsii flexible connections in underwater rope system by replacing it with articulated linkage. This allows the use of the mathematical apparatus of analytical mechanics and, as a consequence, all the possibilities of digital computers.

В обобщенном виде подводную тросовую систему (ПТС) можно представить в виде погруженной в жидкость механическую систему

твердых тел, имеющую в своем составе гибкие связи. При этом твердыми телами являются надводные и подводные плавсредства (суда, баржи, понтоны, подводные лодки и др.), подводные аппараты (телеуправляемые, буксируемые, автономные) и вспомогательные устройства (заглубители, буи, плавучести, грузы и т.п.). Гибкими связями здесь являются цепи, троса, канаты и т. п.

В этом случае математическая модель подводных ПТС может строиться в виде системы дифференциальных уравнений динамики системы твердых тел с гибкими связями в жидкости.

Прежде всего, следует провести анализ механических структур ПТС. При этом необходимо ввести некоторые ограничения на свойства предмета исследования. Эти ограничения следующие:

1. Тела, входящие в ПТС, например, такие как надводные и подводные плавсредства, подводные аппараты, буи, плавучести, грузы и т.п. объекты рассматриваются как абсолютно твердые, имеющие в общем случае 6 степеней свободы.

2. Гибкие связи, например, такие как цепи, тросы, канаты и т.п. рассматриваются как абсолютно гибкие нерастяжимые (идеальные) нити. Под идеальной нерастяжимой гибкой нитью обычно понимают линейный материальный континуум, который может принимать произвольную форму в пространстве [1]. В идеальной гибкой нити существует только сила вдоль её касательной (сила натяжения), изгибающий и крутящий моменты отсутствуют. Если физико-механические характеристики гибкой связи не позволяют ее считать идеальной на малой длине, то всегда можно подобрать такую длину, при которой нить становится практически идеальной.

3. Взаимодействие между телами системы осуществляется только через связи. Считается, что взаимное влияние тел друг на друга через среду мало и поэтому не учитывается.

4. Как правило, ПТС являются неконсервативными системами, так как в реальных условиях происходит активный энергетический обмен со средой (жидкостью).

Под подводной тросовой системой будем понимать связанную механическую систему, состоящую из I твердых тел и J гибких идеальных связей, погруженную в жидкость. Минимальный состав системы включает одно твердое тело ($I=1$) и одну гибкую связь ($J=1$).

Каждая ПТС обладает структурой и конфигурацией.

Структура характеризуется количеством твердых тел (узлов) I и гибких связей J , а также способом (или порядком) их объединения в систему. Различают системы с неизменной во времени ($I+J=\text{const}$) и изменяемой структурой ($I+J=\text{var}$).

Конфигурация определяет взаимное расположение в пространстве узлов и связей при неизменной структуре. Многообразие конфигураций, принимаемых системой, является пространством конфигураций.

Если все связи в системе склерономны, то и вся система является склерономной. Если же хоть одна из гибких связей системы реономна, то и вся система будет реономной.

Каждая гибкая связь характеризуется типом и формой. Склерономная гибкая связь имеет постоянную длину, реономная гибкая связь – изменяемую длину. Идеальная нерастяжимая нить является односторонней неголономной связью [2]. Следовательно, ПТС является неголономной механической системой, ограниченной односторонними связями на пограничных конфигурациях. Неголономную гибкую связь можно свести к голономной, используя специальные методы, один из которых приведен в работе [3].

Основным структурным элементом ПТС является система «гибкая связь + твердое тело». Каждую ПТС можно разложить на основные структурные элементы. В случае несовпадения количества тел и связей в неполной системе ($I \neq J$) её можно при необходимости довести до полной ($I = J$) путем добавления тел с нулевыми массогабаритными характеристиками при $I < J$, и гибкими связями с нулевой длиной, если $I > J$. Количество основных структурных элементов в системе может колебаться от одного (заякоренный буйреп или буксируемое тело) до нескольких десятков (составные буйковые станции).

Задача двух тел с гибкой связью была впервые рассмотрена И. Ньютоном. В работе [4] исследовался удар двух упругих тел, связанных нерастяжимой невесомой гибкой нитью. В более общей постановке взаимодействие двух тел через нить рассмотрели П. В. Воронец и Г. К. Суслов [5, 6]. Они решили задачу динамики двух вращающихся твердых тел, связанных нитью. Наиболее полно данные вопросы исследовались В. В. Добронравовым [5] для определения динамических характеристик двух симметричных вращающихся твердых тел с неподвижными полюсами (составных спутников). Однако, до настоящего времени не существует общего решения задачи взаимодействия двух тел через гибкую нить. В докладе представлены результаты разработки достаточно полной математической модели динамики рассматриваемой механической системы на основе аналитической механики многосвязных систем с голономными связями.

Для использования методов аналитической механики многосвязных систем предпочтительнее иметь дело с голономными связями. Поэтому возникает необходимость голономизации гибкой связи. Производить

голономизацию возможно различными путями, например, наложением условий, ограничивающих идеальность нити и др. Наиболее эффективным методом является замена гибкой связи шарнирно-сочлененным многозвенником. Такая замена используется довольно часто при решении прикладных задач с тросом. Достаточно указать наиболее известные работы [7, 8] и ряд других. Однако авторы указанных работ при замене нити многозвенником не осветили вопросы математического обоснования аппроксимации. В связи с этим представляется целесообразным рассмотреть математическую сторону голономизации гибкой нити шарнирно-сочлененным многозвенником.

Как указывалось выше, под идеальной нерастяжимой гибкой нитью обычно понимают линейный материальный континуум, который может принимать произвольную форму в пространстве. Из всех возможных конфигураций нити необходимо выделить область, в которой справедлива аппроксимация многозвенником. Для этого введем понятие минимального радиуса изгиба нити. Минимальным радиусом изгиба нити можно считать такой, при котором нить теряет свою идеальность и переходит в область упругих деформаций. Множество всех конфигураций нити, ограниченных минимальным радиусом изгиба, и определяет возможную область аппроксимации, причем величина минимального радиуса изгиба определяет количество укладываемых звеньев для нити фиксированной длины при достижении заданной точности аппроксимации. В этой ограниченной области проводится голономизация связи с помощью конечного числа формальных координат.

В результате составлены дифференциальные уравнения Лагранжа II рода динамики многомерных тросовых систем в тензорном виде. В этих уравнениях инерционные свойства тел, входящих в систему ($\mathbf{I} + \mathbf{J} \times \mathbf{n}_j$, где \mathbf{n}_j – число звеньев \mathbf{J} гибкой связи), и метрика пространства описывается фундаментальным метрическим тензором, а количество связей и их структуру (кривизну пространства движения изображающей точки) – символом Кристоффеля. На основе этих уравнений разработан пакет прикладных программ «ПОДВОДНАЯ МЕХАНИКА».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Минаков А.П.** Основы механики нити. / Труды МОЕК. Текст инта. Т. IX. Вып. I. ГИЛЛ, М.-Л., 1941. 87 с.
2. **Леви-Чивита А., Амальди У.** Курс теоретической механики. Пер. с итал. Т. 1. Часть I. М.-Л.: СНИИ НКТП СССР, 1935. 383 с.
3. **Зарецкий А. В.** О методе решения задачи двух тел с гибкой связью с помощью многозвенной аппроксимации в приложении к океанологической практике. – Деп. в ВИНТИ N2028-82, 1982. 27 с.

4. **Ньютон И.** Всеобщая арифметика. Пер. с лат. Изд. АН СССР, 1948. 442 с.
5. **Добронравов В. В.** Основы механики неголономных систем. М.: Высшая школа, 1970 г. 272 с.
6. **Суслов Г. К.** Теоретическая механика. ГЛ.-Л.: ГИТТЛ, 1944. 655 с.
7. **Крылов А. Н.** О равновесии шаровой мины на течении. Собр. тр. Т. IX. Часть II. – М.-Л.: Изд. АН СССР, 1949. С. 183–202.
8. **Ястребов В. С.** Телеуправляемые подводные аппараты. – Л.: Судостроение, 1973. 200 с.

ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗАТОНУВШЕЙ АПЛ Б-159 В СОВМЕСТНОЙ РОССИЙСКО-НОРВЕЖСКОЙ ЭКСПЕДИЦИИ 2014 ГОДА

Казеннов А. Ю., Кикнадзе О. Е.

*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»
123182 Россия, Москва, пл. Академика Курчатова, д. 1.
тел. +7 499 1969662, факс +7 499 1969943
E-mail: Kazennov_AY@nrcki.ru*

The radiation survey of Nuclear Submarine B-159 has been carried out during the Joint Norwegian-Russian Expedition in August-September 2014. The investigation has shown that there is no significant release of radionuclides to the marine environment at present. The line of further investigations was outlined on the basis of the radiation survey results.

Атомная подводная лодка Б-159 (до 1989 г. К-159) проекта 627А затонула 30 августа 2003 года в Баренцевом море в трех милях к северо-западу от острова Кильдин на глубине 250 метров во время ее буксировки в город Полярный для проведения работ по утилизации. На затонувшей АПЛ находятся два атомных реактора с не выгруженным отработавшим ядерным топливом (ОЯТ).

Из всех затонувших и затопленных в Арктике ядерно и радиационно-опасных объектов (ЯРОО) АПЛ Б-159 представляет собой наибольшую радиационную опасность – активность радионуклидов в ОЯТ двух реакторов АПЛ Б-159 на момент затопления составляла ~ 6,6 ПБк (180 кКи), что в 1,5 раза превосходит общую активность всех радиоактивных отходов, затопленных в Карском море и заливах Новой Земли

(по состоянию на 2000 г.). Опасность загрязнения окружающей среды кроме того усиливается тем фактом, что в отличие от ЯРОО, затопленных в Карском море, на АПЛ Б-159 отсутствуют дополнительные защитные барьеры между ОЯТ и морской средой. Активные зоны реакторов не заполнены твердеющим раствором на основе фурафура и битума – т. е. при разгерметизации первого контура реакторов морская вода будет иметь непосредственный контакт с оболочками тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов), что в будущем приведет к их коррозионному разрушению.

Выход радиоактивности из АПЛ может привести к загрязнению окружающей морской среды техногенными радионуклидами. По консервативным оценкам, через 10 лет после потери герметичности защитных барьеров реактора могут быть превышены допустимые уровни удельной активности радионуклидов в рыбе, обитающей вблизи АПЛ (130 Бк/кг по ^{137}Cs и 100 Бк/кг по ^{90}Sr). АПЛ Б-159 затонула на выходе из Кольского залива, где рядом проходят судоходные пути, при этом районы рыбного промысла расположены недалеко от места затопления, а в месте затопления отмечено значительное скопление рыбы различных промысловых пород.

НИЦ «Курчатовский институт» участвует в работах по радиационному мониторингу этой АПЛ с момента ее затопления в 2003 г. В 2007 г. в рамках международной программы по военному сотрудничеству в Арктике (АМЕС) специалистами НИЦ «КИ», НИКИЭТ и СПМБМ «Малахит» совместно со спасательной службой ВМС Великобритании было проведено подробное радиационное обследование АПЛ Б-159 [1]. По результатам этого обследования был сделан вывод, что на тот момент разгерметизации реакторных установок еще не произошло. С 2007 г. никаких работ по мониторингу АПЛ Б-159 не проводилось.

По консервативным оценкам специалистов НИЦ «КИ» и НИКИЭТ нарушение герметичности трубопроводов первого контура малого диаметра, за счет коррозионных процессов можно ожидать уже через 10 лет после затопления АПЛ. Таким образом, назрела необходимость проведения очередного радиационного обследования АПЛ Б-159.

Такое обследование было проведено в ходе совместной российско-норвежской экспедиции в августе–сентябре 2014 г. В работах принимали участие специалисты Росгидромета, НПО «Тайфун», НИЦ «Курчатовский институт», ГНЦ «Южморгеология», Службы РХБЗ Северного флота, Норвежского агентства по радиационной защите, Норвежского института морских исследований, Лаборатории морских исследований МАГАТЭ.

Основными задачами работ были визуальный осмотр затонувшей АПЛ с помощью ТПА РТ-1000; измерение уровней гамма-излучения погружным гамма-спектрометром, установленным на ТПА, а также отбор проб воды, донных отложений и биоты, как в непосредственной близости от АПО, так и в прилегающем районе Баренцева моря.

АПЛ Б-159 была визуально обнаружена 25.08.2014 в координатах определенных в 2007 г. комплексной совместной российско-британской экспедицией. В течение 25, 26 и 27 августа ТПА РТ-1000 6 раз выходил к АПЛ для проведения визуального осмотра лодки и проведения измерений уровней гамма-излучения. В общей сложности время нахождения ТПА в непосредственной близости от АПЛ Б-159 составило не менее 2 ч.

Следует отметить, что работам по визуальному осмотру лодки с помощью ТПА в значительной мере способствовали благоприятные погодные условия, установившиеся в районе проведения работ. Однако, даже в этом случае, из-за дрейфа судна, время работ в каждом из подходов ТПА к лодке не превышало 30 мин.

По результатам визуального осмотра АПЛ Б-159, можно утверждать, что внешнее состояние АПЛ практически не изменилось по сравнению с 2007 г. Слой иловых отложений на поверхности легкого корпуса АПЛ увеличился незначительно, новых разрушений легкого корпуса не отмечено. Имеется некоторое обрастание выступающих конструкций лодки (кнехты, шпиглы, леера, кромки люков и мест разрушений легкого корпуса).

Установленный в 2007 г. для проведения долговременного мониторинга в окно ветрозащитного щитка рубки подводный спектрометр РЭМ-21 не был обнаружен в месте установки. Вероятная причина его исчезновения – разрушение элементов системы крепления, в результате чего спектрометр провалился внутрь рубки АПЛ.

Как и при обследовании АПЛ в 2007 г. в ближайшей окрестности АПЛ было замечено значительное количество морских гидробионтов – рыбы (треска, пикша, окунь) и крабов, причем часть рыбы поселилась в промежутке между легким и прочным корпусами. Эта рыба может подвергнуться дополнительному облучению за счет излучения исходящего из внутренних отсеков лодки после разгерметизации первого контура реакторов.

Измерение уровней гамма излучения проводили с помощью подводного спектрометра РЭМ-26 с детектором NaI(Tl) Ø60×100 мм (разработка НИЦ «КИ»), установленного на ТПА РТМ-100 (ГНЦ «Южмор-геология»). Регистрация спектров проводилась в автоматическом режиме, каждый спектр имел временную метку для привязки к месту измерения. Экспозиция единичного спектра была выбрана равной 50 с. Пре-

дел обнаружения ^{137}Cs для такой экспозиции составлял $\sim 1,5$ Бк/л, что соизмеримо с фоновой гамма активностью естественного для морской воды радионуклида ^{40}K (1,2 гамма-квант/л) и в 7 раз меньше уровня вмешательства (УВ) для питьевой воды согласно НРБ-99 (11 Бк/л). Для повышения чувствительности, зарегистрированные спектры были просуммированы по отдельным точкам измерения.

За время работы ТПА РТ-1000 в районе АПЛ (в придонном слое воды и на грунте) было зарегистрировано более 300 спектров, из них около 100 в непосредственной близости (1-3 м) от АПЛ Б-159. Зарегистрированные в ходе обследования спектры показали отсутствие в воде вблизи АПЛ следов техногенной радиоактивности ^{137}Cs выше 0,2 Бк/л, что более чем в 50 раз ниже расчетной концентрации, ожидаемой в случае выхода радионуклидов при разгерметизации первого контура реакторов [2, 3].

Предварительный анализ радиоактивности отобранных проб и образцов воды, донных отложений и биоты также показал, что содержание в них техногенных радионуклидов не превышает фоновых значений, характерных для этой части Баренцева моря [3].

Таким образом, значимый выход радионуклидов из АПЛ Б-159 в окружающую среду отсутствует.

Вместе с тем, нельзя однозначно утверждать, что первый контур не разгерметизирован, так как при закрытых межотсечных люках радионуклиды могут накапливаться внутри отсеков АПЛ. Для выявления этого факта необходимо проведение измерений уровней гамма-излучения непосредственно на прочном корпусе над реакторным отсеком.

Такие работы необходимо провести в будущих экспедициях, при этом, для успешного проведения таких измерений следует предусмотреть наличие системы динамического позиционирования на судне обеспечения. Кроме того представляется целесообразным использование рабочего ТПА с более развитыми манипуляторами.

Еще одной из важных задач, которую необходимо решить в будущих работах – выяснение состояния кормовой части АПЛ находящейся под слоем грунта (полностью отломлена, либо загнута).

В заключение хотелось бы отметить, что использованная в этих работах методика измерений уровней гамма-излучений с помощью автономного спектрометра, не дает возможность проводить измерения в реальном времени и, таким образом, корректировать их в случае необходимости. Поэтому, на наш взгляд, целесообразно провести работы по сопряжению подводного спектрометра с системами подводного аппарата для проведения измерений в реальном времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гапонов И. А., Казеннов А. Ю., Королев А. В., Васюхно В. П., Нетеча М. Е., Орлов Ю. В., Игнатьев Д. Л. Проведение радиационного мониторинга АПЛ Б-159. Безопасность окружающей среды (ISSN 1997-6992). № 1. 2009. С. 98–101.

2. Кикнадзе О. Е. Обследование подводных ядерно- и радиационно опасных объектов в Арктике. Доклад на КЭГ МАГАТЭ. Рим, 19 ноября 2014 г.

3. Артемьев Г. Б., Гвинн Д., Казеннов А. Ю., Пешков Ю. В., Тейсен Х. К., Шиньков В. И. Предварительные итоги совместной российско-норвежской радиоэкологической экспедиции в район нахождения затонувшей АПЛ К-159. Доклад на КЭГ МАГАТЭ. Рим, 19 ноября 2014 г.

ПОРОХОВОЙ ГАЗОГЕНЕРАТОР

Комаров В. С.

*Институт океанологии им. П.П.Шириова.
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)1292045,
romv2000@mail.ru*

The principle and design of a gun powder based power-source module for autonomous underwater vehicles are considered. It is shown that gun powder could replace conventional electrical power-sources.

Принципиальное удобство пороха как источника энергии в том, что он не зависит от внешних теплофизических условий и гидрологического характера акватории, дешёв и удобен в промышленном исполнении, а главное, обладает огромной удельной мощностью. Его превращение в работающий горячий газ происходит за миллисекунды. Что не способны обеспечить другие источники и устройства.

Обычной и самой распространённой формой движения океанологической байковой станции является сканирующее движение вдоль буйрепа, в процессе которого выполняются измерения или глиссирующее движение глайдера вдоль пилообразной траектории от поверхности до дна и наоборот. Для осуществления этих форм движения целесообразно изменять плавучесть, управляя ей: от положительной до отрицательной и наоборот. И лучше всего управлять плавучестью, изменяя водоизме-

щение аппарата, оставляя его вес в воде неизменным. Это достигается воздействием давления горячих пороховых газов на геометрию водоизмещающего объёма подводного аппарата [1], где для увеличения его водоизмещения, сжигают навеску пороха, а для уменьшения плавучести уменьшают объём газа, выпуская его наружу. Для осуществления способа применяют устройство на рис. 1 а и б, показан вариант сканирующего буя по тросу буйрепа 1 в направляющих 2, включающее корпус 3 с прочной цилиндрической камерой 4, содержащей генератор газового давления с управляемым клапаном разгрузки 6 и поршень 8, перемещающийся под давлением пороховых газов «Р», который опирается, с одной стороны, на возвратную пружину 9, размещённую между поршнем и торцевой стенкой в цилиндрической камере, в которой выполнено отверстие для сообщения с забортной водой 5, а с другой стороны поршня смонтирован пороховой газогенератор давления 10, 11, 12 в виде, кругового барабана 11 с пороховыми патронами 12 и механизмом инициации их воспламенения, по команде микроконтроллера. Программа управления циклами погружения – всплытия, задаётся экспериментатором. При этом для сохранения расширения предусмотрена фиксация поршня в верхней точке установлен управляемый фиксатор 16.

На рис. 1 а показано состояние минимального водоизмещения, когда объём цилиндра заполнен водой, а поршень опущен пружиной в нижнее положение и аппарат погружается. На рис. 1 б показана фаза сгорания пороха. Выделившийся газ перемещает поршень вверх, сжимая пружину и фиксируется управляемым фиксатором. Аппарат приобретает избыточное водоизмещение и поднимается вверх. На заданном горизонте микроконтроллер открывает фиксатор и клапан разгрузки сброса балласта. Возвратная пружина выдавливает балласт, и цикл далее может повторяться. Движение аппарата не самоцель. Он предназначен носить контейнер с датчиками для измерения океанологических параметров в океанской воде.

Патроны для газогенератора могут изготавливаться в специальных металлических гильзах, снабжённых ударным или электроразрядным воспламенителем. Порох [2] может быть, например, бездымный пироксилиновый *ГОСТ* 8660-80 или дымный охотничий или артиллерийский. На практике требуются исследования на различных и меньших глубинах, тогда для целей газогенерации могут быть использованы холостые патроны охотничьих и армейских боеприпасов. В качестве устройства замены использованных зарядов для последующих циклов, может быть использовано такое же устройство, как в автоматическом самозарядном оружии. Программное устройство перезарядки и воспламенения может

[illegible]

ЛИТЕРАТУРА

- 179

ЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Веселовский П. Н., Мещерякова Р. И., Шиповской Д. М.

*Научно-исследовательский институт специального машиностроения
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, дом 5, стр. 1
8 (905)762-95-32, shp-denis@yandex.ru*

Paper presents review of the high voltage Li-Ion charging system. This will include the observation of the system units; description and technical characteristics.

В докладе описано зарядное устройство для литий-ионной аккумуляторной батареи. Рассматривается конструкция ЗУ, состав и назначение блоков, принципы их взаимодействия, а также технические характеристики изделия.

В настоящее время для автономных подводных аппаратов используют мощные высоковольтные аккумуляторные батареи (АБ) [1]. В рамках СЧ ОКР в НИИСМ МГТУ им. Н.Э.Баумана разработано зарядное устройство ЗУ-90ЛИ (ЗУ). Внешний вид изделия показан на рис. 1.

ЗУ осуществляет безопасный комбинированный процесс заряда при взаимодействии с системой контроля и управления (СКУ) [2] заряжаемой АБ. СКУ устанавливается на АБ и обеспечивает измерение напряжения и температуры на каждом аккумуляторе и передачу информации по цифровому интерфейсу RS-485.

Заряд осуществляется в одном из трёх режимов:

- нормальный режим током 20А;
- ускоренный режим током 40А;
- регулируемый режим.

Выбор режима осуществляется оператором. В регулируемом режиме имеется возможность восстановления глубоко разряженной АБ.

Комбинированный заряд АБ происходит в 2 ступени:

1. первая ступень – заряд АБ постоянным током до достижения номинального напряжения на АБ;

2. вторая ступень – заряд падающим током при постоянном напряжении на АБ до тока равного 1 А.

Для устранения неравномерности заряда на отдельных аккумуляторах в процессе заряда АБ выполняется процесс балансировки напряжений.

ЗУ выполнено в виде приборной стойки серии 482,6 мм. В конструкции заложена возможность перемещения приборной стойки на небольшие расстояния к заряжаемым АБ. С этой целью ЗУ оборудовано поворотными колёсами с функцией их блокировки.

На стойку ЗУ90-ЛИ устанавливаются следующие конструктивно независимые блоки:

1. Пульт контроля и управления (ПКУ);
2. Блок защиты (БЗ);
3. Блок силовой (БС).



Рис. 1. Внешний вид ЗУ- 90ЛИ

1. ПКУ располагается в верхней части стойки приборной, обеспечивая доступ к элементам управления. ПКУ содержит кнопки управления зарядом, модуль контроля и управления (МКУ), панельный ПК «Орион ПК-123-ФК28». МКУ осуществляет:

- обработку данных сигналов с органов управления;
- управление контакторами блока защиты;
- анализ информации полученной от СКУ и БС, автоматическое управление процессом заряда;
- отслеживание аварийных ситуаций, генерация звукового сигнала при возникновении нештатных ситуаций.

Основным элементом МКУ является микроконтроллер. МКУ осуществляет управление работой силового блока ЗУ. Информация о режимах работы блока силового и состоянии АБ передается на панельный ПК для вывода на экран монитора и процесса записи ее в электронный журнал.

2. Блок защиты (БЗ) располагается под пультом управления в средней части стойки приборной. На передней панели БЗ расположен выключатель, обеспечивающий включение питающего напряжения и три неоновые лампы, обеспечивающие контроль 3-х фаз питающего напряжения. На передней панели за прозрачной дверцей расположены автоматы защиты по входу и выходу. Блок защиты обеспечивает:

- коммутацию силовых цепей по сигналам ПКУ;
- защиту при к.з. в цепи питания и в цепи заряда;
- фильтрацию входного напряжения и напряжения заряда.

3. Блок силовой (БС) располагается в нижней части стойки приборной. На передней панели БС расположены измерительные приборы, контролирующие выходной зарядный ток и выходное зарядное напряжение. Блок силовой выполнен по схеме фазосдвигающего квазирезонансного инвертора с высокочастотным преобразованием энергии. Выбор данной схемы позволяет обеспечить:

- уменьшение массы и габаритов изделия;
- повышение КПД;
- умеренный уровень электромагнитных помех;
- расширенный диапазон регулирования выходных параметров.

БС конструктивно выполнен в виде пыле и влагозащищенного корпуса, на котором закреплены внешние радиаторы, вентиляторы, разъемы и элементы индикации. Имеется возможность усиления степени защиты блока до IP67.

БС содержит независимые контура отрицательной обратной связи по току и по напряжению, выполненные по схемам ПИД-регуляторов, скорректированы таким образом, что обеспечивают устойчивость рабо-

ты при любом допустимом сочетании сопротивления, индуктивности, ёмкости цепи нагрузки. Задание выходного тока и напряжения БС осуществляется выбором режимов работы кнопками на передней панели ПКУ и передачей информации МКУ в блок силовой (БС) по интерфейсу RS-485.

Для случая, когда предъявляются жесткие требования к габаритам изделия, структура ЗУ может быть упрощена. Зарядное устройство в виде приборной стойки заменяется на зарядное устройство в виде одного блока силового, управляемого от СКУ, входящего в состав АБ.

Технические характеристики ЗУ90-ЛИ:

КПД блока	не менее 85%
Номинальная выходная мощность	12 кВт
Устойчивость к колебаниям, выбросам, провалам питающей сети 380В 50Гц в диапазоне	±20%.
Диапазон регулирования выходных параметров по напряжению	от 80 до 300 В
по току	от 1 до 40 А
Ведение электронного журнала в течение срока эксплуатации батарей	
Масса силового блока	48 кг
Масса стойки ЗУ90-ЛИ	115 кг

ЛИТЕРАТУРА

1. Современное состояние и перспективы развития зарубежного кораблестроения и ВМС. – СПб.: ЦНИИ им. А.Н. Крылова, 2009. Спец. выпуск 1. – 256 с.

2. **David Andrea.** Battery Management Systems for Large Lithium-Ion Battery Packs. Boston|London: Artech house, 2010. – 290 с.

**ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ
ГИБРИДНОГО ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО ПОДВОДНОГО
АППАРАТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ И
КАРТОГРАФИРОВАНИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ КОРПУСА
ОБСЛЕДУЕМОГО СУДНА**

Плясунов В. М., Кропотов А. Н., Макашов А. А.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана»,*

*105005, Москва, 2-я Бауманская д. 5 стр. 1, 8 (499) 263-61-15,
sm42@sm.bmstu.ru*

Paper presents a technical visual system of the hybrid remotely operated underwater vehicle meant for vessel's surface's inspection and defectoscopy. This system is used to locate vehicle on the surface of the inspected vessel, and also document video images, which is used for post-processing vessel surface's photomap assembling.

Для осуществления автоматизированного обследования и дефектоскопии корпусов морских судов в НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана в настоящее время разрабатывается специальный гибридный телеуправляемый подводный аппарат (ГТПА). Данный аппарат способен как плавать в толще воды, так и передвигаться по поверхности корпуса судна с помощью колес, при этом его прижим обеспечивается четырьмя прижимными движителями.

ГТПА оснащен датчиками для осуществления дефектоскопии корпуса судна, которые требуют привязки полученных данных к конкретным точкам корпуса. Для осуществления позиционирования ГТПА на корпусе и построения масштабированного фотоплана поверхности корпуса обследуемого судна предлагается использовать систему технического зрения (СТЗ) аппарата.

В данном докладе описывается система технического зрения гибридного телеуправляемого подводного аппарата обладающая функциями автоматического определения положения аппарата на поверхности

корпуса обследуемого судна посредством компьютерной обработки видеоинформации, поступающей с видеокамеры ГТПА.

Разработанная СТЗ включает в себя неподвижную видеокамеру, расположенную впереди ГТПА, направленную наклонно на обследуемую поверхность корпуса судна, для освещения рабочей зоны используется два светодиодных светильника (см. рис. 1). Анализируя кажущееся перемещение изображения поверхности корпуса с течением времени, можно определить параметры движения ГТПА относительно корпуса судна: маршевую и лаговую координату ГТПА, скорость ГТПА по маршу и лагу, и курсовой угол аппарата.

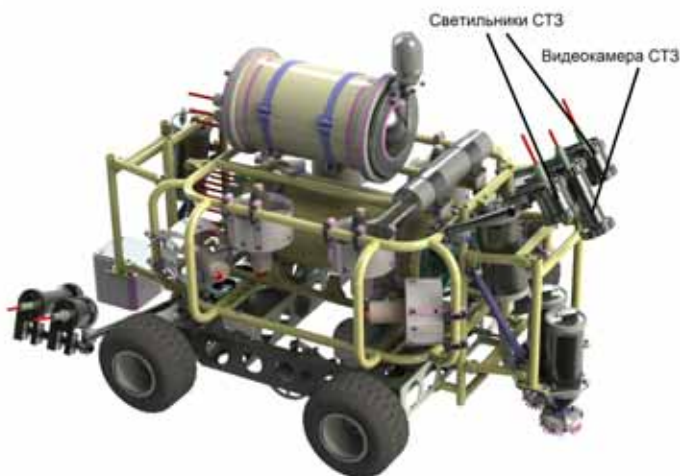


Рис. 1. Расположение видеокамеры и светильников, входящих в состав СТЗ

Для обработки изображений с этой видеокамеры использована отдельная промышленная ЭВМ на базе процессора Intel Core i7 3517UE, размещенная в пультной части ГТПА.

Расчет параметров движения ГТПА осуществляется с помощью модифицированного алгоритма Лукаса-Канаде, описанного подробно в [1], ранее применявшегося в системах подводной видеонавигации разработанных НИИСМ для ряда подводных аппаратов. Данный алгоритм адаптирован к условиям размещения видеокамеры на ГТПА: наклону по отношению к вертикальной оси и удалению от центра поворота аппарата.

Реализованная СТЗ способна вычислять параметры движения ГТПА в режиме реального времени с частотой порядка 25-30 Гц. Измеренные параметры предаются в систему управления ГТПА и используются для замыкания контуров системы управления движением ГТПА обратной связью и для индикации оператору.

Для обеспечения мониторинга состояния поверхности обследуемого корпуса, вычислитель СТЗ осуществляет документирование получаемой с видеокамеры последовательности кадров. Впоследствии, в режиме постобработки, осуществляется совмещение кадров в единый масштабированный фотоплан. Построение фотоплана осуществляется на внешней стационарной ЭВМ с помощью специально разработанной программы, работающей следующим образом:

1) Производится предварительное проективное преобразование получаемых изображений, что устраняет влияние наклона камеры, для чего камера должна быть предварительно откалибрована.

2) Преобразованные изображения сопоставляются попарно с помощью алгоритма, основанного на дескрипторах SURF [2][3]. Каждое последующее изображение сопоставляется с предыдущим. Дескрипторы при этом специальным образом прореживаются, оставляются только те дескрипторы, которым соответствует только одна ярко выраженная «пара» на другом изображении. В результате, восстанавливается матрица гомографии между последовательными изображениями.

3) Каждое изображение последовательно «подшивается» к общему фотоплану, при этом используются рассчитанные матрицы гомографии изображений.

Проведенные предварительные полунатурные испытания показали работоспособность разработанной СТЗ. Полученная точность определения параметров движения достаточна для реализации необходимых режимов движения ГТПА для осуществления автоматической дефектоскопии судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Артюхов М. Ю., Кропотов А. Н., Макашов А. А.** и др. Опыт создания системы локальной видеонавигации для подводных аппаратов // Техническое зрение в системах управления мобильными объектами-2010: Труды научно-технической конференции-семинара. М.: КДУ, 2011. с. 230–242.

2. **Bay H.** et al. Speeded-Up Robust Features (SURF) // Comput. Vis. Image Underst. 2008. Vol. 110, issue 3. P. 346–359.

3. Кропотов А. Н., Макашов А. А., Артюхов М. Ю. и др. Современные методы видеопозиционирования подводных аппаратов // Технические проблемы освоения мирового океана – Материалы пятой всероссийской научно-технической конференции. – Владивосток, 2013. с. 41–45.

УДК 629.584

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ ОДИНОЧНОГО И ГРУППОВОГО ДВИЖЕНИЯ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ ПО ПРЯМОЛИНЕЙНЫМ ТРАЕКТОРИЯМ

Крючков Р. С., Егоров С. А.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный технический университет имени
Н.Э. Баумана»,
105005, Москва, 2-я Бауманская д. 5 стр. 1, 8 (499) 263-61-15*

The problem of straight-line path following for standalone vehicle and formation is considered. The experiments of standalone and formation moving at open water are described.

Точность следования автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) заданной траектории движения имеет существенное значение для достижения поставленной цели. Основным элементарным движением, используемым при формировании заданной траектории аппарата, является движение по прямой линии. Так при осмотре акватории или детальном обследовании некоторой области аппарат движется галсами, состоящими из прямолинейных участков. Наиболее простым способом задания галсов является назначение массива маршрутных точек.

Определенный интерес представляет групповое движение нескольких АНПА. Например, при проведении поисковой операции согласованное движение группы АНПА позволяет увеличить скорость и надежность осмотра акватории. В этом случае целесообразно задавать галсы с некоторым поперечным смещением друг относительно друга так, чтобы зоны обзора гидролокаторов соседних АНПА имели достаточную область перекрытия. Помимо задания траекторий для согласо-

ванного движения АНПА необходимо поддержание их взаимного положения. Далее в докладе рассматривается одиночное и групповое движение АНПА в горизонтальной плоскости по галсам.

Для реализации движения АНПА необходимы алгоритмы управления, которые формируют заданные траектории и обеспечивают стабилизацию аппарата на траектории, компенсируя влияние боковых возмущений. В докладе рассматриваются кинематические алгоритмы управления на основе метода прямого наведения на точку и наведения по методу визирования.

Система управления АНПА обеспечивает управление углом курса и маршевой скоростью и строится следующим образом. Контур управления углом курса включает в себя регуляторы верхнего и нижнего уровней. Регулятор верхнего уровня реализует кинематический алгоритм, формирует задающее значение угла курса по текущим координатам АНПА, а также по заданным координатам предыдущей и текущей точек траектории. Локальный регулятор контура (нижний уровень) обрабатывает заданное значение с кинематического регулятора по текущему углу курса и угловой скорости АНПА. Задающий сигнал по каналу марша является постоянным при одиночном движении аппарата. В случае группового движения его значение зависит от текущего расстояния между аппаратами. Маршевая скорость АНПА непосредственно не стабилизируется ввиду отсутствия соответствующих измерителей.

Алгоритмы управления были исследованы и отработаны в рамках НИР, выполненной НИИСМ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Исследования проводились в три этапа. На первом этапе выполнялось компьютерное моделирование. На упрощенной математической модели АНПА была качественно исследована работа кинематических алгоритмов. Вторым этапом состоял в полунатурном моделировании алгоритмов с использованием имитатора гидроакустических модемов, а также части аппаратных средств реального АНПА. Заключительным этапом состоял в экспериментальном исследовании алгоритмов в открытом водоеме.

Экспериментальная отработка алгоритмов проводилась на двух макетных образцах АНПА – «АНПА 1» и «АНПА 2» (рис. 1), созданных в НИИСМ в рамках указанной НИР. Аппараты перемещались по поверхности и измеряли свои текущие координаты по данным приемников спутниковых навигационных систем и упрощенных систем счисления пути. На первом этапе отрабатывалось движение одиночного АНПА с применением разных кинематических алгоритмов. На рис. 2 представлены текущая и заданная траектории движения «АНПА 2» для каждого кинематического алгоритма. Как видно из рис. 2, метод прямого наведе-

дения слабо компенсирует боковое отклонение аппарата от траектории, вызванное наличием поверхностного течения. Помимо этого реальная траектория аппарата зависит от точки старта и положения АНПА в момент переключения на следующую точку траектории. Кинематический алгоритм движения по линии визирования удовлетворяет требованиям минимизации бокового отклонения и компенсации сноса при наличии течения. Из рисунков также видно, что при смене галса на перпендикулярный АНПА имеет наибольшее боковое отклонение.



Рис. 1. «АНПА 1» и «АНПА 2» в процессе отработки алгоритмов управления

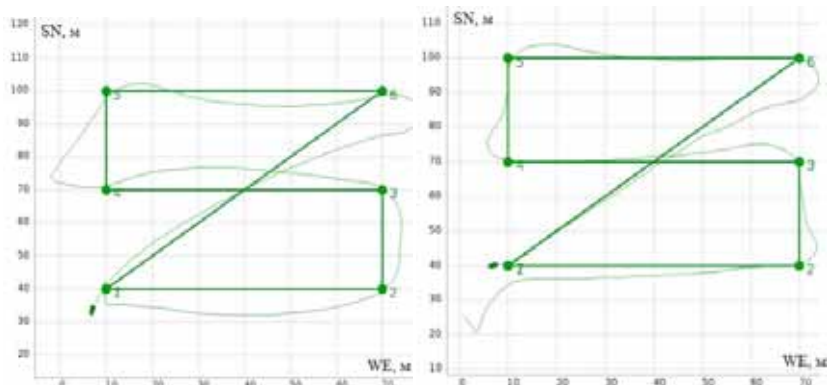


Рис. 2. Заданная (жирная линия) и текущая (тонкая линия) траектории движения АНПА 2 по методу прямого наведения (слева) и методом наведения по линии визирования (справа)

Регулировка маршевой скорости при переключении точки траектории позволяет уменьшить радиус циркуляции аппарата. В этом случае задающий сигнал по маршруту определялся косинусом разности углов текущего и заданного курсов. Введение коррекции задающего сигнала по каналу марша позволило существенно уменьшить боковой снос аппарата при смене текущей заданной точки траектории.

После отработки кинематических алгоритмов одиночных АНПА была выполнена отработка их группового движения. Вначале исследовалось движение «АНПА 1» и «АНПА 2» со стабилизацией только дистанции между ними. «АНПА 1» назначался лидером группы, «АНПА 2» – ведомым. У каждого аппарата определялись точки траекторий, относительно которых необходимо было минимизировать боковое отклонение. Заданный сигнал маршевой скорости лидера оставался постоянным на всем маршруте. Ведомый АНПА располагал текущими координатами «АНПА 1» и вычислял текущую дистанцию между аппаратами. Управление маршевой скоростью ведомого АНПА производилось по разнице между измеренной и заданной дистанциями до лидера. При приближении к лидеру на расстояние меньше заданного марш ведомого аппарата автоматически сбрасывался в ноль. Заданный сигнал маршевой скорости лидера и вычисленный сигнал скорости ведомого аппарата корректировались согласно косинусу разности текущего и заданного с кинематического алгоритма углов курса.

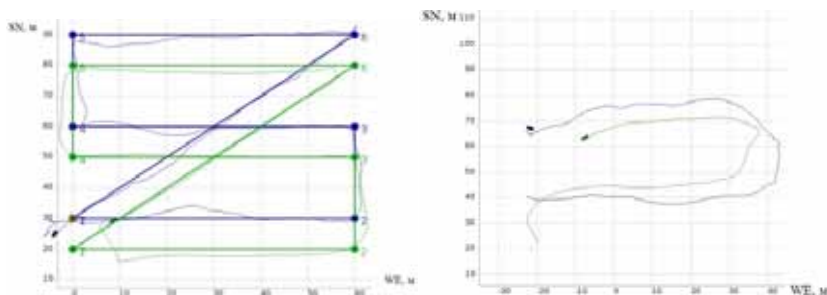


Рис. 3. Групповое движение аппаратов со стабилизацией дистанции (слева) и дистанции и пеленга (справа)

Также были проведены эксперименты движения АНПА группой с применением алгоритма стабилизации дистанции и пеленга ведомого аппарата на лидера. В этом случае ведомый АНПА поддерживал заданные дистанцию и угол между отрезком, соединяющим центры масс ап-

паратов, и своей продольной осью. Для формирования задающего сигнала маршевой скорости ведомого аппарата использовался тот же алгоритм, что и в случае группового движения по траектории со стабилизацией дистанции.

Траектории группового движения аппаратов представлены на рис. 3.

По результатам экспериментов можно сделать вывод о корректности работы исследованных алгоритмов.

В дальнейшем предполагается совершенствование структуры регулятора кинематического алгоритма.

УДК 620.19

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА КОРПУСНЫХ СТАЛЕЙ В МОРСКОЙ ВОДЕ

Душко В. Р., Родькина А. В., Татарков Д. Б.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Севастопольский государственный университет»,

*299053, г. Севастополь, ул. Университетская, д. 33, (8692) 54 42 32,
a.v.rodkina@gmail.com*

Potential of steel with oxide film and potential of steel free oxide film prediction for various kinds of steels and salinity of sea water by neural network modeling.

На современные суда и океанотехнические сооружения для борьбы с коррозионными разрушениями рекомендовано устанавливать систему катодной защиты. При этом необходимо обеспечить защиту от коррозии и растрескивания стали в локальных дефектах. Учитывая специфику развития трещины или любого другого локального дефекта, а именно наличие ювенильной поверхности в вершине трещины, значение защитного потенциала нужно корректировать с целью обеспечения полноценной защиты конструкции [1–2].

Материалы конструкций морских судов и сооружений представляют обширный список углеродистых, легированных и коррозионно-стойких сталей. Провести экспериментальные исследования по определению двух потенциалов (с оксидной пленкой и без оксидной пленки) для всех

видов сталей практически не возможно. Наилучшим решением представляется – применение нейросетевого моделирования.

В статьях [3–7] описываются концепции применения нейронных сетей в исследованиях коррозионных процессов, долговечности корродирующих конструкций, а также при прогнозировании потенциала стали при катодной защите. Однако вышесказанный научный опыт не учитывает наличие ювенильной поверхности и не производит ее учет при нейросетевом прогнозировании.

Цель исследования: прогнозирование потенциала стали с оксидной пленкой и потенциала стали без оксидной пленки для различных видов сталей и солености морской воды.

Для поставленной цели используется многофакторная нейронная сеть, структура представлена на рис. 1.

Входной слой состоит из восьми нейронов: соленость воды, ‰; содержание углерода в стали, ‰; содержание марганца в стали, ‰; содержание хрома в стали, ‰; содержание кремния в стали, ‰; содержание никеля в стали, ‰; содержание меди в стали, ‰; содержание титана в стали, ‰.

Выходной слой содержит два нейрона: потенциал стали с оксидной пленкой, мВ; потенциал стали без оксидной пленки, мВ.

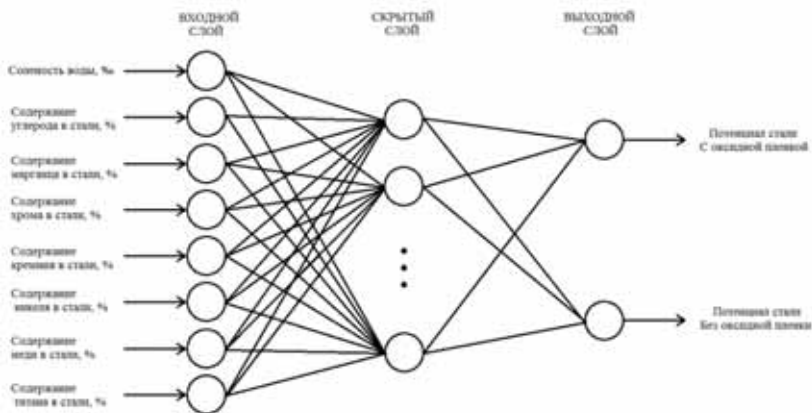


Рис. 1. Архитектура многофакторной нейронной сети

Численный эксперимент проводится с использованием следующих типов нейронных сетей: обобщенно-регрессионная нейронная сеть (ОРНС), линейная нейронная сеть, радиальная базисная нейронная сеть с

минимальным числом нейронов (РБ НС МЧН), радиальная базисная нейронная сеть с нулевой ошибкой (РБ НС НО).

Для обучения нейронной сети используются результаты проведенных лабораторных исследований проведенных в модельном растворе морской воды различной солености для сталей марок Ст3, 09Г2, 10ХСНД, 20Х13 и 12Х18Н10Т.

Результаты численного эксперимента показывают, что наиболее корректно работают:

- обобщенно-регрессионная нейронная сеть с отклонением 10, 7 из 10 результатов являются допустимыми;
- линейная нейронная сеть (7 из 10);
- радиальная базисная нейронная сеть с минимальным числом нейронов при $G = \text{newrb}(A, Z, 0.00)$ (6 из 10);
- радиальная базисная нейронная сеть с нулевой ошибкой при $G = \text{newrbe}(A, Z, 100)$ (6 из 10).

Визуальное представление оценки объективности работы линейной нейронной сети представлено на рис. 2. Диаграмма красной линией разделена на две области. Нижняя область характеризуется допустимой относительной погрешностью численного эксперимента, чему удовлетворяет 70% результатов.

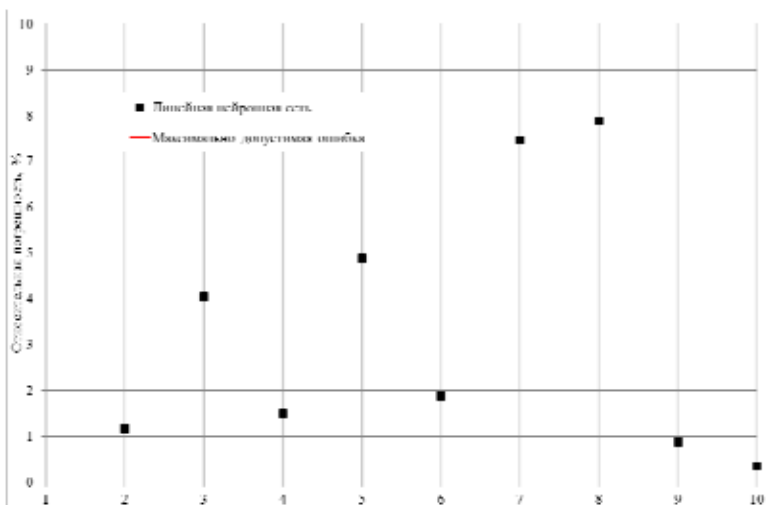


Рис. 2. Визуальное представление оценки объективности работы линейной нейронной сети

Числовым значениям оси абсцисс соответствует: 1 – потенциал стали 12X18H10T с оксидной пленкой, мВ; 2 – потенциал стали 12X18H10T без оксидной пленки, мВ; 3 – потенциал стали Ст3 с оксидной пленкой, мВ; 4 – потенциал стали Ст3 без оксидной пленки, мВ; 5 – потенциал стали 09Г2 с оксидной пленкой, мВ; 6 – потенциал стали 09Г2 без оксидной пленки, мВ; 7 – потенциал стали 20Х13 с оксидной пленкой, мВ; 8 – потенциал стали 20Х13 без оксидной пленки, мВ; 9 – потенциал стали 10ХСНД с оксидной пленкой, мВ; 10 – потенциал стали 10ХСНД без оксидной пленки, мВ.

Относительная погрешность выходит за пределы максимально допустимой ошибки при прогнозировании потенциала коррозионно-стойких сталей. Перспектива дальнейших исследований: улучшение качества прогнозирования потенциалов, с помощью разделения обучающей выборки основываясь на коррозионной стойкости сталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ожиганов Ю. Г.** Существующие и перспективные системы защиты от коррозионно-механических разрушений подводной поверхности морских судов и сооружений / Ю.Г. Ожиганов, А.В. Родькина, Е.В. Азаренко, А.А. Огородова // Збірник наукових праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості, 2011. – Вип. 4(40). – С.146–153.
2. **Ожиганов Ю. Г.** Катодная поляризация при потенциале незаряженной поверхности как способ защиты судокорпусных конструкций от коррозионно-механических разрушений / Ю.Г. Ожиганов, А.В. Родькина, А.А. Огородова, О.И. Калинина // Науковий вісник Херсонського державного морського інституту, 2011. – Вип. 2(5). – С.140–148.
3. **Hussein Kadhim Mohammed AL-Shareefi.** Neural Network Corrosion Control by Impressed Cathodic Protection / University of Technology – Baghdad – Iraq. 2009.
4. **Горбатов С. А., Бесхлебнова Г. А.** Технология нейросетевого моделирования коррозионных процессов магистральных трубопроводов // Уфимский филиал всероссийского заочного финансово-экономического института. – <mailto:gorbatkov.ufa@vzfei.ru>
5. **Муравьев К. А.** Нейросетевой анализ показателей трещиностойкости сварных соединений конструкционных сталей // Новый университет. Серия «Технические науки». №1(7). 2012. С. 42–48.
6. **Зеленцов Д. Г., Гаврилюк Ю. В., Новикова Л. В.** Использование нейронных сетей при решении задач расчета долговечности корродирующих конструкций. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. №5/1 (65). – 2013. – С. 71–74.

7. Зеленцов Д. Г., Радуль А. А. Решение задачи долговечности корродирующих конструкций при ограничении на допустимую погрешность. //Металлические конструкции. Том 17. №1. – 2011. – С. 25–32.

УДК 551.47.07

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТПА ДЛЯ ПОДЪЕМА ИЗДЕЛИЙ

Куценко А. С., Егоров С. А., Черненко К. В., Крючков Р. С.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», Госпитальный пер. д. 10, г. Москва
тел./факс (499)263-61-15, saiclex@mail.ru*

Paper presents a part of marine engineering activities of Moscow State Technical University named after N.E. Bauman Research Institute of Special Machine building Department of Underwater Systems. Upgrading of control systems for underwater vehicle is presented.

В докладе рассмотрен состав новой системы управления (СУ), созданной в процессе модернизации телеуправляемого подводного аппарата (ТПА) для подъема изделий.

Рассматриваемый в данном докладе ТПА имеет 5 независимых управляемых координат: курс, дифферент, марш, лаг, глубина. Для аппарата требуется высокая точность удержания углов ориентации. Аппарат не требует программных режимов работы, такие как движение по траектории или выход в точку, поэтому система управления ТПА содержит локальные контуры управления – контуры курса, дифферента, глубины, отстояния, марша и лага. Работа системы управления основана на показаниях позиционных датчиков и их производных по соответствующим координатам.

Для управления всеми координатами в замкнутом режиме было использовано следующее навигационное оборудование:

1. Бесплатформенная система ориентации (БСО), собранная на базе 3-х оптоволоконных датчиков угловой скорости ВГ035ПД

(ЗАО “ФИЗОПТИКА”), триады акселерометров БА-24-02 (ОАО “АНПП “ТЕМП-АВИА”), трехосного магнитометра МА-5 (ОАО “РПКБ”) и вычислителя для сбора и передачи данных со всех датчиков ориентации в вычислитель бортовой СУ ТПА. Все указанные компоненты размещены в едином корпусе для минимизации конструкционных погрешностей;

2. Модуль видеостабилизации (МГТУ им. Н. Э. Баумана) для реализации удержания ТПА относительно видимых объектов на дне;

3. Гидроакустическая система навигации (ГАНС). Приемная антенна расположена на носителе, маяк ответчик ГАНС – на аппарате;

4. Для управления аппаратом по глубине в отдельный прочный корпус встроен датчик глубины (WKA, Германия), который определяет текущую глубину по избыточному забортному давлению. В данный корпус дополнительно встроен датчик влаги;

5. Для реализации возможности удерживать аппарат относительно дна в ТПА встроен эхолот и акустический лаг.

Блок бортовой СУ ТПА (рис. 1) состоит из вычислителя с периферийными платами для управления и диагностики, вспомогательных плат, осуществляющих гальваническую развязку силовых цепей от слаботочных, обработку сигналов с токовых датчиков обводнения, располагаемых во всех прочных отсеках ТПА.



Рис. 1. Блок бортовой системы управления ТПА

В блок также входят усилители мощности для управления электрогидравлическими усилителями движительно-рулевого комплекса, реле для управления исполнительными органами ТПА, мощный источник питания на 27 В постоянного тока (ОАО “Тайфун”) и Ethernet коммутатор для объединения в сеть всех бортовых компонентов между собой и с каналом связи.

Для управления ТПА используется силовой оптоволоконный кабель, по которому осуществляется как управление аппаратом, так и его питание от корабельной системы электропитания. Через оптоволокно проходят как высокоскоростные сигналы для нужд гидроакустики ТПА, так и сигналы управления аппаратом по низкоскоростному (115200 бит/сек) интерфейсу RS422. Через данный оптический канал связи борта с пультом передается два аналоговых видеоизображения с 4-х видеокамер ТПА. Три видеокамеры коммутируются коммутатором VS-33Vx1 (Kramer Electronics) в один видеовход, а сигнал с видеокамеры для системы видеостабилизации через разветвитель CD102 (SC&T) поступает на второй вход системы передачи данных. Оба видеосигнала через видеокоммутатор на пульте управления выводятся на аналоговый монитор, где оператор может выбирать любую видеокамеру для отображения, используя штатные органы управления. В данном канале связи предусмотрен интерфейс Ethernet со скоростью 10 Мб/сек, благодаря которому упрощается отладка бортового программного обеспечения и существует возможность добавлять на ТПА дополнительные средства поиска или органы управления.

Пультовая часть СУ ТПА представляет собой консоль управления с двумя мониторами и органами управления ТПА (рис. 2).

На верхнем аналоговом мониторе отображается видеоизображение с видеокамеры, выбранной оператором. На нижнем мониторе отображается программный интерфейс пультовой программы, которая является частью СУ верхнего уровня. Данная программа обрабатывает все органы управления и передает по каналу RS422 управляющие воздействия на борт ТПА (заданный режим работы, требуемую скорость по заданной координате с рукоятки управления движением, состояния кнопок управления светильниками или бортовым видео-коммутатором). Данная программа осуществляет оперативную диагностику всех подсистем, выводит положение аппарата относительно носителя и документирует все необходимые параметры для плановых проверок состояния всего комплекса.

На данный момент отработано взаимодействие со всеми подсистемами ТПА и идет подготовка к испытаниям ТПА в бассейне.

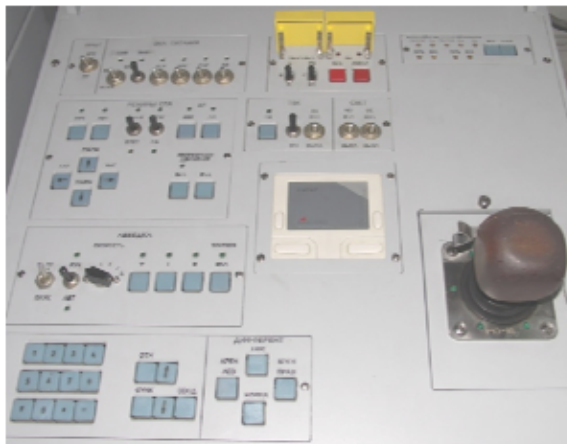


Рис. 2. Органы управления консоли управления ТПА

УДК 551.47.07

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСА ИЗ ДВУХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Куценко А. С., Егоров С. А., Черненко К. В., Крючков Р. С.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана», Гостеприимный пер. д. 10, г. Москва тел./факс (499)263-61-15, saiclex@mail.ru

Paper presents a part of marine engineering activities of Moscow State Technical University named after N.E. Bauman Research Institute of Special Machine building Department of Underwater Systems. Feature of construction control systems from two apparatus.

В докладе рассмотрены особенности построения системы управления (СУ) комплекса из двух подводных аппаратов – телеуправляемого (ТПА) и буксируемого (БПА) подводных аппаратов.

Данная СУ включает в себя средства управления ТПА и БПА через один грузонесущий кабель. Так как используется единый грузонесущий кабель для обоих аппаратов, то одновременно работа возможна только с ТПА или с БПА.

Комплекс позволяет проводить поисковые работы при помощи БПА, оснащенного гидролокатором бокового обзора, гидроакустическими средствами для огибания рельефа дна. При применении ТПА возможен допоиск объектов гидролокатором секторного обзора, идентификация объектов по видеокамерам, расположенным на ТПА, а также использование исполнительных органов аппарата.

В состав данного комплекса входят система электропитания, лебедка, телевизионная система, система передачи данных через оптоволоконный грузонесущий кабель, корабельная часть СУ (консоль управления ПА и консоль управления гидроакустическими средствами), которые включают в себя средства управления и контроля ТПА или БПА, компоненты бортовой СУ, размещенные в аппаратах.

Консоли управления отвечают за управление и диагностику данного комплекса, позволяют управлять всеми подсистемами ТПА и БПА, лебедкой, гидроакустической навигационной системой, гидролокаторами, светильниками, телекамерами и другими исполнительными органами, расположенными на ТПА, гидролокаторами бокового обзора, гидроакустическими средствами для огибания рельефа, расположенными на БПА. Для управления ТПА/БПА на консоли запускается программный комплекс СУ ТПА/БПА. Выбор загружаемого пульта управления осуществляется через программное меню на экране консоли управления ПА.

Блок бортовой СУ ТПА и БПА показаны на рис. 1. Блок бортовой СУ ТПА включает в себя бесплатформенную систему ориентации, состоящую из триады датчиков угловых скоростей, акселерометров и магнитометра, систему видеостабилизации для удержания аппарата вблизи видимого объекта на дне и вычислители для сбора информации с датчиков и управления исполнительными органами ТПА.

Блок бортовой СУ БПА включает в себя бесплатформенную систему ориентации и вычислители для сбора информации с датчиков и управления исполнительными органами БПА.

Для СУ ТПА возможны следующие режимы работы:

- ручной от пульта дистанционного управления – режим позволяет отводить аппарат во время опускания ТПА в воду рядом с носителем;
- ручной с пульта управления аппаратом, расположенном на носителе (консоль управления ПА). В данном режиме контуры по курсу, крену, дифференту, глубине или отстоянию разомкнуты. Оператор в данном режиме осуществляет дальнейший отвод аппарата от носителя;

– автоматизированный – в данном режиме контуры по курсу, крену, дифференту, глубине или отстоянию от дна замкнуты. Оператор задает заданные курс, крен, дифферент, глубину/отстояние и СУ ТПА стабилизирует данные параметры. Контуры маршевой и лаговой скорости разомкнуты;

– автоматические режимы, которые позволяют, при наличии координат аппарата относительно носителя, выводить ТПА в заданную точку или следовать совместно с носителем. При задании опорной траектории возможен автоматический режим движения ТПА по траектории [1].

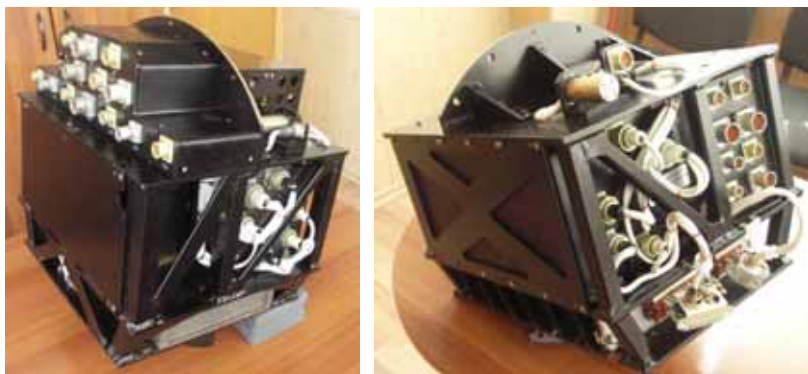


Рис. 1. Бортовые СУ ТПА (слева) и СУ БПА (справа)

Для БПА возможны следующие режимы работы:

– ручной с пульта управления аппаратом, расположенном на носителе. В данном режиме контуры крена, дифферента, глубины или отстояния от дна разомкнуты. Оператор может задавать углы отклонения исполнительных органов БПА (кормовых рулей);

– автоматизированный – в данном режиме контур крена замкнут и есть возможность стабилизировать БПА по дифференту или глубине/отстоянию от дна. Оператор включает конкретный контур (дифферент/глубина/отстояние), формирует задающие сигналы на контуры.

Так как координаты ТПА/БПА относительно носителя вычисляются гидроакустической навигационной системой, известна ориентация носителя и его географические координаты, то все обнаруженные в толще воды объекты можно вывести на карту обследуемого района с привязкой всех объектов к географической системе координат.

В настоящее время ведется отработка контуров СУ ТПА в условиях бассейна. В дальнейшем планируется отработка контуров СУ БПА.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Куценко А. С., Егоров С. А.** Организация движения телеуправляемого подводного аппарата по заданной траектории // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. “Машиностроение”. Специальный выпуск “Специальная робототехника”, 2012. – 172 с.

УДК 629.5.053

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ НА ДВИЖИТЕЛЬНО-РУЛЕВОЙ КОМПЛЕКС АВТОНОМНОГО НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Лямина Е. А., Егоров С. А.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана»,*

*105005, Москва, 2-я Бауманская д. 5 стр. 1, 8 (499) 263-61-15,
sm42@ sm.bmstu.ru*

The report covers the question of the control and thrust allocation algorithms for underwater vehicles. The question is observed in terms of the autonomous underwater vehicles developed by BMSTU Special Machinery Scientific Research Institute. The algorithms make allowance for asymmetric thruster response.

В докладе рассматриваются особенности построения блока формирования сигналов на движительно-рулевой комплекс (БФС ДРК) автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА). В качестве примера выбрана конфигурация ДРК макетных образцов АНПА группового управления, разработанных в МГТУ им. Н.Э. Баумана (рис. 1). Не теряя общности, полученные результаты могут быть применены для аппаратов с похожей конфигурацией движителей.

В состав ДРК АНПА входят 4 движителя (винтомоторных агрегата – ВМА), расположенные в кормовой части и ориентированные параллельно продольной оси АНПА. Схема ДРК позволяет управлять 3 степенями свободы: курсом, маршем, дифферентом или глубиной (как комбинацией движений по дифференту и маршу). Особенностью схемы

ДРК АНПА является участие всех движителей АНПА в формировании движения по любой управляемой степени свободы ПА, что усложняет задачу построения БФС ДРК. Упрощенные схемы формирования движителями моментов и сил по дифференту, курсу и маршу представлены на рис. 2.



Рис. 1. Макетные образцы АНПА группового управления, разработанные в МГТУ им. Н.Э. Баумана

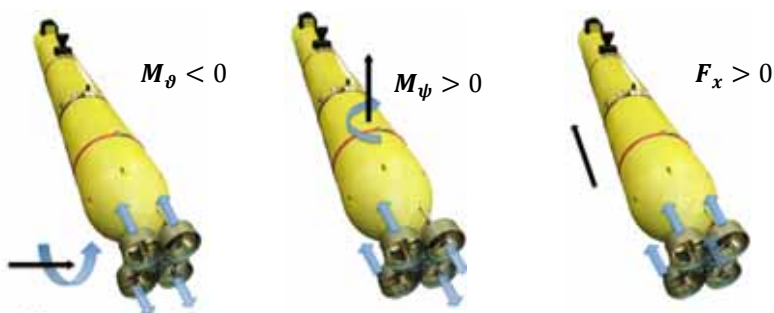


Рис. 2. Формирование сил и моментов ДРК АНПА в зависимости от направления силы тяги ВМА

Для схемы формирования моментов, представленной на рис. 2, возможно возникновение следующих проблем:

1) При больших задающих сигналах на ВМА по всем каналам управления ограничения мощности ВМА уменьшают коэффициенты системы

управления (СУ) в два раза, что приводит к понижению точности и быстродействия каналов управления движением АНПА.

2) При управлении одним каналом движения АНПА вносится возмущающее воздействие в другие каналы управления движением. Причиной данной проблемы является неравенство коэффициентов усиления ВМА по силе тяги в зависимости от направления сигнала. Помимо различия коэффициентов ВМА в зависимости от направления силы тяги возможен также разброс коэффициентов усиления между всеми ВМА аппарата.

СУ формирует задающие воздействия в отдельные каналы управления движением АНПА. Далее, сформированные каналами значения управляющих воздействий по курсу, дифференту и маршу поступают в БФС ДРК, который вычисляет управляющий сигнал на каждый ВМА АНПА.

Как отмечено в [1], для АНПА характерны изменения режимов движения, например, огибание препятствий «с ходу» с постоянной или переменной скоростью, огибание корпусом без поступательного движения для определения высоты препятствия и максимального угла обзора, также режимы группового движения АНПА и т.п. Для различных режимов движения могут быть приоритетными отдельные контуры управления. В тех случаях, когда контур дифферента является приоритетным, ослабление коэффициента усиления в контуре по причине наличия некомпенсированного момента от силы Архимеда существенно ухудшит точность работы СУ по сравнению с другими контурами управления (рис. 3, 4). Для решения данной проблемы предлагается уменьшить минимальное значение коэффициентов усиления контуров курса и марша и, за счет этого, увеличить минимальное значение коэффициента усиления контура дифферента. Т.е. в БФС ДРК должна быть возможность подстройки минимальных значений коэффициентов усиления СУ. Для этого могут быть реализованы линейная и нелинейная схемы построения БФС ДРК. В линейной схеме значения управляющих напряжений подбираются исходя из заданных управляющих значений по всем контурам и их приоритетам, управляющие сигналы на движители не входят в насыщение. В БФС ДРК нелинейной структуры управление коэффициентом усиления по каналам движения происходит за счет добавления ограничителя суммы первых управляющих слагаемых по менее приоритетным контурам управления. Управление коэффициентом усиления производится за счет варьирования полки ограничителя первой суммы.

Результаты моделирования движения по курсу, дифференту и маршу при различных подходах к построению БФС ДРК также показаны на рис. 3, 4.

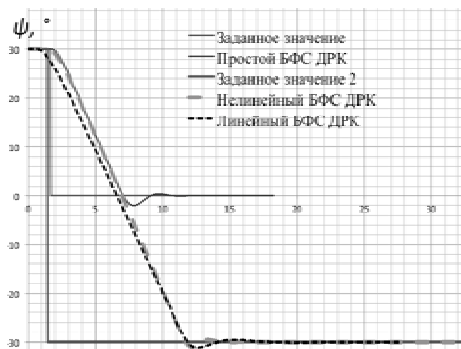


Рис. 3. Результаты моделирования движения АНПА по курсу

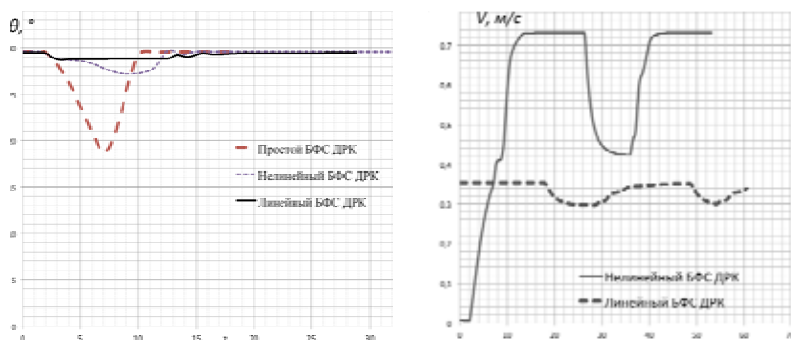


Рис. 4. Результаты моделирования движения АНПА с разными типами БФС ДРК по дифференту и маршу

Для решения проблемы асимметрии и разброса коэффициентов усиления ВМА предлагается введение симметрирующих коэффициентов для каждого канала движения АНПА. Подбор коэффициентов предлагается осуществлять эмпирическим путем, измеряя силу тяги движителей и анализируя движение АНПА по сепаратным каналам с подобранными симметрирующими коэффициентами. Данный подход хорошо себя показал на практике.

По результатам моделирования и аналитических расчетов более выгодной структурой БФС ДРК с точки зрения общего коэффициента усиления по всем каналам движения является нелинейная структура. Однако такой подход позволяет варьировать минимальные коэффициенты усиления в ограниченных пределах, в отличие от линейного БФС ДРК.

В дальнейшем планируется разработка и исследование адаптивной структуры БФС ДРК, подбирающей коэффициенты связей в зависимости от приоритетного критерия (расход энергии, точность, быстродействие) и канала управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Агеев, М. Д.** Некоторые вопросы управления АНПА при обследовании подводных гор/ М.Д.Агеев, А.В.Инзарцев, Л.В.Киселев // Морские технологии, вып.3. Владивосток: Дальнаука. 2000. С.6–22.

УДК 629.5.053

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ГРУППЫ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

**Лямина Е. А., Крючков Р. С., Иноземцев В. В., Новиков В. И.,
Егоров С. А.**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана»,*

*105005, Москва, 2-я Бауманская д. 5 стр. 1, 8 (499) 263-61-15,
sm42@sm.bmstu.ru*

This paper discusses the design configuration of hardware and algorithms put to use in leader-follower formation of autonomous underwater vehicles created by BMSTU Special Machinery Scientific-Research Institute.

Информационно-управляющая система (ИУС) подводного аппарата представляет собой набор всего необходимого оборудования и программного обеспечения для реализации взаимодействия подсистем подводного аппарата, формирования управляющих сигналов на движители и другое оборудование, и выдачу требуемой информации о состоянии подсистем, параметрах движения аппарата оператору [1].

В докладе рассматривается построение ИУС группы автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА), макетные образцы которых

были разработаны в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Внешний вид АНПА группового применения и соответствующего берегового оборудования представлены на рис. 1.

Особенностями рассматриваемых АНПА являются:

- 5 управляемых координат: курс, дифферент, крен, марш, вертикаль (глубина и отстояние управляются как комбинация движений по дифференту и маршу);
- движительно-рулевой комплекс (ДРК): четыре движителя каждого АНПА ориентированы вдоль продольной оси;
- наличие программных режимов работы;
- торпедообразная форма;
- жесткие требования к стабилизации углового положения.



Рис. 1. Макетные образцы АНПА группового применения, разработанные в МГТУ им. Н.Э. Баумана

Группа организована по принципу «лидер-ведомый», где «ведомый» АНПА сохраняет заданную дистанцию до АНПА – лидера, АНПА осуществляют движение по траекториям, точки которых заданы оператором в глобальной системе координат (ГСК) с пультовой части ИУС.

Для системы управления (СУ) АНПА предусмотрены следующие режимы: ручной (все контура СУ разомкнуты), автоматизированный (все контура СУ нижнего уровня замкнуты), автоматический следования траектории и автоматический выхода в точку. В автоматическом режиме следования по траектории в кинематических алгоритмах СУ верхнего уровня рассчитывается требуемое значение угла курса АНПА, а в зависимости от того, «ведомый» АНПА или «лидер», регулируется

значение маршевой скорости, и далее вычисленные значения передаются в СУ нижнего уровня. В СУ нижнего уровня локальные контуры управления АНПА замкнуты аналогично автоматизированному режиму. Автоматический режим выхода в точку аналогичен режиму следования по траектории, но отличается тем, что контур маршевого движения СУ АНПА верхнего уровня разомкнут.

В состав аппаратной части ИИК АНПА, измеряющего параметры движения АНПА для СУ, входят: цифровой магнитный компас (МК) с тремя акселерометрами и тремя магнитометрами в своем составе, инерциальный измерительный блок (ИИБ), включающий в себя три датчика угловых скоростей и три акселерометра, прецизионный датчик давления для измерения глубины, эхолот для измерения отстояния, модем гидроакустический (МГА) для гидроакустической навигации и связи, антенна и приемник спутниковой навигационной системы (СНС). При этом МК и ИИБ объединяются в единую бесплатформенную систему ориентации (БСО). По результатам натурных испытаний на открытом водоеме погрешность определения истинного курса БСО АНПА составила $\pm 2.5^\circ$.

Для определения координат АНПА в ГСК по ГАНС с длинной базой (ДБ) используются МГА, а для коррекции координат при всплытии или работе на поверхности – приемник СНС.

Для управления движителями АНПА используются модули драйверов, управляемых по последовательному интерфейсу и измеряющих угловую скорость вращения винта и количество сделанных оборотов. По измеренным угловым скоростям винтов АНПА и текущему значению угла курса построена система счисления пути (ССП). По результатам испытаний погрешность такой ССП при умеренном течении в водоеме составила около 5% от пройденного пути.

В состав бортовой части ИУС АНПА входят две ЭВМ. ЭВМ «1» (ОС Linux) задействована под решение задач гидроакустической навигации, связи, СУ верхнего уровня, обработки данных аппаратуры модуля радиосвязи, установленного в носовом отсеке, МГА, ЭВМ «2» (ОС QNX) решает задачи СУ нижнего уровня, управления движителями, обработки датчиков ИИК.

Пульт управления (ПУ) ИУС представляет собой программно-аппаратный комплекс для управления группой аппаратов в технологическом (по кабелю) и штатном режимах. В состав ПУ входят переносной чемодан, к которому подключаются привязная гидроакустическая антенна для связи с АНПА, рукоятка управления движением и ноутбук. Фотография переносного чемодана управления с откинутой панелью разъемов представлена на рис. 2.



Рис. 2. Переносной чемодан управления АНПА

В состав аппаратуры, размещенной в переносном чемодане управления, входят следующие компоненты: приёмник СНС GPS/ГЛОНАСС, радиомодем с антенной, модем Wi-Fi, МГА, сетевой коммутатор, плата питания, USB-концентратор, аккумулятор или источник питания от сети 220В. Управление всей аппаратурой осуществляется с помощью ноутбука через сеть Ethernet и USB.

Запускаемая на ПУ управляющая программа по командам оператора осуществляет передачу команд управления по радиоканалу на все АНПА и принимает от них по радиоканалу ответные пакеты данных. Дополнительно ПУ может принимать и передавать данные по гидроакустическому каналу, а также через кабель в технологическом режиме. Экран оператора ПУ ИУС показан на рис. 3.

На данный момент времени АНПА успешно прошли натурные испытания в бассейне и на открытом водоеме.

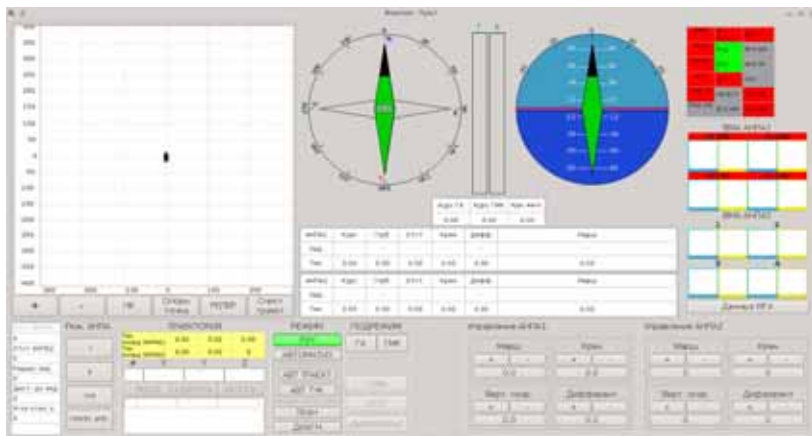


Рис. 3. Интерфейс оператора пульта управления АНПА

ЛИТЕРАТУРА

1. **Черненко, К. В.** Особенности построения информационно-управляющей системы телеуправляемого подводного аппарата/ К. В. Черненко, А. В. Молчанов, С. А. Егоров, А. С. Куценко// Вестник МГТУ. Сер. Машиностроение. – М., 2012. С. 65–74.

УДК 551.46.07

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ГИБРИДНОГО ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА

Гамазов Н. И., Гладкова О. И., Лямина Е. А., Егоров С. А.

*Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный технический университет имени
Н.Э. Баумана»,*

*105005, Москва, 2-я Бауманская д. 5 стр. 1, 8 (499) 263-61-15,
sm42@ sm.bmstu.ru*

The report examines the information and control system of modular building remotely operated underwater vehicle.

В докладе рассматривается информационно-управляющая система (ИУС) гибридного телеуправляемого подводного аппарата (ТПА), разрабатываемого в МГТУ им. Н.Э. Баумана и предназначенного для дефектоскопии корпусов судов. ТПА имеет модульную конструкцию, в состав которой входят аппарат-носитель, шасси с четырьмя колесами и блок технических средств неразрушающего контроля (разработка кафедры технологии сварки и диагностики МТ7 МГТУ им. Н.Э. Баумана). ИУС ТПА представляет собой набор всего необходимого оборудования и программного обеспечения для реализации взаимодействия подсистем аппарата, формирования управляющих сигналов на движители и другое оборудование, и выдачу требуемой информации о состоянии подсистем, параметрах движения аппарата оператору. Её можно условно разделить на бортовую и пультовую части.

Основой бортовой ИУС являются алгоритмы системы управления (СУ). Прочие аппаратно-программные компоненты информационно-

управляющей системы служат для обеспечения работы СУ. Требования к структуре и составу компонентов ИУС формируются на основе требований к аппарату и, как следствие, к системе управления.

Особенностями рассматриваемого гибридного ТПА являются:

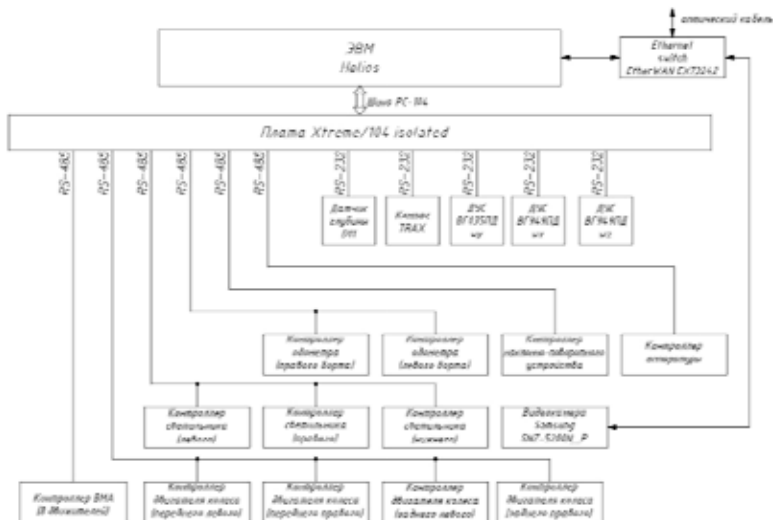
- два режима работы: режим плавания и режим движения на колёсах по корпусу судна;
- 6 управляемых координат в режиме плавания: курс, дифферент, крен, марш, лаг и глубина;
- наличие программных режимов работы для режима движения на колесах по корпусу судна;
- высокие требования к точностям измерения продольных перемещений в режиме движения на колесах.

Для СУ ТПА, в зависимости от режима работы, предусмотрены следующие подрежимы: ручной и автоматизированный для режима плавания [1], ручной, автоматизированный и автоматические для режима движения на колесах.

Ручной подрежим предполагает, что все контура СУ разомкнуты. Для режима плавания в автоматизированном подрежиме замкнуты контуры курса, крена, дифферента и глубины. Для режима движения на колесах замкнут контур курса. Автоматические подрежимы выхода в точку и следования траектории предусмотрены для движения ТПА на колесах, при этом возможно движение по кинематическим алгоритмам погони, отклонения линии визирования и боковому отклонению.

Для работы СУ в приведенных режимах требуется информация с позиционных датчиков и производные по соответствующим координатам. Всю необходимую информацию о параметрах движения для СУ формирует информационно-измерительный комплекс (ИИК), состоящий из аппаратной (набор измерителей) и программной частей (алгоритмы обработки показаний датчиков) [2]. На основании предъявляемых к ТПА требований аппаратная часть ИИК включает в себя цифровой магнитный компас с тремя акселерометрами и тремя магнитометрами в своем составе, 3 датчика угловых скоростей (ДУС), прецизионный датчик давления для измерения глубины. При этом компас и три ДУС объединяются в единую бесплатформенную систему ориентации, алгоритмы которой, благодаря использованию принципа инвариантности, позволяют уменьшить основные погрешности указанных измерителей и сделать показания по углам ориентации безинерционными. Для получения скорости по глубине показания датчика глубины дифференцируются после предварительной фильтрации.

Измерение линейных перемещений аппарата в режиме движения ТПА на колесах по корпусу судна осуществляется по одному из вариантов или их комбинациям: по данным двух одометров (системы счисления пути – ССП), гидроакустической навигационной системы (ГАНС) или телевизионной камеры (видеосистемы – ВС). В конечном итоге для решения задачи определения местоположения аппарата относительно корпуса корабля может быть выбрана одна из двенадцати навигационных систем. При этом ГАНС и ВС не входят в состав бортовой ИУС и выполнены в виде отдельных вычислительных модулей, поставляющих данные о смещениях по основному каналу связи через пульт управления непосредственно на борт ТПА.



ИУС пульта управления (ПУ) представляет собой программно-аппаратный комплекс для передачи и приёма информации с ТПА в технологическом и штатном режимах.

Конструктивно пульт управления (рис. 2) представляет собой панель управления и индикации, размещенную в основании ударопрочного кейса и состоящую из двух рукояток управления движением, сенсорной панели оператора, а также кнопок, тумблеров и контрольных индикаторов. В состав пульта управления также входит жидкокристаллический монитор, размещенный в крышке кейса и позволяющий отображать видеoinформацию, получаемую с видеокамер ТПА. Интерфейс оператора реализован посредством прикладного программного обеспечения на панельном компьютере Advantech TPC-1070H и включает в себя два отдельных набора экранных форм для управления ТПА в режимах плавания и движения на колёсах по корпусу судна.



Рис. 2. Внешний вид пульта управления ТПА

В настоящее время ведется отработка алгоритмов навигационных систем ТПА и подготовка аппарата к испытаниям в бассейне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Егоров С. А., Молчанов А. В., Куценко А. С. Особенности построения системы управления малогабаритного осмотрового телеуправляемого подводного аппарата. // Современные методы и средства океанологических исследований. Материалы XII Международной научно-технической конференции «МСОИ-2011»: в 2 т. – М. : АПР, 2011. Том 2 – 276 с.

2. Черненко К. В., Молчанов А. В., Егоров С. А., Куценко А. С. Особенности построения информационно-управляющей системы телеуправляемого подводного аппарата. // Вестник московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана 2012.

УДК 634.67

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОДВОДНЫХ И НАДВОДНЫХ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ АППАРАТОВ

Варюхин А. Н.^{1,2}, Овдиенко М. А.^{1,2}, Колчев С. А.¹, Ткаченко В. В.¹

¹ *Московский физико-технический институт (государственный университет),*

*Институтский пер, 9, г. Долгопрудный, 8(985)978-74-89,
sakolchev@yandex.ru*

² *ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского», г. Москва, 8(495)916-90-91 доб.41-73,
info@mktsagi.ru*

The paper presents some results of the collaboration work of the laboratory «autonomous systems» of MIPT and TsAGI in the development of autonomous underwater vehicles and surface vehicles, are used to move the energy of sea waves.

В лаборатории «Автономных систем» совместно с ФГУП «ЦАГИ» проводятся исследования, посвященные разработке подводных аппаратов «глайдерного» типа, а также типа «волновой глайдер», т. е. использующих для перемещения энергию морского волнения.

Так в рамках исследовательской работы был выполнен обзор и проанализированы технические характеристики существующих подводных глайдеров, таких как Slocum, Spray, Seaglider и других. На основании проведенных численных гидродинамических расчётов обтекания аппаратов сделано заключение о соответствии заявляемых характеристик по дальности и скорости реально возможным. Была выполнена большая работа по сравнению преимуществ и недостатков подводных глайдеров и АНПА с винтовым движителем. Было определено, что с точки зрения энергоэффективности глайдерный принцип движения не имеет пре-

имущества по сравнению с использованием традиционного движителя. На основании решения оптимизационной задачи были выбраны обводы и гидродинамический облик подводного глайдера, имеющего низкое сопротивление и высокое качество. Был спроектирован, изготовлен и испытан экспериментальный подводный глайдер. Результаты испытаний позволили верифицировать и скорректировать математическую модель динамики движения глайдера.

Перспективным является использование энергии морского волнения для перемещения подводных и надводных аппаратов. Ярким примером реализации данного принципа является аппарат Waveglider.

В лаборатории совместно с ЦАГИ был разработан волновой преобразователь, представляющий собой крыло на упругом шарнире. Крыло было установлено в носовой части модели надводного судна и проведены буксировочные испытания в опытовом бассейне в условиях волнения. Результаты показали, что аппарат водоизмещением 100кг и длиной 3м, оборудованный преобразователем в виде крыла на упругом шарнире при уровне волнения 3балла может иметь скорость 1-1,4м/с. В настоящее время ведётся разработка автономного необитаемого надводного аппарата с волновым преобразователем и солнечными панелями, выполненного в виде катамарана и предназначенного для использования в качестве ретранслятора сигналов и мониторинга.

Разработана математическая модель, позволяющая рассчитывать пропульсивные характеристики волнового преобразователя и динамику движения аппарата.

Исследования показали, что волновой преобразователь в виде упругого крыла будет также работать, будучи установленным на подводном аппарате, движущимся на малой глубине. Однако это требует установки эффективной системы управления, позволяющей удерживать определённую глубину движения. Для подтверждения работоспособности волнового преобразователя, установленного на подводном аппарате, были проведены буксировочные испытания модели в условиях волнения.

В настоящее время в лаборатории «Автономных систем» ведётся разработка АНПА, оборудованного волновым преобразователем, который предполагается использовать на малых глубинах (до 10м), и винтовым движителем для перемещений на больших глубинах.

О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПИНГЕРА

Носов А. В., Демидова Т. А., Тихонова Н. Ф.

*Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-8704,
a_v_nos@mail.ru*

Capability of simultaneous operation of the pinger control system and deep-sea echo-sounder by selection of the optimum frequency of pinger radiation, taking into account available frequency range of the radiator, is discussed.

В океанологической практике нередко случаи, когда на судне необходима одновременная работа нескольких акустических приборов. При этом, в зависимости от характеристик используемых сигналов, они могут мешать корректной работе друг друга. Оптимальным случаем является существенное разнесение звуковых сигналов различных приборов по частоте – после узкополосной фильтрации их взаимное влияние уменьшается, а зачастую и вовсе пропадает. Помимо этого, спектр собственных шумов судна – главного источника помех в море – может быть неравномерен по частоте, определяя большее или меньшее значение отношения сигнал/шум в зависимости от выбранного для работы частотного диапазона. В этой связи представляется полезным иметь возможность выбора частоты излучаемого прибором звука.

Сказанное в полной мере относится к пингерам, особенно в ситуациях, когда необходима одновременная работа и пингера, и глубоководного эхолота. Если они используют одну и ту же частоту, то эхолот дает паразитную засветку экрана системы отображения сигналов пингера, а пингер в свою очередь сбивает алгоритм автоматического измерения глубины эхолотом.

В работе [1] описан комплект оборудования для пингерного сопровождения погружаемых приборов, включающий в себя как собственно пингер, так и систему усиления, оцифровки и фильтрации сигналов, синхронизации и отображения получаемых данных. При этом фильтрация осуществляется в цифровом виде и согласована по частоте и полосе с длительностью и частотой принимаемых сигналов. Данное свойство

судовой системы приема позволяет без использования дополнительных аппаратных средств проанализировать спектральный состав шума в доступной полосе приема с шагом, равным обратной максимальной длительности используемых посылок, равной 2 мс. Для этого в отсутствие излучения акустических приборов в анализируемой полосе надо наблюдать шум в режиме осциллографа [1] и оценивать его характерную амплитуду. Целью такого исследования было бы выявление частот с минимальной интенсивностью, если таковые найдутся. Применительно к погружаемым с борта автономным приемным антеннам предметом исследования может быть выбор не только оптимальной частоты, но и места погружения антенны с борта судна.

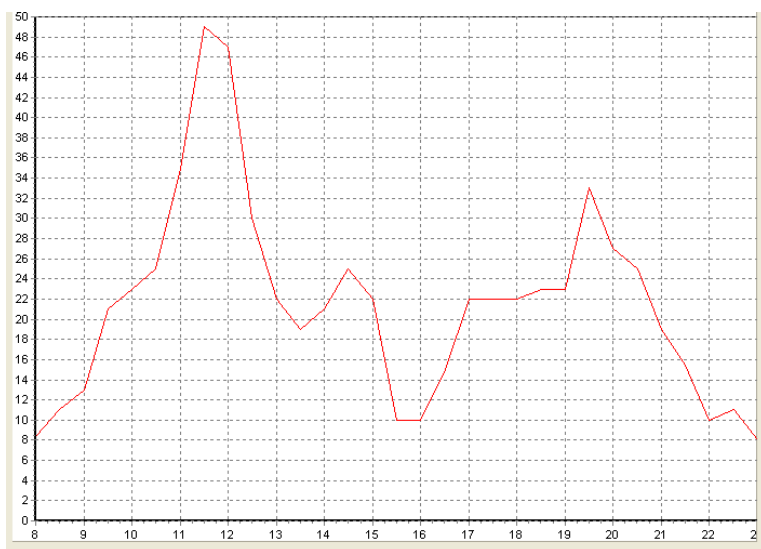


Рис. 1. Частотная зависимость излучаемого давления пингера в линейных у.е. По горизонтальной оси отложена частота в кГц

Для повышения качества системы слежения за пингером нужно не столько проведение работы в частотном диапазоне с минимальным уровнем шума, сколько выбор полосы с максимальным соотношением сигнал/шум. В этой связи была измерена чувствительность на излучение пьезокерамического преобразователя, использующегося в составе пингера. Результат представлен на рис. 1.

Из рисунка видно, что пингер имеет выраженную резонансную частоту в районе 12 кГц, однако в диапазоне 9.5–20.5 кГц, за исключением

узкого окна от 15 до 16.5 кГц имеет чувствительность на излучение всего в 2 раза ниже, чем на резонансе. Для сравнения, сходный рабочий частотный диапазон имеют пингеры фирм IXBLUE – 8–16 кГц.

На основе изложенного выше предлагается выполнять на судне соответствующие измерения с использованием реальных антенн и, на основе этих измерений, выбирать оптимальную частоту работы пингера и оптимальное место погружения автономной антенны с борта судна. После этого выбранную частоту или ряд частот можно запрограммировать в контроллере пингера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Носов А. В., Демидова Т. А., Юрицын В. В., Тихонова Н. Ф. Развитие аппаратуры для обслуживания пингеров // В сб. Труды XIII Международной конф. «Современные методы и средства океанологических исследований». – М.: ИО РАН, 2013. Т.1. С.162–166.

УДК 634.67

ПОГРУЖНЫЕ ВИНТОМОТОРНЫЕ АГРЕГАТЫ НА БАЗЕ 3-Х ФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Бриллиантов А. Н.¹, Никитин А. Д.²

¹.ООО «Диагностика Нефтегазовых Трубопроводов»

²ОКБ океанологической техники РАН, ул. Летняя, 1, 109387, г. Москва,
8(495)350-44-18, okb@edboe.ru

Paper presents the description of submersible trusters basis of 3 phase asynchronous engines developed and made by authors. Technical characteristics are given

В статье приводится описание погружных винтомоторных агрегатов на базе 3-х фазных асинхронных двигателей разработанных и изготовленных авторами. Приводятся технические характеристики.

Сравнительно большие размеры активных частей асинхронных двигателей долгое время являлись препятствием для использования их на подводных аппаратах. Однако именно асинхронные двигатели погруж-

ного исполнения позволяют существенно улучшить их массогабаритные характеристики.

Работа асинхронного двигателя в условиях интенсивного охлаждения позволяет повысить электромагнитные нагрузки практически до предельных значений, т.е. довести магнитную индукцию в железе до 1,8 Т, а плотность тока в обмотке статора до 14 а/мм² и выбрать их оптимальные соотношения для данных условий. Дальнейшее повышение электромагнитных нагрузок не дает увеличения полезной мощности и приводит лишь к существенному снижению энергетических показателей (КПД и Cosφ).

Особенностью погружных двигателей является и то, что внутренняя полость корпуса заполнена жидким диэлектриком (кремнийорганическая жидкость). Это, с одной стороны улучшает теплоотвод от активных частей двигателя, с другой – создает дополнительные гидродинамические нагрузки в зазоре между ротором и статором. В силу указанного, в погружных двигателях увеличивается зазор между ротором и статором до 0,35 мм. Для сравнения двигатели общепромышленного назначения имеют воздушный зазор 0,2 мм.

Увеличение зазора, естественно, приводит к снижению энергетических показателей. Однако интенсивное охлаждение и предельно допустимые электромагнитные нагрузки позволили использовать в данных погружных двигателях активные части меньших размеров по сравнению с серийными двигателями той же мощности.

Разработанный винтомоторный агрегат (ВМА)ДАП выполнен в виде отдельного законченного модуля. В него входят:

- асинхронный двигатель (ротор и статор) в корпусе;
- винт с насадкой;
- силовой пилон с герморазъемом;
- узлы герметизации вала и компенсации давления;
- обтекатели.

При помощи силового пилона ВМА крепится на прочном корпусе подводного аппарата, обеспечивая герметизацию радиальным и торцевым уплотнением.

Внутри хвостовой части пилона вмонтирована четырехштырьковая вилка электросоединителя 2РМГ. Лыски на опорной плоскости силового пилона препятствуют вращению ВМА после установки и закрепления его на прочном корпусе.

Статор асинхронного двигателя запрессован в корпус ВМА, его обмотки пропитаны специальным эпоксидным компаундом. Обмотки статора подключены через внутреннее отверстие в силовом пилоне к вилке

электросоединителя 2РМГ. Отверстия с подводящими проводами и посадочные места электросоединителя загерметизированы силиконовым герметиком.

Корпус винтомоторного агрегата закрыт лобными частями. Задняя лобовая часть съёмная, и герметизирована с корпусом радиальным кольцевым уплотнением.

К наружной поверхности задней лобовой части крепится резиновый компенсатор, выравнивающий внутреннее давление в двигателе при изменении окружающей температуры и глубины погружения аппарата.

Ротор двигателя выполнен по схеме «двойной клетки» и залит алюминием. Вал ротора вращается в подшипниках качения. Для компенсации осевого биения между задним подшипником и торцевой поверхностью задней крышки установлены тарельчатые шайбы.

Наружная часть вала герметизируется резиновой манжетой.

На вал двигателя надет тяговый винт. Винт фиксируется гайкой с пружинной шайбой. На конец вала навинчивается обтекатель винта, который фиксируется от сворачивания шплинтом.

В таблице 1 приведены сравнительные данные для серийного двигателя серии 4А и погружного асинхронного двигателя ДАП, спроектированного для подводного необитаемого аппарата.

Таблица 1. Сравнение серийного 3-х фазного двигателя серии 4А и разработанного движителя серии ДАП

Тип электродвигателя	Мощность на валу Вт	Наружный диаметр статора мм.	Длина пакета статора мм	Масса двигателя кг
4А50В4	90	81	50	3,4
ДАП-100	100	65	56	1,93

Значения выходных параметров приведены для следующих моментов и частоты вращения:

ДАП-100 $M_n = 7150 \text{ г} \cdot \text{см}$; $n = 1230 \text{ об/мин}$

Принятая изоляция для обмоток статора и пропиточный лак обеспечивают номинальную работу двигателей в среде жидкого диэлектрика.

Была разработана серия движителей мощностью 100 Вт, 200 Вт, 350 Вт, 500 Вт, 1000 Вт. Массогабаритные характеристики приведены на рис. 1 и в табл. 2.

Движители 100 вт. и 200 вт. использовались на ПТА малого класса «Малек» (Рис.2.) и Алекс (Калан) а 500 вт. и 1000 вт. поставлялись в Южморгео для ПТА РТ4000.

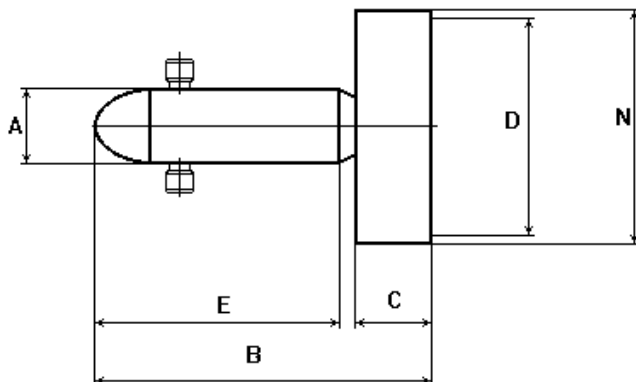


Рис. 1. Габариты двигателей серии ДАП

Таблица 2. Технические характеристики двигателей серии ДАП

	ДАП-100	ДАП-200	ДАП-350	ДАП-500	ДАП-1000
А мм	70	79	94	105	105
В мм	230	255	310	360	400
С мм	70	70	95	106	115
Д мм	120	155	200	240	350
Е мм	170	185	210	255	285
Н мм	140	175	215	250	360
Напряжение В	138/220/380	138/220/380	138/220/380	220/380	220/380
Ток А	1,5/0,87/0,51	2,5/1,55/0,95	2,91/1,95/1,3	2,62/1,52	
Мощность электрическая ВА	250	480/460/460	625	825	
Мощность на валу Вт	100	200	350	500	1000
Коэффициент мощности		0.775/0.745			
Обороты 1/мин	1100	1100	1200	1200	1200
Момент кГ*м		1.53/1.65			
Упор кГ.	4,3	8,2	12	16	20
Масса кГ.	2,6	3,3	4,8	6,5	
Рабочая глубина: до 6000 метров.	Варианты изготовления корпуса: Титан, Алюминиевый сплав Амг-6, Нержавеющий сплав				



Рис. 2. ПТА «Малек» без обтекателя

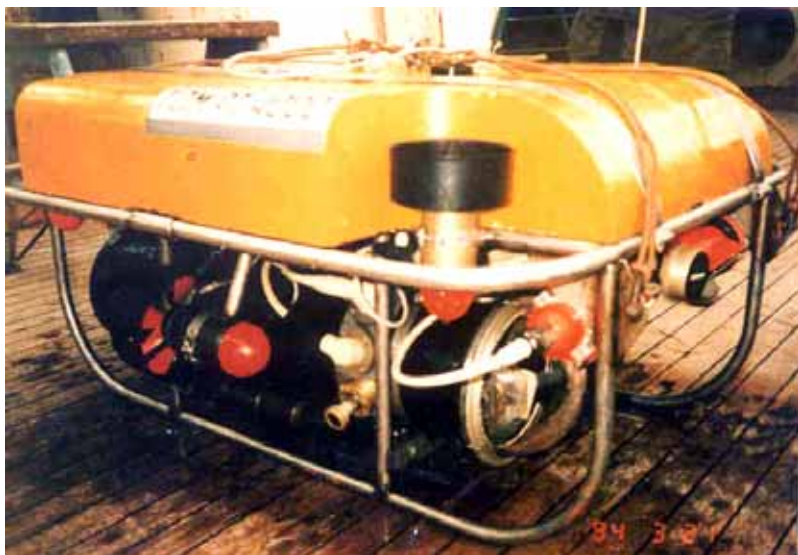


Рис. 3. ПТА РТ 4000 с установленными на нем винтомоторными агрегатами типа ДАП



Рис. 4. Комплект двигателей типа ДАП-500

ЛИТЕРАТУРА

1. **Грумбина Е. В.** Электрические машины и источники питания РЭА. – Москва: «Энергоатомиздат», 2009.

ОТВЕТ НА ВОПРОС: «ЗАЧЕМ ПОДВОДНОМУ РОБОТУ НОГИ?»

Стрельцов А. Я.

Частное лицо, e-mail: deepdivertech@yandex.ru

In the report the answer to a question is given: «Wherefore the underwater robot can have a legs?», which mister Veltishev V.V. asked at conference MSOI 2013. Questions of manufacturing of underwater robots from cheaper and accessible materials are considered. Acquaintance of participants of conference with possible way of getting thick products from the amorphous metals, which not subject to corrosion. Acquaintance of participants of conference with some methods of creation of an artificial intellect.

В докладе даётся ответ на вопрос: «Зачем подводному роботу ноги?», заданный Вельтищевым В. В. на конференции МСОИ 2013. Рассматриваются вопросы изготовления подводных роботов из более дешёвых и доступных материалов. Ознакомление участников с возможным способом получения толстых изделий из аморфных металлов, не подверженным коррозии. Ознакомление участников конференции с некоторыми направлениями создания искусственного интеллекта.

На рис. 1 приведено изображение корейского подводного робота «Крабстер», имеющего ноги.



Рис. 1. Изображение корейского подводного робота «Крабстер»

ЛИТЕРАТУРА

1. **Стрельцов, А. Я.** Патент на изобретение № 2134193 гу.
2. **Стрельцов, А. Я.** Заявки на изобретения №№ 2013145738, 2014109458.

ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ МОРСКИХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ БУРОВЫХ ПЛАТФОРМ (ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ)

Жиленков А. А., Железняк А. А., Титов И. Л., Черный С. Г.

*Керченский государственный морской технологический университет,
ул. Орджоникидзе, д.82, г. Керчь, Крым, Российская Федерация, 298309
тел. 8(06561)3-55-14, sergiiblack@gmail.com*

The questions of application and use modules autonomous underwater vehicle in the structure of offshore drilling platforms. Affected aspects of automation and intellectualization of further use of such structures.

В научной среде не редки заявления о том, что океанографические исследования по множеству аспектов являются более сложными и труднореализуемыми даже по сравнению с космическими исследованиями [1]. Однако сейчас, в середине второго десятилетия XXI века, уже не вызывает сомнения тот факт, что исследование мирового океана стало проблемой мирового значения, охватывающей экономическую, производственную, социальную, оборонную и множество других сфер деятельности и интересов общества в современном мире. Мы наблюдаем необходимость расширения границ океанологических исследований; увеличения количества, видов и роста качества измерений в толще воды с одновременной их систематизацией; увеличения глубин исследований, вызванных в том числе растущей необходимостью околодонных исследований и т.д.

Большинство проектов подобных исследований реализуются и становятся известными в случае и благодаря их коммерческому применению. Да, в современных реалиях научные изыскания всё труднее провести независимо от насущных производственных задач. А для успешной реализации большинства проектов необходима кооперация коммерческих структур, научно-исследовательских учреждений, военных ведомств и т.д. Однако и результаты таких проектов, как правило, в итоге, могут быть эффективно использованы всеми перечисленными организациями. Действительно, например, практически любые инновации в обзорно-поисковых, подлёдных и прочих исследованиях в том или ином

виде могут быть использованы в стратегических или тактических военных целях.

В настоящей статье авторы постарались дать обзор по пути исторического развития, а также по современным представителям такого класса подводно-технических средств, как автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА или AUV – Autonomous (Unmanned) Underwater Vehicles). По данному классу техники, а именно его устройству, решаемым задачам и перспективным направлениям развития, научных материалов немного и ограничиваются они в основном данными о преимуществах их применения в ряде задач узкой направленности.

К особенностям современных АНПА можно отнести отсутствие функциональной зависимости от судна обеспечения, высокую скорость при поиске, большую зону покрытия, широкий диапазон глубин погружения, точность определения координат цели, точность удержания своего места в районе дислокации, подводную автономность аппарата, скрытность (физические поля), универсальность при выполнении широкого круга задач, сбор данных в непосредственной близости к объекту.

На рис. 1 приведен обобщённый функциональный состав систем современного АНПА. Из данного выше обзора можно видеть, как появление новых идей и задач при построении АНПА смещали фокус актуальных технологических изысканий. Трудно перечислить весь перечень технологий, используемых в разработке АНПА.

Выделим основные направления технологического развития, проявившиеся в течении последних десятилетий: автономность; энергообеспечение; навигация; сенсорики; коммуникация.

Несмотря на все успехи, достигнутые в данных направлениях, они остаются приоритетными и поныне. Любые ограничения в уровне развития данных технологических направлений являются прямыми ограничениями использования АНПА.

Выделим ряд перманентно актуальных в плане необходимости усовершенствования технологических направлений исследования в области построения АНПА.

Интеллектуализация. Практически в каждом новом проекте АНПА вот уже три десятилетия решается вопрос необходимого уровня интеллектуализации данного АНПА, разрабатываемого под данные определённые задачи, а также пути реализации этого уровня. Такие особенности данного направления, как архитектура интеллектуальных систем, планирование миссий, распознавание ситуаций и принятие решений являются трудными задачами.

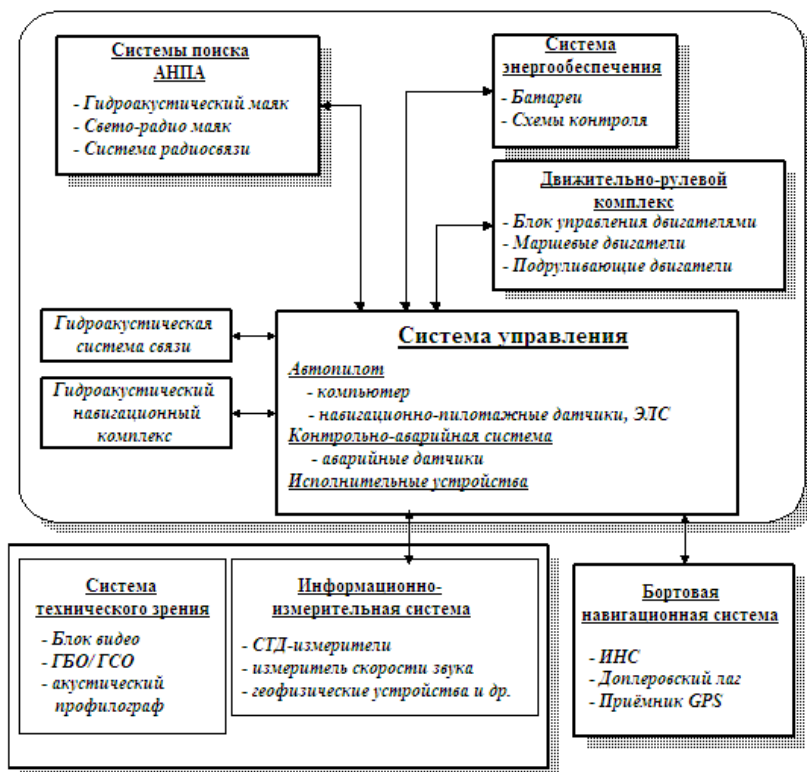


Рис. 1. Функциональный состав систем современного АНПА

Некоторые удачные решения данных задач воплощаются в железе, в остальных случаях разработчики склонны утверждать, что для решения поставленных целей не требуется высокий уровень интеллектуализации и достаточно обеспечить перечень запрограммированных инструкций. Часто, это является спорным утверждением, но реальность такова, что заметных по величине разработок в данной области просто мало, а большинство разработчиков предпочитают сфокусироваться на проблеме информационной автономности АНПА. Но работа в данном направлении идёт и уже не редкость встретить в функционирующих моделях системы навигации на основе искусственных нейронных сетей и т.п. систем. Существующие системы пока позволяют обеспечивать распознавание некоторых аварийных ситуаций, распознавание в реальном

времени набора некоторых простых геометрических фигур или типовых сигналов на основании данных, полученных от систем технического зрения. Немного удачных решений существует в плане обеспечения выделения целевых изображений или сигналов на фоне маскирующего шума и ложных целей. Особенной проблемой здесь является необходимость обработки в режиме реального времени, а также сложность получения качественного информативного сигнала от систем технического зрения, так как условия под водой в этом смысле особенно сложны. Аналогичны проблемы в обеспечении интеллектуального управления АНПА.

Еще одним направлением научных исследований здесь является создание тренажеров и моделей для обучения и тестирования интеллектуальных систем разрабатываемых АНПА. Это нетривиальная задача, удачная реализация которой позволит более эффективно проектировать АНПА и исследовать их поведение, отлаживая алгоритмы, архитектуры и системы еще до этапа дорогостоящих натурных испытаний.

Автономность информационная. Данную проблему можно считать нерешённой и в наши дни. Ряд успехов в данной области, полученных для прочих автономных аппаратов, пока не пришли в АНПА. А программ нацеленных на решение проблем автономности АНПА – единицы. Вместе с тем, с наблюдаемым ростом операций, выполняемых АНПА, необходим и рост таких программ. И здесь ряд исследователей приходит к мысли о том, что решение проблем автономности необходимо решать совместно с развитием интеллектуальности систем управления АНПА. Это позволило бы АНПА приспосабливаться к среде «обитания», максимально эффективно используя свои ресурсы. Подавляющее большинство современных АНПА требуют нахождения рядом с местом их работы судна или судов технической поддержки [2]. К тому же, эти суда должны нести специальное техническое вооружение, как электронное, так и конструктивное. Всё это серьезно удорожает использование АНПА, а значит снижает экономическую привлекательность их использования.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Агеев, М. Д.** Есть ли экзотика в морских технологиях / М. Д. Агеев, Л. В. Киселёв // Вестник РАН, 2005. Т.75. №8.
2. **Черный, С. Г.** Идентификация внешних параметров сигналов для экспертных подсистем в составе устройств судовых электроэнергетических систем / С. Г. Черный, А. А. Жиленков // НТВ СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2014. – № 3(198). – С. 28–36.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА В ГИПЕРБАРИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ И ПОВЫШЕНИЕ ЕГО РАБОТОСПОСОБНОСТИ

**Шищенко М. С., Андреев В. И., Рогинский К. А., Скалацкий О. Н.,
Скалацкий Н. О.**

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997 Москва, Нахимовский проспект, д.36
тел. 8(499)124-79-92*

*ООО «ЛабЭксперт» г. Москва 115088 ул. Угрезская д.2, стр. 101, оф.8
тел. +7-495-623-73-43, e-mail mikhaildivingdoctor@gmail.com*

Methodological Choice informative indicator for early diagnosis of pathological changes of the human body, its correlation with other indicators of life and the necessary correction, optimization of human physiological parameters

Целью работы является методологический выбор информативных показателей для ранней диагностики патологических изменений организма человека, их корреляция с другими показателями жизнедеятельности и необходимая коррекция, оптимизация физиологических показателей человека.

Предложена следующая схема исследования: обследование проводят в фоне, после физнагрузки, далее в барокамере (БК) под давлением 5 ата и после окончания декомпрессии (ДК). Через сутки воздействия повторяются с добавлением повторной физнагрузки на 0 м после приема биологической активной добавки (БАД). Используемая БАД – сукцинат аммония, *разработана и предоставлена д.м.н., проф. Кондрашовой М. Н. и д.м.н., проф. Маевским Е. И.* – разрешенная, апробированная. БАД вводилась per os однократно. Всего произведено более 50 измерений. Два прибора i-STAT 300 вместе с картриджами CG 8+ предоставлены ООО «ЛабЭксперт».

Двое исследуемых, возраст 30 и 35 лет, практически здоровы, исследуемый И. курит. Регистрировалось насыщение кислородом капиллярной крови с помощью транскутанного датчика (пальцевой пульсоксиметр), снятие показателей производилось и параллельно с инвазивным методом, и дополнительно. Определялось АД и пульс (ЧСС – число

сердечных сокращений). Инвазивно определялись газы крови, рН крови, буферные системы крови и некоторые другие показатели с помощью прибора I-STAT 300 – портативный клинический анализатор фирмы АБВОТ . Время обработки одного картриджа – 2 мин. На одно исследование – один картридж. Динамика изменений видна из табл. 1.

Таблица 1.

05.02.2015 Исследуемый И

Показатель	Фон	Окончание
Рн	7,373	7,447
PCO2 mmhg	42,9	34,7
Beecfmmol/L	0	0
Hco3mmol/l	25,0	23,9
Tco2mmol/l	26	25

Показатели	Фон 18:07	Окончание 20:12
Na mmol/L	143	143
K mmol/L	4,0	4,5
lcammol/L	1,30	1,44
Glummol/L	5,8	6,1
Гематокрит	41	42
Гемоглобин	139	143

07.02.2015

Показатели	Фон	После физ. Нагрузки	Сукцинат + физ. нагр.	Окончание
pH	7,414	7,350	7,415	7,389
PCO2 mmHg	41,2	40,1	38,7	42,2
PO2 mmHg	89	93	90	83
BEecfmmol/L	2	-3	0	1
HCO3mmol/L	26,3	22,1	24,8	25,5
TCO2mmol/L	28	23	26	27
sO2	97	97	97	96

Показатели	Фон 15:38	После физ. Нагрузки 16:13	Сукцинат + физ. нагр. 16:52	Окончание 18:20
Na mmol/L	142	142	142	142
K mmol/L	4,0	4,2	4,0	4,0
iCammol/L	1,29	1,28	1,28	1,35
Glummol/L	5,6	5,7	5,5	5,1
Гематокрит	37	43	40	40
Гемоглобин	126	146	136	136

05.02.2015 Исследуемый С

Показатели	Фон	Окончание
pH	7,471	7,388
PCO2 mmHg	36,4	45,0
BEecfmmol/L	3	2
HCO3mmol/L	26,5	27,1
TCO2mmol/L	28	28

Показатели	Фон	Окончание
Na mmol/L	141	141
K mmol/L	5,2	4,2
iCammol/L	1,35	1,31
Glummol/L	6,4	4,9
Гематокрит	44	45
Гемоглобин	150	153

07.02.2015

Показатели	Фон	После физ. Нагрузки	Сукцинат + физ. нагр.	Окончание
pH	7,394	7,395	7,399	7,456
PCO2 mmHg	43,4	41,2	42,9	37,6
PO2mmHg	87	76	84	87
BEecfmmol/L	2	0	2	3
HCO3mmol/L	26,6	25,2	26,5	26,5
TCO2mmol/L	28	26	28	28
sO2 %	96	95	96	97

Показатели	Фон	После физ. нагрузки	Сукцинат + физ. Нагр.	Окончание
Na mmol/L	141	141	140	140
K mmol/L	3,6	4,9	4,4	5,1
iCammol/L	1,28	1,29	1,28	1,48
Glummol/L	5,9	5,3	5,6	5,0
Гематокрит	47	46	46	45
Гемоглобин	160	156	156	153

Работа проводилась на модернизированном комплексе ПДК–2 ЮО ИО им. П.П. Ширшова РАН, стандартный тренировочный спуск в барокамере /БК/ на 40 м. Нагрузка средней степени тяжести должна была соответствовать физнагрузке водолаза в вентилируемом снаряжении при осмотровых спусках на глубинах 50–55 м на средней разрешенной скорости течения. Физнагрузка дозировалась на основе регистрации ЧСС и должна была не превышать 70–75 % от max, рассчитывалась по

упрощенной формуле: 70–75 % (220 минут возраст). Время нагрузки в фоне 15 мин. В первой серии физнагрузка в БК была отменена из-за высоких показателей ЧСС после прихода на грунт (до 120 уд./мин. у одного из обследуемых). Это еще раз подтверждает необходимость контроля ЧСС и ЧДД (числа дыхательных движений) водолаза на грунте как простейших объективных индивидуальных показателей тяжести физической работы. Ведь от ее оценки (как и от оценки меняющегося показателя устойчивости к декомпрессионной болезни (ДКБ) и ряда др. факторов) зависит выбор индивидуального режима декомпрессии (ДК). Большее значение ЧСС и ЧДД во время компрессии и изопреции ведет к большему насыщению организма инертными газами и, как следствие, большему времени, необходимому для относительно безвредному выведению инертного газа из организма, следовательно требуется удлинение режима ДК.

На основании предварительных данных (*Маевский Е. И., Кондрашова М. Н., Учитель М. Л., Шищенко М. С. и др.*) было решено проверить эффективность одноразового введения БАД для повышения устойчивости организма к комплексному воздействию гипербарии и физнагрузке.

Таблица 2. Число сердечных сокращений (ЧСС), pO_2 в капиллярной крови*

	Фон		> Физ. нагрузка 0 м		БАД+физ. нагр. 0 м		БК 40 м		> Физ. нагр., БК 40 м		После ДК	
	ЧСС	pO_2	ЧСС	pO_2	ЧСС	pO_2	ЧСС	pO_2	ЧСС	pO_2	ЧСС	pO_2
<i>серия 1</i>												
С	66	98/–	110	98/–	–	–/–	104	–/–	не провод.		78	98/–
И	62	98/–	120	98/–	–	–/–	120	–/–			84	98/–
<i>серия 2 через 36 часов</i>												
С	65	98/87	138	98/76	105	98/84	74	98/–	82	98/–	68	98/87
И	76	99/89	130	98/93	138	98/90	78	98/–	110	98/–	72	98/83

* В числителе – транскутанный датчик, в знаменателе – инвазивный метод

Из приведенных выше данных мы видим улучшение некоторых физиологических параметров исследуемых, более экономичную реакцию организма на компрессию – один из самых сильных раздражающих факторов гипербарии (*Шищенко М.С.*) после приема БАД. Для водолаза важны меньшие значения ЧСС в изопреции. Под контролем ЧСС была выполнена физнагрузка средней степени тяжести. На всех стадиях спуска исследуемые чувствовали себя хорошо, были бодры и активны.



Выводы

1. Данная методика позволяет количественно оценивать насыщение газами периферической крови, отслеживать кислотно-основной и элек-

тролитный состав капиллярной крови. По составляющим этих трех групп можно судить о состоянии организма человека в целом, что жизненно необходимо при проведении лечебной рекомпрессии и смешаной ДК.

2. Представленная методика оперативна и достаточно информативна, однако следует продолжить поиск высокоинформативного и одновременно достаточно простого в определении метода раннего выявления патологических изменений организма при воздействии гипербарии.

3. Данная методика может помочь в оценке эффективности проводимого сеанса ГБО и оценки адекватности выбранного режима лечебной рекомпрессии.

4. Используемая биологическая добавка дает умеренный положительный эффект и в условиях гипербарии, что предполагает дальнейшее продолжение исследований в данном направлении.

5. Использование транскутанного датчика выявило недостаточную чувствительность данной модели прибора для определения тонких изменений насыщенности периферической крови кислородом, одновременно предоставляя возможность регистрации критических изменений в насыщении кислородом периферической крови.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Яхонтов Б. О., Куренков Г. И.** /Технологии глубоководных водолазных Погружений. // Доклад на 12-ой международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований» – 2011г. Москва, 23–25 ноября.

2. **Маевский Е. И., Кондрашова М. Н. и др.**/ Коррекция метаболического ацидоза путем поддержания функций митохондрий. //Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН. Пущино, 2001.

3. **Нарциссов Р. П.** / Здоровье, болезнь и лекарство (цитохимическая экспертиза с помощью анализатора изображений). //М., 1999г.

4. **Волков Л. К., Юнкин И. П.** /Основные закономерности процессов насыщения и насыщения организма инертными газами. //Физиология подводного плавания и аварийно-спасательного дела. Под ред. И.А. Сапова. Л., 1986.

ИЗМЕНЕНИЯ В ОРГАНИЗМЕ ВОДОЛАЗОВ И АКВАНАВТОВ НА СУБКЛЕТОЧНОМ УРОВНЕ ЛЕЙКОЦИТОВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ

Шищенко М. С.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997 Москва, Нахимовский проспект
тел. 8(499)124-79-92 E-mail: giperbaria62@ocean.ru*

A brief overview of our data on biochemical examination of peripheral blood leukocytes of 18 doctors from the Test aquanauts in experimental simulation descents under pressure up to 46 atm with a stay in the coastal research hyperbaric complex until one and a half months on the Ne-O₂ gas mixture.

В докладе представлен краткий обзор полученных нами данных по биохимическому обследованию лейкоцитов периферической крови 18 врачей-испытателей, акванавтов при экспериментальных имитационных спусках под давлением до 46 ата с пребыванием в береговом исследовательском гипербарическом комплексе до полутора месяцев на Ne-O₂, Ne-He-O₂ и He-O₂ газовых смесях.

Эксперимент проходил на базе ГKK-ДП-350/450 ЮО ИО им. П. П. Ширшова РАН. Основную целью эксперимента являлась проверка гипотезы, о том, что одним из главным регламентирующим фактором при освоении глубин мирового океана будет высокая плотность используемых для дыхания газовых смесей [Генин А.М.]. Так же должен был изучаться феномен противодиффузии должный возникать при переходе испытуемых из Ne-O₂ среды в He-O₂ среды.

Для исследования лимитирующего фактора плотности газовой среды использовали неон/Ne/ как инертный газ с плотностью, в 5 раз превышающей плотность гелия/He/. Я участвовал в спуске методом ДП (длительное пребывание) завершающем эту неоновую серию экспериментов. Мы с командиром экипажа Александром Михненко находились в шаровом отсеке объемом 6,5 м³ полмесяца на «глубинах» 250м, что по плотности газовой среды соответствовало примерно 1 км в глубоководном водолазном комплексе, рассчитанном на имитационные погружения до 450 м. Наши акванавты во главе с Вадимом Семенцовым и Вла-

димиром Подымовым дошли до 450 м, что по плотности приравнялось глубине более 2 км. Показательный пример увеличения плотности газовой среды: в отсеке при 25 атм на смеси Ne-Ne-O₂ лист А4 очень медленно опускался к полу. А при 45 атм Ne-O₂ среды не опускался вовсе, висел под потолком. Соответственно и работать было сложнее.

Руководил этими спусками, как и многими другими, И.П. Полещук, который до недавних пор работал над глубоководной тематикой в МЧС РФ.

В нашем неоновом эксперименте мы остановились на известной методике *Р.П. Нарциссова* /1969-2002 гг./. Методика дает возможность определять состояние энергетического обмена, дыхания клетки и органов, состояние макроорганизма в целом. Параллельно она позволяет выбрать пути коррекции метаболизма и вывода организма на оптимальный уровень неспецифической устойчивости.

В сериях опытов на животных нами было получено увеличение глубин спусков с безостановочной декомпрессией в полтора раза с 50 м до 75 м на фоне плановой метаболитной терапии. В дальнейшем часть из этих препаратов [*М.Н. Кондрашова*] я использовал перед собственными погружениями и получил хорошие результаты повышения неспецифической устойчивости и тренированности, объективно отраженные цитохимическим методом и исследованием ССС проводимые Унку Р.Д.. Это подробнейшим образом описано в отчетах НИР ИМБП РАН.

Во время неоновых экспериментов мы проводили цитохимический анализ лейкоцитов периферической крови всем испытуемым в фоновом, на площадках компрессии, перед и после перехода акванавтов из Ne в Ne среду (эффект противодиффузии), во время и после декомпрессии многократно /всего более 30 раз/. Это было делать достаточно просто из-за доступности проводимой методики. В результате мы выявили:

Статистически достоверное *прогностическое* значение изменений активности ряда митохондриальных ферментов для диагностики ранних изменений в микро- и макроорганизме.

Самым сильным стрессовым фактором по воздействию на организм была компрессия.

Изменения в активности ферментов после компрессии наблюдались как при ДП, так и при КП (короткие погружения). Мы наблюдали значительное падение активности митохондриальных ферментов и при компрессии до 3–5 атм.

Снижение активности ферментов в несколько раз, в частности, СДГ (сукцинат-дегидрогеназа) в 2–3 раза, резкое снижение активности альфа-глицерофосфатдегидрогеназы (до 11 раз в отдельных случаях), она же была и самым ранним маркером происходящих в макроорганизме изменений.

В кислородно-неоновой газовой среде снижение активности ферментов было статистически достоверно в несколько раз более выраженным, чем в отсеке с кислородно-гелиевой средой, повышенная плотность газовой среды в первую очередь проявлялась на уровне клетки, *развивалась хроническая тканевая гипоксия*. Изменения на уровне целого организма проявлялись *позже*. Субъективно при этом испыталы чувствовали себя удовлетворительно.

В процессе декомпрессии активность ферментов постепенно *восстанавливалась*. Декомпрессия шла практически без осложнений и за это отдельное спасибо разработчикам математической модели декомпрессии и декомпрессионных режимов.

Общего восстановления активности всех изучаемых дегидрогеназ *не наблюдалось* и через 3 месяца после выхода из ДП.

Выводы:

- цитохимические исследования клеток периферической крови информативны, доступны и рекомендуются для оценки функционального состояния и здоровья водолазов, спасателей и *спецконтингента*.

- изменения активности дегидрогеназ могут быть использованы как ранние маркеры тех или иных осложнений и изменений состояния организма в целом.

- важно *прогностическое значение* цитохимического анализа для определения ближайших и отдаленных осложнений у водолазов, акванавтов и др. спецов.

Необходимо отметить важность и перспективность работ проводимых в Военной Медицинской Академии, ИМБП, 40-ом Институте именно они помогли нам в формировании идеологии нашей работы.

Автор выражает благодарность руководителю барокомплекса ЮО ИО РАН О. Н. Скалацкому, заслуженному испытателю, акванавту, инженеру В. Подымову, врачу-биохимику и легководолазу Андрееву В. И. и старейшему водолазу ЮО ИО РАН А. Юрчику.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Нарцисов Р. П.** / Диагностические и прогностические возможности клинической цитохимии. // Актовая речь, посвященная 75-летию Института педиатрии РАМН, 1997.

2. **Довгуша В. В.** / Дискуссионные вопросы действия индифферентных газов на организм. // Санкт-Петербург, 2011.

3. **Кондрашова М. Н.** /Регуляция янтарной кислотой энергетического обеспечения и функционального состояния ткани. // Автореферат докт. диссер. М., 1971.

РАЗРАБОТКА ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЫ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ МАНИПУЛЯТОРА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ТНПА СУПЕРГНОМ ПРО

Ишмухаметов Р. Ф.

*Учреждение Российской академии наук
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, Москва, Нахимовский пр.-т, 36
Тел.: 499 129-20-45; Факс: 499 129-20-45;
E-mail: irf@gnomrov.ru*

Development of additional high resolution camera for the manipulator of new generation Super GNOM Pro ROV.

Телеуправляемый необитаемый подводный аппарат Супер ГНОМ, является самым мощным аппаратом в модельной линейки роботов ГНОМ. Основные сферы применения СуперГНОМ: инспекция подводных трубопроводов, проведении осмотров подводных частей буровых вышек, нефтяных платформ, поисково-спасательные работы, осмотры гидроэлектростанций и плотин.

Значительная часть работ происходит в условиях ограниченной видимости. Кроме того, существует высокая вероятность воздействия подводных течений на траекторию движения ПА. При проведении подводных операций с применением манипулятора перед пилотом ставятся повышенные требования точности и безопасности выполнения поставленных задач, что в условиях водной среды, являются достаточно трудозатратными. В связи с этим, ведется разработка принципиально новой видеокамеры высокого разрешения с возможностью крепления на манипулятор ТНПА СуперГНОМ. Характерной особенностью установки дополнительной видеокамеры является возможность убрать манипулятор из зоны видимости основной камеры.

Основные технические характеристики:

- Максимальная глубина: 300 м;
- Габариты (Д×Ш×В): 86×110×90;
- Полная масса подводного модуля (с креплением): 400 г.;
- Потребляемая мощность: 30 Вт;
- Формат видеосигнала: PAL/NTSC.

Подводный модуль выполнен в виде герметичного прочного корпуса. Внутри нижнего цилиндра расположена бескорпусная цветная HD видеокамера на основе CCD матрицы. В верхних цилиндрах расположе-

ны 2 кластера с 7-ю светодиодами мощностью 1 Вт каждый и цветовой температурой 5600 К. Угол расхождения света составляет 105°. На задней крышке прочного корпуса видеокамеры установлены 5 герморазъемов. Камера связана с аппаратом с помощью кабеля, по которому подается электропитание и передается видео сигнал. Подключение осуществляется с помощью 4-х контактного разъема.



Вид спереди



Вид сзади

Благодаря специальной конструкции крепления, возможен монтаж на любую сторону плеча манипулятора. Установка корпуса видеокамеры производится с помощью 4-х крепежных лапок.

После окончательной разработки и изготовления опытного образца, планируется разработать дополнительные типы крепежных элементов для установки на манипуляторы других производителей.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ ЭКОМОНИТОРИНГА, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ПОМОЩИ ТНПА ГНОМ

Ишмухаметов Р. Ф., Розман Б. Я., Елкин А. В.

*Учреждение Российской академии наук
Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
117997, Москва, Нахимовский пр.-т, 36
Тел.: 499 129-20-45; Факс: 499 129-20-45;
E-mail: irf@gnomrov.ru, brozman@ocean.ru*

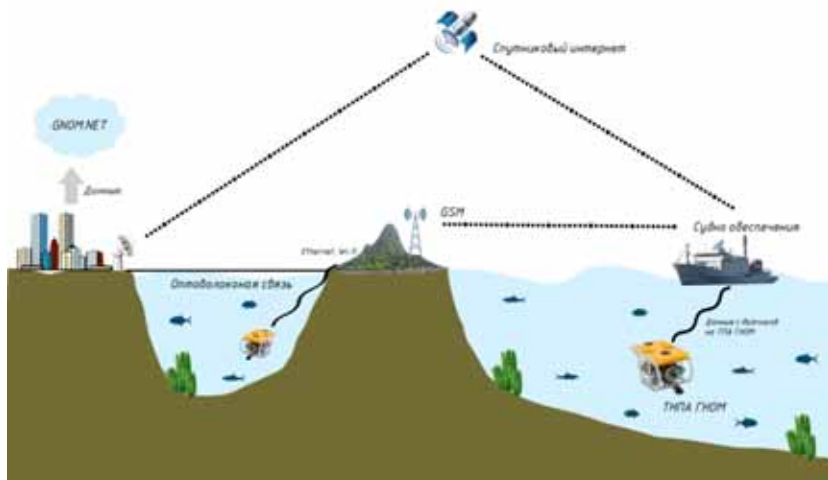
In this article, we review the application of cloud computing technology for data analysis of environmental monitoring, obtained by the GNOM ROV.

Начиная с 2001 года было выпущено более 400 ГНОМов разных типов и модификаций. География подводных работ включает в себя Каспийское, Белое, Черное, Карское, Средиземное моря, озеро Байкал и множество других акваторий внутри России и за рубежом. Помимо этого, с помощью ТНПА ГНОМ Стандарт были проведены осмотровые работы подо льдом в районе Северного полюса. Большая часть аппаратов выполняет работу по экомониторингу водной среды. Не менее 40% ТНПА оснащены дополнительным оборудованием, среди которого: манипулятор-захват, гидролокатор кругового обзора, гидроакустическая система подводного позиционирования, датчики электропроводности, солености и температуры воды. Не менее 90% аппаратов оснащены встроенным датчиком глубины. Для линейки подводных роботов ГНОМ существует возможность установки на борт ТНПА или отдельно следующих видов оборудования: датчик скорости течения, направления течения, кислорода, датчик определения мутности воды.

Каждый аппарат с дополнительными устройствами принимает, выводит и накапливает определенное количество данных. Если рассмотреть все аппараты в целом, то мы получим огромный массив неструктурированной, несвязанной информации. Для того, чтобы упорядочить, описать, а в последующем и подвергнуть анализу полученные данные, в GNOM.NET применяются технологий облачных вычислений.

GNOM.NET – сеть ТНПА ГНОМ, имеющий выход в Интернет или локальную компьютерную сеть.

ПТОК состоит из подводного аппарата, кабель-связки и береговой станции (пульт управления). В свою очередь береговая станция имеет возможность подключения к сети интернет с помощью технологий Ethernet, Wi-fi, GSM или спутниковой связи. При наличии устойчивого интернет соединения данные в автоматическом режиме отправляются в систему GNOM.NET. При отсутствии подключения, получаемая информация хранится локально в памяти компьютера, установленного в береговой станции. Как только БС будет иметь доступ в сеть, все собранные данные в автоматическом режиме будут отправлены в GNOM.NET. При каждой сессии подключения, помимо информации с датчиков, загружается время отправки, GPS координаты ПА и береговой станции.



Маршрут входных данных в сеть GNOM.NET

Моделью разворачивания GNOM.NET является гибридное облако, состоящее из частного облака, когда инфраструктура сети используется одной организацией и публичного, когда инфраструктура сети используется широкой публикой. Фактически, все поступающие данные собираются, накапливаются и анализируются внутри частной сети, но определенная часть информации может быть доступна публично.

Основные преимущества использования облачных технологий в составе сети GNOM.NET:

- Использование высоких вычислительных мощностей и неограниченного объема хранилища данных.
- Универсальный сетевой доступ. Независимо от платформы клиента, сеть GNOM.NET будет доступна в любой точке земного шара, при наличии интернет соединения.
- Горизонтально масштабируемая система. Независимо от темпа увеличения количества поступающей информации, работа системы GNOM.NET остается стабильной с высокой скоростью доступа и последующей обработки.
- Экономический эффект. Разворачивание собственных вычислительных мощностей несравнимо дороже готовых решений, присутствующих на рынке.

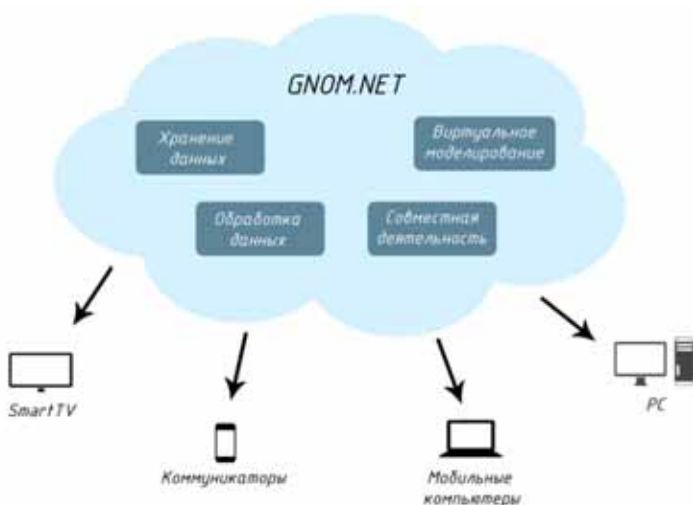


Схема GNOM.NET

С течением времени, технологии, представленные на IT рынке непрерывно совершенствуются, тем самым мы можем использовать все более и более выгодные, оптимальные и современные решения для выполнения требуемых задач.

В настоящее время, в системе GNOM.NET доступна возможность управления удаленным ТНПА ГНОМ через сеть интернет в реальном времени. Данный функционал находится на стадии альфа-тестирования.

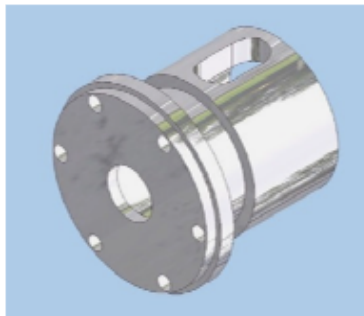
МЕТОДЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Артамонова А. В., Елкин А. В.

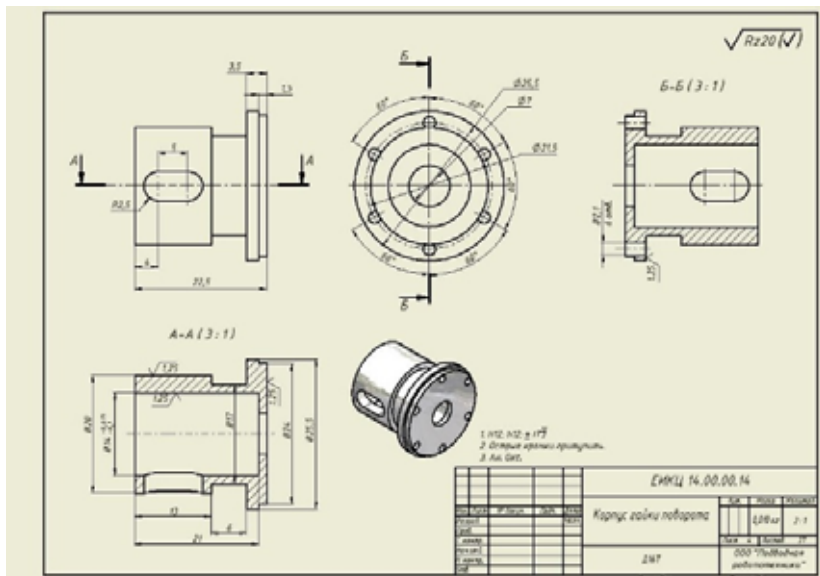
*Институт океанологии им. П.П. Ширшова
117997, Москва, Нахимовский проспект д.36 тел: (499) 1245996
факс: (499) 1245983. E-mail artamonova@gnom-rov.ru*

The article discusses various methods of creating details remotely for operated underwater vehicles for example GNOM ROV.

Этапы разработки следующие. В первую очередь разрабатываются 3D модели деталей. Разработка осуществляется с помощью программы Autodesk **Inventor** – системы трехмерного твердотельного и поверхностного параметрического проектирования (САПР).



3D модель детали «Корпус гайки поворота



Чертеж «Корпуса гайки поворота»



Сборка манипулятора



3D принтер «3D Builder Picaso»

Далее создается сборка узла, дополнительного оборудования или всего аппарата.

Отдельные детали для ТПА ГНОМ изготавливаются с помощью 3D принтера «3D Builder Picaso». Материалами для таких деталей служат пластики ABS и PLA. В производстве для деталей ГНОМ используется в основном ABS.

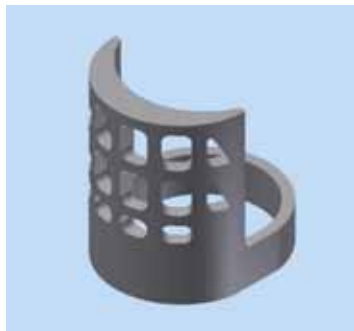
ABS – это полимер, способный принимать любые формы и может приобретать различные свойства. В целом, это крепкий пластик со средней гибкостью (в сравнении с PLA). Изначально, до добавления красителей, ABS имеет цвет топленого молока. Его гибкость хорошо влияет на детали с защелками и разъемами. ABS пластик проще обрабатывать и зачищать наждачной бумагой. Также, ABS растворяется в ацетоне. Это позволяет скреплять детали одной-двумя каплями или обрабатывать объекты до блеска, протирая их ацетоном или погружая в ванну с ним.

Рассмотрим процесс создания детали на примере защитного ограждения для сонара. На компьютере создается 3D модель, которая конвертируется в stl файл, затем рассчитывается в программном обеспечении для 3D принтера.

Принтер использует технологию термопластической экструзии. Деталь как бы выращивается по слоям. Температура пластика при этом 250 градусов, температура стола 150° С.

После изготовления механически удаляются лишние поддерживающие слои материала (поддержка), и происходит доработка детали. (С новой версией принтера с двумя соплами существует возможность печатать двумя материалами одновременно, что позволяет создавать под-

держку с помощью пластика HIPS, растворимого в кислоте, а саму деталь – с помощью пластика ABS. Таким образом, поддержка удаляется с помощью кислоты, что значительно упрощает процесс ее извлечения.)



3D модель защитного ограждения сонара



Готовое защитное ограждение сонара до извлечения поддержки

Так же, с помощью 3D печати изготавливаются гребные винты, детали для крепежа, некоторые прокладки и другие элементы.

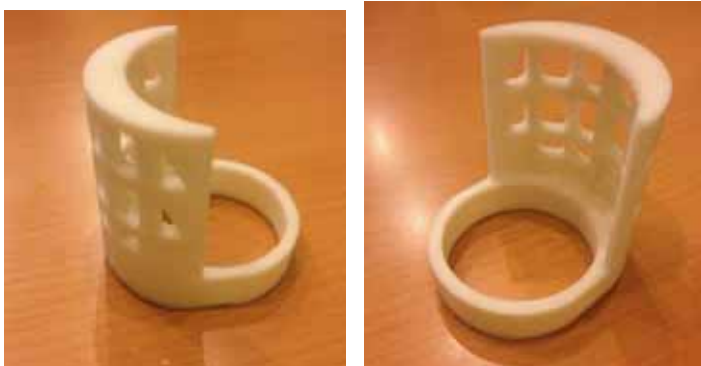
3D принтер помогает изготавливать прототипы деталей, не затрачивая большие денежные средства.

Размеры стола 3D принтера 200×200 мм, максимальная высота по $z = 200$ мм.

Погрешность диаметральных размеров детали $\pm 0,4$ мм.

Скорость печати – $25 \text{ см}^3/\text{час}$. Толщина слоя – 100 мкм, минимальная толщина стенки – 190 мкм.

Также в производстве деталей для ТПА ГНОМ используется фрезерно-гравировальный станок с ЧПУ SUDA 8070.



Защитное ограждение сонара после извлечения поддержки



Фрезерно-гравировальный станок с ЧПУ SUDA 8070

Этапы работы со станком с ЧПУ также начинаются с разработки 3D моделей с помощью программы Autodesk Inventor.

Создается 3D модель детали и рабочий чертеж. Затем ipt файл конвертируется в stl для работы с программным обеспечением ArtCAM

В ArtCAM создаются траектории, по которым будет двигаться фреза, задается толщина материала, диаметр фрезы, глубина фрезеровки и т.д. Затем файл с траекторией переносится на станок с помощью USB flash карты.

На станке крепится исходная заготовка.

По окончании работы станка мы имеем готовую деталь.

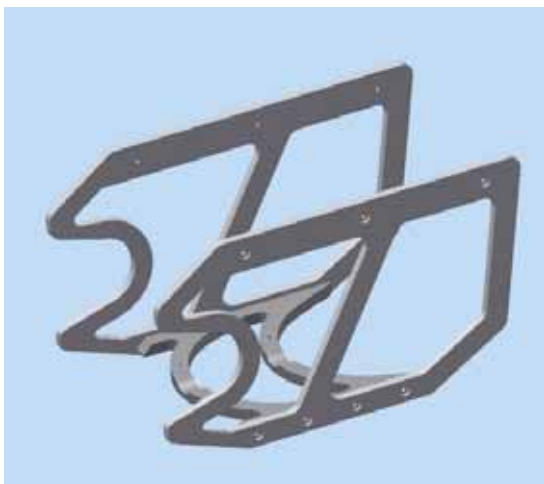
Станок может работать как по пластику, дереву, так и по металлу.

В комплект входит гравер, благодаря которому можно написать любой текст или логотип на панели или детали.

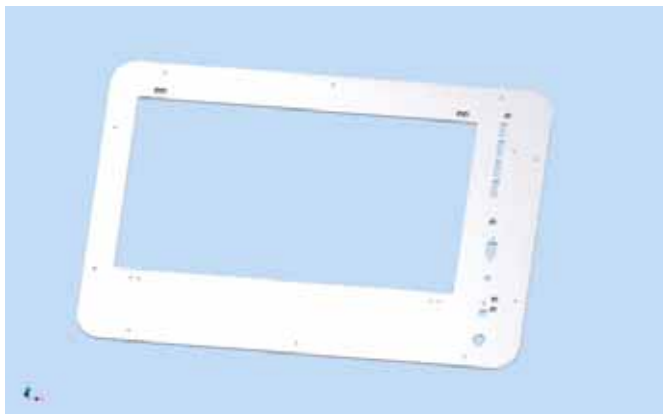
Максимальная высота обработки станка по $z = 100$ мм, максимальная рабочая область 800×700 мм, скорость вращения шпинделя 6–18 тыс. об/мин., точность позиционирования 0,0125 мм, диаметр фрезы 1–14 мм.

С помощью фрезерного станка с ЧПУ SUDA 8070 были изготовлены:

- обновленная рама для ГНОМ Стандарт,
- обновленная рама для ГНОМ ПРО,
- элементы крепежа аппаратов ГНОМ в чемоданы для транспортировки,
- панели для блоков управления.



3D модель рамы для ГНОМ Стандарт



Панель блока управления



Рама для ГНОМ Стандарт

Рассмотренные методы конструирования и изготовления деталей позволяют значительно ускорить и удешевить этапы проектирования и производства. Также оба метода предоставляют возможность оперативного изменения конструкции деталей и узлов подводных аппаратов.

IV. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

УДК 551.465.15

КОМПЛЕКС АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ МОНИТОРИНГА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Римский-Корсаков Н. А.¹, Руссак Ю. С.¹, Дорошенко С. Ю.²

¹ *Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-13-01,
russak@ocean.ru*

² *ООО «ЗД Спутниковая навигация», trdom@mail.ru*

Complex hardware and software monitoring of the sea surface is designed to gather information on the state of the network MBS sea surface analysis, the primary processing of all received measurement information, the formation and operation of dynamically updated model of the quasi-stationary state of the marine topographic surface

Традиционно, вот уже на протяжении более ста лет, уровень моря измеряется на береговых приливных станциях. Измерения производятся относительно ближайших геодезических реперов при помощи самописца уровня, соединённого с поплавком. Этот поплавок помещён в колодец, чтобы избежать влияния на измерения ветрового волнения.

Задача значительно усложняется при необходимости произвести определение высоты морской топографической поверхности (усредненной по времени и по разным точкам при наличии морского волнения с высотой волны до метра) над общеземным эллипсоидом (ПЗ-90.02) при удалении точки измерения от береговой черты на расстоянии до 20 км с СКО не более 0,1 метра. Отсутствие в этих условиях неподвижных точек отсчета однозначно определяет выбор метода решения измерительной задачи – использование спутниковых навигационных технологий, в частности проведение дифференциальных фазовых измерений для определения положения морских буйковых станций (МБС). Высота квазистационарной морской топографической поверхности (МТП) определяется в этом случае относительно места расположения антенны берегового спутникового навигационно-измерительного модуля (СНИМ) в системе координат ПЗ-90.02.

Комплекс аппаратно-программных средств мониторинга морской поверхности предназначается для сбора информации с сети МБС о состоянии морской поверхности, анализа, первичной обработки всей получаемой измерительной информации, формирования и обеспечения функционирования динамически обновляемой модели состояния квазистационарной морской топографической поверхности (МТП), определения аномалий высоты уровня и параметров волнения моря. Для решения указанных задач комплекс обеспечивает сбор, анализ, первичную обработку, декодирование, структурирование и сохранение в базе данных всей измерительной и служебной информации, получаемой с использованием измерительных систем: спутниковых навигационных измерительных модулей глобальных спутниковых навигационных систем (ГСНС) ГЛОНАСС/GPS на волномерных буюх (ВБ) сети из девяти МБС, прибрежного уровнемера, берегового СНИМ и т.д.

Комплекс включает в себя следующие функциональные составные части (рис. 1):

а) автоматизированное рабочее место – вычислительная система из ПЭВМ АРМ и Сервера СУБД. АРМ обеспечивает взаимодействие с пользователем, управление работой вычислительной системы, отображение текущей и обработанной информации, ход процесса накопления и обработки данных. Сервер СУБД формирует базы данных по результатам измерений берегового СНИМ и МБС, принимает от МБС данные о положении антенн волномерных буюх относительно антенны берегового СНИМ, рассчитывает высоты антенн волномерных буюх в системе координат ПЗ-90.02, осуществляет прием, обработку и хранение в базах данных информации от измерительных систем комплекса;

б) судовой АРМ, обеспечивающий проверку функционирования МБС до и после постановки в заданную точку акватории, поиск МБС в аварийных ситуациях, измерение гидрологических параметров среды с помощью гидрофизической измерительной системы MIDAS-ECM;

в) сеть из 9 МБС, установленных на морском полигоне 10x10 км на глубинах 1200-2000м. МБС включает радиоэлектронное оборудование, которое производит кодовые и фазовые измерения параметров радиосигналов ГНСС ГЛОНАСС и GPS, принимаемых на антенну волномерного буюа, принимает по радиомодему дифференциальные поправки от берегового СНИМ, записывает измерительную информацию в память процессора, по окончании сеанса накопления в режиме постобработки рассчитывает положение антенны волномерного буюа относительно антенны берегового СНИМ и передает решение задачи и накопленную измерительную информацию через радиомодем на сервер СУБД;

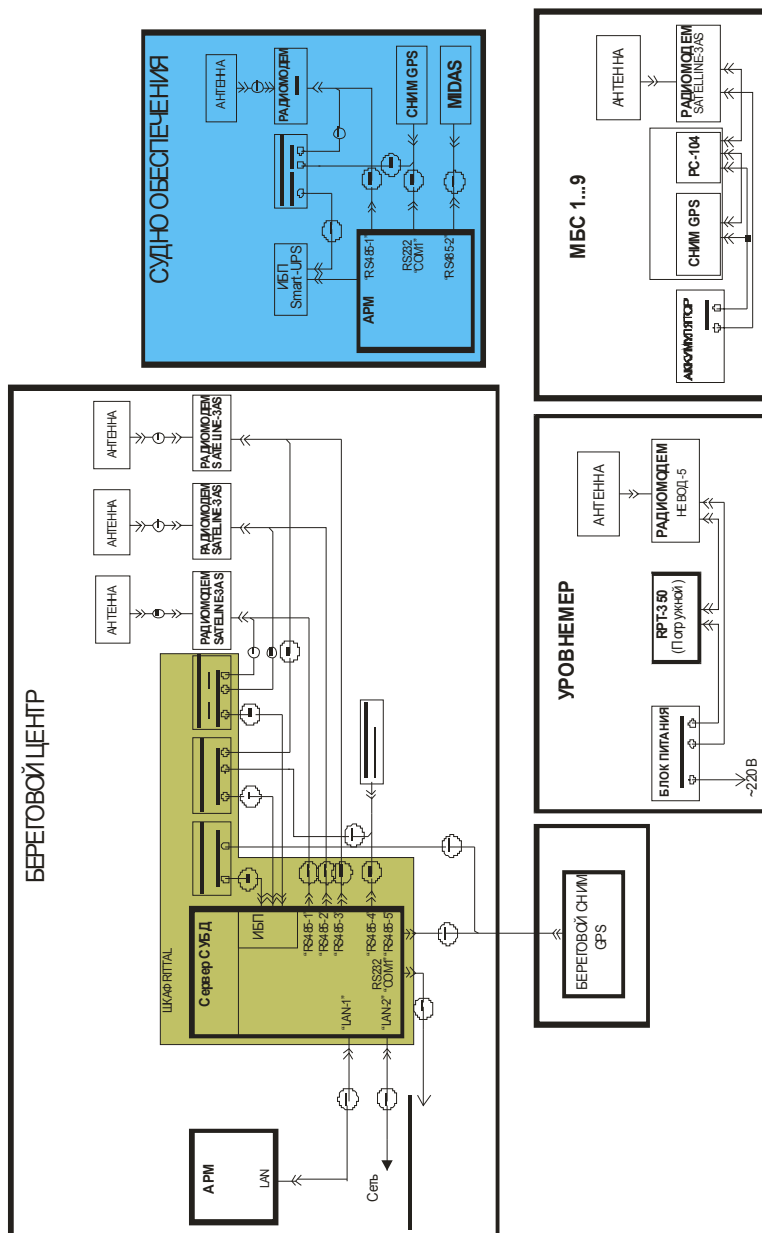


Рис. 1. Схема комплекса

г) уровнемер, который позволяет, оценивать изменения высоты уровня поверхности моря в одной точке в месте его установки в прибрежной зоне;

д) береговой СНИМ, предназначенный для круглосуточного всепогодного определения навигационных параметров по открытым для потребителей радиосигналам СНС ГЛОНАСС, GPS, SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS) по открытым гражданским кодам СТ и С/А в диапазоне L1;

е) радиомодемы для обмена информацией и приема данных сервером СУБД КСОО ПК ВРВ от МБС и уровнемера;

ж) комплект гидрофизической измерительной системы MIDAS-ECM, который эксплуатируется на судне обеспечения. Сигнал с измерительной системы поступает по кабелю – тросу в порт RS485 судового АРМ. Зондирование толщи воды до дна производится в выбранных точках акватории с целью обнаружения аномалий, связанных с меандрированием течений и вихреобразованием в районе свала глубин в площади полигона;

и) стенд проверки и калибровки СНИМ служащий для определения истинной высоты фазового центра антенны СНИМ каждого волномерного буя перед постановкой МБС на морском полигоне.

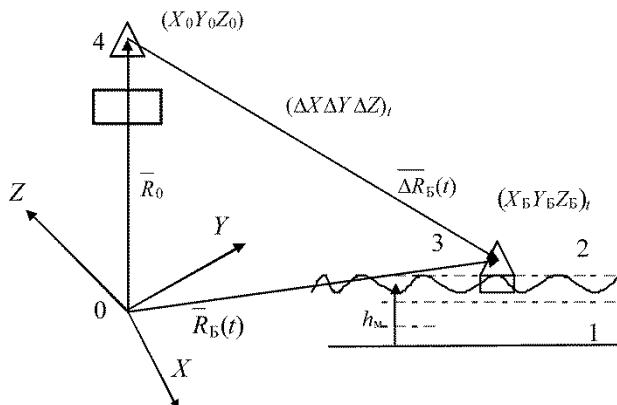
Метод работы комплекса состоит в измерении спутниковыми геодезическими технологиями разностей фаз несущих сигналов СНС в двух точках: расположения антенны берегового СНИМ и расположения антенны СНИМ волномерного буя, сбора и обработки результатов измерений на МБС, последующих сбора и контрольной обработки результатов измерений от всех МБС на сервере берегового пункта. По данным обработки результатов фазовых и кодовых измерений получим в геоцентрической прямоугольной системе координат XYZ разности координат $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_t$ антенны берегового СНИМ и антенны СНИМ волномерного буя МБС в реальном времени при частоте обновления информации 1 Гц (рис. 2).

Из векторного уравнения $\bar{R}_B(t) = \bar{R}_0 + \Delta \bar{R}_B(t)$ могут быть определены текущие прямоугольные координаты антенны СНИМ волномерного буя:

$$(X_B, Y_B, Z_B)_t = (X_0, Y_0, Z_0) + (\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)_t.$$

Для повышения точности вычислений и сглаживания волнения допускается использовать процедуру осреднения по времени результатов измерений $(\Delta X_B, \Delta Y_B, \Delta Z_B)_t$ на временном интервале до 600 с. Тогда по результатам расчетов получим усредненное по времени значение высоты морской топографической поверхности над общеземным эллипсоидом h_m с учетом волнения. Зона дрейфа волномерного буя, связанного

штангой с закоренным поверхностным бумом, на интервале до 600 с будет составлять не более десятков метров, что не скажется в дальнейших расчетах оценки изменения уровня моря на акватории.



1 – поверхность общеземного эллипсоида; 2 – морская поверхность; 3 – антенна СНИМ волномерного буя; 4 – антенна берегового СНИМ

Рис.2. Основные геометрические соотношения

УДК 681.3

РАЗВИТИЕ НОВЫХ ФОРМ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ РЕСУРСОВ И СЕРВИСОВ ЕСИМО

Вязилов Е. Д., Мельников Д. А., Чуняев Н. В.

ФГБУ «Всероссийский научно – исследовательский институт
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
249035, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Королева, 6. Тел. 84843974676.
vjaz@meteo.ru, melnikov@meteo.ru, chunyaev@meteo.ru

The information of development of Unified state system of information on the Global Ocean is presenting. The examples of new forms for information services of marine activity are giving.

В рамках Федеральной целевой программы «Мировой океан» в 2013 г. закончено создание Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане» (ЕСИМО, <http://portal.esimo.ru>). В системе интегрировано более 3500 информационных ресурсов (ИР) от 37 центров и поставщиков данных, представляющих 12 ведомств России, занимающихся морской деятельностью. Разработаны более 15 прикладных сервисов, позволяющих визуализировать данные как в стандартных, так и в совершенно новых формах отображения информации. С помощью системы можно получить следующие виды продукции: доступ к метаданным, данным, документам; штормовые предупреждения и оповещения; состояние погодных условий на морях России (мониторинг обстановки); высоты приливов; метеограмму; спутниковые изображения; карты анализов и прогнозов по морям России; климатические обобщения по морям России, др.

Формами отображения ИР являются интерактивные карты; готовая продукция в виде регулярно обновляемых («живых») веб-страниц; матрица продукции по морям, параметрам, обобщениям в виде триады – наблюдения, прогноз, климат; индикация значений параметров; объединение наблюденной и прогностической информации на одном графике; бегущая строка; монитор обстановки. В системе существуют возможности подключения моделей, например, расчет распространения разлившейся нефти и нефтепродуктов.

Объединение исходных данных с прогнозами. Пользователь должен видеть исторические данные, текущее значение и прогноз. Для этого необходимо создать производный ИР, определить параметры и станции, которые есть в ресурсах с оперативными сообщениями и прогностическими данными; выбрать в прогностических данных ближайший узел по координатам станции, рис. 1.

Интерактивная продукция. Необходимо сохранять постоянно адреса в Интернет для подготовленной информационной продукции. Она будет представлять «живую» продукцию, актуальную во времени, и которую можно включать в цифровые учебные пособия, научные статьи, разного рода презентации и другие электронные документы, используя, например, UUID (Universally Unique Identifier) или DOI (Digital Object Identifier). Сейчас типовой адрес продукции выглядит с.о.: http://esimo.ru/dataview/viewresource?resourceId=RU_RIHMI-WDC_2656, где, RU_RIHMI-WDC_2656 – идентификатор ресурса. Графики и таблицы перестраиваются после ввода новых данных.

Монитор гидрометеорологической обстановки. Достаточно сложно выделить критические значения в большом объеме данных. Необходи-

димо автоматически найти и подсветить критические значения. Если значение какого-либо параметра превышает критическое, то ссылка на ресурс, в котором находится этот параметр, индицируется цветом (желтый, красный, малиновый), рис. 2. Если значение параметра превышает критическое, то диапазон этих значений индицируется соответствующим цветом, рис. 3.

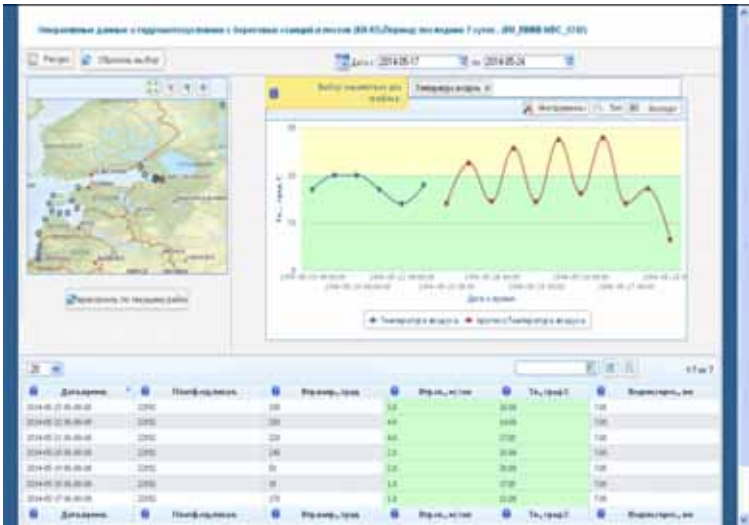


Рис. 1. Пример объединения данных наблюдений и прогностической информации

Меню создания... Данные *... Настройка параметров отображения... Климатическая карта						
Введите параметры поиска:						
Результат	Описание параметра	Температура воздуха	Давление	Скорость ветра	Влажность	Расход воды
Наблюдение						
Прогноз краткосрочный						
Прогноз среднесрочный						
Распределение данных						
Температурные данные						
Климатические данные						
Уровневые данные						

Рис. 2. Индикация на уровне информационных ресурсов

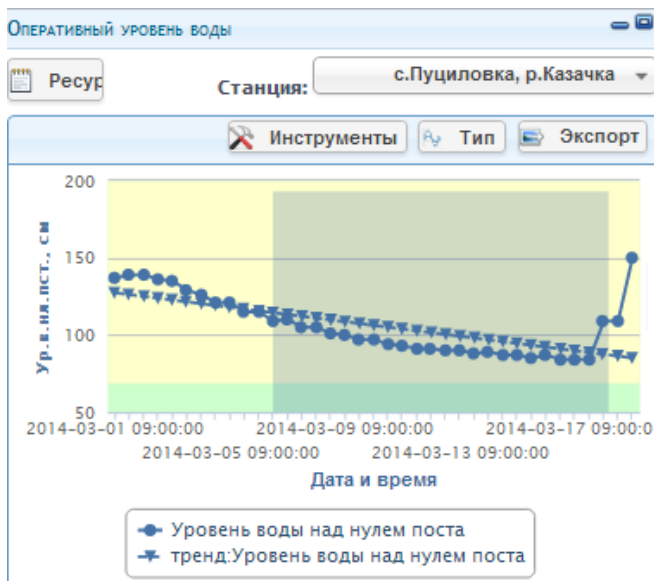


Рис. 3. Индикация значений параметра

Разрабатывается еще один вариант монитора обстановки, который показывает состояние параметров среды в виде приборов (термометр, барометр-анероид, флюгер, водомерная рейка, другие). После настройки монитор автоматически отражает состояние погодных условий в виде светофора на приборе (зеленый, желтый, красный, малиновый) для текущих и прогностических данных.

Развитие информационного обслуживания. На основе ИР и сервисов ЕСИМО можно создавать аналитические панели, стратегические карты показателей, регламентные отчеты (бюллетени, ежемесячники, ежегодники), экспресс-отчеты; использовать данные для метеоагента, системы поддержки принятия решений.

Метеоагент. Лицо, принимающее решение (ЛПР) не по своей инициативе должно заходить на интернет-ресурс, а система сама должна автоматически доводить ему информацию о сложившихся условиях и особенно об опасных природных явлениях. ЛПР должен автоматически информироваться о критических значениях показателей природной среды с помощью программы-агента, работающей на мобильном интернет устройстве ЛПР. При этом ЛПР уделяет внимание обстановке, когда объект находится в опасности.

Поддержка решений. Зная условия среды можно заранее определить перечень возможных воздействий среды на промышленные объекты, зная воздействия, можно заранее определить рекомендации для принятия превентивных мер на различных уровнях управления. Для создания систем поддержки принятия решений необходимо собрать и формализовать информацию о возможных воздействиях и рекомендациях; развить базу данных пороговых значений параметров среды для отдельных объектов экономики и технологических процессов; разработать средства выделения ситуаций по индикаторам состояния для различных объектов экономики; создать модели для оценки воздействий и возможного ущерба, уточнения рекомендаций.



Рис. 4. Схема развития средств информационного обслуживания

Выводы. Разработанные программные средства и накопленный опыт по использованию ЕСИМО для информационного обслуживания пользователей позволяют ускорить доступ к данным системы, расширить формы обслуживания, создать новые виды информационной продукции. Наиболее перспективными средствами информационного обслуживания являются монитор обстановки, метеоагент, системы поддержки принятия решений.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ СОЗДАНИИ ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Гасников О. А.

*ОАО «Государственный научно-исследовательский
навигационно-гидрографический институт»,
Кожевенная линия, 199106, Санкт-Петербург, Тел.: +7(812)322-21-13
Факс: +7(812)322-33-19, E-mail: mail@gningi.ru*

The article discusses the processing of geospatial information. Evaluated the possibility of using topological methods for the development of information technologies and spatial data infrastructure in order to create and uniform information space.

В настоящее время в Российской Федерации большое внимание уделяется вопросам развития информационных технологий и инфраструктуры пространственных данных. Принятие решения о создании единой информационной среды становится сегодня обязательным принципом информатизации любой предметной области. Современные потребности органов государственного управления, военного, транспортного и промыслового флотов, промышленности России выдвигают требования модернизации системы обеспечения потребителей гидрографической и гидрометеорологической информацией на базе геоинформационных и телекоммуникационных технологий. Автоматизация процессов обработки данных и численного моделирования в различных береговых и судовых системах управления требует подготовки этой информации в цифровой форме. Основными проблемами эффективного решения задач обеспечения пространственными данными являются:

- получение и обработка пространственных данных с больших площадей в реальном масштабе времени или близком к нему;
- наличие большого количества типов разнородных пространственных данных различной ведомственной принадлежности;
- обеспечение требуемого уровня доступности пространственных данных каждому конкретному потребителю с учетом разграничения прав доступа.

К сожалению, следует отметить, что значительное внимание здесь уделяется технологическим вопросам, оставляя в стороне методологические аспекты.

Широкое применение при подготовке цифровых моделей среды получили инструменты различных геоинформационных систем (ГИС). Для этих целей используются два типа моделей – TIN и GRID. Используемые методы в перечисленных моделях имеют формальный характер. Известно, что математические способы аппроксимации и интерполяции корректно могут быть применены только к определенному классу функций, что практически не учитывается при обработке геопространственной информации. Это приводит к тому, что свойства выбранных алгоритмов неадекватны свойствам исследуемых геофизических полей. Полностью игнорируется представление о геопространственных полях как единой целостной структуре для всех масштабов морфологических форм.

Методы построения цифровой модели оптимальные в смысле минимизации дисперсии восстановления исходного поля могут быть не оптимальны с точки зрения использования их в приложениях, для которых важны не столько абсолютные значения в различных точках, сколько конфигурация поля и его динамика, которая анализируется на основе особых пространственных объектов (циклон, антициклон, седловина, ложбина, гребень – метеорология, гора, котловина, хребет, лощина, седловина – рельеф и т.д.). При этом само поле описывается гладкими, непрерывными функциями. В любом случае рассматриваются особые точки/объекты некоторого топологического пространства, что объективно предполагает использование для его описания элементов теории алгебраической (комбинаторной) и дифференциальной топологии. Первая может быть использована для связи между непрерывным и дискретным описанием поля, описанием структурных особенностей поля. Вторая для выявления и согласования основных свойств поверхности с учетом ее локальных структурных особенностей.

Для описания гладких поверхностей целесообразно использовать класс функций Морса, который имеет минимальный набор типов критических точек (рис. 1).

Так как функции Морса всюду плотны в пространстве всех гладких функций на гладком многообразии, то любую гладкую функцию сколь угодно малым шевелением можно превратить в неё.

Теория Морса устанавливает основы для описания множества критических точек гладкой функции, заданной на многообразии. Используя теорию Морса, можно определить способ описания формы поверхности,

основанный на эволюции поверхности изолиний уровней, отображающей функцию [1, 2]. Многие структуры, представляющие практический интерес в различных областях деятельности человека, могут быть представлены графами. Концевые вершины графа Кронрода-Риба функции Морса соответствуют локальным экстремумам функции, внутренние – седловым критическим точкам, что позволяет, в конечном счете, восстановить топологию поверхности и оценить эквивалентность различных поверхностей.



а) минимум б) максимум в) седло
Рис. 1. Типы невырожденных точек

Функции Морса в критических точках стационарна. Для выделения ее структурных особенностей необходимо определить векторное поле (градиент). Интегральные линии представляют путь вдоль градиента между критическими точками, т.е. в каждой точке пути касательный вектор параллелен градиенту. Связанные компоненты для всех критических точек называются клетками Морса-Смейла. Набор клеток образуют комплекс Морса – Смейла, остов которых состоит из критических точек и линий сепаратрис. Такой порядок формирования клеток определяет ее достаточно простую геометрию с отсутствием внутри экстремальных значений, что позволяет использовать для аппроксимации гармонические функции.

Граф Кронрода-Риба и клетки Морса-Смейла дополняют друг друга. На рисунке 2 представлено соотношение между критическими точками функции Морса на тестовом примере и соответствующим графом Кронрода-Риба и клетками Морса-Смейла. На рисунке 3 показана динамика изменения вида графа Кронрода-Риба при изменении масштаба от крупного к мелкому [3].

Аппарат и алгебраической и дифференциальной топологии позволяет получить логически обоснованный инструмент для работы с пространственными данными при создании единого информационного пространства.

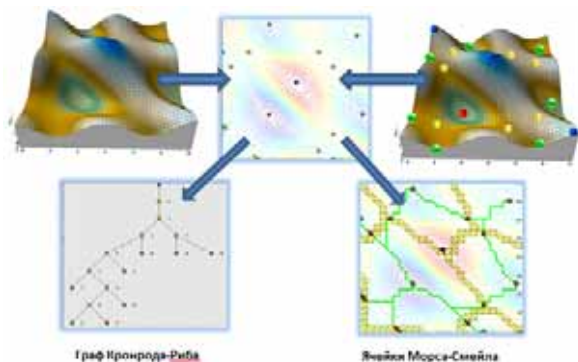


Рис. 2. Соответствие между критическими точками функции Морса, графом Кронрода-Рибба и клетками Морса-Смейла

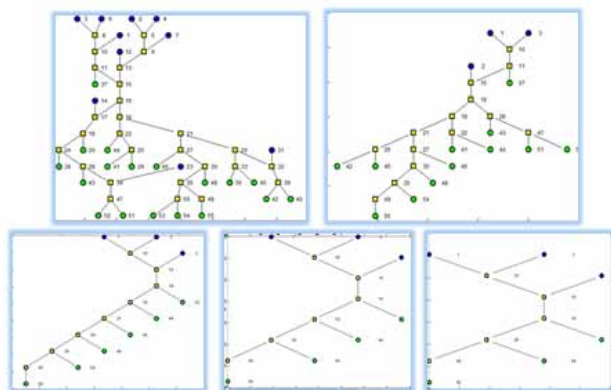


Рис. 3. Динамика изменения графа Кронрода-Рибба

ЛИТЕРАТУРА

1. Геометрия функций Морса на ориентируемых поверхностях [Текст] / Д. П. Лычка, А.О.Пришляк // Збірник праць Ін-ту математики НАН України. – 2006. Т. 3. – № 3. – С. 213–234.
2. Элементарная топология [Текст] / О.Я. Виро, О.А. Иванов, Н.Ю. Нецветаев, В. М. Харламов – М.: МЦНМО, 2008. – 368 с.
3. Формальная модель генерализации естественных геопространственных полей [Текст] / Ю.Н. Жуков // Записки по гидрографии. – 2005. – № 264. – С. 23–29.

ИНФОРМАЦИОННЫЙ РЕСУРС «МАГЕЛЛАНОВЫ ГОРЫ (ТИХИЙ ОКЕАН)»: СТРОЕНИЕ И ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС

Жулёва Е. В.¹, Рашидов В. А.², Метальников А. А.¹, Чесалова Е. И.³

¹ *Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-79-49,
lenageo@rambler.ru*

² *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
бульвар Пийпа, 9, 683006, г. Петропавловск-Камчатский, (4152)297886,
rashidva@kscnet.ru*

³ *Государственный геологический музей им. В.И.Вернадского РАН
ул. Моховая, 11, стр. 2, 103009, г. Москва, (095)292-05-86
rwm@sgm.ru*

The information resource (IR) “Magellan Seamounts (Pacific ocean)” is created. This IR include the base of data, Geographic Information System and web-site situated <http://guyot.ocean.ru/>. Created IR provide investigators with exceptional information about the geomorphology and geology of Magellan seamounts.

Магеллановы горы, располагающиеся в центральной части Восточно-Марианской котловины на участке между 10° с.ш. и 22° с.ш. и 149° в.д. и 160° в.д., являются одним из наиболее интересных районов проявления мелового вулканизма в Тихом океане. Они представляют собой протяженную дугообразную цепь подводных гор, в основном, гайотов, простирающуюся на 1100 км от Марианского желоба к северо-востоку, востоку, а затем к юго-западу в направлении восточного окончания Каролинского вала. К настоящему времени в районе Магеллановых гор выполнен значительный объем геолого-геофизических исследований, пробурены скважины глубоководного бурения, проведено подводное фотопрофилирование [1].

Непрерывное внимание к этому району исследований в значительной мере связано с тем, что на склонах и вершинах гайотов Магеллановых гор были обнаружены скопления железомарганцевых корок и конкреций. Магеллановы горы являются перспективными для добычи марганца, никеля и кобальта.

В перманентно обновляемом информационном ресурсе (ИР) обобщены результаты геоморфологических и геолого-геофизических исследований Магеллановых гор, полученные в рейсах Института вулканологии ДВО РАН, Института океанологии РАН и ГНЦ «Южморгеология», а также литературные данные и материалы из сети Интернет по состоянию на декабрь 2014 г.

ИР по гайотам Магеллановых гор Тихого океана включает в себя базу данных (БД), геоинформационную систему (ГИС) «Магеллановы горы Тихого океана» и web-сайт «Магеллановы горы (Тихий океан)», расположенный по адресу <http://guayot.ocean.ru/>. Организовано взаимодействие ГИС, БД и web-сайта.

На базе высокоточных данных спутниковой альтиметрии с использованием встроенных инструментов Spatial Analyst ArcGIS 10.1, строились высокоточные трехмерные 3D карты рельефа подводных гор (рис. 1).

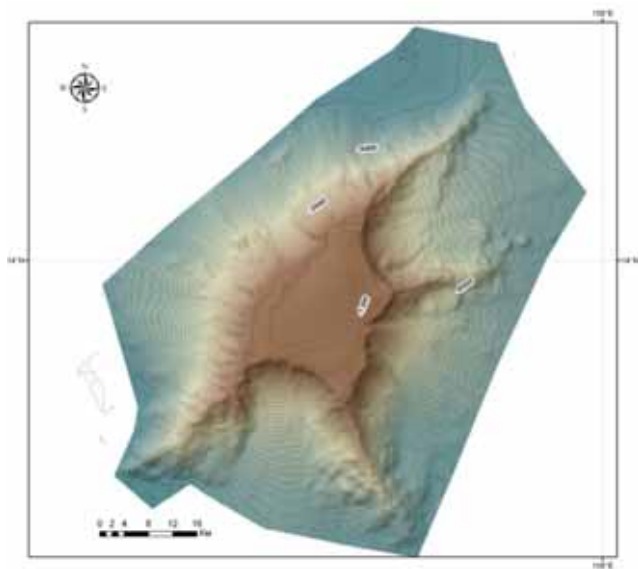


Рис. 1. Трехмерная батиметрическая карта гайота Грамберга

Затем на основе батиметрической карты и ее различных трансформаций (карты градиента, криватуры, особых точек), рассчитывались координаты вершины, глубина основания и вершины, относительная высота постройки, азимут простираения, степень изометричности, нали-

чие террас, степень изрезанности, площадь, объем и т.д. Данные параметры заносились в атрибутивную таблицу шейп-файла.

Сформированная ГИС кроме сбора фактических данных выполняет функции расчета различных морфометрических параметров гайотов для выявления новых морфологических характеристик. Были использованы различные математические инструменты для проведения анализа пространственных признаков: кластерный, регрессионный анализы, инструменты анализа поверхностей, алгебраические инструменты.

Web-сайт включен в разработанный Отделом информационных технологий ИО РАН универсальный web-портал, предназначенный для сбора и хранения океанологической информации. Программной платформой данного портала является конфигурация, включающая сервер Linux/Unix, HTTP-сервер Apache, сервер баз данных MySQL версии не ниже 5.XX, и интегрированный язык программирования PHP версии не ниже 5.3. Дизайн портала задан набором PHP файлов – темплейтом, с использованием технологии каскадных таблиц стилей (CSS).

Web-портал имеет два типа интерфейса – пользовательский служащий для отображения информации, предназначенной для посетителей сайта, и административный интерфейс, который допускает вход по логину и паролю только административному персоналу, и служит для работы с данными и технического обслуживания сайта. Web-портал построен по модульной схеме и допускает установку дополнительных компонент и модулей, что дает возможность внесения изменений в случае необходимости.

Web-сайт включает в себя разделы «Характеристика региона Магеллановы горы», «Что такое гайоты?», «База данных гайотов района Магеллановых гор», «Экспедиции научно-исследовательских судов», «Библиография», «Контакты», а также содержит информацию о проекте и об организациях, сотрудники которых приняли участие в создании ИР.

ГИС «Магеллановы горы Тихого океана» представляет набор различных тематических мелкомасштабных карт на северо-западную часть Тихого океана и крупномасштабных карт на отдельные постройки Магеллановых гор.

На главной странице сайта (рис. 2) размещена интерактивная батиметрическая карта Магеллановых гор, с которой осуществляется переход непосредственно в БД, к описаниям отдельных гайотов, содержащим текстовую и графическую информацию. В ИР включено 27 меловых вулканических построек (гайотов и подводных гор).

Созданный ИР дает многочисленным исследователям уникальную информацию для изучения Магеллановых гор Тихого океана.

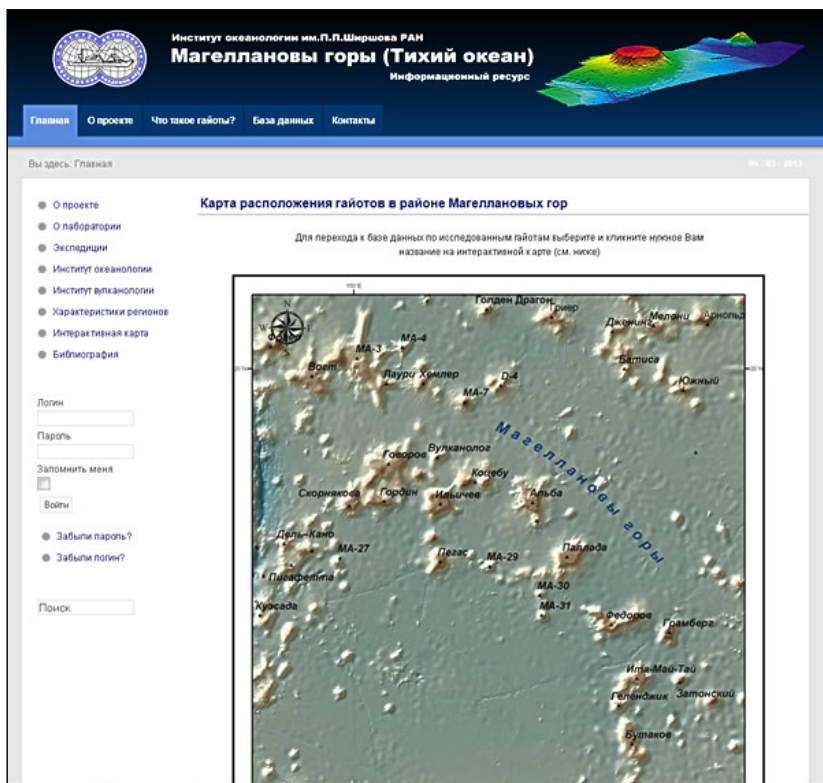


Рис. 2. Главная страница информационного ресурса

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 12-05-00974-а).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Рашидов В. А.** Магеллановы горы (Тихий океан): состояние геологической изученности // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2006. № 2. С. 13–20.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА ГЛОБАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Серых И. В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(916)114-09-69,
iserykh@ocean.ru*

Special software package was created to quantify the variability of the basic climate parameters and the corresponding data analysis. This software package solves the variety of tasks using a long series of global fields and the methods to carry out the necessary calculations require adaptation to this area of research.

Для количественной оценки изменчивости основных климатообразующих параметров и соответствующего их анализа создан пакет программ обработки данных. Он внедрен и используется для практической работы в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН). Создание специального пакета программ обусловлено многообразием решаемых задач с использованием продолжительных рядов глобальных полей и тем, что методы, позволяющие проводить необходимые вычисления, требуют адаптации к данной сфере исследования. При создании программного пакета использован язык программирования С, который является системным языком низкого уровня, то есть он ближе к Ассемблеру, чем высокоуровневые языки. Хотя это несколько усложнило процесс программирования, но позволило оптимально реализовать контроль проводимых вычислений.

В качестве входных данных можно использовать глобальные поля атмосферного давления на уровне моря, приповерхностной температуры, скорости ветра, уровня поверхности океана и других гидрометеорологических характеристик, распределенных в узлах регулярной сетки. Пакет состоит из оригинальных программ, каждая из которых содержит ряд модулей. Некоторые из них являются стандартными и входят в каждую из программ. К ним относятся: считка данных, подготовка временных рядов и полей к анализу, их регуляризация и упорядочивание, контроль качества информации. Специализированные модули уникальны

для каждой из программ, являются сложными, многофункциональными и состоят из группы простых.

Перечислим основные специализированные модули, их назначения и решаемые ими задачи. Оценка изменчивости глобальных климатических полей на некотором временном интервале путем расчета разности соответствующих средних полей: композиционный анализ, фильтрация полей, осреднение, выделение регулярного («климатического») сезонного хода путем вычисления среднемесячных многолетних значений по всему временному интервалу [1]. Расчет геострофического ветра по полю атмосферного давления. Расчет и построение пространственно-временных диаграмм исследуемой характеристики в определенном регионе за заданный период времени [2]. Оценка коэффициентов полинома первой степени, аппроксимирующего скорость изменения исследуемой характеристики в каждой точке исходного дискретного поля, при этом рассчитывается знак и величина коэффициента, выражающего линейный тренд, т.е. среднюю скорость изменения параметра. Авто- и взаимный спектральный анализ рядов, оценка корреляционных функций, когерентности и фазовых соотношений. Расчет поля распределения дисперсии исследуемой характеристики путем интегрирования функции спектральной плотности, рассчитанной в каждой точке дискретного поля в пределах определенных частотных диапазонов.

Пакет зарегистрирован в Реестре программ для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам РФ (свидетельство №2011613323 о государственной регистрации программы для ЭВМ от 28 апреля 2011 г.). Проект постоянно развивается и дополняется новыми модулями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бышев В. И., Нейман В. Г., Романов Ю. А., Серых И. В. Глобальные атмосферные осцилляции в динамике современного климата. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 1. С. 62–71.
2. Бышев В. И., Нейман В. Г., Романов Ю. А., Серых И. В. Эль-Ниньо как следствие глобальной осцилляции в динамике климатической системы Земли. Доклады Академии наук (ДАН). 2012. Т. 446. № 1. С. 89–94.

НОВЫЕ СПОСОБ И ПРОГРАММА ПОСТ-ОБРАБОТКИ ЭХОСИГНАЛОВ ОТ СКОПЛЕНИЙ МОРСКИХ ОРГАНИЗМОВ КАК ЭЛЕМЕНТЫ МОРСКОЙ ЭКОСИСТЕМНОЙ АКУСТИКИ

Ермольчев В. А.¹, Убарчук И. А.²

¹ *Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича (ПИНРО), ул. Книповича, 6, 183763, г. Мурманск, 8(8152) 47-35-82, eva@pinro.ru*

² *Тихоокеанский научно-исследовательский рыбохозяйственный центр (ТИНРО-Центр), пер. Шевченко, 4, 690950, г. Владивосток, 8(423) 2 40-13-56, igor.ubarchuk@tinro-center.ru*

The report presents the results of current research by the N.M. Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (PINRO) and the Pacific Fisheries Research Center (TINRO-Center), aimed at improving the accuracy of marine fish stock assessment by the hydroacoustic (HA) method.

В докладе представлена часть современных исследований Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича (ПИНРО) и Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра (ТИНРО-Центр), направленная на повышение точности определения запасов морских рыб гидроакустическим (ГА) методом.

Впервые эхограммы скоплений рыб были получены норвежцами у Лофотенских островов в 1935 г. и послужили стимулом для развития промысловой гидроакустики. В 60-е годы XX-го века был разработан и применен ГА-метод количественной оценки скоплений рыб [1, 2]. Хронология развития ГА-метода в последние 50 лет подробно представлена в работе [3]. Если первые ГА-съемки запасов рыб выполнялись одностотными однолучевыми эхолотами с подключаемыми к ним аналоговыми эхо-интеграторами, то в 1990-е годы стали использоваться многочастотные научные эхолоты с антеннами с расщепленным лучом и многоканальным цифровым эхо-интегрированием, а с началом XXI-го века стали широко применяться программы сбора и постобработки ГА-данных.

Оценка рыбных запасов ГА-методом на основе эхо-интегрирования требует правильной идентификации эхограмм, знаний акустической

силы цели TS и ее зависимостей от длины L рыб для каждого вида. Однако идентификация в настоящее время, как и 50 лет назад, производится методом траловых проб, которые обладают селективностью, выполняются с большой дискретностью, небольшой протяженностью и небольшим охватом скоплений по вертикали и горизонтали. Поэтому траловые пробы не обеспечивают информацией о видах и размерах рыб в пространственных и временных масштабах, охватываемых акустикой. В этой связи за рубежом разрабатываются ГА-технологии на основе использования многолучевых эхолотов и гидролокаторов и широкополосных эхолотов с расщепленным лучом, предложено создание морской экосистемной акустики-МЭА [3]. Концепция МЭА объединит самые современные акустические технологии, оперативные возможности и элементы моделирования, интегрированные в гибкий инструмент экосистемных исследований и мониторинга. Поток данных, производимый МЭА, обеспечит репрезентативное представление о популяционных характеристиках (идентификация, размер, количество, биомасса, поведение) основных компонентов морских экосистем.

В ПИНРО и ТИНРО-Центре многовидовые тралово-акустические съемки (МВТАС) для оценки запасов рыб проводятся при помощи норвежских научных эхолотов Simrad EK60 на частотах 38 и 120 кГц с подкильной антенной с расщепленным лучом; размерно-видовая идентификация эхограмм осуществляется методом траловых проб. Разработан ГА-способ определения размерных составов рыб в естественных скоплениях [4]. В последние годы ГА-способ усовершенствован, создана новая программа пост-обработки SALTSE (Area Scattering Coefficient, Length and Target Strength Estimation) с реализованным в ней усовершенствованным ГА-способом, который основан на формировании гистограмм распределения длины L рыб в стандартных L -интервалах в линейном масштабе (в см) путем рассортировки измеряемых эхолотом сил цели TS (в дБ) по TS -интервалам, соответствующим стандартным L -интервалам, одновременно для всех видов рыб в скоплении в соответствии с TS - L зависимостями для каждого вида. Программа SALTSE обрабатывает собираемые эхолотом Simrad EK60 эхограммы скоплений морских организмов (RAW-файлы), определяет коэффициенты рассеяния s_A звука скоплениями рыб и других организмов в выбранных слоях по глубине, определяет одиночные цели, отображает их на эхограмме и выводит гистограмму распределения силы цели TS (TS -распределение) в выбранном слое в стандартных TS -интервалах (в дБ) и гистограммы распределения длины L рыб (L -распределения) в стандартных L -интервалах (в см), пересчитанные из TS -распределения одновременно

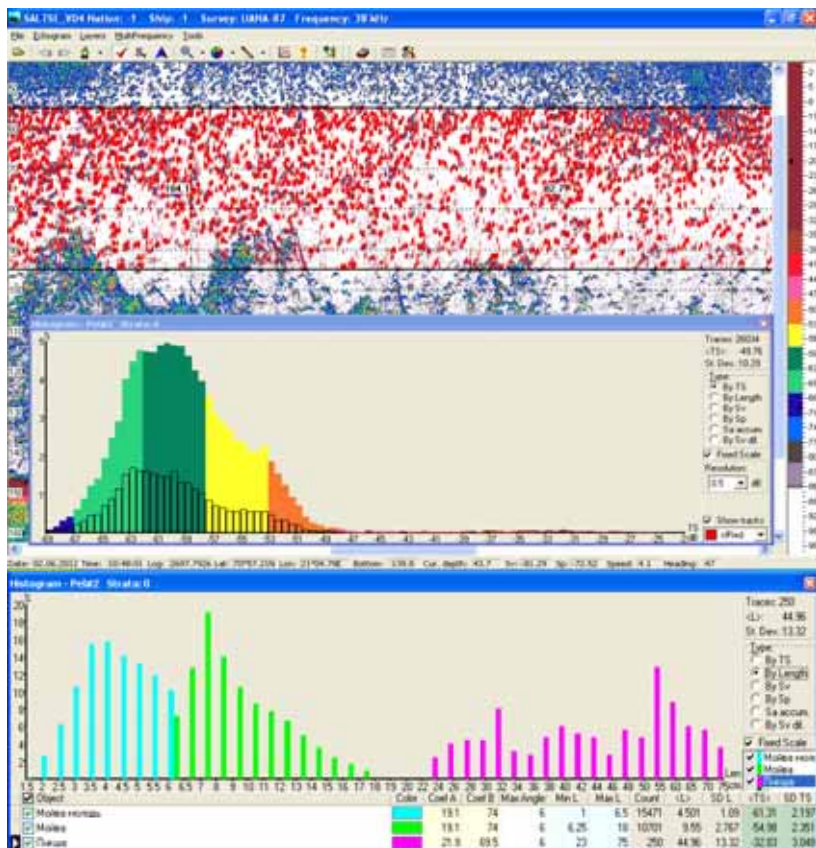
для нескольких видов рыб в соответствии с TS - L зависимостями для каждого вида и ограничениями по их длине. На основе применения ГА-способа определения размерных составов рыб в скоплениях и программы пост-обработки SALTSE разработана методика и определены силы цели TS и TS - L зависимости для основных видов промысловых рыб в Северных морях [5].

На рис. 1 представлен пример обработки RAW-файла эхолота Simrad EK60 и определения программой SALTSE коэффициентов рассеяния s_A , TS -распределений, \overline{TS} одиночных рыб, L -распределений, \overline{L} рыб и TS - L зависимостей рыб в многовидовом скоплении в Баренцевом море.

Есть основания надеяться, что разработанные и применяемые в ПИНРО и ТИНРО-Центре ГА-способ определения размерных составов рыб в многовидовых скоплениях и программа пост-обработки SALTSE станут одними из элементов морской экосистемной акустики – МЭА.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Truskanov, M. D., Scherbino, M. N.** Method of direct calculation of fish concentration by means of hydroacoustic apparatus // Paper presented to the Seminar on Fishery Biology and Oceanography, Moscow, August-September 1964. 23 p.
2. **Dragesund, O. and Olsen, S.** On the possibility of estimating year class strength by measuring echo abundance of 0-group fish // FiskDir. Skr. (Havunders.), 13(8), 1965. P. 48–75.
3. **Godo, O. R., Handegard, N. O., Browman, H. I., Macaulay, G. J., Kaartvedt, S., Giske, J., Ona, E., Huse, G., and Johnsen, E.** Marine ecosystem acoustics (MEA): quantifying processes in the sea at the spatio-tempo-ral scales on which they occur // ICES J. Mar. Sci., 2014, 71. P. 2357–2369.
4. **Ермольчев В. А.** Гидроакустический способ определения размерного состава рыб в скоплениях в естественной среде обитания: пат. 2271552, Российская Федерация. 2005, Бюл. № 7. 5 с.
5. **Ермольчев В. А.** Определение гидроакустической отражательной способности основных промысловых видов рыб *in situ* в морях Северовосточной Атлантики и Арктики: методика и результаты // Доклады XIV школы-семинара им. акад. Л.М. Брежневских “Акустика Океана”, совмещенной с XXVI сессией Российского Акустического Общества. М.: ГЕОС, 2013. С. 113–116.



(НИС «Фридьоф Нансен», Баренцево море, Трал 31, 06.2012; улов: мойва-молодь, $N = 2500$ экз, $L = 2-6$ см, $\bar{L} = 4,1$ см; мойва, $N = 1256$ экз, $L = 7-17$ см, $\bar{L} = 11,0$ см; пикша, $N = 42$ экз, $L = 25-68$ см, $\bar{L} = 49,4$ см)

Рис. 1. Виды и размеры рыб в улове и результаты обработки RAW-файла эхолота Simrad EK60 программой SALTSE и определения коэффициентов рассеяния s_A , TS-распределений, \overline{TS} одиночных рыб, L - распределений и \bar{L} рыб трех видов в трех-видовом скоплении

БОЛИВАР — ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ОЦЕНКИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Лопатухин Л. И.^{1,2}, Бухановский А. В.¹

¹*Санкт-Петербургский Государственный университет. Кафедра
Океанологии. 10 линия 33. 199178 Санкт-Петербург 8(812) 3289709.
leonid-lop@yandex.ru*

²*Санкт-Петербургский Государственный университет
информационных технологий, механики и оптики. Биржевая линия 4.
199034. Санкт-Петербург. 8(812)3376494 avb_mail@mail.ru*

Metoccean extreme events are caused by the combination of multivariate and multiscale processes (short-term, synoptic, annual, interannual). BOLIVAR problem solving environment (PSE) is the multi-functional computational software for the researches and engineers who explore the extreme environmental conditions to design and build offshore structures and floating objects.

Освоение и использование пространства Мирового океана требует информации о внешних нагрузках на морские объекты и сооружения. Нагрузки обусловлены совместным действием ветра, волнения и морских течений (в некоторых случаях льда) при определенном уровне моря. Их характеристики подразделяются на оперативные (определяющие режимы эксплуатации объектов и сооружений) и экстремальные (характеризующие режим выживания). В отличие от оперативных статистик, традиционно получаемых посредством статистического анализа исторических массивов гидрометеорологической информации, экстремальные оценки обычно не обеспечены данными наблюдений и, как следствие, определяются с использованием инструментария математического моделирования.

В практике проектирования морских сооружений в качестве экстремальных обычно рассматриваются расчетные характеристики гидрометеорологических явлений, возможных один раз в n лет. Для судов и объектов океанотехники традиционно $n = 50\text{--}100$ лет, а для некоторых гидротехнических сооружений (как, например, защитные сооружения Санкт-Петербурга от наводнений) могут рассматриваться периоды по-

вторяемости до 10 тысяч лет. Современная концепция получения информации об экстремальных гидрометеорологических явлениях [1, 2] основана на синтетическом подходе, состоящем в моделировании ансамбля реализаций пространственно-временных полей основных характеристик (ветрового волнения, скорости ветра и морских течений, уровня моря) за длительный временной интервал (30 и более лет) с дискретностью 0.5–3 часа. На основании этих данных строятся стохастические модели многомасштабной изменчивости, по которым с использованием метода Монте-Карло (порядка миллиона испытаний) предсказываются значения экстремальных сочетаний гидрометеорологических характеристик, возможных один раз в n лет.

В настоящее время существует несколько кардинально различных подходов к расчету гидрометеорологических характеристик, возможных 1 раз в n лет. Наиболее известными их реализациями являются методы IDM (Initial Distribution Method, Метод исходного распределения), AMS (Annual Maxima Series, Метод годовых максимумов) и POT (Peak Over Threshold, Метод выходов за уровень), которые основаны на интерпретации экстремального значения как квантили распределения, крайнего члена выборки и выброса случайного процесса за уровень. Различия в подходах обусловлены не только спецификой применяемого математического аппарата, но и особенностями информационной базы, на основании которой выполняются расчеты. Так, метод IDM весьма непривлекателен к качеству данных и может использоваться на достаточно больших разрозненных выборках (например, попутные судовые наблюдения за ветром и волнением). Метод AMS требует наличия регулярных наблюдений в фиксированной точке в течение ряда лет, однако используются только характеристики самого сильного шторма в каждом году. Метод POT использует только информацию о характеристиках процессов в выбранных (на уровне построения вероятностной модели) штормах, что увеличивает объемы выборок по сравнению с методом AMS, однако приводит к неопределенности в оценках не только экстремумов, но и периода повторяемости [2].

Применение комплекса стохастических моделей лежит в основе авторского метода оценивания экстремальных явлений BOLIVAR, одобренного для применения Всемирной метеорологической организацией в 2000 г. [3]. Метод BOLIVAR (в некоторых транскрипциях и публикациях известный также как БОЛИВАР, БУЛЬВАР [2, 4–9]), как и POT, интерпретирует экстремальные явления в терминах выходов за уровень, однако использует для описания их совместной изменчивости формализм квантильной функции годовых максимумов, что позволяет сохра-

нить теоретическую обоснованность методов группы AMS. Гидрометеорологические экстремумы – проявляются как результат сочетания многомерных и разномасштабных процессов. Под разномасштабностью понимается мелкомасштабная, синоптическая, сезонная и межгодовая изменчивости природных процессов. Учет разномасштабной изменчивости возможен при использовании стохастических моделей разных классов. Для воспроизведения океанографических полей в мелкомасштабном диапазоне изменчивости (секунды – часы) применена модель динамической системы с учетом управляющих факторов. Для воспроизведения синоптической изменчивости (перемежаемости штормов и окон погоды) использовано импульсное представление пространственно-временного поля. Для описания экстремальных явлений допустимо аппроксимировать *шторм* треугольным импульсом. Описание сезонной и межгодовой изменчивости требует применения класса моделей на основе ортогональных разложений по каноническому базису (естественные ортогональные функции).

В рамках метода BOLIVAR последовательность значений гидрометеорологического процесса в фиксированной точке (x, y) рассматривается как набор выборок, состоящих из максимумов h_{ij}^+ в n самых сильных штормах в i -м году в течение T лет. На основе предложенной концепции спроектирован и реализован высокопроизводительный программный комплекс. Результаты расчётов представлены в справочниках нового поколения по режиму ветра и волнения на морях, опубликованных Российским морским регистром судоходства [4–9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирзоев Д. А., Зильберштейн О. И., Лопатухин Л. И., Мионов Е. У., Михайлов Н. Н. Концепция обеспечения специализированной гидрометеорологической информацией проектирования сооружений на шельфе арктических морей. Труды Четвертой Международной конференции “Освоение шельфа арктических морей”. RAO 99. Санкт-Петербург. 1999. Часть 1. С. 311–318.

2. Лопатухин Л. И. Ветровое волнение. «Учебное пособие». 2-е дополненное издание. Изд. Санкт Петербургского Государственного университета. Санкт-Петербург, 2012. 165 с.

3. Lopatoukhin L. J., Rozhkov V. A., Ryabinin V. E., Swail V. R., Boukhanovsky A. V., Degtyarev A. B. Estimation of extreme wind wave heights.// World Meteorological Organisation (WMO). WMO/TD-No. 1041, 2000, JCOMM Technical Report, 71 p.

4. Бухановский А. В., Лопатухин Л. И., Чернышева Е. С. Новое поколение справочников по режиму волнения морей. // Научно-технический сборник Российского морского Регистра судоходства. Вып. 34. 2011. С. 50–65.

5. Лопатухин Л. И., Бухановский А. В., Дегтярев А. Б., Рожков В. А. Справочные данные по режиму ветра и волнения Баренцева, Охотского и Каспийского морей. // Российский Морской Регистр Судоходства. 2003. 213 с.

6. Лопатухин Л. И., Бухановский А. В., Иванов С. В., Чернышева Е. С. Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Черного, Азовского и Средиземного морей. // Российский Морской Регистр Судоходства. 2006. 450 с.

7. Лопатухин Л. И., Бухановский А. В., Чернышева Е. С. Справочные данные по режиму ветра и волнения Японского и Карского морей. // Российский Морской Регистр Судоходства. 2009. 356 с.

8. Лопатухин Л. И., Бухановский А. В., Чернышева Е. С. Справочные данные по режиму ветра и волнения Берингова и Белого морей. // Российский Морской Регистр Судоходства, 2010. 565 с.

9. Лопатухин Л. И., Бухановский А. В., Чернышева Е. С. Справочные данные по режиму ветра и волнения шельфа Баренцева и Карского морей // Российский Морской Регистр Судоходства, 2013. 334 с.

УДК 551.043

ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ЧЁРНОГО МОРЯ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С АССИМИЛЯЦИЕЙ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Дорофеев В. Л., Коротаев Г. К., Сухих Л. И., Ратнер Ю. Б.

*Морской гидрофизический институт НАНУ,
Капитанская ул., 2, 299011, г. Севастополь, +7 978 7411138,
dorofeyev_viktor@mail.ru*

This paper presents some results of the Black Sea ecosystem modeling. The model used is three dimensional bio-geochemical one. The study covers time period from 1998 until 2012. Important part of the modeling is assimilation of the satellite chlorophyll-a measurements. The results were validated using in-situ data.

В докладе представлены результаты моделирования поведения экосистемы Чёрного моря за период с 1998 по 2012 годы. Для исследования используется междисциплинарная трёхмерная физико-биогеохимическая модель экосистемы Чёрного моря, разработанная в МГИ НАНУ [1–3]. Она состоит из двух основных блоков: физического, представляющего собой модель циркуляции, и биогеохимического, описывающего взаимодействия между компонентами экосистемы.

В качестве модели циркуляции Чёрного моря использовалась модель, разработанная в МГИ [4]. Модель была переведена на сетку с шагом 4,8 км, что позволило описывать помимо крупномасштабной циркуляции также синоптические процессы [5]. В данном исследовании связь модели циркуляции с биогеохимической моделью осуществлялась в режиме *off-line*, то есть сначала рассчитывались необходимые гидрофизические поля, затем они использовались для моделирования эволюции параметров морской экосистемы. При расчёте циркуляции Чёрного моря осуществлялась ассимиляция спутниковых данных температуры морской поверхности и альтиметрические измерения.

Модель экосистемы Чёрного моря включает 15 переменных состояния и описывает процессы в верхнем 200-метровом слое моря. Горизонтальная сетка и расчётные горизонты соответствуют модели циркуляции. Биологическую часть представляют две группы фитопланктона (диатомовые и флагеллаты), две размерные группы зоопланктона: микрозоопланктон и мезозоопланктон, медуза *Aurelia aurita* и гребневик *Mnemiopsis leidyi*. В пищевую цепь входят, кроме того, нефотосинтезирующий бактериопланктон, растворенная и взвешенная органика, а также всеядная динофлагеллата *Noctiluca scintillans*. Азот рассматривается как единственный биогенный элемент, лимитирующий рост фитопланктона. Азотный цикл включает три неорганических соединения: аммоний, нитраты и нитриты. В качестве отдельных переменных состояния в модель также входят растворенные кислород и сероводород. Эволюция во времени компонентов экосистемы описывается уравнениями переноса – диффузии, включающими в правую часть слагаемые типа источников – стоков:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial(uF)}{\partial x} + \frac{\partial(vF)}{\partial y} + \frac{\partial((w + w_s)F)}{\partial z} = K_h \nabla^2 F + \frac{\partial}{\partial z}(K_v \frac{\partial F}{\partial z}) + \mathfrak{R}(F),$$

где $\mathfrak{R}(F)$ описывает биогеохимические взаимодействия между переменными состояния F , w_s – скорость седиментации диатомовых водорослей и взвешенной органики (для остальных она равна нулю), (u, v, w) – компоненты скорости течений, K_h, K_v – коэффициенты горизонтальной и вертикальной турбулентной диффузии соответственно.

В качестве граничных условий на поверхности моря задаются нулевые потоки всех переменных состояния, кроме кислорода. На нижней границе, в той её части, где она жидкая (горизонт 200 м), ставятся нулевые условия для всех компонентов экосистемы, кроме аммония и сероводорода. В мелководной части моря на дне принимаются условия отсутствия потоков для всех компонентов экосистемы, кроме взвешенной органики и диатомовых водорослей, оседающих на дно. Такие же условия отсутствия потоков ставятся на боковых границах, за исключением устьев крупных рек, где задаются потоки питательных веществ, пропорциональные их концентрации и интенсивности речного стока. Эти данные являются синтезом измерений и результатов моделирования [6].

Важной чертой рассматриваемой работы является использование спутниковых измерений цветковых сканеров. На основе продуктов *SeaWiFS*, *MODIS* и *MERIS* по разработанному для Чёрного моря алгоритму были подготовлены двухнедельные поля поверхностных концентраций хлорофилла-а [7, 8]. Эти массивы данных ассимилировались в модели экосистемы.

Расчёт проводился на 15 лет (с 1998 по 2012 год). В результате, были получены трёхмерные массивы полей компонентов экосистемы на регулярной сетке, описывающие её эволюцию за указанный срок.

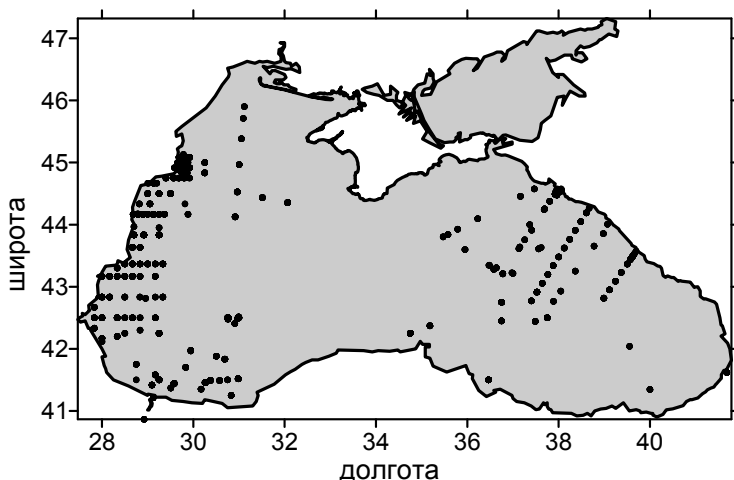


Рис. 1. Расположение по акватории Чёрного моря станций с измерениями нитратов, использовавшимися для валидации результатов моделирования

Оценка качества полученных результатов проводилась с использованием *in-situ* измерений хлорофилла, нитратов и растворённого кислорода. Для этого использовалась база данных, подготовленная в рамках проекта *NATO Sfp-971818 ODBMS Black Sea Project*. Пример распределения станций с измерениями нитратов по акватории Чёрного моря с 1998 года приведён на рис. 1.

Данная работа выполнена при частичной поддержке проекта *MyOcean2 (grant agreement 283367) EC FP7*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Огуз, Т. Моделирование экосистемы Черного моря / Т. Огуз, В. Л. Дорофеев, Г.К. Коротаев // Морской гидрофизический журнал. – 2007. – №1. – С. 59 – 72.

2. Дорофеев, В. Л. Моделирование декадной изменчивости экосистемы Черного моря // Морской гидрофизический журнал. – 2009. – №6. – С. 49 – 61.

3. Дорофеев, В. Л. Исследование долговременной изменчивости полей Черного моря с использованием междисциплинарной физико-биогеохимической модели / В. Л. Дорофеев, Г.К. Коротаев, Л.И. Сухих // Известия РАН. ФАО. – 2013. – т. 49. – №6. – С. 1 – 11.

4. Демьшев, С. Г. Численная энергосбалансированная модель бароклинных течений океана с неровным дном на сетке C / C . Г. Демьшев, Г. К. Коротаев // Численные модели и результаты калибровочных расчетов течений в Атлантическом океане. – 1992. – М. – С. 163 – 231.

5. Дорофеев, В. Л. Валидация результатов моделирования циркуляции Черного моря на основе данных всплывающих буев / В. Л. Дорофеев, Г. К. Коротаев // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2004. – вып. 11. – С. 63 – 74.

6. Ludwig, W. Water and nutrient fluxes from major Mediterranean and Black Sea rivers: Past and future trends and their implications for the basin scale budgets // *Global Biogeochemical Cycles*. – 2010. – V. 24. – P. 1–14.

7. Суслин, В. В. Региональный алгоритм расчета концентрации хлорофилла a в Черном море по спутниковым данным SeaWiFS / В. В. Суслин, Т.Я. Чурилова, Х.М. Сосик // Морской экологический журнал. – 2008. – №2. – С. 24–42.

8. Суслин, В. В. Региональный алгоритм восстановления концентрации хлорофилла «а» и коэффициента поглощения света неживым органическим веществом на длине волны 490 нм в Черном море для спектральных каналов цветковых сканеров MODIS и MERIS / В. В. Суслин,

Т. Я. Чурилова, А. Джулай, С. Мончева, В. Слабакова, О. Кривенко, Т. Ефимова, П. Салюк // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2014. – Вып. 28. – С. 303–319.

УДК 551.46.06; 551.465

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЛНЕНИЯ И ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ НА ОСНОВЕ ГРАФИЧЕСКОГО ПАКЕТА GMT

Лемешко Е. М., Фомин В. В., Лемешко Е. Е., Лазоренко Д. И.

*Морской гидрофизический институт НАН Украины, г. Севастополь
evgeny.lem@gmail.com*

It was shown the capabilities of visualization of hydrophysical fields based on the package Generic Mapping Tools and FigureGen program for the example of wind waves and sea level fields produced by ADCIRC+SWAN models calculations for the Azov-Black Sea basin.

Цель данной работы – визуализации гидрофизических полей на основе пакета Generic Mapping Tools (GMT) и программы FigureGen (FG) для численных экспериментов по моделям ADCIRC+SWAN [1], адаптированных для многопроцессорных компьютерных систем типа вычислительных кластеров под управлением ОС Unix.

Предлагаемая система интеграции моделей (ADCIRC и SWAN), модулей визуализации (GMT, FG) является современной информационной технологией для исследования и визуализации ветрового волнения и штормовых нагонов в прибрежной зоне моря и других задач оперативной океанографии [1].

В результате расчетов модели ADCIRC и SWAN формируется большое количество выходных файлов полей на неструктурированной сетке, например, следующие поля: 3D поля плотности, температуры, солёности; 3D поля скорости течений; поля уровня моря; поля скорости ветра; поля атмосферного давления.

Возникает необходимость визуализации этих полей в виде карт, разрезов, анимации, а также временных рядов в заданных точках. GMT был

специально разработан для использования в режиме командной строки в среде ОС Unix и представляет собой пакет утилит, которые позволяют манипулировать x , y и x , y , z наборами (фильтрация, trend fitting, gridding, нанесение координатной сетки в различных проекциях и т. п.) данных и создавать различные карты. В результате могут быть построены карты и графики – простые x - y двумерные карты, контурные карты, различные графические поверхности и проекции перспективы 3D в черно-белом или полном цветном представлении, при этом могут быть использованы как линейные, так и логарифмические координаты.

FigureGen – программа на языке Фортран для переформатирования результатов расчетов по модели ADCIRC+SWAN в формат данных, необходимый для работы программ GMT. Она считывает входные файлы модели (fort.14, fort.15) и выходные файлы (fort.63, fort.64 и т. п.). Используя FigureGen, можно для входных и выходных файлов ADCIRC сгенерировать команды для утилит GMT по разрисовке контурных линий, векторов и построению изображений для заданного периода времени. FigureGen использует обращения к операционной системе (системные вызовы), чтобы указать программному обеспечению GMT, какие сгенерировать изображения.

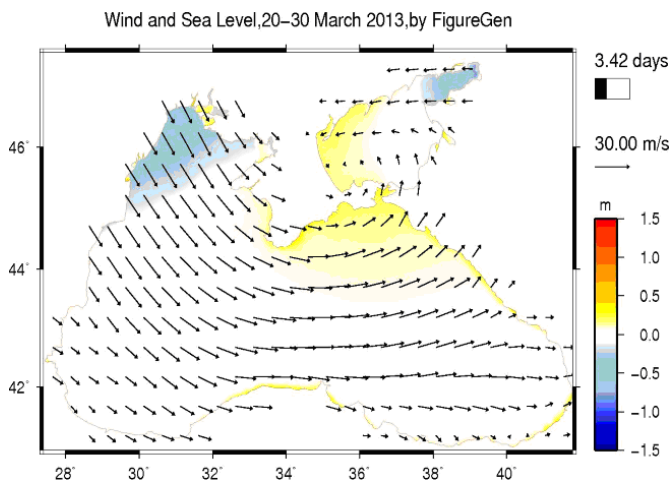


Рис. 1. Поле ветра и уровня моря 23 марта 2013 г. 10:00 UTC.
Штормовой нагон в юго-западной части Азовского моря и сгон в
Таганрогском заливе

Описанные выше программные средства были применены для визуализации расчетов волнения и штормовых нагонов в Азово-Черноморском бассейне (рис. 1). Расчеты волнения были проведены для различных ветровых ситуаций на неструктурированной сетке. Результаты расчетов показали, что штормовые нагоны в Таганрогском заливе развиваются при устойчивом западном ветре 10–15 м/с.

При устойчивом восточном ветре до 20 м/с в Таганрогском заливе наблюдается понижение уровня до минус 1 метр, штормовые нагоны в юго-западной части Азовского моря и в прикерченском районе Черного моря (рис. 1).

Таким образом, в работе продемонстрированы возможности программного комплекса FG+GMT для визуализации модельных расчетов, что позволяет сделать вывод о высокой эффективности пакета GMT. Этот пакет может также быть использован для визуализации океанографических измерений, например, данных дрейфующих буев SVP или всплывающих буев ARGO, а также картирования спутниковой информации (ТПМ, альтиметрия, данные скаттерометров и т.п.).

Авторы благодарят РФФИ за поддержку, исследование выполнено при финансовой поддержке гранта «а» № 15-05-06382 РФФИ «Экстремальные штормовые нагоны и затопления дельт рек в Азовском море: численное моделирование и анализ натуральных данных».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Dietrich J.C., et al.** Real-Time Forecasting and Visualization of Hurricane Waves and Storm Surge Using SWAN+ADCIRC and FigureGen //C. Dawson and M. Gerritsen (eds.), Computational Challenges in the Geosciences, The IMA Volumes in Mathematics and its Applications 156. – Springer Science+Business Media New York. – 2013. – P.49–70.

УДК 551.462

МНОГОФАКТОРНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ РАСЧЕТА ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК С ПОМОЩЬЮ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Заец А. Ю.

*Севастопольский национальный технический университет,
ул. Университетская, 33, 299053, г. Севастополь, 8(0692)544232,
au.lopatnyova@mail.ru*

Paper present a method to improve the quality of the forecast ice thickness, as well as the accuracy of ice loads calculation on ocean technical structures by introducing a training set of additional parameters – external environmental factors that influence the formation of the ice cover.

В докладе представлен метод повышения качества прогноза толщины льда, а также точности расчета ледовых нагрузок, с помощью введения в обучающую выборку дополнительных параметров – внешних факторов окружающей среды, влияющих на формирование ледового покрытия.

По аналогии с концепцией решения задачи прогнозирования толщины льда, на базе использования нейронной сети, предложенной в работе [1], прежде всего, необходимо определиться с оптимальной архитектурой сети. Как правило, в задачах прогнозирования временных рядов используются многослойные, чаще всего трехслойные, нейронные сети прямого распространения [2].

Предлагаемый подход может быть представлен в виде структурной схемы, изображенный на рис. 1.



Результаты численного эксперимента показывают, что предложенный многофакторный подход позволяет получить прогноз толщины льда в заданном регионе с относительной погрешностью, не превосходящей 1,5%. Таким образом, многофакторный подход позволяет повысить точность прогноза, однако требует больших вычислительных мощностей и требует больше времени, которое затрачивается на обучение сети.

Рис. 1. Этапы построения нейронной сети

ЛИТЕРАТУРА

1. **Заец А.Ю.** Гарантоспособность океанотехнических систем при воздействии внешних ледовых нагрузок / А.Ю. Заец, В.А. Крамарь // Радиоэлектронные и компьютерные системы. Научно-технический журнал. Харьков: Изд-во ХАИ, 2014. № 6(70) – С. 7–11.

2. **Круглов В.В., Борисов В.В.** Искусственные нейронные сети. Теория и практика. М.: Горячая линия-Телеком, 2002. – 382 с.

МНОГОКАНАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПОДВОДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Ченский Д. А., Григорьев К. А.

*Иркутский государственный технический университет,
ул. Лермонтова 83, 664074 г. Иркутск 89086425656,
E-mail: skb@istu.edu*

The complex is created on the basis of Compact RIO in Irkutsk State Polytechnical University can accomplish various tasks associated with the study of hydrochemical and hydrophysical properties of water, structure of bottom sediment (chirp sub-bottom profiler), measurements of magnet field (proton magnetometer), and characteristics of various sonar systems.

Развитие элементной базы современной радиоэлектроники привело к созданию нового поколения измерительной техники. Вследствие этого меняется и методология экспедиционных подводных исследований, технология проведения наблюдений. Одним из перспективных направлений повышения эффективности экспедиционных работ является применение многоканальных универсальных информационно – измерительных комплексов.

Принципиально новый подход к созданию систем управления и сбора данных реализован в серии устройств Compact RIO National Instruments. Compact RIO – это высокопроизводительная, суперкомпактная платформа, основанная на технологии RIO (reconfigurable I/O technology) и графического программирования LabVIEW. Технология RIO позволяет разработчику синтезировать собственную структуру контроллера или системы сбора данных для решения конкретной задачи, используя перепрограммируемую логику FPGA (field – programmable gate array). [1] Преимущества данной технологии заключается в возможности создания конфигурации системы сбора и обработки данных под конкретные эксперименты и при необходимости её быстрого изменения в основном за счет изменения программного кода.

В докладе представлен созданный в НИУ ИрГТУ комплекс на базе Compact RIO может выполнять различные задачи связанные с изучением гидрохимических и гидрофизических свойств воды, структуры дон-

ных осадков (ЛЧМ профилометр), измерений магнитных полей (протонный магнитометр), и характеристик гидроакустических систем.

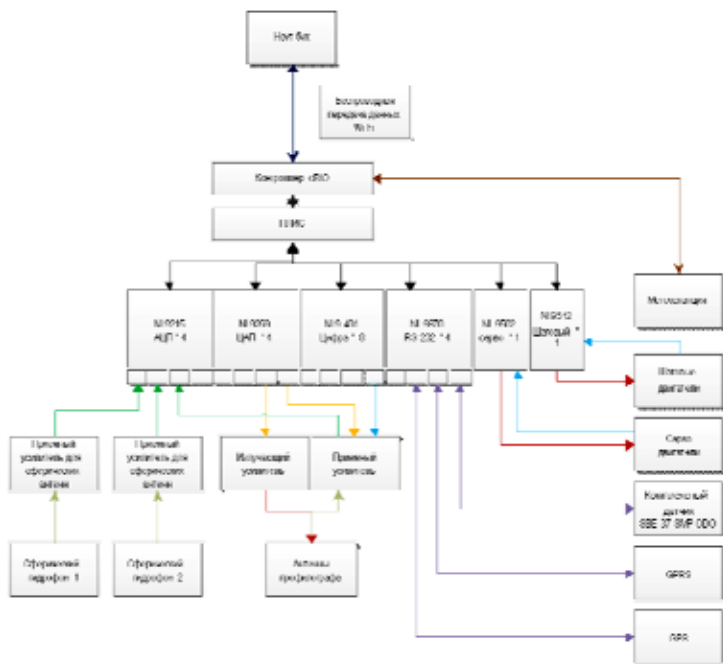


Рис. 1. Структурная схема измерительного комплекса

Платформа cRIO управляет работой всех устройств и датчиков, через различные модули: модуль NI9215 имеет 4 канальное АЦП с одно-временной оцифровкой до 100 кГц, модуль NI9269 имеет 4 канальный ЦАП с частотой до 100 кГц и уровнем напряжения до ± 10 В, цифровой модуль ввода вывода NI 9401 имеет 8 каналов с быстродействием 100 нсек, модуль расширения RS 232 на 4 канала, модуль управления серво двигателем NI 9502, модуль управления шаговым двигателем NI9512. Данные с периферийных устройств и датчиков приходят на ПЛИС, где проходят первичную обработку и отправляются на контроллер. На контроллере cRIO всем данным присваивается метка времени и координата положения с GPS. Портативный компьютер получает данные с cRIO по беспроводной сети Wi Fi. Все алгоритмы выполняются в режиме реального времени.

На всех этапах создания комплекса используется программирование на графическом языке LabVIEW, что заметно ускоряет разработку приборов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Баран Е.Д.**. LabVIEW FPGA. Реконфигурируемые измерительные и управляющие системы / Баран Е.Д. – М.: ДМК Пресс, 2009.
2. Технология реконфигурирования FPGA в контроллерах Compact RIO / <http://www.picad.com.ua/0404/0404.htm> // Промышленные измерения контроль автоматизация диагностика выпуск № 4/2004

УДК 634.67

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ВЫЯВЛЕНИЕ ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ДАННЫХ ЕСИМО И ОПЕРАТИВНОЕ ОПОВЕЩЕНИЕ ОБ ОЯ ЛИЦ, ПРИНИМАЮЩИХ РЕШЕНИЯ

Чуняев Н.В.¹, Вязилов Е. Д.²

*¹Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации-Мировой центр данных, ул.
Королева, 6, 249030, г. Обнинск, Chunyaev@meteo.ru*

*²Всероссийский научно-исследовательский институт
гидрометеорологической информации-Мировой центр данных, ул.
Королева, 6, 249030, г. Обнинск, vjaz@meteo.ru*

Paper presents methods for automatic detection of natural hazards in information resources of “The Unified system of the information about World ocean” (ESIMO) and early warning for decision-makers of the hazard detection, on their smartphones.

В докладе представлена методология и алгоритмы автоматического выявления опасных явлений в данных поступающих в Государственную систему информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО). Кроме того предлагаются методы, и их реализации, оперативного доведения информации об опасных явлениях до конкретных пользователей ответственных за принятие решений.

В Росгидромете существует система выявления стихийных гидрометеорологических явлений (СГЯ) на основе данных, получаемых по ка-

налам Глобальной сети телесвязи, и дальнейшего оповещения руководителей предприятий по телеграфу, телефону, электронной почте, нарочным. Но отсутствует система с автоматическим выявлением ОЯ и автоматическим оповещением пользователей об этих явлениях. Для решения этой задачи необходимы средства, позволяющие автоматически выявлять ОЯ на основе всех существующих потоков гидрометеорологических данных. Введенная в 2014 г. в постоянную эксплуатацию Государственная система информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) интегрирует наблюдаемые, аналитические, прогностические и климатические данные, что позволяет организовать на их основе автоматическое выявление ОЯ и оперативно доставлять сведения об ОЯ до руководителей предприятий.

В систему ЕСИМО поступают различные оперативные данные с метеостанций наблюдения. Эти данные позволяют выявлять и прогнозировать опасные явления.

Каждое опасное метеорологическое явление оказывает влияние на деятельность человека, будь то погрузка судна или перевозка груза. Однако при этом воздействия опасных явлений на разную деятельность могут быть разными, кроме того для того или иного вида деятельности могут быть разные критерии определения опасного явления. Например, для крупнотоннажного танкера высота волны 1.5–2 метра не составит особой опасности, однако для небольшого рыбацкого судна такая высота волны может стать катастрофической и уничтожить его. Таким образом, помимо общей степени опасности опасного явления (определяющегося только на основе значения метеорологических параметров), необходимо учитывать степень влияния опасного явления на конкретные объекты (завод, судно и т.д.).

Для выделения опасных явлений используются метеорологические параметры объекта (список метео-параметров и гидрометеорологических явлений), которые способны влиять на деятельность объекта (технологические процессы), так же необходимо использовать экономические и физические параметры объекта наблюдения для расчета возможного экономического ущерба от опасного явления и предоставления рекомендаций для лиц, принимающих решения.

Выделение опасных явлений производится на основе пороговых параметров среды. Они учитывают значения, превышая которые метеорологические параметры считаются неблагоприятными или критическими. Определение текущих метеорологических значений на объекте, превысивших пороговые, учитывает несколько факторов: Географическое положение сравниваемого наблюдения (сетки прогноза); Отрасль, класс, тип объекта; Технологический процесс на объекте; Сезон; Уровень опасности.

Каждый фактор учитывается для возможности конкретизации пороговых значений (а в следствие и ОЯ) для типовых объектов наблюдения. Пороговые значения так же учитывают степень превышения, метеорологическими параметрами, пороговых значений, градуируя по степеням опасности. Это позволяет оценивать степень влияния, на объект и технологические процессы, как каждого метеорологического параметра в отдельности, так и их совокупное влияние.

Одним из критериев уровня опасности явления для объекта является значение метеорологических параметров на объекте. Каждое метеорологическое явление описывается одним или несколькими параметрами среды. Их совокупное влияние и есть влияние явления. Каждое опасное метеорологическое явление определяется списком стандартного набора метеорологических параметров, превысивших пороговые параметры среды. Отдельно каждое превышение порогового значения характеризуется уровнем опасности (неблагоприятное, критическое, катастрофическое состояние и т. д.).

Уровень опасности метеорологических параметров оценивается на основе:

- значение параметров. Текущее значение параметра является одним из основных критериев, так как является непосредственным количественным выражением степени влияния параметра на среду. Учитывается 3 градации повышенных значений: неблагоприятное, опасное, катастрофическое. Каждый отрезок характеризуется граничным минимальным и максимальным значениями;
- текущий климатический сезон. Степень влияния метеорологических параметров меняется в зависимости от климатической ситуации (сезона);
- географические параметры. В зависимости от географического местоположения объекта меняется воздействие различных параметров на объект. Это позволяет учитывать разницу между нахождением объекта наблюдения, например, на побережье моря или в устье реки;
- отрасль, класс, тип объекта. Степень воздействия того или иного значения параметра напрямую зависит от того, что за объект рассматривается. Одно и то же количественное значение параметра может оказывать различное влияние на разные типы объектов. Разделение по отраслям, классам и типам объектов позволит многослойно градуировать степень влияния окружающей среды на объект;
- Технологический процесс. Учет технологического процесса на объекте наблюдения предоставляет возможность по обеспечению рекомендациями по адаптации проводимых на объекте работ, в зависимости от состояния окружающей среды.

Автоматическое выявление ОЯ из информационных ресурсов ЕСИМО производится на основе информации о гидрометеорологической обстановке, отслеживаемом объекте, критических значениях параметров для конкретных объектов. При поступлении новых данных в ЕСИМО и, если они относятся к объекту мониторинга (что определяется при регистрации объекта пользователем), они анализируются на наличие значений параметров, превышающих заданные критические.

Выявление опасных явлений в автоматическом режиме начинается при обновлении информационного ресурса ЕСИМО, который необходимо проанализировать. Для осуществления анализа необходимо выделить объекты, к которым анализируемый ресурс соответствует.

При определении превышения порогового значения, одним или несколькими значениями метеорологических характеристик, автоматически определяется уровень опасности превышения. Он определяется на основе различных пороговых значений. Граничные значения градуированы в зависимости от степени возможного влияния параметра.

Результатом анализа являются база данных критических ситуаций, содержащая в себе: Идентификатора объекта, на котором выделено превышение; Кода параметра превысившее пороговое значение; Даты наблюдения/срок прогноза; Типа значения (наблюдение или прогноз); Идентификатора информационного ресурса, в котором выявлено превышение; Значения параметра; Уровня опасности превышения.

При обнаружении ОЯ, влияющего на тот или иной объект, система инициирует оповещение заинтересованного пользователя, предоставляя ему как информацию о факте и уровне опасности возникшей ситуации, так и возможность получения описания ситуации. Оповещение обеспечивается за счет программного интерфейса для различных способов визуализации данных. Например, для визуализации могут использоваться web-portal, монитор обстановки (который позволяет отображать текущую гидрометеорологическую обстановку в режиме реального времени в виде таблицы с метеорологическими приборами), и собственно метеоагент который и может обеспечивать оперативное оповещение пользователя путем получения сообщения.

Таким образом, предложенная методология позволяет в автоматическом режиме выявлять опасные явления из разных источников формализованных данных: оперативных, прогностических, штормовых предупреждений. Каждое выявленное опасное явление конкретизируется для объектов, на которые оно способно повлиять (географически и метеорологически) и на основе совокупной информации об объекте, ме-

теоретической обстановки, климатической информации определяется уровень опасности явления для объекта.

НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ПЛЕНОК НЕФТИ НА ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ

Пименов А. А.

*ОАО «Концерн «Океанприбор», Чкаловский пр. 46, Санкт-Петербург,
Россия, 8 (812) 235-01-25, i7p9h9@gmail.com*

Paper presents an option for solving the problem of automated radar detection and classification monomolecular oil films, located on the rough sea surface at suboptimal geometry of the system.

Одной из главных задач экологического мониторинга морской поверхности является задача обнаружения разливов нефти, особенно актуально её решение для акваторий портов, в которых ведутся погрузочно-разгрузочные операции танкеров, перевозящих сырую нефть и различные нефтепродукты.

В настоящее время для обнаружения нефтяных пленок на морской поверхности используют радиолокационные станции (РЛС). Появление на море нефтяной пленки вызывает уменьшение высоты высокочастотных составляющих волнения и среднеквадратичного наклона волн (т. е. «гасит» рябь и сглаживает поверхность), что в итоге приводит к уменьшению интенсивности отраженного обратно к РЛС сигнала, что значительно затрудняет обнаружение нефтяных пленок.

Для устранения данной проблемы в [1] было предложено объединить радиолокационную станцию в единый комплекс с пассивным отражателем, при этом в качестве информативного параметра используется эффективная площадь рассеяния (ЭПР) пассивного отражателя, отражающие свойства которого зависят от состояния подстилающей поверхности.

В работе [2] была предложена нейронная сеть (НС), способная обнаруживать и классифицировать мономолекулярные пленки по эхосигналам РЛС для значений скорости ветра на высоте 10 м над уровнем моря в диапазоне от 2,5 м/с до 5 м/с. При этом поляризация излучаемых РЛС сигналов была вертикальной (ВП), а высота установки пассивного углового отражателя была выбрана оптимальной согласно [1].

Часто береговые РЛС работают сразу на двух поляризациях, поэтому представляет интерес возможность синтеза НС, способной принимать решения о наличии или отсутствии пленки нефти на морской поверхности, в случае, когда высота установки пассивного отражателя в обследуемой акватории является оптимальной только для одной из используемых поляризаций.

Используя ту же методику расчета, что и в [1], а также сохранив геометрию системы, были получены значения ЭПР углового отражателя при горизонтальной поляризации (ГП) падающего поля. Расчеты производились для 3-х состояний поверхности (чистая вода, вода с пленкой средней нефти и вода с пленкой тяжелой нефти) при скоростях ветра от 2,5 до 5 м/с с шагом 0,5 м/с. Анализируя полученные результаты можно сделать следующие выводы:

1. Диапазоны значений ЭПР для чистой поверхности и поверхности с пленкой средней нефти могут перекрываться (рис. 1), следовательно, обнаружение по заданному порогу невозможно.

2. В случае ГП при изменении скорости ветра значительно изменяется среднее значение ЭПР как для чистой поверхности, так и для поверхности с пленкой средней нефти, при ВП среднее значение ЭПР для чистой поверхности практически не изменяется. Данный факт проиллюстрирован в табл. 1.

Таблица 1.

vB 10 , м/ с	Состояние поверхности моря											
	Чистая поверхность				Поверхность с пленкой средней нефти				Поверхность с пленкой тяжелой нефти			
	ВП		ГП		ВП		ГП		ВП		ГП	
	$\bar{\sigma}$, м ²	D_{σ} , м ⁴	$\bar{\sigma}$, м ²	D_{σ} , м ⁴	$\bar{\sigma}$, м ²	D_{σ} , м ⁴	$\bar{\sigma}$, м ²	D_{σ} , м ⁴	$\bar{\sigma}$, м ²	D_{σ} , м ⁴	$\bar{\sigma}$, м ²	D_{σ} , м ⁴
2,5	9,9	2,0	82,6	14,1	51,1	14,9	110	3,8	133	0	135	0
3,0	8,2	1,1	51,8	23,5	23,8	12,5	84,3	13,8	133	0	135	0
3,5	8,5	1,1	28,3	19,6	14,9	6,8	57,3	26,1	133	0	135	0
4,0	9,4	1,6	14,9	13,2	11,1	4,8	35,2	27,9	133	0,03	135	0,09
4,5	10,1	1,2	8,2	6,3	9,6	3,3	19,8	16,9	120	2,81	126	6,87

3. Диапазоны значений ЭПР для различных типов поверхности при ВП перекрываются тем больше, чем больше скорость ветра (рис.1, б, в), при ГП сильное перекрытие гистограмм возможно уже при малых скоростях ветра (рис. 1а).

Обучение и моделирование сети производилось с использованием прикладного программного обеспечения «Neural Network Toolbox» фирмы MathWorks, функционирующее под управлением ядра системы

MATLAB. Полученная НС имеет 7 слоев, при этом первые шесть слоев образуют 3 последовательно соединенные архитектуры сети Элмана (рис. 2). На вход первого слоя поступает вектор из значения ЭПР в текущий момент времени и значения дисперсии некоторого количества предыдущих отсчетов. Вторая и третья подсеть Элмана принимают вектор из текущего отсчета ЭПР и значения выработанного предыдущей подсетью. Таким образом обеспечивается принятие решения не только по мгновенным значениям ЭПР и дисперсии, но и принимается во внимание характер изменения ЭПР во времени.

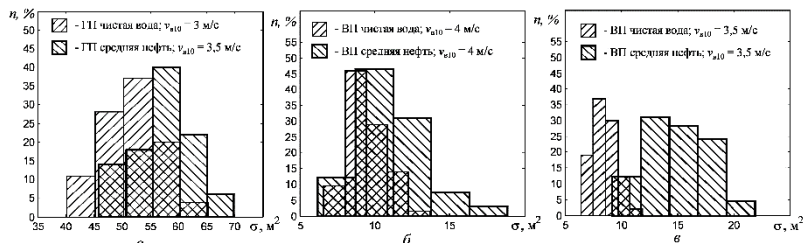


Рис.1

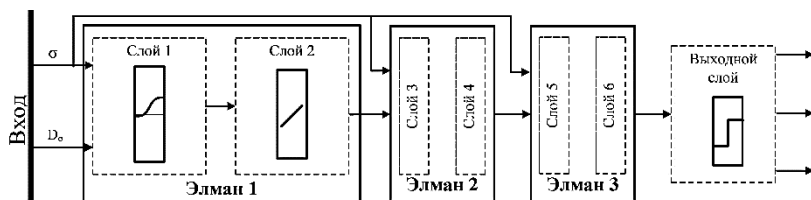


Рис.2

Для обучения сети использовались случайные реализации флуктуаций ЭПР отражателя, полученные для различных состояний поверхности при скоростях ветра от 2,5 до 5 м/с с шагом 0,5 м/с, проверка работоспособности сети проводилась на контрольной выборке для тех же состояний поверхности, но при скоростях ветра от 2,8 до 4,8 м/с с шагом 0,5 м/с. Примеры моделирования представлены на рис.3. В верхней части графика показаны мгновенные значения ЭПР, поступающие на вход сети, по оси абсцисс отложены номера отсчетов ЭПР i , отсчеты с номерами от 1 до 200 соответствуют чистой поверхности, с номерами от 201 до 400 поверхности с пленкой средней нефти, с номерами от 401 по 600 поверхности с пленкой тяжелой нефти. В нижней части графика

показана реакция НС, при этом единица на выходе первого нейрона соответствует принятию решения в пользу чистой поверхности, единица на выходе второго нейрона – решению в пользу поверхности с пленкой нефти, единица на выходе третьего нейрона служит признаком тяжелой для нефти.

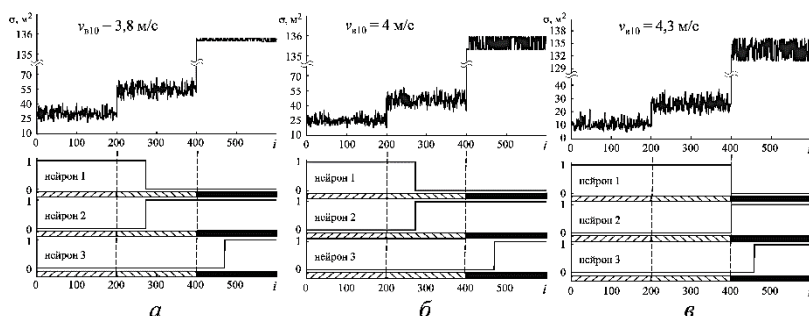


Рис.3

Моделирование на контрольной выборке показало, что НС способна принимать решения о наличии или отсутствии на взволнованной поверхности моря мономолекулярных пленок средней нефти при скоростях ветра до 4 м/с и тяжелой нефти при скоростях ветра до 4,5 м/с, при этом система не использует априорную информацию о скорости ветра, а высота установки углового отражателя не является оптимальной для заданного типа поляризации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатьева О. А., Леонтьев В. В. Выбор высоты установки пассивного отражателя радиолокационной системы обнаружения мономолекулярных пленок нефти на поверхности моря // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2013. Вып. 1. С. 94–101.
2. Игнатьева О. А., Леонтьев В. В., Пименов А. А. Нейронная сеть как элемент робастной радиолокационной системы классификации мономолекулярных пленок нефти на поверхности моря // Известия вузов России. Радиоэлектроника. 2013. Вып. 6. С. 49–53.

ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРА ДАННЫХ В СИСТЕМЕ КОМПЛЕКСНОГО МОНИТОРИНГА З. ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Подольский Л. А., Фищенко В. К.

*Тихоокеанский океанологический институт им.Ильичева ДВО РАН,
ул.Балтийская, 43, 690041, Владивосток
Телефон: (423) 231-1400, e-mail: podolsky@poi.dvo.ru*

This paper discusses modern approaches to design of data acquisition systems for ocean research support. An implementation of distributed systems approach is presented using the example of integrated complex observation system of Peter the Great Bay.

С 2008 г. сотрудниками ТОИ ДВО РАН ведутся работы по развертыванию системы комплексного научного мониторинга побережья и акваторий залива Петра Великого. Задачей проекта является непрерывный сбор оперативных данных о состоянии природной среды залива, обработка, систематизация и предоставление их пользователям для решения как научных, так и прикладных задач. Ключевой элемент системы – киберинфраструктура: совокупность программных средств, объединяющий функционирующие в заливе морские экспериментальные станции, судовые комплексы мобильного научного мониторинга и соответствующие им измерительные приборы в единую информационную среду [1].

Построение систем, соответствующих сравнительно недавно вошедшему в научный лексикон термину «киберинфраструктура», является неизбежным шагом в развитии любой сети сбора данных. Как правило, разработка программного обеспечения, предназначенного для решения задач киберинфраструктуры, осуществляется ad-hoc. Зачастую это определяет «датацентричный» характер системы: логика системной архитектуры подчиняется логике центрального хранилища – базы данных, избранной исходя из специфических свойств некоторого источника экспериментальных данных. Такие централизованные киберинфраструктуры обладают рядом существенных недостатков, наиболее критичным из которых является слабая масштабируемость – включение в систему нового источника данных, с отличным от поддерживаемых форматом данных либо протоколом доступа, может потребовать изменений в базовой организации системы. Это свойство делает подобный подход неприемлемым

при построении гетерогенных сетей сбора данных, в которых форматы и способы доступа к данным варьируются от источника к источнику.

Альтернативным подходом, широко применяющимся в области информационных технологий в настоящее время, является организация программной инфраструктуры в виде распределенной системы. Понятие распределенной системы неразрывно связано с характеристикой «связанности» («зацепления», от англ. – coupling)[2]. Показатель связанности отражает степень избыточной зависимости между отдельными функциональными компонентами системы. Желаемым свойством распределенной системы является слабая связанность (loose coupling), соответствующая большей гибкости и масштабируемости.

Стандартный метод достижения слабой связанности системы – разбиение ее на независимые функциональные компоненты, взаимодействующие по стандартизированным протоколам. Так как эти компоненты предоставляют своим клиентам набор функций – услуг, их называют сервисами (службами), а способ построения распределенной системы – сервис-ориентированной архитектурой (SOA, англ. service-oriented architecture) [2]. Учитывая гетерогенный характер источников данных в системе комплексного оперативного мониторинга з. Петра Великого, было принято решение использовать сервис-ориентированный подход к построению системы. Были выделены сервисы, предоставляющие следующие функции: (рис. 1.):

- Сервис сбора данных – подключение к источникам данных, обнаружение и выделение последних данных, приведение к общему формату, сериализация, передача в систему обмена сообщениями;
- Сервис преобразования данных – фильтрация, анализ, генерация производных потоков данных;
- Сервис хранения данных – накопление, репликация данных;
- Сервис авторизации – аутентификация, авторизация пользовательских запросов;
- Сервис предоставления данных – поиск, визуализация, экспорт в запрошенный пользователем формат;
- Сервис управления системой – ведение журнала событий, автоматическая реконфигурация других сервисов.

Коммуникация между сервисами осуществляется с помощью механизма обмена сообщениями, реализуемого протоколом AMQP. Вся необходимая информация передается компонентам в виде сообщений, доставляемых асинхронно. Отправитель не дожидается ответа от получателя, только подтверждения начала доставки от службы передачи. Такая технология позволяет добиться минимального уровня связанно-

сти между компонентами: отдельному сервису требуется знать лишь названия входной очереди и выходной очереди; маршрутизация, буферизация и доставка сообщений полностью осуществляется службой транспортного протокола [3].

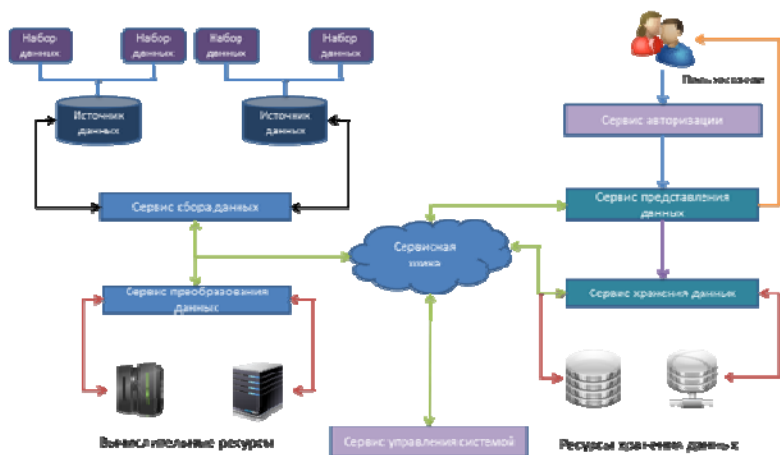


Рис. 1. Схема сервис-ориентированной архитектуры киберинфраструктуры системы комплексного мониторинга з. Петра Великого

Отличительным свойством системы мониторинга з. Петра Великого является возможность поставлять данные в режиме, близком к реальному времени. Это позволяет добиться следующих преимуществ: поддерживается возможность оперативного моделирования и прогнозирования, автоматической реакции на геофизические явления, а также удаленной настройки экспериментальных датчиков. Оперативный режим службы сбора данных должен быть учтен в архитектуре системы. В частности, он слабо соотносится с традиционной организацией сбора данных, оперирующей наборами данных в виде файлов, накопленных на локальном хранилище за некий промежуток времени. Вместо этого было предложено использовать представление входных данных в виде непрерывного потока бинарных сообщений, снабженных временной меткой. Потoki образуются из источников данных, подразделяющихся на 2 класса:

- Интегрированные источники данных – измерительные комплексы, непосредственно взаимодействующие со службой сбора дан-

ных. Используют клиентское программное обеспечение для публикации AMQP-сообщений.

- Внешние – сторонние хранилища и базы данных, регулярно предоставляющие данные по протоколам HTTP, SMB, FTP. Используется промежуточное ПО для извлечения последних данных, разбора, приведения к каноническому формату, сериализации и публикации в AMQP-очередь.

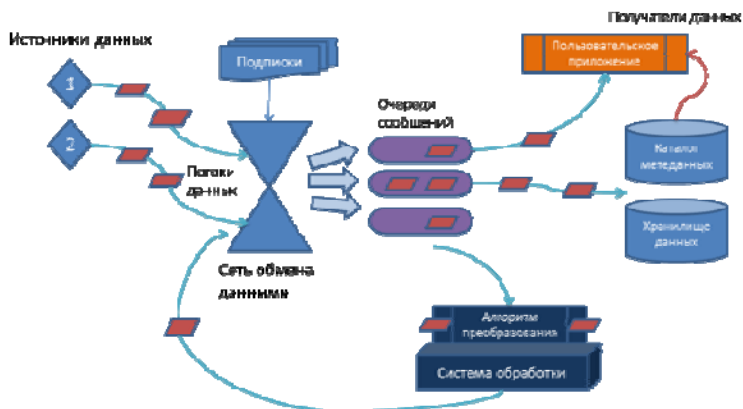


Рис. 2. Организация потоковой обработка данных в системе комплексного мониторинга з. Петра Великого

Далее инфраструктура обмена сообщениями доставляет актуальные данные каждому процессу, подписанному на поток. К возможным подписчикам относятся: служба хранения, служба обработки, клиентские приложения. Обработанные данные поступают в сеть обмена в качестве производных потоков.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» на 2015-2017 гг. (проекты 15-I-4-062, 15-II-1-058)

ЛИТЕРАТУРА

1. Фищенко В.К., Суботэ А.Е., Голик А.В., Олейников И.С., Гончарова А.А., Подольский Л.А. О развертывании киберинфраструктуры системы оперативного наблюдения залива Петра Великого // Тезисы докладов 2-й научной конференции «Океанография залива Петра Великого и прилегающей части Японского моря». Владивосток, 2013. С. 31.

2. Nicolai M. Josuttis, SOA in Practice : The Art of Distributed System Design, O'Reilly. 2007. P. 18–36.

3. Vinoski, S. «Advanced Message Queuing Protocol» // IEEE Internet Computing 10 (6). 2006. P. 87–89.

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ ДОЛГОВРЕМЕННОГО СТАЦИОНАРНОГО ПОДВОДНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Суботэ А. Е., Зимин П. С., Фищенко В. К.

*Тихоокеанский океанологический институт
им. В.И. Ильичёва ДВО РАН,
ул. Балтийская, д. 43, 690041, г. Владивосток,
8(423)271-87-34, as@poi.dvo.ru*

Paper presents a part of marine scientific surveillance system developed by V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute concerning long-term remote underwater video system.

Разрабатываемая в ТОИ ДВО РАН система оперативного научного мониторинга побережья и акваторий залива Петра Великого [1] включает развернутые на береговых и островных научных станциях подсистемы надводного видеонаблюдения, автоматические метеостанции, широкополосные сейсмографы, прецизионные гравиметры, лазерные деформографы, вертикальные антенны гидрологических датчиков, гидроакустические приемники, донные сейсмоакустические станции, подвижные наблюдательные станции на базе маломерных научно-исследовательских судов. Данные со всех наблюдательных устройств по высокоскоростным радиоканалам телекоммуникационной сети залива оперативно доставляются в береговые центры хранения и становятся доступными ученым ДВО РАН совместно с эффективными средствами визуализации и аналитической обработки данных.

В 2012 году начаты работы по организации и включению в общую систему мониторинга подсистем долговременного стационарного подводного видеонаблюдения прибрежных акваторий. Подобные системы составляют альтернативу традиционным системам «кратковременного» подводного видеонаблюдения, осуществляемого с научных судов и на базе автономных подводных аппаратов. Непрерывное видеонаблюдение в течение нескольких месяцев и лет дает много важной информации о

динамике морского видового разнообразия в обследуемом регионе, основных тенденциях в его развитии. Поэтому такие стационарные системы в последние годы все более активно разворачиваются в разных странах [2].

Тестовый вариант подобной системы был разработан и установлен осенью 2012 г. в бухте Алексеева (остров Попова), в 20 км южнее Владивостока (рис. 1). При разработке комплекса принимались во внимание следующие требования к его характеристикам.

№	Характеристика	Значение
1	Доступность видеонаблюдения	Круглый год, круглые сутки
2	Продолжительность работы	Долговременная, постоянная
3	Глубина постановки	До 30 м
4	Удаление от берега	До 400 м
5	Масса, габариты	До 10 кг, 200×200×600 мм
6	Дальность обзора	До 5 м
7	Энерговооружённость	Питание с берега 220 В, < 100 Вт
8	Разрешение видеопотока	1280×700р
9	Частота кадров в секунду	25–30
10	Угол обзора	15–30°
11	Хранилище данных	Сутки непрерывной записи
12	Совместимость	Стандартный формат видеозаписей
13	Освещение	2 светодиодных фонаря по 10 Вт
14	Связь	10–50 Мбит/сек до берега
15	Технологичность	Серийные компоненты

Готовое изделие состоит из серийной видеокамеры IP-531mw и устройств питания, управления и связи, заключённых в гермокожух из сплава АМг5. Кожух выполнен в виде трубы с двумя фланцами и крышками на торцевых уплотнениях, в передней крышке закреплено стекло, в задней — разъёмы для приходящего кабеля и для внешних устройств. Электропитание и связь осуществляются по одному двухпроводному кабелю. Напряжение питания 220В, связь реализована по тем же проводникам устройствами D-link DHP-306AV по технологии PLC (Powerline). Удалённое управление освещением и другими внешними устройствами осуществляется релейным модулем, управляемым устройством Kernelchip Jerome на основе контроллера PIC. Мониторинг внутренней и забортовой температуры выполнен на основе устройства NAG ERD-2.0 и датчиков Dallas DS18B20.

Освещение реализуется тремя светодиодными фонарями с отдельным управлением, закреплёнными под разными углами к оптической

оси камеры. Помимо освещения в ходе пробной эксплуатации добавились новые вспомогательные устройства – измеритель и «отпугиватель». Измеритель состоит из двух лазерных указок, дающих параллельные лучи, разнесённые на известное расстояние. Такая схема позволяет оценить размер подводного объекта, попавшего под оба луча. Отпугиватель состоит из двух электродов, установленных снаружи кожуха на передней крышке по разные стороны окна. Подача напряжения на электроды создаёт некомфортные условия в непосредственной близости от окна, что позволяет отогнать заслоняющих обзор гидробионтов. Ещё одно вспомогательное устройство — система очистки окна — пока не реализовано, но в летние месяцы остро необходимо.

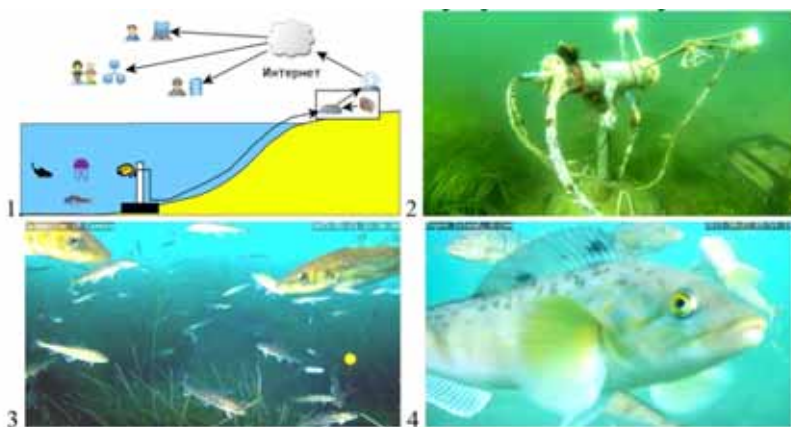


Рис. 1. Система долговременного подводного видеонаблюдения: 1 – общая схема; 2 – комплекс под водой спустя год после непрерывной эксплуатации; 3- зимняя навага; 4 – осенний ход терпуга

В настоящее время система работает в трёх режимах:

- а) поминутная фиксация снапшотов – моментальных снимков;
- б) видеозапись при обнаружении движения в поле зрения камеры.

Видеозаписи за последние 3 суток хранятся в памяти видеокамеры, а записи интервалов 0-1 и 30-31 минута каждого часа сохраняются на сервере в здании института и доступны по адресу <http://www.poi.dvo.ru/u-cam/>;

в) операторский режим работы – позволяет с рабочего места, подключенного к Интернету, наблюдать видео с камеры и вести его запись на локальный компьютер, по выбору оператора.

В результате работы системы сформирован обширный архив подводных видеозаписей за 2013-2014 годы, налажена трансляция подводного видео в Интернет в реальном времени. Опытная эксплуатация показала эффективность системы для наблюдения за составом и особенностями поведения морского биоразнообразия в бухте Алексеева в различные периоды года, время суток. По итогам анализа данных за 2013 год были зарегистрированы 22 вида рыб, в том числе виды, ранее не отмеченные в бухте – бородастая лисичка *Pallasina barbata* и колючий пинагор *Eumicrotremus pacificu*.

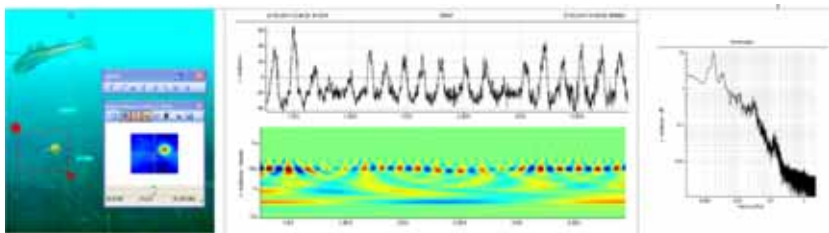


Рис. 2. Регистрация сигнала перемещений в воде желтого маркера, осциллограмма, вейвлетограмма, спектр Фурье 3-часовой записи

Помимо наблюдения биологических объектов отрабатываются технологии количественного оценивания сопутствующих гидрологических процессов (течений, волнения, цвета, мутности воды) на основе автоматического слежения за специально располагаемых в поле зрения камеры маркерами. На рис. 2 демонстрируется технология регистрации и анализа вариаций подводных течений на основе отслеживания движений закрепленного на дне маркера с небольшой плавучестью.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» на 2015–2017 гг. (проект 15-I-4-062).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Фищенко В. К., Суботэ А. Е., Голик А. В., Олейников И. С., Гончарова А. А., Подольский Л. А.** О развертывании киберинфраструктуры системы оперативного наблюдения залива Петра Великого // Тезисы докладов 2-й научной конференции «Океанография залива Петра Великого и прилегающей части Японского моря». Владивосток, 2013. С. 31.
2. **Delphine Mallet, Dominique Pelletier.** Underwater video techniques for observing coastal marine biodiversity: A review of sixty years of publications (1952-2012) // Fisheries Research № 154 (2014). PP. 44–62.

РАЗВЕРТЫВАНИЕ КИБЕРИНФРАСТРУКТУРЫ И ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ОПЕРАТИВНОГО МОНИТОРИНГА ПОБЕРЕЖЬЯ И АКВАТОРИЙ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО

**Фищенко В. К., Голик А. В., Гончарова А. А., Олейников И. С.,
Подольский Л. А., Суботэ А. Е.**

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И.Ильичева ДВО
РАН, ул. Балтийская, 43, 690041, г. Владивосток,
(423) 231-21-31, fischenko@poi.dvo.ru*

In the article the results of works on the development of the cyberinfrastructure of the system of the complex operational monitoring of natural processes on the coast and the water areas of Peter the Great Bay are discussed.

Побережье и акватории залива Петра Великого – один из основных объектов исследования для многих институтов ДВО РАН. Исследования, как правило, осуществляются в ходе наземных и морских экспедиций небольшими научными группами, изучающими те или иные аспекты состояния природной среды – атмосферы, литосферы, гидросферы, объектов живой и неживой природы. Многие природные процессы, однако, существенным образом взаимосвязаны, имеют специфическую и при этом достаточно быструю временную и пространственную динамику. Поэтому традиционная практика, по сути, очень разрозненных, спорадических, несистемных, узкоспециализированных, кратковременных, локальных в пространстве наблюдений совершенно недостаточна для того, чтобы понять во всей полноте фундаментальные природные механизмы, детально изучить взаимовлияние различных процессов, объективно оценивать основные тенденции в их развитии, предсказывать и обнаруживать аномальные ситуации в живой и неживой природе, вовремя на них реагировать.

По-видимому, приняв во внимание эту ограниченность экспедиционных исследований, а также существенно возросшие возможности систем связи и информационных технологий, во многих странах мира в последние годы начали активно разворачивать насыщенные самыми разнообразными датчиками автоматические системы долговременного, непрерывного, комплексного, оперативного наблюдения природных процессов на обширных территориях и акваториях. Так, например, в

США с 2009 года при поддержке Национального научного фонда и администрации Президента реализуется очень высокотехнологичный океанологический проект, получивший название «Инициатива океанических обсерваторий» (ИОО). В его рамках в океане разворачиваются несколько глобальных, региональных и прибрежных «обсерваторий», насыщенных разнообразной измерительной аппаратурой. Четвертая компонента ИОО – «киберинфраструктура», осуществляющая в режиме, близком к реальному времени, доставку данных удаленных экспериментов в береговые хранилища, их, систематизацию, обработку и предоставление пользователям непосредственно на рабочие места в научных и учебных учреждениях.

В связи с этим полагаем актуальным в перспективе развертывание подобной полноценной «прибрежной» системы комплексного оперативного наблюдения зал. Петра Великого, которая была бы востребована специалистами всех институтов ДВО РАН, ведущими исследования на побережье и в самом заливе. Это потребует существенных финансовых вложений и, возможно, инициирования специальной Программы ДВО РАН. Пока же усилиями специалистов отдела информационных технологий ТОИ развернута ограниченная версия «киберинфраструктуры» и собственно самой системы оперативного наблюдения побережья и акваторий залива Петра Великого.

На рис. 1 представлена общая схема этой киберинфраструктуры. С ее помощью ученые ДВО РАН, находящиеся в институтах, на морских экспериментальных станциях и научных стационарах, должны в случае необходимости оперативно получать на свои рабочие места данные с различных средств наблюдения, функционирующих на побережье и в заливе, средства их аналитической обработки данных, средства решения на их основе модельных и прогнозных задач. На карте залива обозначены узлы магистральной радиосети доставки данных, зоны покрытия акваторий береговыми радиоантеннами (розовые – действующие, зеленые – планируемые к вводу), научно исследовательские суда ДВО РАН. Тонкими розовыми линиями обозначены места размещения средств наблюдения, сплошными голубыми – места расположения научных специалистов, куда им необходимо будет оперативно доставлять данные и другие ресурсы.

Основные элементы киберинфраструктуры обозначены слева направо вокруг изображенной на рисунке карты залива. Поясним назначение каждого из них.

1. Инфраструктура средств наблюдения, разворачиваемых в заливе научными группами ДВО РАН. В настоящее время «под контролем»

киберинфраструктуры находятся более 20 таких средств наблюдения. Некоторые из них, в частности, системы надводного и подводного видеонаблюдения [1], развернуты специалистами отдела информационных технологий – авторами настоящего доклада.

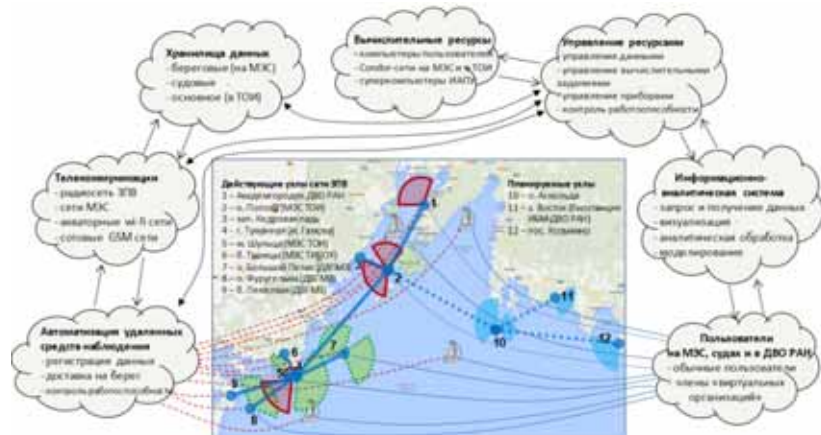


Рис. 1 Схема киберинфраструктуры системы мониторинга залива Петра Великого

2. Телекоммуникационная инфраструктура, предназначенная для сбора и доставки данных удаленных экспериментов. Включает: 1 – базовую радиосеть залива, связывающую радиоканалами институты, морские экспериментальные станции (МЭС) и научные стационары (в настоящее время в сети 11 узлов); 2 – локальные сети МЭС, связывающие рабочие места специалистов и береговые экспериментальные установки; 3 – радиосети МЭС, обеспечивающие сбор и доставку данных с научных судов, буев, находящихся на близлежащих акваториях; 4 – сети операторов сотовой телефонной связи 3G и 4G, используемые вне зон видимости радиосетей. В настоящее время в пиковые периоды объемы пересылаемой с акваторий в институт научной информации доходят до 50 Гб в сутки.

3. Инфраструктура хранения – состоит из первичных хранилищ данных, расположенных на серверах, обслуживающих научные установки, береговых хранилищ данных, развернутых на МЭС м. Шульца и о Попова, основного хранилища данных во Владивостоке. Управление пото-

ками данных осуществляется под контролем GRID-служб пакета Globus Toolkit.

4. Вычислительная инфраструктура – состоит из компьютеров самих пользователей, сетей распределенных вычислений, удаленных кластеров с параллельной архитектурой. Используется при решении особо сложных задач, например, при обработке больших массивов видео, при моделировании гидродинамических процессов.

5. Программное обеспечение управления ресурсами – реализовано с использованием сервисов пакета Globus Toolkit, решает задачи управления потоками данных и вычислительными заданиями, задачи управления приборами удаленного наблюдения, контролирует работоспособность элементов системы мониторинга.

6. Информационно аналитическая система – реализована в форме Web проекта, взаимодействует с GRID-системой управления, предоставляет на рабочие места пользователей данные удаленных экспериментов, средства их визуализации, аналитической обработки и моделирования [2].

7. Пользователи – научные специалисты, зарегистрированные в информационно-аналитической системе, желающие получить доступ к ресурсам системы мониторинга з. Петра Великого.

В настоящее время возможности, предоставляемые развернутой киберинфраструктурой, достаточно активно используются несколькими научными группами ДВО РАН и СО РАН при проведении исследований.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» на 2015-2017 гг. (проекты 15-I-4-062, 15-I-1-059 э).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Фищенко В. К., Голик А. В., Суботэ А. Е., Зацерковный А. В., Дубина В. А.** Система научного видеомониторинга залива Петра Великого (Японское море) // Геоинформатика, 2011. № 4. С. 30–41.

2. **Фищенко В. К., Голик А. В., Антушев С. Г.** О проекте корпоративной океанологической информационно-аналитической системы ДВО РАН и задаче развертывании глобальной GRID-инфраструктуры Отделения // Открытое образование, 2008. № 4. С. 47–64.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ РЕСУРСЫ КООРДИНАЦИОННОГО КОМИТЕТА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ЗАГРЯЗНЕНИЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ (КАСПКОМ)

Монахов С. К.¹, Постнов А. А.², Островская Е. В.¹, Есина О. И.¹

¹ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», ул. Ширяева, 14, 414045, г. Астрахань, 8(8512)30-34-70, kaspmniz@mail.ru

²ФГБУ «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова», Кропоткинский пер., 6, 119034, Москва, 8(495)246-72-88, a_postnov@mail.ru

This paper presents the set of information resources and products prepared within the framework of the Coordinating Committee for Hydrometeorology and Pollution Monitoring of the Caspian Sea (CASPCOM). They include the Catalogues of the sea level and the regional atmospheric circulation, Hydrometeorological Atlas, etc.

В 1994 году национальными гидрометеорологическими агентствами прикаспийских государств (Азербайджана, Ирана, Казахстана, России и Туркменистана) при поддержке Всемирной метеорологической организации (ВМО) был создан Координационный комитет по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения Каспийского моря, сокращенно КАСПКОМ (www.caspcom.com).

В Уставе КАСПКОМ указывается, что КАСПКОМ создан с целью координации, стандартизации, сотрудничества и улучшений в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения Каспийского моря.

В 1997 году КАСПКОМ была принята подготовленная при поддержке ВМО «Комплексная программа по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в регионе Каспийского моря» (КАСПАС), призванная содействовать созданию региональной системы мониторинга и обмена информацией.

Основой совместной деятельности национальных гидрометеорологических агентств в области гидрометеорологии Каспийского моря является оперативный обмен данными по каналам Глобальной системы телесвязи ВМО. Кроме того, совместными усилиями в последние годы были реализованы несколько проектов КАСПКОМ, такие как «Генеральный каталог данных об уровне Каспийского моря», охватывающий весь период наблюдений, начиная с 1900 года.

Все информационные продукты КАСПКОМ, разработанные в 2011–2014 гг., размещены на официальном сайте КАСПКОМ: www.caspcom.com, – и доступны широкому кругу пользователей. Ниже приводится их краткая характеристика.

Генеральный каталог уровня Каспийского моря

В 2012 году была завершена работа над Генеральным каталогом уровня Каспийского моря. По времени данный каталог охватывает весь период наблюдений, начиная с 1900 г., а по пространству – все побережье Каспийского моря. В каталог включены таблицы максимальных, минимальных и средних месячных значений уровня моря по данным наблюдений на 22 постах и полное описание базы данных.

17-я Сессия КАСПКОМ приняла решение разместить на сайте КАСПКОМ таблицы средних значений уровня моря по всем постам и 1 раз в три года дополнять каталог новыми данными. Информация о максимальных и минимальных значениях уровня моря, отсутствующая на сайте КАСПКОМ, может быть представлена заинтересованным лицам по их просьбе, направленной соответствующей национальной гидрометеорологической организации.

Гидрометеорологический атлас Каспийского моря

Гидрометеорологический атлас Каспийского моря включает размещенные в свободном доступе на официальном сайте КАСПКОМ метеорологические, гидрологические и другие карты Каспийского моря. Они предназначены для широкого круга пользователей, в том числе для исследовательских целей.

В состав атласа включены следующие разделы:

1) Метеорологические карты

- *Температура воздуха. Тепловой и радиационный баланс*
- *Атмосферное давление и ветер*
- *Влажность воздуха. Атмосферные осадки. Испарение*
- *Облачность. Туманы. Видимость*

2) Гидрологические карты

- *Температура, солёность и прозрачность воды*
- *Волнение, циркуляция вод и ледовые условия.*

Каталог региональной циркуляции атмосферры

Состояние морской среды и экосистемы Каспийского моря зависит от циркуляции атмосферы над его акваторией. В целях гидрометеорологического обеспечения деятельности Рамочной конвенции по защите

морской среды Каспийского моря 17-я Сессия КАСПКОМ рекомендовала создать информационный ресурс, характеризующий изменения циркуляции атмосферы над Каспийским морем. Настоящий каталог следует рассматривать как первую попытку реализации данного решения.

В качестве показателей региональной циркуляции атмосферы и ее воздействия на экосистему Каспийского моря в каталоге используются:

- параметры скорости ветра – стандартное отклонение (S_w), среднюю (W_m) максимальную (W_{max}) скорость ветра, скорость ветра 10% обеспеченности ($W_{0,1}$) и повторяемость скорости ветра > 5 м/с (W_5);
- параметры циркуляции атмосферы – стандартное отклонение (S_g), среднее (G_m) и максимальное (G_{max}) значение меридионального и широтного градиентов атмосферного давления (G), повторяемость различных типов циркуляции (C).

Все названные параметры рассчитываются для акватории в целом и отдельных ее частей, по данным ежедневных 4-х срочных метеорологических наблюдений (00, 06, 12, 18 час) в 8-ми пунктах, расположенных на побережье моря (рис. 3). В качестве исходных материалов для этого используются данные наблюдений, публикуемые на сайте <http://cliware.meteo.ru/meteo/>.

Параметры региональной циркуляции атмосферы при этом разделены на два больших блока: параметры полей приземного ветра и параметры полей атмосферного давления на уровне моря. В обоих блоках также выделяются базовые и производные параметры. Пока каталог охватывает только несколько последних лет и при этом регулярно пополняется новыми данными. Но существует возможность включить в него исторические данные за последние 25–30 лет, что планируется сделать в последующие годы. Данный каталог станет новым информационным ресурсом для изучения не только влияния атмосферы на жизнь моря, но и взаимосвязи глобальной и региональной циркуляции атмосферы.

Каталог температуры воды Каспийского моря

В 2013 году была завершена работа над каталогом температуры воды Каспийского моря. По времени данный каталог охватывает период наблюдений, начиная с 1961 года, а по пространству – все побережье Каспийского моря. В каталог включены таблицы максимальных, минимальных и средних месячных значений температуры воды по данным наблюдений на 20 постах и полное описание базы данных.

18-я Сессия КАСПКОМ приняла решение разместить на сайте КАСПКОМ таблицы средних значений температуры воды по всем постам и 1 раз в три года дополнять каталог новыми данными.

Информация о максимальных и минимальных значениях температуры воды, отсутствующая на сайте КАСПКОМ, может быть представлена заинтересованным лицам по их просьбе, направленной соответствующей национальной гидрометеорологической организации.

Информационные бюллетени о состоянии уровня Каспийского моря

Бюллетень о состоянии уровня Каспийского моря выпускается два раза в год в соответствии с рекомендациями Координационного комитета по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения Каспийского моря и являются совместной продукцией гидрометеорологических агентств пяти прикаспийских государств. Данный бюллетень предназначен для органов власти, предприятий и организаций, жителей прибрежных районов жителей, для всех, чья деятельность так или иначе связана с Каспийским морем. При подготовке бюллетеней используются данные Генерального каталога уровня Каспийского моря, составление которого проводится под эгидой КАСПКОМ. Восемь выпусков бюллетеней, подготовленные в 2011–2014 гг., размещены на официальном сайте КАСПКОМ в свободном доступе.

Перечень информационных продуктов, разработанных в рамках КАСПКОМ, постоянно расширяется. В дополнение к уже имеющимся планируется создание каталогов расчетных, модельных и спутниковых данных о гидрометеорологическом режиме моря. Информационные ресурсы КАСПКОМ широко востребованы, их роль в гидрометеорологическом обеспечении хозяйственной деятельности и исследований на Каспийском море с каждым годом будет возрастать.

УДК 681.88

К ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ СОЗДАНИЯ ПОДВОДНЫХ СЕТЕВЫХ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ

Коваленко В. В.

*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)129-20-36,
hydrophys@mail.ru*

Problem of creation space distributed underwater netted system based on different physical sensors for local underwater objects monitoring is discussed.

Настоящий доклад находится в русле ранее опубликованных автором постановочных работ, например, [1, 2] и нацелен на то, чтобы обратить внимание на некоторые проблемы в области методов и средств океанологических исследований, рассмотрение которых в отечественной литературе практически отсутствует.

Появление и бурное развитие в мире сетевых сенсорных систем в приложении к задачам наблюдения за океаном и смена основных парадигм такого наблюдения остались, судя по публикациям последних 10-20 лет, почти незамеченными в РФ. В основе такой смены лежит переход от локальных измерительных и наблюдательных систем, размещаемых, например, на борту судна или иного локального носителя к пространственно распределенным измерительным и наблюдательным системам (рис.1). Здесь выделяются две основные и связанные между собой парадигмы, одна из которых названа выше (пространственное распределение сенсоров). Другая заключается в переходе от отсроченного анализа данных к реально-временному (оперативному) анализу, включая сопоставление данных и моделей в темпе, требующимся решаемой задачей. Это касается многих задач, среди которых наблюдение за неоднородностями океанической среды, геофизическая разведка и мониторинг природных ресурсов, экологический мониторинг и тактическое подводное наблюдение. Как следствие, применительно к технологиям и специфике исследования океана и к их приложениям осталось незамеченным появление целых разделов теории сенсорных сетей, которым в мире посвящены множество статей и монографий. Примерами являются называемые в литературе теориями «методология адаптивной выборки полей различных океанических характеристик» применительно к выше указанным задачам, «методология пространственного покрытия», «теория сетевого поиска локальных объектов», «теория и технологии противодействия сетевым структурам», что важно для оборонных приложений. Изменился подход к созданию инструментария наблюдения за океаном, включая суда и их оснащение. Появилась необходимость развития подводной сетевой (преимущественно акустической) связи и комбинированной (акустика-радио, акустика – кабель, оптика-кабель) сетевой связи. Создается подобие подводного Интернета, как части Интернета, распространенного на иную, а именно, подводную среду, имеющую специфические свойства и требующую особого учета. Так, например, акустическая сетевая связь характеризуется принципиальной латентностью из-за низкой скорости распространения звука в воде, низкой пропускной способностью и искажений вследствие многолучевого характера распространения звука в реальной среде и подвижности носителей сенсорных ячеек.

Смена парадигмы в наблюдении за океаном

От: судовых наблюдений

К: наблюдательным системам, основанным на использовании множества платформ



Рис. 1. Изменение подхода к созданию систем наблюдения за океаном

Характерным для настоящего времени является также совместное использование данных, получаемых по различным физическим каналам и разнородными техническими средствами. Отсюда появилась необходимость разработки технологий сбора данных гетерогенными сенсорными сетями и совместного учета свойств данных различной физической природы. В мире уже появились прототипы сенсорных сетевых систем различного назначения и результаты их экспериментальной апробации. Одним из них сегодня является инструмент наблюдения за локальными неоднородностями водного слоя, которые характеризуются различными физическими свойствами.

На эти свойства, как на априорное описание сигнала, может указать модель (если она нужного качества и, вообще, если она есть). Окружающая локальную неоднородность среда тоже изменчива по пространству и времени. И это обстоятельство потребует реально-временного мониторинга свойств океанической среды в характерном для решаемой задачи окне масштабов. Следует ожидать, что из-за указанной изменчивости, «видимые» измерителем свойства объекта наблюдения не будут устойчивыми, как и характеристики тракта наблюдения. Разумным

предположением о структуре наблюдателя является представление о нем, как о многоканальной, распределенной по пространству сети связанных в целое парциальных наблюдателей. Функциональными элементами такой сети будут распределенные по пространству комбинированные сенсоры. А также: обработка данных, ориентированная на выделение свойств по каждому физическому каналу и оценка параметров этих свойств, сбор информации от всех каналов в единую конструкцию (multi-sensor data and imagery fusion), совместная обработка данных и изображений (collaborative data processing) с последующей проверкой гипотез и оценкой рабочих показателей системы. Из-за множественности физических каналов и не идентичности сенсоров наблюдательные сети являются гетерогенными конструкциями (heterogeneous sensor network). Собственно сенсоры могут быть представлены контактными (пассивными) датчиками физических полей, средствами активного дистанционного зондирования, а сенсорное поле может содержать различные их сочетания, в том числе мультистатистического, пассивно-активного характера. Объединение сенсоров в систему осуществляется посредством сетевой связи. Для сенсоров, размещаемых под водой, в том числе на дне эта связь является преимущественно акустической, хотя известны решения на основе использования оптических средств. Здесь важна архитектура сетевой связи (пространственная организация сенсоров). Подводные наблюдательные акустические сети намеренно и чаще всего организуются в виде совокупности кластеров при произвольной геометрии транзитных участков. При такой организации связь между кластерами осуществляется с использованием акустики, а между кластерами и пунктами сбора данных – с использованием радиоканала, в том числе через спутники или с помощью кабеля.

В настоящее время в некоторых из упомянутых выше прикладных задач продолжают усилия, направленные на улучшение качества локального наблюдателя. Однако эти, конечно, полезные усилия часто имеют ограничения физического характера, в результате чего затраты и достигнутый эффект плохо соответствуют друг другу. Пространственно распределенный наблюдатель принципиально не претендует на получение высоких показателей наблюдения из каждой отдельной точки. Потенциал отдельного сенсора, в сетевых системах, как правило, невелик. Расстояния между сенсорами в сетях тоже не обязательно увеличивать. Они являются регулируемыми величинами и определяются решаемой задачей и характеристиками самой океанической среды. Показателями качества распределенного наблюдателя является площадь (объем) области наблюдения и не достижимые локальным наблюдателем возможности измерения пространственных характеристик изучаемых объектов.

Обобщая сказанное, составные функциональные элементы решения задачи создания подводных сетевых сенсорных систем могут быть представлены в следующем виде:

- Описание подлежащих наблюдению неоднородностей, текущая оценка и прогноз состояния окружающей среды;
- Формирование объединенной гетерогенной структуры распределенных сенсоров с учетом каналов сетевой связи и управления. Адаптивная выборка физических полей;
- Сбор данных от множества сенсоров. Переборные процедуры сетевого поиска;
- Обработка данных в каждом сенсоре и объединенная обработка данных от совокупности сенсоров;
- Оценка качества решения поставленной задачи.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Коваленко, В. В.** Информационные сетевые системы как основа решения прикладных задач в сферах безопасности, ресурсной и природоохранной, // Труды второй всероссийской конференции «Научные и технические проблемы освоения шельфа Северного ледовитого океана», Новосибирск, 2012.

2. **Коваленко, В. В.** О морских информационных сетевых системах в Арктике // Арктика, экология и экономика. № 1 (9). Москва, 2013.

УДК 551.46

ПОДВОДНАЯ ВИДЕОСЪЕМКА КАК МЕТОД КОЛИЧЕСТВЕННОГО ИЗУЧЕНИЯ БЕНТОСА

Мокиевский В. О.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-79-96,
vadim@ocean.ru*

During last decades video surveys became more and more popular in benthic studies at the depths ranged from abyss to upper subtidal. General rules are formulated here to use the video as a quantitative method in benthic ecology including guidelines for running underwater cameras and processing video for quantitative analysis of mega- and macrobenthos.

Быстрое развитие цифровой видеотехники делает ее с каждым годом все более удобным инструментом морских биологических исследований. Различные типы видеосистем широко применяются в изучении донных сообществ на всех глубинах – от абиссали до сублиторали [3, 4, 5, 8]. Накопленный опыт позволяет сформулировать основные требования к проведению подводной видеосъемки, позволяющие использовать полученные видеозаписи не только для фиксации отдельных объектов, но и как полноценный метод количественного анализа донной фауны [2, 6]. Скорость, с которой совершенствуются технические средства записи видеосигнала, делает бессмысленным формулирование требований к технике как таковой. Важнее описание алгоритма проведения видеозаписи и ее анализа.

Идеальный алгоритм проведения видеозаписи:

- фокальная плоскость камеры строго параллельна дну;
- камера снабжена тремя лазерными указателями, лучи которых строго параллельны, а точки расположены в кадре на расстоянии 25–30 см друг от друга треугольником;
- камера удерживается над дном так, чтобы размер кадра составлял от 50 до 100 см по стороне и не менялся на протяжении съемки, объектив камеры обеспечивает такие результаты съемки с расстояния 1–3 м над дном;
- движение камеры производится с постоянной скоростью на постоянном курсе;
- производится непрерывное или регулярное через небольшие интервалы позиционирование судна-буксировщика или самой камеры с фиксацией координат и глубины места, эта информация синхронизируется по времени с видеозаписью;
- продолжительность непрерывной съемки (протяженность видеотрансекты) соответствует заданному пространственному масштабу исследования (не менее, чем половина расстояния между двумя станциями отбора количественных проб);
- в каждом контуре бентосных сообществ производится отбор проб дночерпателем и тралом для составления реперной коллекции форм макробентоса;
- качество записи, используемый формат и программное обеспечение допускают покадровый анализ записи в максимальном разрешении без потери качества.

Полученные таким образом данные могут быть подвергнуты сначала визуальному (качественному), затем количественному анализу. Материалом для визуального анализа является фрагмент записи любой про-

тяженности, материалом для количественного анализа – отдельный кадр и серия кадров. При визуальном анализе для последовательных фрагментов записи фиксируется биотопическая характеристика и характерные формы эпифауны, отмечаются границы пересекаемых фаций или сообществ. Эта работа частично или полностью может быть выполнена наблюдателем или оператором камеры в процессе видеосъемки. Визуальный анализ видеозаписи может быть сразу использован для выделения основных типов фаций и их картографической привязки.

Количественный анализ далее проводится по отдельным кадрам. Для каждого кадра определяется его площадь, описывается характер дна (тип осадка, мозаичность и т.п.) и, при максимальном разрешении, идентифицируются и подсчитываются все заметные формы бентоса. Для каждого района работ, отличающегося фаунистическим составом бентоса, создается справочная коллекция фотоизображений идентифицированных форм [7]. Глубина проработки кадра зависит от поставленной задачи и может варьировать от регистрации только крупных форм мегабентоса до полного учета всех видимых в кадре организмов и следов их жизнедеятельности. Детальность проработки кадров должна оставаться постоянной для каждой трансекты на всем ее протяжении.

Для статистической обработки серий последовательных кадров могут использоваться методы геостатистики и анализа непрерывных рядов (в частности, автокорреляции, методы спектрального анализа, коррелограммы Мантеля и т. п.), а для наборов отдельных кадров, как случайной выборки – весь арсенал параметрических и непараметрических методов, применяемых в экологических исследованиях. Таким образом, кадры для анализа могут отбираться в виде квази-непрерывных трансект через постоянные интервалы (каждый метр, пять, десять метров и более) или как случайная выборка (с неравными интервалами между выбранными кадрами).

Отступление от сформулированного выше «идеального» алгоритма затрудняет последующую обработку и интерпретацию результатов, но может быть в какой-то мере компенсировано пост-обработкой:

- нарушения геометрии кадра могут быть исправлены программными средствами с использованием точек лазерных указателей;
- изменение дистанции до дна требует пересчета площади для каждого кадра;
- изменения скорости и направления движения камеры могут быть компенсированы увеличением частоты засечек позиционирования буксировщика или самой камеры.

Обзорные видеонаблюдения без соблюдения всех перечисленных требований не позволяют использовать результаты для количественного

анализа, но помогают выявлять отдельные элементы подводного ландшафта и фиксировать наличие фаций, не выявляемых другими методами, прежде всего – фации твердых грунтов и ассоциированную с ними фауну без количественной оценки ее развития [1].

В практическом применении буксируемых или самодвижущихся видеокамер на глубинах шельфа возникает, как не парадоксально, больше сложностей, чем при глубоководной видеосъемке. Помимо заметно большей, как правило, мутности воды, ограничивающей максимальный размер интерпретируемого кадра, видеосъемку затрудняют сильные течения, большие перепады глубин (относительно глубины места), а также необходимость использования на малых глубинах небольших судов или лодок. Это накладывает дополнительные требования на оборудование, включая неразрешимое противоречие между тяжелой и устойчивой при буксировке платформой камеры, и необходимостью оперировать камерой с небольшого судна вручную. Требование горизонтального положения камеры при съемке вступает в противоречие с задачами безопасного перемещения аппарата под водой, требующего фронтального обзора.

Однако, высокая мозаичность фаций, характерная для малых глубин делает применение видео критически необходимым при ландшафтном картировании верхнего шельфа. Так, например, в морях, покрытых сезонными льдами, обязательным элементом подводного ландшафта являются валуны различной крупности, случайным образом распределенные по дну. Стандартная дночерпательная съемка в большинстве случаев не позволяет ни выявить этот элемент, ни оценить количественно роль эпифауны. Совмещение двух методов – пробоотбора и количественной видеосъемки позволяет объединить мозаику контуров, выделяемых стандартным пробоотбором, с фациальным разнообразием каждого ландшафта по видео наблюдениям.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Мардашова М. В., Мокиевский В. О.** Макробентос глубоководной части Великой Салмы по данным дночерпательной съемки 2006 г. и видеонаблюдений // Тр. Беломор. Биостанции МГУ. Т. 11. – М.: КМК. 2012. С. 74–87.
2. **Шашков А. Л., Оленин С. Н.** Применение дистанционной подводной видеосъемки для количественного анализа признаков донных биотопов и их идентификации // Тр. Беломор. Биостанции МГУ. Т. 11. – М.: КМК. 2012. С. 64–73.

3. **Bergmann M., Soltwedel T., Klages M.** The interannual variability of megafaunal assemblages in the Arctic deep sea: preliminary results from the HAUSGARTEN observatory (79°N) // Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers. – 2011. – V. 58. P. 711–723.
4. **Bergmann, M., Langwald, N., Ontrup, J., Soltwedel, T., Schewe, I., Klages, M., Nattkemper, T. W.** Megafaunal assemblages from two shelf stations west of Svalbard // Marine Biology Research. – 2011. – V. 7. P. 525–539.
5. **Olenin S., Daunys D.** Coastal typology based on benthic biotope and community data: the Lithuanian case study // Coastline Reports. – 2004. – V. 4. P. 65–84.
6. **Rybakova (Goroslavskaya) E., Galkin, S., Bergmann, M., Soltwedel, T., Gebruk, A.** Density and distribution of megafauna at the Håkon Mosby Mud Volcano (the Barents Sea) based on image analysis // Biogeosciences Discussions. – 2012. – V. 9. P. 17475–17517.
7. **Schoening, T., Bergmann, M., Ontrup, J., Taylor, J., Dannheim, J., Gutt, J., Purcer A., Nattkemper, T. W.** Semi-automated image analysis for the assessment of megafaunal densities at the arctic deep-sea observatory HAUSGARTEN // PloS one. – 2012. – V. 7. P. e38179.
8. **Soltwedel, T., Jaeckisch, N., Ritter, N., Hasemann, C., Bergmann, M., Klages, M.** Bathymetric patterns of megafaunal assemblages from the arctic deep-sea observatory HAUSGARTEN // Deep-Sea Res. Pt. I. – 2009. – V. 56. PP. 1856–1872.

УДК 551.465.15

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МОДУЛЬ «RA8-USB»

Руссак Ю. С., Тихонова Н. Ф.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва,
8(499)124-13-01, russak@ocean.ru*

For the construction of mobile compact systems for collecting and processing of analog and digital information from many sources developed universal module «RA8-USB». High speed allows us to investigate fast processes and wideband signals. The module includes a two-channel DACs.

Разработанный в ИО РАН и широко используемый при различных гидроакустических исследованиях комплекс RASTR-USB [1, 2] предназначен в основном для автоматизации сбора, обработки, накопления и отображения информации, поступающей от гидролокаторов бокового обзора (ГБО), акустических профилографов (АП) и другой аппаратуры со строчным характером представления информации. Для построения мобильных компактных систем сбора и обработки аналоговой и цифровой информации от большого числа источников информации был разработан универсальный восьмиканальный модуль «RA8-USB».

Модуль обеспечивает:

- ввод и аналого-цифровое преобразование восьми каналов аналоговой информации с высокой частотой дискретизации;
- связь с компьютером по интерфейсу USB, что значительно упрощает процесс подключения модуля к компьютеру и даёт возможность работы с модулем в режиме реального Plug&Play;
- вывод аналоговых сигналов производной формы с помощью цифро-аналогового преобразователя;
- возможность хранения в энергонезависимом пользовательском ПЗУ любой необходимой информации, например, калибровочные коэффициенты АЦП и ЦАП;
- внутреннюю буферизацию входных аналоговых каналов, что исключает межканальное прохождение при высоких частотах переключения каналов и гарантирует отсутствие проникновения коммутационных шумов в линии связи с объектом;
- различные режимы внутренней и внешней синхронизации ввода и вывода данных.

В тракте аналого-цифрового преобразования используются усилители с программируемым коэффициентом усиления и смещением нуля и быстродействующий прецизионный аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Наличие программно- управляемого суммирующего усилителя позволяет реализовать режим «ЛУПА» (Zoom), что расширяет динамический диапазон АЦП до 80 ДБ, и режим «Окно» (Panorama), организуемый за счет смещения нуля усилителя.

Основные характеристики комплекса следующие:

- количество входных информационных каналов – 8;
- пределы анализируемых амплитуд – 30мВ–10В;
- частота аналого-цифрового преобразования – до 3МГц;
- разрядность аналого-цифрового преобразователя (АЦП) – 16;
- нелинейность АЦП (МР) – +1 –0,5;
- абсолютная погрешность преобразования в конечной точке шкалы при нормированном входном сигнале амплитудой 1В – 0,01В.

Управление работой модуля осуществляется программируемым 8-разрядным микроконтроллером Atmega32. С помощью программного конфигурирования портов ввода/вывода и периферийных устройств микроконтроллер реализует: программируемый таймер, регистр адреса, регистр данных, регистр управления, шифратор чтения/записи, супервизор напряжения питания (СНП).

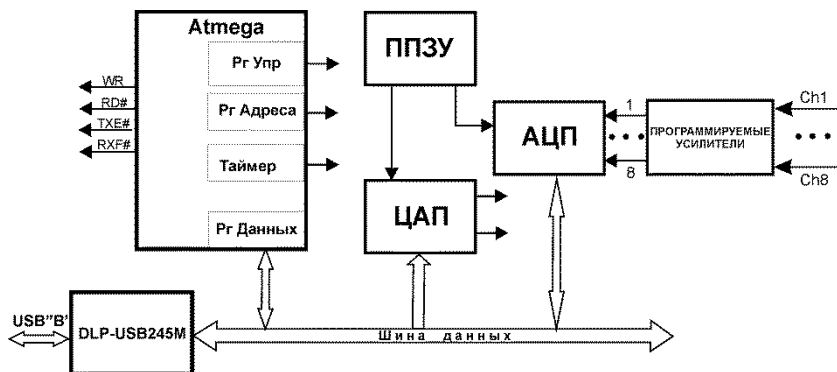


Рис.1. Структурная схема модуля

Программируемый таймер позволяет в широких пределах регулировать частоту запуска аппаратуры, частоту дискретизации АЦП и интервал ввода сигналов.

Программное обеспечение системы обработки гидроакустической информации состоит из двух автономных модулей (RA8.EXE и RVIEW8.EXE), взаимодействие между которыми осуществляется посредством обмена информацией на магнитном носителе (твердом диске). Модули написаны на языке программирования C++ с включением отдельных функций на языке АССЕМБЛЕР. Размер модулей не превышает 256 Кбайт, однако, для эффективной работы требуется максимально-возможное количество оперативной памяти.

Программа RA8.EXE осуществляет в реальном времени ввод, привязку, предварительную обработку, регистрацию и оперативное отображение на экране системного дисплея информации аналоговых входных каналов.

Программа осуществляет:

- раздельное по каналам автоматическое или ручное изменение параметров ввода информации: частоты дискретизации (разрешающей способности), параметры активных согласующих фильтров и АЦП;

- регистрацию на жестком магнитном диске входной информации в цифровом виде;
- оперативное отображение поступающей информации с одного или нескольких каналов на системном дисплее.

Управление работой программы осуществляется оператором в интерактивном режиме посредством «меню».

Модуль RVIEW8.EXE предназначен для окончательной не в реальном времени обработки накопленной информации. Программа реализует:

- просмотр любого файла исходной информации;
- многократное увеличение масштаба изображения выбранного фрагмента (режим лупы);
- создание файла пометок с комментариями;
- экспорт просматриваемых и обработанных изображений в стандартных графических форматах.

Интерфейс связи с оператором оформлен в виде «меню» с использованием «мыши» и клавиатуры компьютера.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Руссак Ю. С., Римский-Корсаков Н. А.** Цифровой модуль ввода-вывода гидролокационной информации RAD98 // В сб. Труды IV Международной конф. «Современные методы и средства океанологических исследований», М. ИО РАН, 1998. С.114.

2. **Руссак Ю.С., Бушуев К.Л.** Программно-аппаратный комплекс сбора и обработки гидролокационной информации // В сб. «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». Санкт-Петербург: Наука, 2008. С. 135–140.

3. **Римский-Корсаков Н. А., Руссак Ю. С. Сычев В. А.** Перспективные направления разработки и применения гидроакустических средств для поиска, идентификации, обследования и мониторинга ППОО // В сб. «Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций». Москва. 2010. С. 188–202.

V. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА МОРСКИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 57.084.1

ФИТОИНКУБАТОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ФИТОПЛАНКТОНА С ИНДИВИДУАЛЬНЫМИ НАСТРОЙКАМИ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСВЕЩЕННОСТИ

Мошаров С. А., Гонтарев С. В.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
117997, г. Москва, Нахимовский пр-т, 36
8(499) 124-63-88, mosharov@ocean.ru*

A new phyto-incubator for the incubation of water samples when measuring the primary production is considered in the paper. The incubator consists of light and heat isolated cells with the system for individual regulation of temperature and light in the each cell.

Для определения важнейшего экологического параметра водных экосистем – первичной продукции – необходимо выполнять экспериментальные работы с пробами воды, содержащими природный фитопланктон. Определение первичной продукции проводится с помощью двух основных методов – кислородного и радиоуглеродного. Оба эти метода основаны на выдерживании проб воды в условиях, приближенных к природным, в течение 4–6 часов, и определении изменений в пробе количества кислорода (кислородный метод) или изотопа углерода ^{14}C (радиоуглеродный метод). При этом основными условиями (факторами среды) в данном случае являются уровень освещенности и температура воды.

В настоящее время при измерении первичной продукции в водоемах наиболее часто используется способ инкубирования проб воды, взятых с различных горизонтов и разбитых на подпробы, при фиксированной температуре с различными уровнями освещенности. Он принят в качестве основного в международных экологических и мониторинговых программах (HELCOM, SCOR и др.) и основан на инкубации проб воды при искусственном освещении в контролируемых температурных условиях [1]. Применение методов оценки первичной продукции и содержания хлорофилла «а» при проведении работ по контролю качества по-

верхностных вод суши по гидробиологическим показателям регламентируется документом «Р 52.24.309-2004 Рекомендации. Организация и проведение режимных наблюдений за загрязнением поверхностных вод суши на сети Росгидромета».

За рубежом используются опытные или малосерийные инкубаторы различных конструкций с существенными ограничениями по контролю параметров инкубации (например, ICES Incubator, HELCOM) [1]. В этих инкубаторах применяется общее освещение с индивидуальных затенением каждой подпробы. При этом уровни затенения имеют фиксированные градации. Недостатком (или существенным ограничением) этого является неполное соответствие световых условий в точке отбора пробы и в эксперименте, что может приводить к существенным искажениям при оценке первичной продукции и определении световых зависимостей. Температура среды в инкубаторах поддерживается соответствующей определенному уровню – либо за счет прокачки воды из верхнего горизонта (в случае экспериментов на борту исследовательского судна), либо за счет использования чиллера (охладителя воды) с циркуляцией воды через экспериментальный инкубатор с пробами. Во всех случаях для серии проб воды с фитопланктоном используется одинаковая температура. Однако довольно часто серии проб отбираются одновременно с разных горизонтов, имеющих разную температуру воды. Инкубация проб при температуре, отличающейся от природной, также приводит к искажению результатов.

Для повышения эффективности измерения первичной продукции и возможной унификации экспериментальных процедур была поставлена задача разработки фитоинкубатора, в котором контролируются с необходимой точностью наиболее значимые факторы, определяющие уровень и динамику первичной продукции и соответствие экспериментальных условий природным. Инкубатор обладает следующими параметрами:

1) световой поток регулируется в диапазоне от полной темноты до освещенности, ингибирующей фотосинтез, для каждой пробы отдельно;

2) световой поток задается и стабилизируется в каждой ячейке с точностью не хуже 2%;

3) обеспечивается стабильность спектрального состава во всем диапазоне регулировки освещенности;

3) температура внутренней среды инкубатора задается в диапазоне от -1°C до $+30^{\circ}\text{C}$ (в том числе нагрев до температуры выше комнатной) для каждой пробы отдельно;

4) электропитание 12 в, что позволит использовать в переносном полевом варианте, а также обеспечит электробезопасность при работе с морской водой.

5) возможность непрерывной работы (24 часа в сутки).

Инкубатор состоит из теплоизолированных ячеек (рис. 1) с возможностью задания и стабилизацией температуры и освещенности в каждой из них. В качестве источника света используется светодиод. Он наиболее легко регулируется по световому потоку от 0 до максимальных значений, обладает долговременной стабильностью параметров при эксплуатации. В устройстве используется светодиод, калиброванный по цветовой температуре (калибровка осуществляется фирмой-изготовителем). В качестве элемента нагрева/охлаждения ячейки выбран микрохолодильник (элемент Пельтье).

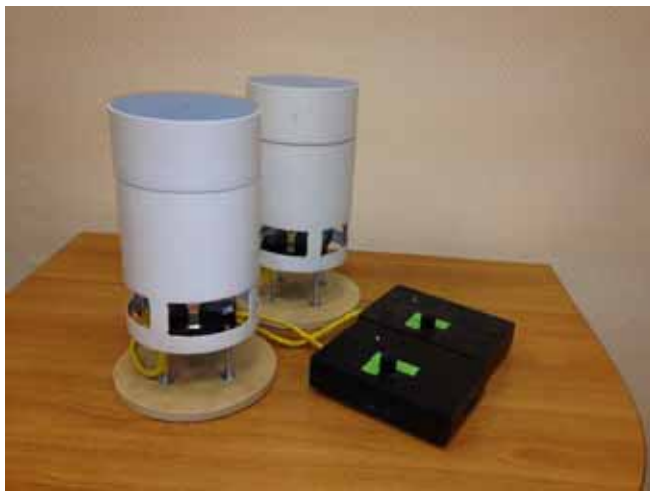


Рис. 1. Внешний вид теплоизолированной ячейки и блока питания с системой регулировки температуры и освещенности

Отдельная ячейка инкубатора работает следующим образом. В устройстве управления задаются необходимые уровни температуры и освещенности. Система стабилизации температуры включает датчик температуры, устройство управления, микрохолодильник. Использование элемента Пельтье в системе поддержания температуры позволяет осуществлять как нагрев, так и охлаждение образца относительно температуры окружающей среды. Одна из сторон элемента Пельтье соприкасается с нижней поверхностью стакана, противоположная сторона – с поверхностью радиатора. Для увеличения тепловой производительности осуществляется обдув радиатора вентилятором. Система стабилизации

освещенности включает светодиод и устройство управления. Уровень освещенности задается током, протекающим через светодиод. Стакан и верхняя часть элемента Пельтье изолируются от нижней стороны элемента Пельтье и внешнего корпуса прибора с помощью теплоизолирующего материала. Ячейка обеспечивает во время экспозиции проб регулируемую и стабилизированную температуру и регулируемый стабилизированный световой поток.

Оценка результатов тестовых измерений.

Были проведены предварительные тестовые измерения первичной продукции при разных температурных установках. Проба воды была взята из природного водоема. В лаборатории проба была разделена на две подпробы, которые были помещены в отдельные устройства. В одном из устройств была установлена температура места отбора проб ($+10^{\circ}\text{C}$), в другом – температура $+20^{\circ}\text{C}$. Световой поток в обоих устройствах был задан одинаковым – $200 \text{ мкмоль фотонов/м}^2 \text{ сек}$. По окончании экспозиции через 3 часа подпробы были проанализированы по стандартной методике, и определена скорость первичной продукции в каждом из опытов.

По результатам предварительных измерений получены достоверные различия в биологической продуктивности в разных условиях. Продуктивность подпробы при повышенной температуре была в 1.7 раза ниже, чем при исходной температуре.

Таким образом, путем введения в устройство элементов задания и стабилизации температуры и освещенности для каждой ячейки достигается возможность индивидуальных условий инкубации каждого образца. Подобная установка позволяет задать «сетку» параметров по температуре и освещенности, по длительности экспонирования, и получать прогностические оценки первичной продукции при изменении внешних условий.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Colijn F., Kraay G. W., Duin R. N. M., Tillman U., Veldhuis M. J. W. Design and tests of a novel P-I incubator to be used for measuring the phytoplankton primary production in ICES monitoring studies. http://www.helcom.fi/groups/monas/CombineManual/AnnexesC/en_GB/annex5/#annex1Description.

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОФИТОБЕНТОСА КАК ТЕСТОВОЙ ГРУППЫ ОРГАНИЗМОВ НА ПРИБОЙНЫХ УЧАСТКАХ ПЕСЧАНОЙ ЛИТОРАЛИ

Сапожников Ф. В., Калинина О. Ю.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-79-96,
fil_aralsky@mail.ru*

The features of the method of use of marine microphytobenthos as a test group of organisms near the offshore oil and gas facilities on the sandy littoral areas exposed to strong waves rolling. It is proposed to pay attention to the smallest species microphytobenthos living on the surface of the sand grains and forming community thickness of not more than 15–20 microns.

Активное освоение природных месторождений нефти и газа на шельфе морей занимает далеко не последнее место в экономике России. Согласно законодательству, любые серьёзные гидротехнические работы на шельфе, будь то бурение скважин, строительство сопутствующих гидротехнических сооружений или же прокладка трубопровода по схеме «берег-море», сопровождаются инженерно-экологическими изысканиями [1]. В задачу последних входит, в том числе, контроль экологической ситуации на акватории, прилегающей к зоне бурения или строительства. Как фоновую оценку экологической ситуации, так и следующие за ней мониторинговые наблюдения проводят, в том числе, по тестовым группам организмов.

Такие группы объединяют виды живых существ, определённым образом реагирующие на изменение среды их обитания – в частности, моря. В свою очередь, тестовые группы различаются по скорости ответа на воздействие, которое способен оказать на экосистему процесс строительства или же эксплуатации объекта: как в фоновом, так и в аварийном режимах. В частности, при потенциально возможных разливах нефти или же горюче-смазочных жидкостей, используемых при строительстве, быстрее всего отвечают микроскопические и суб-микроскопические организмы, имеющие короткий жизненный цикл: структура их по-

пуляции существенно меняется уже в первые часы/дни после воздействия поллютанта.

Наибольшей методической лёгкостью для интерпретации формы и силы воздействия разлившегося поллютанта отличаются такие тестовые группы, как мезозоо- и микрофитопланктон (в толще воды), а также мейозоо- и микрофитобентос (на поверхности дна) [2].

Тем не менее, в ходе контроля ситуации, связанной с возможными выбросами плавучих пятен загрязняющих жидкостей на берег, часто возникают методические трудности в подборе тестовых групп. Они связаны с тем, что далеко не всякий участок береговой линии, на котором может произойти оседание поллютанта на грунт, обладает условиями для развития тестовых групп в том виде, в котором специалисты их рассматривали до сих пор.

Рассмотрим для примера литоральную зону восточного побережья о-ва Сахалин, на одном из участков которой планируется выход трубопровода с берега на акваторию Охотского моря. Здесь преобладают протяжённые участки песков, постоянно и с разной интенсивностью перемываемых прибоем. Исследования, проведённые сотрудниками ИОРАН в 2013–2014 гг., показали, что песчаный грунт перемывается здесь накатной волной до 30–40 см в толщу осадка, и происходит это до глубин порядка 12–15 м – как минимум. Тестовые группы организмов, наиболее быстро и информативно проявляющих реакции на выброс жидкого поллютанта на берег, представлены здесь в основном микрофитобентосом и мейозобентосом. Тем не менее, если на менее прибойных участках микрофитобентос объединяет по большей части подвижные формы микрофитов (микроводорослей и фитопротистов), населяющие интерстициальные пространства между песчинками, то на данном участке таких форм практически не было отмечено.

Однако детальный анализ выявил присутствие богатых сообществ микрофитобентоса и в этой зоне экстремального перемешивания песков. В частности, было показано обильное развитие мельчайших микрофитов прямо на поверхности песчинок: здесь развивались прикреплённые и полуприкреплённые формы диатомей, сидячих фитопротистов и жгутиконосцев размерами до 15 мкм. При этом они использовали неровности поверхности мелких минеральных частиц (выбоины, трещины и каверны), образуя в них компактные поселения высокой плотности слоем до 15–20 мкм. При частом перемешивающем воздействии накатных волн, такие микроценозы «путешествуют» вместе с минеральными частичками, на которых они растут. При соударении частиц они практически не страдают, поскольку защищены от него выступающими эле-

ментами микрорельефа поверхности, на которые в основном и приходится ударное воздействие.

Таким образом, на обширном участке побережья о-ва Сахалин, потенциально (пусть и с низкой вероятностью) подверженном воздействию жидких поллютантов при строительстве и эксплуатации трубопровода, было выявлено присутствие развитой и многокомпонентной (десятки видов) тестовой группы микрофитобентоса. В свою очередь, это даёт возможность для полноценного экологического мониторинга ситуации по быстро реагирующим тестовым группам.

Особенность методики анализа ситуации по микрофитобентосу состоит в таких условиях в том, что песок, отобранный на литорали и верхней сублиторали, необходимо подвергать длительному (не менее 15–20 минут) воздействию ультразвука – для максимально полной дезинтеграции живой компоненты от минеральных частиц, с поверхностью которых она ассоциирована довольно плотно. В наших исследованиях для этих целей применяли ультразвуковую ванну «Сапфир» с рабочей частотой излучения в 35 кГц. Затем пробы отмывали от крупных частиц посредством взбалтывания, отмучивания (деконтации) и осаждения тяжелой фракции осадка, с которой сливали – раз за разом – суспензию лёгкой фракции. Процедуру повторяли до тех пор, пока раствор над осадком не становился совершенно прозрачным. Слитую суспензию легкой фракции осаждали центрифугированием и концентрировали в объеме 16 мл. Из полученного таким образом (счётного) объема брали аликвоты для микроскопирования.

Общепринятая при отмывке проб микрофитобентоса обработка ультразвуком на протяжении 5–10 минут для [3] материала, отбираемого на прибойной песчаной литорали и верхней сублиторали, не эффективна: большая часть микрофитов остаётся на песчинках.

Отметим, что в фоновых условиях, незагрязнённых нефтью или жидкими реагентами, сопутствующими строительным работам, в структуре микрофитных ценозов, рассматриваемых на таких участках песчаного берега, будут преобладать мелкие диатомеи (прикреплённые и полуприкреплённые, малоподвижные эпипсаммические формы) и прикреплённые окрашенные фитопротисты. Напротив, при воздействии означенных поллютантов баланс в сообществах будет стремительно смещаться в сторону преобладания мелких жгутиконосцев, ведущих прикрепленный и/или полуприкрепленный образ жизни (кинетопластид, бикозоеид и хоанофлагеллят), а также мелких нитчатых бактерий.

Метод, построенный на использовании мелких (до 15 мкм), плотно ассоциированных с песчинками представителей микрофитобентоса (как,

в целом, широко применяемой вблизи нефтегазовых объектов, информативной тестовой группы) применим и для других песчаных участков побережья морей, подверженных интенсивному воздействию прибоя, а также и на защищённых от сильного прибоя участках литорали – в зимнее время, когда интерстициальный микрофитобентос развивается в незначительной степени.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Шабалин, Н. В., Илюшин, Д. Г., Спиридонов, В. А.** Концепция экологического мониторинга и сопровождения геологических работ при освоении месторождений на арктическом шельфе Российской Федерации // Инженерные изыскания. – 2014. – № 9–10. – С. 90–94.

2. **Сапожников, Ф. В., Гайнанова, О. Ю.** Использование индикаторных групп организмов для оценки состояния среды в районах морской нефтегазодобычи // Труды Международного симпозиума «Инновационные технологии в исследовании окружающей среды» // RE: 2013 – Research Environ. Ларнака. Кипр. 2013 г. – М.– Ларнака Кипр: МФТИ. – М. – Ларнака Кипр: МФТИ, 2013. – С. 47–51.

3. **Сабурова, М. А., Поликарпов, И. Г.** Сравнительный анализ некоторых методов количественного учета бентосных диатомовых водорослей // Труды 20 конференции молодых ученых биологического факультета МГУ «Проблемы современной биологии». – Москва, 1989. – Деп. в ВИНТИ 05.02.90. – № 641. – С. 109–113.

УДК 57.087.3

КАР (KITE AERIAL PHOTOGRAPHY) ДЛЯ ФОТО И ВИДЕО СЪЕМКИ КИТООБРАЗНЫХ В ПРИРОДЕ

Беликов Р. А., Прасолова Е. А.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-59-65
mirounga7@rambler.ru*

The paper presents the experience of using specialized kite to study the White Sea beluga whales. Kite based tethered system for surveillance and shooting is described, as well as the methods of its application in the coastal cetaceans gathering. The advantages and disadvantages of this unmanned aerial system are discussed.

В докладе представлен опыт использования специализированного воздушного змея для изучения беломорских белух. Описывается устройство привязной системы наблюдения и съемки на базе кайта и методика ее применения в условиях прибрежного скопления китообразных. Рассматриваются преимущества и недостатки данной беспилотной авиационной системы.

Летом 2014 г. в репродуктивном скоплении белух у м. Белужий о. Соловецкий мы протестировали портативную систему воздушного видеонаблюдения привязного типа (рис. 1). В качестве летательного аппарата применяли кайт («воздушный лифт») модели Jacket 2.4 – одностропный неуправляемый профессиональный змей конструкции Flowform (т.е. бескорпусный (мягкий) змей аэродинамической формы). Отсутствие жестких элементов конструкции обеспечивало повышенную кршеустойчивость змея, а также оперативность его подготовки к запуску и исключительную портативность при транспортировке. Змей Jacket 2.4, являясь средней моделью в своей линейке, тем не менее, обладает значительной грузоподъемностью и стабильным полетом в широком диапазоне ветров. Однако с учетом полученного опыта, мы бы рекомендовали в регионах с частыми слабыми ветрами использовать кайты большей площади (3–5 м²). Они обладают большей грузоподъемностью, что особенно важно при слабом ветре, и в то же время отличаются большей стабильностью полета при сильном и порывистом ветре.

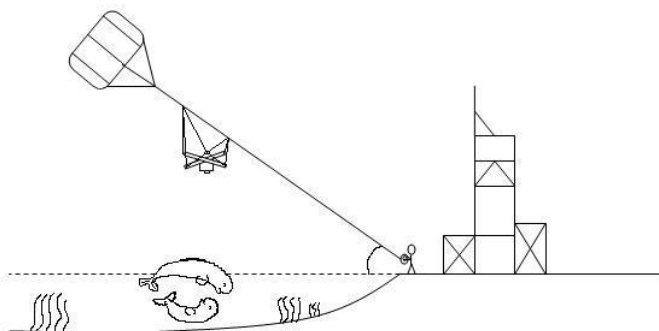


Рис. 1. Схема воздушного наблюдения, фото и видеосъемки с помощью профессионального воздушного змея

Беспилотная система также включала в себя специальную катушку и карабин, высокопрочный леер (150 м), а также подвес и полезную нагрузку. Регистрирующая аппаратура крепилась в 20–30 м от кайта с помощью классического Пикавета («+» формы), который подвешивали к лееру с помощью медных крючков и капроновой нити. Пикавет – специальный подвес, состоящий из самодельной деревянной крестовины и капроновой нити, особым образом пропущенной через крепления крестовины и крючки. За счет скольжения нити он обеспечивает механическое выравнивание камеры по крену и тангажу при изменении угла наклона леера и поперечном раскачивании крестовины.

Воздушную съемку производили экстрим камерами GoPro Hero 2 и Go Pro Hero 3 Black Edition в двух режимах: видеосъемка (super wide Full HD) и интервальная фотосъемка (частота – 2 кадра в секунду, разрешение – 12 МП). Одна камера крепилась горизонтально под Пикаветом (вертикальная съемка в надир), другая – к передней стороне блока плавучести подвеса под углом 45 градусов. Камеры GoPro находились в защитных герметичных боксах. Кроме того на подвесе помещалась направленная вниз герметичная цилиндрическая камера, изображение с которой транслировалось радиопередатчиком (частота 5.8 ГГц, мощность 200 мВт) и принималось приемником с направленной антенной. Видеосигнал выводился на экран портативного телевизора, что позволяло контролировать позиционирование Пикавета над животными и наблюдать за их поведением.

Рабочие запуски змея осуществляли при ветре от 3 до 8 м/с, тестовые полеты проводили до скорости ветра в 10–12 м/с. Удалось осуществить съемку белух с различных высот: ориентировочно от 3 до 120 м. Высоту подъема змея оценивали по длине вытравленного леера и углу затягивания. Запуск змея проводили с берега и с надувной лодки Badger CL 340. Управление «воздушным лифтом», особенно при съемке с лодки, старались производить командой из двух человек. Стоит отметить, что съемка белух с лодки представляла собой непростую задачу, особенно в слабый ветер и при высокой микромиграционной активности животных. Позиционирование змея над объектом съемки проводили путем перемещений находящегося на берегу оператора вдоль уреза воды или посредством перемещений лодки в море, а также за счет манипуляций с леером и катушкой (изменение высоты полета и удаления от оператора).

Тестирование использования системы на базе кайта показало ее достаточно высокую эффективность. В качестве платформы-носителя «воздушный лифт» оказался пригоден не только для получения низковысот-

ных фотоснимков (рис. 2), но и для проведения видеонаблюдения и съемки, что чрезвычайно важно для организации этологических исследований. Стоит отметить, что КАР-технологии использовались ранее, в основном, для получения единичных или малочисленных фотоснимков, а также для создания сферических фотопанорам. Лишь недавно началась разработка КАР-систем для локального картирования со сверхвысоким разрешением [1] и для продолжительного мониторинга [2]. Нам не удалось обнаружить в литературе упоминаний об успешном применении кайтов для получения видеоизображения. Из привязных платформ-носителей для видеосъемки обычно использовали аппараты легче воздуха: воздушные шары, дирижабли и геликайты.

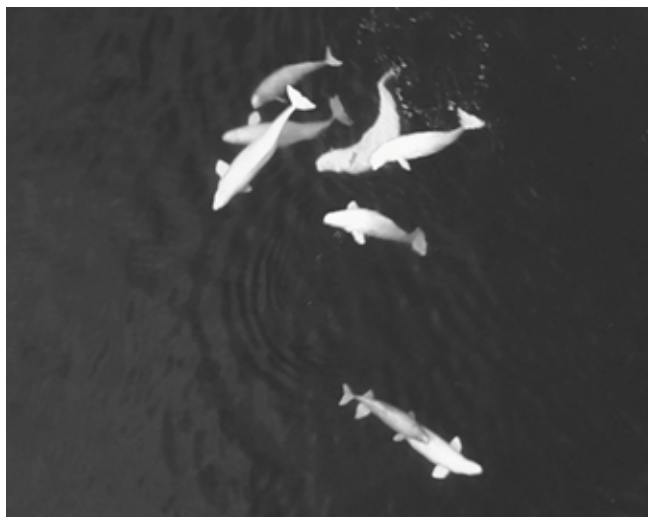


Рис. 2. Кроп-фрагмент фотоснимка белух с кайта

Несмотря на общую эффективность, система воздушной видеосъемки на основе кайта имела ряд недостатков. Основными из них являются: 1) зависимость от силы и направления ветра, 2) сложность позиционирования кайта в пространстве и 3) проблемы со стабилизацией изображения.

Однако в целом, система на базе кайта является простой, недорогой, мобильной и прочной. В базовом варианте она энергонезависима и бесшумна, т.е. максимально экологична. В отличие от мультикоптера, кайт не оказывает беспокоящего воздействия на белух. По всей видимости, за счет бесшумности была возможна съемка с минимальной высоты в 3–5 м.

Назначение кайта – увеличение времени наблюдения, снижение рисков при работе в сильный ветер, а также замена мультикоптеров в случае их выхода из строя. Для улучшения системы необходимо использовать кайт большой площади (3–5 м²), леер длиной 300–500 м, профессиональную катушку большого диаметра или мотовилы, а также систему панорамирования видеокамер. Использование змея особенно целесообразно в малобюджетных проектах, в удаленных труднодоступных районах, испытывающих проблемы с электричеством, в регионах с доминированием сильных ветров и при исследовании пугливых животных. В высокобюджетных проектах целесообразно использовать геликайты – змейковые гибридные аэростаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Bryson M., Johnson-Roberson M., Murphy R.J., Bongiorno D.** (2013) Kite arial photography for low-cost, ultra-high spatial resolution multi-spectral mapping of intertidal landscapes. PLoS ONE 8(9): e73550. doi:10.1371/journal.pone.0073550.
2. **Murray J., Neal M., Labrosse F.** (2013) Development and deployment of an Intelligent Kite Aerial Photography Platform (iKAPP) for site surveying and image acquisition. Journal of Field Robotics 30: 288–307.

УДК 57.087.3

ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИПЛАТФОРМЕННОЙ АВИАЦИОННОЙ БЕСПИЛОТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЛОКАЛЬНЫХ АВИАУЧЕТОВ И ВОЗДУШНОГО ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ЗА БЕЛОМОРСКИМИ БЕЛУХАМИ

Беликов Р. А., Прасолова Е. А., Белькович В. М.

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва, 8(499)124-59-65
mirounga7@rambler.ru*

Paper presents an unmanned aircraft system based on remotely piloted and tethered aerial vehicles of class «micro». FPV (first person view) systems are used for research of coastal marine mammals. In natural conditions recorders of various types were tested, as well as a variety of control systems for remotely piloted aircraft.

Описываются работы по созданию беспилотной авиационной системы на базе дистанционно пилотируемых и привязных летательных аппаратов класса «микро». В период с 2012 по 2014 гг. осуществлялась отработка методики использования FPV (first person view, полет от первого лица) систем для исследований прибрежных морских млекопитающих. В натурных условиях протестированы возможности фото и видео регистраторов различных типов, а также разнообразных систем управления дистанционно пилотируемыми летательными аппаратами. Продолжен поиск оптимальной платформы-носителя самолетного типа.

В качестве платформ-носителей для воздушной видео и фотосъемки белух соловецкого репродуктивного скопления использовали летательные аппараты трех типов: 1. радиоуправляемые авиамодели самолетного типа, 2. радиоуправляемые авиамодели вертолетного типа (многопорторные вертолеты – мультикоптеры) и 3. привязной летательный аппарат – профессиональный воздушный змей (кайт – воздушный лифт), предназначенный для подъема груза и воздушной фотовидеосъемки. Авиамоделей самолетного типа применяли для FPV мониторинга (локального авиаучета) соловецкого скопления, мультипорторные вертолеты и профессиональный кайт – для воздушного видеонаблюдения за белухами.

В 2013 г. впервые удалось провести многократный локальный FPV авиаучет белух на акватории соловецкого скопления (в течение 5 летних дней). В 2014 г. FPV мониторинг (локальный авиаучет) стал регулярным и осуществлялся на протяжении одного месяца – с 5 июля по 5 августа. Авиаучеты проводили практически каждый день с летной погодой. Запуски производили при отсутствии осадков и ветре меньше 8 м/с. Необходимо отметить, что в данном сезоне значительная часть полетов была осуществлена при довольно сильном (для авиамоделей) ветре порядка 5–8 м/с. В зависимости от обстоятельств выполняли от 1 до 4 полетов в сутки. В качестве платформ-носителей в основном использовали три летательных аппарата: 1) SkyWalker 1880 (SkyWalker™), 2) New SkyWalker 2013 (SkyWalker™) и 3) Storm Chaser 1800 EPP (Crash Test Hobby™). Данные летательные аппараты обладали повышенной грузоподъемностью и отличались стабильным полетом и простотой управления. Для увеличения дальности полетов применяли системы радиоуправления дальнего радиуса действия: Dragon Link V2 433 Мгц, Chain Link 433 Мгц, Rmiles 433 Мгц и Rockwell Hobby 868 Мгц. Носители не были оснащены какими-либо средствами телеметрии, стабилизации полета и автоматического управления. Все полеты выполнялись исключительно в ручном режиме. Запуск осуществляли с рук, посадку производили на неподготовленную, покрытую травой площадку. Данные эта-

пы полета осуществляли в визуальном режиме (прямой видимости). Основную же часть полета проводили в режиме FPV. Продолжительность полетов составляла от 10 до 35 мин. Радиус действия (дальность) данной FPV системы составлял 1.5–2 км, что позволяло уверенно охватывать все основные участки концентрации животных соловецкого скопления: А, А', С (север) и В (юг).

Летательные аппараты были модифицированы с целью увеличения полезной нагрузки, прочностных характеристик и возможности эксплуатации над водной поверхностью. Бортовое оборудование было герметизировано, отдельные узлы летательных аппаратов подвергнуты специальной водозащитной обработке. Полезная нагрузка (регистрирующая аппаратура) составляла от 200 до 600 г и первоначально включала видеокamеры переднего, бокового и нижнего обзора. Однако первые рабочие полеты показали, что наиболее информативной является вертикальная съемка (в надир), поэтому дальнейшие запуски осуществлялись лишь с камерами нижнего обзора, которые жестко крепились в герметичных боксах под крылом модели.

Для фото и видеосъемки использовали экстрим фотовидеокamеры: GoPro Hero 3 BE и GoPro Hero 3+ BE. Фотосъемка велась в автоматическом режиме с максимально возможными параметрами (разрешение 10–12 мП, частота – 2 кадра/с). В ряде случаев синхронно с фотосъемкой осуществляли видеосъемку в формате Full HD.

Методика учета заключалась в многократных проходах летательного аппарата над группами белух. По возможности варьировали высоту, скорость и направление захода на цель. За счет этого старались повысить вероятность получения качественных снимков, а также пытались оценить степень влияния данных параметров полета на качество фото и видео съемки. Помимо отработки методики, чередование проходов над животными на большой и малой высоте являлось необходимым условием для проведения полноценных учетов. Дело в том, что использование камер GoPro HERO не позволяло получать при съемке с большой высоты (более 100 м) фотографии, разрешение которых было бы достаточным для точных учетов белух. В то же время эти снимки, охватывающие участки акватории большой площади, давали возможность оценить общее количество животных и их расположение. Съемка же с малых высот (порядка 30–50 м) позволяла уточнить общую картину за счет детального анализа возрастной структуры и численного состава регистрируемых групп белух.

Анализ полученного материала позволил с высокой точностью оценить общую численность белух в репродуктивном скоплении. Однако

определение возрастного состава групп было сопряжено с рядом трудностей. По всей видимости, имела место недооценка количества особей подростковых возрастных категорий. Дело в том, что их размеры слабо отличались от размеров взрослых (белых) животных, а особенности цветопередачи камер GoPro Hero не позволяли точно определить их цвет. В результате особи подросткового возраста могли идентифицироваться как взрослые животные. В то же время детеныши младшего возраста (с длиной тела до половины длины тела матери), несмотря на свои небольшие размеры и темный цвет кожи, довольно легко детектировались на полученных фотографиях.

В 2012–14 гг. осуществлены попытки применения радиоуправляемых многороторных вертолетов для воздушного видеонаблюдения за белухами. В 2014 г. собран квадрокоптер на базе герметичной противударной рамы Aquascorper™ (USA), проведено несколько испытательных полетов. Однако в виду технических неполадок данный аппарат для наблюдений не использовался. Воздушная видеосъемка проводилась с помощью мультикоптеров фирмы DJI. Использовали три аппарата: в 2013 г. – квадрокоптер DJI 450 и гексакоптер DJI 550, и в 2014 г. – квадрокоптер Phantom 2 Vision. К сожалению, в 2013 г. оба аппарата упали в воду и в результате повреждения бортовой электроники вышли из строя. Однако полученный с их помощью видеоматериал отличался высоким качеством и свидетельствовал о высокой перспективности использования аппаратов данного типа для исследования морских млекопитающих. Действительно, выполненная в 2014 г. видеосъемка с помощью квадрокоптера Phantom 2 Vision подтвердила данное положение. Способность мультироторного вертолета зависать над объектом съемки (в том числе на сверхмалых высотах) позволяет производить съемку белух крупным планом, получая при этом четкое и стабилизированное изображение. Однако в ходе применения мультикоптера выяснилось, что данный аппарат обладает одним существенным недостатком, а именно – он оказывает негативное, пугающее воздействие на животных. Реакция белух на квадрокоптер значительно сильнее, чем на самолеты и, тем более, кайт. По всей видимости, это связано с тем, что мультикоптеры издают характерный звук и при этом, в отличие от самолетов, непрерывно присутствуют рядом с объектом съемки.

В связи со сложностями использования для воздушного видеонаблюдения мультикоптеров был произведен поиск альтернативных технических средств. В результате летом 2014 г. в репродуктивном скоплении белух у м. Белужий о. Соловецкий мы протестировали возможности новой беспилотной системы принципиально иного – привязного типа. В

качестве летательного аппарата использовали профессиональный кайт (воздушный лифт) модели Jacket 2.4. Система на базе змея является простой, недорогой, мобильной и прочной. В базовом варианте она энергонезависима и бесшумна. Главное ее достоинство в том, что кайт и подвес, в отличие от мультикоптера, не оказывают негативного беспокорящего воздействия на белух. Профессиональный кайт (лифт) показал себя весьма эффективным инструментом для воздушного видеонаблюдения за морскими млекопитающими. Его применение особенно целесообразно в малобюджетных проектах, в удаленных труднодоступных регионах, при доминировании сильных ветров и исследовании пугливых животных. По всей видимости, наиболее целесообразно совместное использование мультикоптеров и кайтов в составе одной системы. При этом мультикоптеры должны использоваться как основные, а профессиональные воздушные змеи как альтернативные, дополнительные платформы-носители.

УДК 634.67

ТРАНСФОРМАЦИЯ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ И НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ВОДАХ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ШЕЛЬФА САХАЛИНА: АНАЛИЗ МОДЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ

Леонов А. В.¹, Пищальник В. М.², Чичерина О. В.¹

¹*Институт океанологии им. П.П. Шириова РАН,
Нахимовский пр., 36, 117997, г. Москва,
8(499)124-85-29, leonov@ocean.ru*

²*Сахалинский государственный университет,
ул. Ленина, 290, 693008, г. Южно-Сахалинск,
8-924-280-82-44, vpishchalnik@rambler.ru*

Biohydrochemical portrait is constructed for the marine ecosystem of south-eastern shelf of Sakhalin Island. It describes interactions between chemical substances (organic and mineral forms of biogenic element – C, N, P, Si) and organisms (bacteria, phytoplankton, zooplankton) and also their intraannual dynamics.

Три электронных инструмента (ГИС «Сахалинской шельф», модель Бергенского университета (БОМ) и CNPSi-модель) применялись для

анализа развития биогидрохимической трансформации биогенов (БВ) и нефтяных углеводородов (НУ) в водах юго-восточного шельфа Сахалина (ЮВШС). Из ГИС «Сахалинский шельф» извлекались среднемноголетние данные по ежемесячным температурам и солености воды на стандартных горизонтах от 0 м до дна. По ним с помощью БОМ вычислялись скорости / направления течений и ежемесячные параметры водообмена через границы районов 1–3, выделенных внутри ЮВШС, и на границах с Охотским морем. Значения расходов воды и оцененные по литературе средние параметры морской среды (освещенность, прозрачность, биогенная нагрузка) для разных месяцев вводились в CNPSi-модель для расчета внутригодовой динамики концентраций органических и минеральных форм N, P, Si, НУ и биомасс (бактерии – гетеротрофы B1 и НУ-окисляющие B2, три группы фитопланктона F1–F3 и две зоопланктона Z1 и Z2), участвующих в трансформации веществ. На второй расчетный год достигались условия «замыкания года» (близость концентраций БВ в начале и конце года), что свидетельствует о хорошей сбалансированности поступлений БВ из внешних источников, биогидрохимических процессов и биомасс организмов, обеспечивающих рецикл и круговорот БВ в морской среде.

Вклад речного стока и атмосферных осадков в биогенную нагрузку невелик из-за малых соотношений поступающей влаги к объемам верхнего слоя морских вод. Развитие биогидрохимических процессов в воде связано с внутренним рециклом и круговоротом БВ организмами (потребление веществ, выделение метаболитов, детритообразование).

Особенность внутригодовых изменений БВ – повышенные концентрации DON, NO₃, ND, DOP, PD и форм Si в поверхностном слое зимой (отсутствие их активного потребления организмами). Весной при активизации роста биомасс содержание растворенных органических и минеральных компонентов снижается. Летом при развитии продукционных процессов запас органических веществ в воде растет, а в конце осени – начале зимы (по мере снижения активности организмов) содержание БВ заметно возрастает. Сложная картина (с несколькими максимумами и минимумами в течение года) наблюдается у концентраций минеральных форм N, P и Si (NH₄, NO₂, DIP, DISi) и у детрита (ND, PD, SiD). NO₃ (ее доля большую часть года >80% N_{min}, лишь летом она 50.0–57.2%) и N_{min} меняются синхронно.

Изменения общего содержания элементов (Si_{tot}, N_{tot}, P_{tot}), их амплитуд и отношений показывают что, в водах района 1 выше нижний предел общего содержания элементов и ниже амплитуда их внутригодовых колебаний (здесь их концентрации с начала года до конца мая снижают-

ся, во вторую половину года возрастают и к его концу достигают значений, близких на начало года). В районе 3, наоборот, ниже верхний предел значений и выше амплитуда колебаний. В районах 2 и 3 соответственно к концу августа и июня формируются промежуточные максимумы $S_{i\text{tot}}$, N_{tot} , P_{tot} . Диапазоны соотношений $S_{i\text{tot}}:N_{\text{tot}}:P_{\text{tot}}$ в начале и конце года в водах района 1 составляют (16.1–16.8):(9.1–9.8):1, района 2 – (16.1–19.2):(9.3–9.8):1, района 3 – (16.2–17.3):(9.0–10.4):1. В отличие от районов 2 и 3, меньшие изменения пределов отношений общих концентраций элементов в районе 1 свидетельствуют о большей сбалансированности внутриводоемных процессов. Близкие пределы отношений $N_{\text{tot}} : P_{\text{tot}}$ в районах 1–3 – признак сбалансированности процессов с участием отдельных форм N и P .

Изменения отношений концентраций отдельных БВ к общему содержанию элементов показывает, как меняется трансформация БВ при одновременном влиянии факторов среды, поступлении БВ в морскую среду из разных внешних источников и внутреннего их рецикла (круговорота). При формировании в районах 2 и 3 четких промежуточных максимумов P_{tot} и N_{tot} , отношение DOP/P_{tot} снижается (до 4.9–8.3%), DON/N_{tot} возрастает (до 68.1–82.4%) и происходит снижение DIP/P_{tot} (до 43.5–59.4%) и $N_{\text{min}}/N_{\text{tot}}$ (до 2.9–8.9%). Это означает, что в середине года внутренние потоки по N (продукция биомассы, ре-генерация, перенос, поступление из внешних источников и рецикл N) в большей степени влияют на увеличению запасов DON , чем потоки по P на рост запасов DOP . Можно предположить, что в середине года трансформация форм N и P здесь меняет направленность, а отношения форм N и P к суммарным их концентрациям свидетельствуют о разных тенденциях биотрансформации форм N и P .

Развитие организмов и трансформация ими БВ и НУ в районах 1–3 охарактеризована значениями биомасс, удельными скоростями их роста (k_0) и биопродукции (БП). Перенос вод активно влияет на показатели развития и метаболизма всех организмов. При расчете БП для конкретного района в актив не заносятся показатели организмов, принесенных водами из соседних районов (как образованных в другом районе). Так как значение БП зависит и от размерности ее представления, то БП представлены в двух размерностях для наиболее активных месяцев формирования биомасс в верхнем слое каждого района – на единицу объема воды в г Элемента/(м³ мес) (позволяет сравнивать БП при разных условиях среды) и в целом для всего объема вод – в тыс. т Элемента/мес (отражает зависимость БП от всей массы вещества слоя).

Наибольшие биомассы образованы в районах 3 и 2, наименьшие – в районе 1. Гетеротрофные бактерии $B1$ образуют наибольшие биомассы в сравнении с другими организмами. Оцененные для весны значения k_{0B1} активного роста биомассы $B1$ в водах районов 1–3 составляют 0.600, 0.043 и 0.166 сут⁻¹ при значениях БП_{B1C} = 58.873; 2.009 и 9.792 тыс. т С/мес; БП_{B1Si} = 3.532; 1.145 и 5.832 тыс. т Si/мес; БП_{B1N} = 2.447; 0.799 и 4.536 тыс. т N/мес; БП_{B1P} = 1.794; 0.562 и 3.456 тыс. т P/мес соответственно. Для осени k_{0B1} в районах 1–3 0.045, 0.043 и 0.029 сут⁻¹ и БП_{B1C} = 15.903; 7.290 и 24.031 тыс. т С/мес; БП_{B1Si} = 10.773; 4.374 и 15.121 тыс. т Si/мес; БП_{B1N} = 7.866; 3.240 и 11.070 тыс. т N/мес; БП_{B1P} = 6.498; 2.673 и 9.720 тыс. т P/мес соответственно. При выражении биомассы $B1$ в С – значение БП выше для весеннего периода, а в Si, N и P – для осеннего периода.

Удельные скорости роста весной биомассы $F1$, k_{0F1} , в районах 1–3 составляют 0.905, 0.180 и 0.226 сут⁻¹, а БП_{F1N} – 1.626; 0.525 и 11.880 тыс. т N/мес. Для осени значения k_{0F1} 0.177; 0.171 и 0.185 сут⁻¹ и БП_{F1N} 2.907; 1.458 и 5.400 тыс. т N/мес. В водах районов 1 и 2 БП_{F1N} для осени выше, чем для весны, а в районе 3, напротив, выше осенью.

Биомасса $F2$ в районах 1–3 формирует в течение года по четыре максимума, характеризуемые значениями k_{0F2} 0.677–0.691, 0.336–0.349, 0.438–0.532 и 0.328–0.547 сут⁻¹ соответственно. В районах 1 и 3 наибольшие БП_{F2N} в июле (соответственно 0.840 и 1.080 тыс. т N), а в районе 2 – в августе (0.821 тыс. т N). Осенью (октябрь) наибольшие значения БП_{F2N} имеются только в районах 1 и 2 (соответственно 1.710 и 0.405 тыс. т N), в районе 3 нет осеннего максимума БП_{F2N}.

Биомасса $F3$ в районах 1–3 образует по три максимума: в районе 1 они определяются k_{0F3} 0.700, 0.540, 0.444 сут⁻¹, в районе 2 – 0.512, 0.549, 0.256 сут⁻¹, в районе 3 – 0.676, 0.581, 0.380 сут⁻¹; с максимумами БП_{F3N} в июле (соответственно 0.841, 0.389, 1.404 тыс. т N/мес).

Зоопланктон $Z1N$ образует в районах 1–3 максимумы весной и осенью. В этих районах значения k_{0Z1} 1.030; 0.655 и 0.679 сут⁻¹ и БП_{Z1N} 1.794; 0.518 и 2.880 тыс. т N/мес характеризуют максимум $Z1N$ весной. Осенью биомасса $Z1N$ развивается одновременно в районах 1–3 (и ее максимумы и k_{0Z1} почти идентичны). Осенний максимум биомассы $Z1N$ для указанных районов характеризуется k_{0Z1} 0.598; 0.592, 0.589 сут⁻¹ и БП_{Z1N} 3.933; 1.215, 5.400 тыс. т N/мес соответственно при активном влиянии переноса вод на динамику БВ и биомассы $Z1N$.

Развитие $Z2N$ весной активно идет в районах 1 и 3, в районе 2 – оно запаздывает на 7–10 сут. Весной в районах 1 и 3 наибольшие k_{0Z2} 0.861 и 0.761 сут⁻¹, осенью – 0.452 и 0.459 сут⁻¹ соответственно. В районе 2 вы-

делен период (192–245 сут) повышенных биомасс Z_{2N} (0.0325–0.0392 мг N/л) с наибольшими $k_{0Z_{2N}}$ 0.331–0.475 сут⁻¹. Отмечен один максимум БП $_{Z_{2N}}$ – в июле в районах 1 и 2 (2.018 и 0.454 тыс. т N/мес) и в июне (2.160 тыс. т N/мес) в районе 3.

Показано, что с начала года концентрации НУ в районах 1–3 возрастают с разными скоростями, наибольшие НУ достигаются в районах 2 и 3 на 39–40 сут, а в районе 1 – на 137-е сут. Летом концентрации НУ снижаются до минимума (0.0002–0.002 мг НУ/л), в районе 1 отмечен небольшой промежуточный максимум НУ (0.006 мг НУ/л). К концу года содержание НУ в районе 1 восстанавливается до 0.0358 мг НУ/л, а в районах 2 и 3 – до 0.0141–0.0143 мг НУ/л.

В районах 1–3 с начала года отмечена низкая биомасса B_2 . В районе 1 образуются два выраженных максимума: резкий в начале мая (0.0095 мг НУ/л при наибольших k_{0B_2} 0.238 сут⁻¹) и в период 236–281 сут (с колебаниями B_2 0.0097–0.0106 мг НУ/л при наибольших k_{0B_2} 0.011 сут⁻¹). В районах 2 и 3 максимумы B_2 отмечены соответственно на 236 и 180 сут (0.013 и 0.014 мг НУ/л) при наибольших k_{0B_2} 0.103 и 0.130 сут⁻¹. В летне-осенний период биомассы B_2 соответствуют фоновым концентрациям НУ, а k_{0B_2} колеблются вблизи нулевых величин. Оцененные значения БП $_{B_2}$ для районов 1 и 3 (соответственно 0.449 и 0.720 тыс. т НУ/мес) характеризуют условия изменения концентраций НУ в мае, а для района 2 (0.194 тыс. т НУ/мес) – в июле.

УДК 574.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ БИОЛОГИЧЕСКИХ РИТМОВ ПЛАНКТОННЫХ СООБЩЕСТВ МЕТОДОМ РАЗЛОЖЕНИЯ В РЯД ФУРЬЕ ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПОЛЯ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

Мельникова Е. Б., Лямина Н. В.

*Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского,
пр. Нахимова, 2, г. Севастополь, 8(692)54-41-10
Helena_melnikova@mail.ru*

The method of Fourier series highlights the major harmonic components of change in the field of bioluminescence and calculates their performance. It is shown that the harmonic components caused by biological rhythms hydrobiont community.

Изучение процессов жизнедеятельности гидробионтов по измерению параметров физических полей, возникающих в процессе их жизнедеятельности, позволяет проводить исследования в естественных условиях в реальном масштабе времени без нарушения структуры и межвидовых связей гидробионтных сообществ. В сочетании с аналитико-математическими методами обработки амплитудно-временной изменчивости интенсивности создаваемого поля эти методы позволяют изучить процессы жизнедеятельности гидробионтных сообществ, в том числе оценить параметры биологических ритмов и выявить особенности межвидовых взаимоотношений.

Целью работы является выделение и оценка спектральных составляющих изменения интенсивности поля биолюминесценции в темное время суток в прибрежных водах Черного моря в осенний период, обусловленных биологическими ритмами планктонных сообществ.

Материалом для исследования послужили данные, полученные в октябре 2010 года в темное время суток в прибрежных водах г. Севастополя в районе б. Круглая. Глубина моря в районе исследования – около 70 м. Пространственную структуру интенсивности поля биолюминесценции исследовании методом многократного батифотометрического зондирования толщи воды, используя гидробиофизический комплекс «Сальпа-М» [1].

Анализ амплитудно-временных характеристик изменения поля биолюминесценции проводили в верхнем слое воды (0–30 м), в котором хорошо выражена периодичность нарастания и убывания интенсивности поля биолюминесценции [2, 3].

Как показали экспериментальные исследования, интенсивность светового излучения биолюминесцентных организмов на протяжении темного времени суток подвержена флуктуациям. На фоне общей тенденции нарастания интенсивности поля биолюминесценции с наступлением темного времени суток и ее уменьшения (падения) к утру, наблюдаются нарастания и убывания интенсивности поля биолюминесценции в течение всего темного времени суток.

В качестве метода определения продолжительности периодов и амплитудно-фазовых характеристик изменения интенсивности поля биолюминесценции использовали дискретное преобразование Фурье. Возможность применения дискретного преобразования Фурье обусловлена тем, что как показали исследования смена светового и темного времени суток оказывает существенное влияние на жизненные циклы биолюминесцентных организмов. Заход солнца, приводящий к смене светлого и темного периодов суток, является синхронизирующим сигналом для активизации

ции ряда биологических процессов. Это приводит к тому, что нарастания и спады интенсивности поля биоллюминесценции наблюдаются ежедневно в одно и то же время. Это дает основание считать изменения интенсивности поля биоллюминесценции периодическим процессом, повторяющимся каждое темное время суток. Поэтому к этим изменениям как к периодическому процессу может быть применено дискретное преобразование Фурье.

При разложении в ряд Фурье интенсивность поля биоллюминесценции в разные моменты времени представим в виде суммы спектральных составляющих [4]:

$$x(t) = a_0 + \sum_{j=1}^m (a_j \cos \frac{2\pi j}{N} t + b_j \sin \frac{2\pi j}{N} t), \quad (1)$$

где $a_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_0(t)$ – постоянная составляющая или нулевая гармоника;

$x_0(t)$ – значения исходного временного ряда; N – количество экспериментальных точек исходного временного ряда; $m=N/2$ – количество гармоник; a_j, b_j – коэффициенты ряда Фурье; $j/N=f_i$ – частота гармонического колебания; $j = 1, 2, \dots, m$ – номер гармоники.

Амплитуду гармонического колебания находили из выражения:

$$A_{mj} = (a_j^2 + b_j^2)^{1/2}. \quad (2)$$

Статистическую обработку результатов экспериментальных исследований производили с помощью пакетов программного статистического анализа *Microsoft Excel 7.0, SPSS, Statistica 6.0*.

Результаты спектрального анализа приведены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры спектральных составляющих изменения интенсивности поля биоллюминесценции

Номер спектр. составл.	Частота, 1/ч	Период, ч	Коэф. при косинусе	Коэф. при синусе	Амплитуды спектр. составл., пВт·см ⁻² ·дм ⁻¹
1 (основная)	0,071	14,0	–814	203	839
2	0,14	7,0	–309	91	322
3	0,21	4,7	–224	693	728
4	0,29	3,5	–188	–94	210
5	0,36	2,8	–437	–89	446
6	0,43	2,3	108	–131	170
7	0,50	2,0	130	0	130

Из результатов спектрального анализа (табл. 1) видно, что наибольшие амплитуды имеют первая, третья и пятая спектральные составляющие. Эти три существенные спектральные составляющие (три биологических ритма) вносят основной вклад в изменения интенсивности поля биолюминесценции в темное время суток. Остальные спектральные составляющие (биологические ритмы) вследствие их малой амплитуды в дальнейшем анализе не учитывались.

При этом процессы, формирующие первую спектральную составляющую, ответственны за медленные изменения интенсивности поля биолюминесценции, а процессы, формирующие третью и пятую спектральные составляющие — за быстрые изменения.

Для оценки достоверности принятых предположений был рассчитан коэффициент корреляции между изменением интенсивности поля биолюминесценции полученным экспериментальным путем и рассчитанным по формуле (1) с учетом трех наибольших спектральных составляющих. Расчеты показали, что коэффициент корреляции между теоретическими и экспериментальными данными составляет $r = 0,72$. Это свидетельствует о том, что изменения, описываемые совместным влиянием первой, третьей и пятой спектральными составляющими, достаточно хорошо характеризуют процессы, вызывающие изменения интенсивности поля биолюминесценции в темное время суток.

В докладе приведены графики изменения найденных спектральных составляющих, а также проведено рассмотрение биологических процессов, происходящих в планктонных сообществах и вызывающих наблюдаемые изменения поля биолюминесценции.

Отмечено, что основная спектральная составляющая характеризует нарастание интенсивности поля биолюминесценции в темное время суток и убывание его в утренние часы. Этот цикл обусловлен сменой и продолжительностью светового и темнового периодов. Показано, что третья и пятая гармоники характеризуют изменения поля биолюминесценции с периодами 4,7 и 2,8 ч, вызванные эндогенными циркадными ритмами светящегося планктона в темное время суток.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бурмистрова Н. В.** Организация и проведение биофизического мониторинга планктонного сообщества прибрежной акватории Севастополя: первые результаты / Н. В. Бурмистрова, Ю. Н. Токарев, В. И. Василенко, В. Ф. Жук // Современные проблемы морской инженерной экологии: тез. докл. междунар. науч. конф., Ростов-на-Дону, 9–11 июня 2008 г. – Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2008. – С. 59–62.

2. **Мельникова Е. Б.** Закономерности изменения интенсивности поля биолюминесценции в прибрежных водах Черного моря / Е. Б. Мельникова, Ю.Н. Токарев, Лямина Н.В. // Гидробиол. журн. – 2013. – Т. 49, № 1. – С. 112–120.

3. **Мельникова Е. Б.** Применение кластерного анализа для структуризации сообществ биолюминесцентных гидробионтов // Уч. зап. Таврического нац. ун-та. Сер. Биология, химия. – Симферополь, 2011. – Т. 24 (63), № 4. – С. 156–165.

4. **Дженкинс Г. М.** Спектральный анализ и его приложения / Г. М. Дженкинс, Д. Г. Ваттс. – М.: Мир, 1972. – Вып. 2. – 287 с.

УДК 574.5.08

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ ДЛЯ ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ЗАПАСОВ КАСПИЙСКОГО ЛОСОСЯ (*SALMO TRUTTA CASPIUS*)

Джалилов А. Г.

*Институт зоологии Национальной Академии Наук Азербайджана,
AZE 1073, ул. А.Аббас-заде, г. Баку, Азербайджан,
(99450) 480-75-84, (99412) 39-73-53, anvarj@mail.ru*

Salmons were overcoming distance till to regulating of the flow of the river Kura for to increase till 1000 km to upper of the river true. Harm of your shack was built fish-breeding plants with/by regulating of the flows of the rivers for to do for to liquidate to stock of the salmon in Azerbaijan. Stocks of the Caspian salmon have diminished in the present time sharply. Cause of this is present ecological situation of the river Kura. Many parts of the 2 annual individuals of the salmon allowed to river perish which was/were not reached Caspian Sea. Therefore 2 annual individuals of the salmon is not to river, must be allowed to direct sea. Allowing to Azerbaijani sector of the Middle Caspian of the 2 annual individuals of the salmon is advised.

Последствия глобальных климатических изменений ощущаются уже в Мировом Океане и имеющий с океаном непосредственную связь морях и внутренних водоемах. В настоящее время биоразнообразие Средиземного моря сильно изменено. Идёт постепенное потепление воды с

«тропиказацией» экосистемы Средиземного моря, а это создает благоприятное условие для приспособления новой теплолюбивой фауны [1]. Последствия глобальных климатических изменений в Каспийском море тоже ощущаются. Каспий – это настоящая кладовая всевозможных природных богатств, используемых человеком. Богатство Каспия разнообразно, оно имеет большое значение в экономике прикаспийских государств и жизни миллионов людей. В новой экологической ситуации Каспийском море обеднел видовой состав [2]. Это в свою очередь привело к уменьшению рыбных запасов. В первую очередь из рыб уменьшающихся запасов надо отметить осетровых и лососевых. В течение последних лет в прикаспийских странах, включая Азербайджан для искусственного воспроизведения запасов осетровых рыб, много сделано. Несмотря на это запасы осетровых рыб в Каспии все дальше и больше снижаются [3].

Запасы Каспийского лосося (*Salmo trutta caspius*) в Каспии тоже продолжают снижаться. Так как, концепция искусственного воспроизведения запасов Каспийского лосося неправильно сформировано, необходимо выдвинуть на первый план научно обоснованную концепцию искусственного воспроизведения запасов Каспийского лосося (*Salmo trutta caspius*).

Лососевые (*Salmonidae*) – холододлюбивые рыбы и широко распространены в северных широтах нашей планеты. Они являются очень интересными рыбами. В течение жизненного цикла их цвет несколько меняется. Особенно красивыми они становятся во время нерестовых миграций и нереста. Каспийский лосось, бесспорно, занимает одно из первых мест по своей величине и ценности нежного красного – желтого мяса и по своим вкусовым качествам является деликатесом. Для размножения лососевые заходят реки. Они доходят почти до истоков рек, где вода очень холодная, абсолютная чистая и богатая кислородом. Следует отметить, что со времени начала нерестовой миграции из морей до нереста в истоках требуется время до 9–10 месяцев. В это время лосось не питается. По пути к нерестилищам лососевые преодолевают большие преграды воды и водопады. Нерест лососей производится всегда на быстрине (места с сильным течением), перекатах с каменистым или крупнопесочным дном, и глубине менее 0,5 м. Лососевые – проходные рыбы. Они, выклюнувшись из икры истоков рек и проживающие определенное время в реках – до 2-х лет, а иногда и до 3-х лет, а потом, готовые к жизни в морской воде, имеют серо – пепельную окраску, которая впоследствии превращается в серебристый цвет. После этого они скатываются в море и по достижении половозрелости возвращаются в

те е реки, где они родились. Каспийский лосось (*Salmo trutta caspius*) в основном обитает в западном побережье Каспийского моря. Каспийский лосось образует несколько стад, которые приспособлены к бассейнам некоторых рек, (Кура, Терек, Самур, Кусарчай, Кудяльчай, Карачай, Велвелечай, Ленкоранчай, Астарачай, Сефидруд и др.) впадающих в Каспий. Заходящие в различные реки, впадающие Каспийское море лососи по биологическим признакам отличается. В лососях заходящие Куру половые продукты еще не созрели. Их половые продукты созревают после 8–12 месяцев в пресной речной воде. Каспийский лосось первые годы жизни проводит в реках, затем скатываются в море. Лосось в море становится половозрелым в возрасте 3–7 лет и вновь возвращается в реки, где родился. Если впервые 1,5–2 года он имеет массу в пресной речной воде 50–60 г, то последующие 2 года в море, его масса достигает 10–12 кг. Куринский лосось после икрометания погибает и это явление присуще только лососевым рыбам. В море лосось обитает, придерживаясь западных и южных берегов Каспия и не входит за пределы 40–50 метровой изобаты. Каспийский лосось совершает миграции довольно большой протяженности вдоль Азербайджанского побережья Каспия – от берегов Ирана и Дагестана.

Нерестящие в малых реках Ялама – Хачмазский и Ленкоран – Астаринской низменности лососи заходят в реки и поднимаются по ним вверх до 2–5 км. Идущих на нерест в этих реках лососях половые продукты уже окончательно созревают. Различные экологические ситуации в различных реках делает Каспийского лосося очень пластичным. Гидрологический температурный режим, а также гидрохимические характеристики и трофические условия рек оказывают большое влияние на развития зародышей и личинок, а в последствие на рост молоди лосося. В реках с родниковыми происхождениями – богатыми минеральными веществами и пищевыми организмами молоди лосося быстро растут. Размножающиеся этих реках лососи быстро достигают половой зрелости и в течение жизни несколько раз нерестятся. В отличие от лососей заходящих реки Ялама – Хачмазский и Ленкоран – Астаринской низменности Куринский лосось обитает в холодноводных горных реках, в которых мало биогенных элементов и пищевых организмов, поэтому их молодь медленно растет. Они, выклюнувшись из икры в истоках рек – по достижении 2-х лет весят 15–20 граммов. Размножающиеся в горных реках лососи, несмотря на то что, мало росли в реках, после возвращения в море становятся крупнее и жирнее. Основной причиной этому является то, что они во время нерестовой миграции расходуют много энергии.

До урегулирования стока Куры лососи мигрировали для размножения вверх по Куру на расстояние до 1000 км. После строительства плотин на Куру, Араксе и других реках уловы лосося катастрофически уменьшились. До урегулирования стока Куры восстановление запасов Каспийского лосося в основном обеспечивалось стадом лосося, приуроченным бассейна Куры. В настоящее время после строительства Варваринского водохранилища они не могут подниматься к своим исторически сложившимся местам нереста, где имеются хорошие условия кислородного режима, температура и течения. Под плотинами условия нереста рыб и развития зародышей крайне не благоприятны. Поэтому для восстановления запасов Каспийского лосося другого пути не остаются, кроме метода искусственного рыборазведения. В целях компенсации потерь естественных нерестилищ, нанесенных запасам лосося регулированием стока рек, в Азербайджане построены и введены в эксплуатацию два рыбоводных завода: Чайкендский (Гёк – Гёлский район) и Чухур – Кабалинский (Кабалинский район). Эти рыбоводные заводы ежегодно выпускали до 0,6 млн особей – двухлеток лосося. Молодей лосося привозят в специальных машинах и ближе Евлаха выпускают в Куру. Но, в настоящее время искусственное выращивание лосося не дает ожидаемых результатов. Запасы Каспийского лосося находятся в катастрофическом уровне. Причиной этому является современное экологическое состояние Куры и плохое обеспечение кормовыми организмами. Основная часть выпускаемый в Куру особей – двухлеток лосося не приспособляется к сформированному гидрологическим и трофическим режимом рек и, не добираясь до Каспия погибает. Для получения положительных результатов в искусственном воспроизводстве Каспийского лосося следует, выполнить эти работы:

1. Выращивание молоди лосося в рыбоводных заводах до 2-х лет, при котором они имеют серо – пепельную окраску.
2. Двухлеток лосося надо выпускать не в Куру, а прямо в Азербайджанский сектор Среднего Каспия.
3. Перед выполнением этих работ должно быть, оценено современное состояние кормовой базы исторических пастбищ лосося в Каспийском море.

В результате этих работ, возможно, не только сохранить лосося в ихтиофауне Каспия, но и возобновить его промысел.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Bianchi Carlo Nike.** Biodiversity issues for the forthcoming tropical Mediterranean Sea. *Hydrobiology*, 2007. 580. №1. p. 7–21.

2. **Джалилов А. Г.** Распределение зоопланктона в юго-западном районе Каспийского моря. Мат. докл. межд. научно-практ. конф. «Комплексный подход к проблеме сохранения и восстановления биоресурсов Каспийского бассейна». Россия, Астрахань, 2008. С. 205–208.

3. **Джалилов А. Г.** Оценка кормовой базы мальков осетровых в районе Устье – Куры Каспийского моря. Мат. XII межд. научно-техн. конф. «Современные методы и средства океанологических исследований» / МСОИ-2011. Россия, Москва, 2011. Т. 1. С. 197–201.

УДК 551.465 (262.5)

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАТУСА СЕВАСТОПОЛЬСКОЙ БУХТЫ (ЧЕРНОЕ МОРЕ) ПОСРЕДСТВОМ АНСАБЛЯ НОРМИРОВАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Моисеенко О. Г., Орехова Н. А., Коновалов С. К.

*Морской гидрофизический институт,
ул. Капитанская, 2, 299011, г. Севастополь, Россия
+7 (948) 827 54 68, olga.moiseenko.65@mail.ru*

The environmental assessment should take into consideration the cumulative impacts on the coastal zone. The paper presents an ensemble of indices, which includes Pollution Load Index (PLI [2]), reflecting the level of anthropogenic pollution, γ -parameter [3] the state of the natural cycle and time of exhaustion of oxygen (t_{o_2} [4]).

Основными экономическим, туристическим, рекреационным и бальнеологическим ресурсами Крыма были и остаются прибрежные акватории. Разработка нормированных показателей оценки экологического состояния морской прибрежной среды для менеджеров, от которых зависит принятие конкретных решений и мер по её стабилизации и улучшению в целях создания эффективных стратегий, планов и программ интегрированного управления прибрежной зоной и являлось целью настоящей работы [1].

Поскольку морские донные отложения, являясь конечным пунктом миграции вещества, объективно отражают все процессы, протекающие

в водной экосистеме в целом, и рассматриваются как накопители загрязнения, то индексы, оценивающие состояние водной экосистемы, рассчитывались на основе характеристик донных отложений прибрежной акватории. Для решения поставленных задач был определен ансамбль индексов, который отражает уровень техногенного загрязнения (индекс загрязнения PLI [2]), состояния природных циклов (характеристика цикла углерода γ – параметр [3]) и кислородный режим (время истощения кислорода t_{O_2} [4]). Объектом исследований была выбрана б. Севастопольская – типичная прибрежная акватория многоцелевого использования с более чем 200 летней историей.

Для оценки интенсивности техногенного загрязнения донных осадков бухты, как выше отмечалось, использовалась методика, описанная в [2], в которой PLI_{indiv}^i рассчитывается формуле:

$$PLI_{indiv}^i = 10^{(1 - [Conc_i - B] / [T - B])}, \quad (1)$$

где PLI – индекс уровня загрязнения; $Conc$ – концентрация элемента (мг/г) в донных отложениях; B – базовая концентрация (мг/г), характерная для донных отложений незагрязненной зоны; T – пороговая концентрация элемента (мг/г) в донных отложениях, приводящая к гибели биоты. Параметр изменяется в пределах от 1 до 10.

Чтобы оценить суммарное влияние различных загрязняющих веществ в каждой точке и в целом в бухте были вычислены PLI_{site} (среднее геометрическое PLI_{indiv}^i для каждого элемента на одной станции) и $PLI_{estuary}$ (среднее геометрическое всех PLI_{site} в пределах эстуария) [0].

На основе, имеющихся данных о содержании наиболее распространенных загрязнителей, таких как Cd , Cr , Zn , Pb , Cu и повышенного содержания $C_{орг}$, P и N в донных отложениях, были рассчитаны значения PLI_{indiv}^i , PLI_{site} и $PLI_{estuary}$. $PLI_{estuary}$ для Севастопольской бухты составил 2,94. Распределение индексов уровня загрязнений (PLI_{site}) представлено на рис. 1.

Техногенные загрязнения в совокупности с климатическими изменениями приводят к трансформации естественных природных циклов экосистем. Цикл углерода – наиболее значимый для функционирования водной экосистемы. Соотношение органической и неорганической форм углерода свидетельствует о направлении процессов в цикле [3].

Для оценки состояния цикла углерода использовалась относительная величина – «rain ratio parameter» γ :

$$\gamma = CaCO_3 / (CaCO_3 + C_{орг}). \quad (2)$$



Рис. 1. Распределение индексов уровня загрязнений (PLI_{site}) для поверхностного слоя (0 – 5 см) донных отложений б. Севастопольской

Параметр γ изменяется от нуля до единицы. Если $\gamma = 0$, в донных осадках образуется только органическая форма углерода, а неорганическая не образуется вовсе. Если $\gamma = 1$, то образуется только CaCO_3 , а $C_{\text{орг}}$ не накапливается.

Площади донных осадков, на которых преобладает накопление органического углерода, занимают большую часть бухты. Среднее значение параметра γ для Севастопольской бухты равно 0,46, то есть в целом органический и неорганический углерод здесь накапливается в примерно равных долях, однако площади донных осадков, на которых преобладает накопление органического углерода, занимают большую часть бухты.

По результатам наших наблюдений значение параметра γ уменьшилось с 0,57 в 2003 г. до 0,46 в 2008 г., что свидетельствует о тенденции к смещению равновесий цикла в сторону преимущественного образования $C_{\text{орг}}$ в донных осадках и его накоплении.

Одно из наиболее тревожных последствий установленной направленности процессов цикла углерода Севастопольской бухты – уменьшение водородного показателя и, как следствие, изменение окислительно-восстановительного потенциала (Eh) донных осадков. Изменение Eh (переход окислительных условий среды в восстановительные) способствует протеканию процессов сульфатредукции, которые сопровождаются образованием сероводорода и анаэробных зон в придонном слое вод и верхнем слое донных отложений.

Для оценки кислородного режима был выбран такой показатель, как время полного истощения кислорода (t_{O_2}) [4].

Оценка кислородного режима на границе раздела «вода – донные отложения» показало, что выходе из бухты время истощения кислорода составило 109 дней, а для станции, расположенной в центре бухты – 19 дней. На остальных станциях Севастопольской бухты, кислород на поверхности донных отложений отсутствовал [4].

Применяя для оценки экологического статуса б. Севастопольской все три нормированных показателя в совокупности, авторы пришли к выводу, что изменения антропогенного характера привели не только к накоплению недиссипирующих загрязнений в бухте, но к трансформации естественно-природных биогеохимических циклов её экосистемы.

Таким образом, предложенный набор пространственно ориентированных индексов позволил оценить экологический статус б. Севастопольской, как критический; характеризовать современное состояние экосистемы, как и необратимое, в существующих условиях, изменение, приводящее к нарушению организации данной системы; и определить антропогенную динамику экосистемы Севастопольской бухты, как дигрессивную.

Работа осуществлялась при финансовой поддержке проектов ЕС 7th FP Area ENV.2009.2.2.1.4: Integrated Coastal Zone Management (2010–2013, PEGASO, # 244170), Collaborative large-scale integrating project: People for Ecosystem based Governance in Assessing Sustainable development of Ocean and coast (PEGASO), Международный проект 7-ой рамочной программы «Monitoring and observing oxygen depletion throughout the different Earth system components» (шифр «HYPOX»), ГР № 226213, 2009–2012 гг., Проекта РФФИ № 14-45-01022 «Индексы оценки экологического статуса бухт в общей стратегии управления прибрежной средой в целях её устойчивого развития на примере б. Севастопольской (Черное море.)», Проекта РФФИ № 14-45-01009 «Дефицит кислорода и биогеохимические процессы в донных отложениях бухт севастопольского региона».

ЛИТЕРАТУРА

1. Protocol on Integrated Coastal Zone Management in the Mediterranean / UNEP/MAP/PAP : Split, Priority Actions Program, 2008. – 88 с.
2. **Игнатъева О. Г.** Оценка уровня загрязнения Севастопольской бухты.// Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2008. – Вып. 15. – С.50–56.
3. **Моисеенко О. Г., Орехова Н. А.** Исследование механизма многолетней эволюции цикла углерода в экосистеме Севастопольской бухты // Морской гидрофизический журнал.– 2011.– № 2.– С.72–83.

4. **Орехова Н. А.** Распределение и потоки кислорода и сероводорода на границе с донными отложениями Черного моря: диссертация на соиск. степени канд. геогр. наук. – Севастополь, 2014. – 174 с.

УДК 574.58.001.573+519.6

**ОСНОВНЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ
БИОЛОГИЧЕСКОГО БЛОКА МОДЕЛИ ЭКОСИСТЕМЫ ЗОНЫ
АПВЕЛЛИНГА РАЙОНА ЦЕНТРАЛЬНО-ВОСТОЧНОЙ
АТЛАНТИКИ (ПРОСТРАНСТВЕННО ОДНОРОДНАЯ
ПОДМОДЕЛЬ *N-P-Z-D-FISHES*)**

Подгорный К. А.

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Атлантический научно-исследовательский институт рыбного
хозяйства и океанографии».*

236022 Россия, г. Калининград, ул. Дм. Донского 5.

Факс: 8-(4012)-219997. E-mail: kapborok@mail.ru

This article presents the basic structural features of the biological block of multispecies fish model for upwelling zone of central-eastern part of the Atlantic Ocean.

За последние 20 лет количество математических моделей водных экосистем значительно возросло. Эти модели, в основном, можно отнести к классу биогидрохимических моделей. В большинстве случаев в таких моделях исследуются различные процессы трансформации биогенных элементов, а также пространственно-временная динамика организмов низшего трофического уровня (бактерио-, фито-, зоопланктон, простейшие организмы). Построение более сложных моделей водных экосистем, в которых необходимо осуществить сопряжение гидрохимических и биологических процессов, происходящих на нескольких трофических уровнях, представляет значительные трудности и в настоящее время является предметом многих исследований – как теоретических, так и практических. Основные сложности, как правило, связаны с необходимостью учета существенных различий пространственно-временных масштабов гидрофизических, гидрохимических и биологических процессов, которые проявляют себя по-разному на разных трофических

уровнях. Особого внимания требует также корректность математической формализации биологических и экологических процессов при рассмотрении многовидовых сообществ рыб. Математическое описание таких процессов осложняется тем, что должна учитываться специфика типов трофических взаимосвязей между разными видами рыб, пространственно-временные изменения структуры рационов питания, суточные и/или сезонные миграции рыб, изменения гидрофизических условий окружающей среды и т. п. [1].

В структурном отношении модель экосистемы зоны апвеллинга района ЦВА будет состоять из нескольких базовых блоков. Основное внимание на данном этапе работы уделено описанию наиболее важных структурных особенностей биологического блока модели экосистемы зоны апвеллинга района ЦВА – пространственно однородной подмодели *N-P-Z-D-Fishes*. Учет пространственных эффектов потребует применения трехмерного термогидродинамического блока, который необходим для расчета пространственно-временной структуры течений, тепловых потоков в приводном слое атмосферы, температуры, солености и плотности воды, ряда оптических характеристик на разных горизонтах водной толщи, корректного описания процессов переноса растворенных и взвешенных веществ, а также миграций рыб. На сегодняшний день в качестве трехмерной гидродинамической модели для расчета пространственно-временной структуры течений в зонах апвеллинга наиболее широкое практическое распространение получила модель ROMS (The Regional Oceanic Modeling System) [2, 3]. Применяются также и другие широко известные модели гидродинамики: океанская модель Принстонского университета (POM), модель Бергенского университета (BOM). В ряде случаев прибегают к более простым, боксовым моделям [7]. В таких моделях не требуется детального описания пространственно-временной структуры полей течений. Достаточно оценить только объемы воды, которые втекают или вытекают из того или иного бокса. При этом количество боксов, их конфигурация и объемы могут быть произвольными. На данном этапе построения модели экосистемы зоны апвеллинга района ЦВА вопросы выбора гидродинамического блока модели обсуждаться не будут. Основное внимание будет уделено только описанию основных структурных особенностей биологического блока модели экосистемы зоны апвеллинга района ЦВА (пространственно однородной подмодели *N-P-Z-D-Fishes*). Выбор достаточно простой по структуре четырехкомпонентной модели планктонной системы (*N-P-Z-D*-модели [5]) обусловлен качеством и количеством тех данных гидрохимических и гидробиологических наблюдений, которые в настоящий момент времени имеются в базе данных АтлантНИРО.

Теоретической основой при выборе структуры и построении многовидовой модели *N-P-Z-D-Fishes*, которая описывает основные процессы в экосистеме зоны апвеллинга района ЦВА, послужили работы [6, 7] и имеющийся некоторый опыт практического использования данного подхода [8, 9]. Модельная структура пищевой цепи рыб в районе зоны апвеллинга ЦВА, которая показана на рисунке 1, была выбрана по результатам многолетних исследований, обобщенных в работе [10].

Переменные состояния модели для биомассы \mathbf{B}^j и количества особей \mathbf{N}^j представляют собой векторы биомассы и численности для заданного числа n_j классов по биомассе. Значения индекса j в модели меняются от 1 до 6: $j = 1$ относится к сардине (*Sardina pilchardus*); $j = 2$ – к круглой сардинелле (*Sardinella aurata*); $j = 3$ – к плоской сардинелле (*Sardinella maderensis*); $j = 4$ – к европейской ставриде (*Trachurus trachurus*); $j = 5$ – к западноафриканской ставриде (*Trachurus trecae*) и $j = 6$ – к восточной скумбрии (*Scomber colias*). Динамика переменных \mathbf{B}^j и \mathbf{N}^j задается в модели следующей системой эволюционных уравнений:

$$\frac{d}{dt}\mathbf{B}^j = (\mathbf{G}^j - \mathbf{M}^j + \mathbf{O}^j + \boldsymbol{\tau}^j) \cdot \mathbf{B}^j, \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt}\mathbf{N}^j = -\mathbf{M}^j \cdot \mathbf{N}^j + (\boldsymbol{\tau}_N^j + \mathbf{O}_N^j) \cdot \mathbf{B}^j, \quad (2)$$

$$\text{где } \mathbf{B}^j = \begin{pmatrix} B_1^j \\ \vdots \\ B_{n_j}^j \end{pmatrix}, \quad \mathbf{N}^j = \begin{pmatrix} N_1^j \\ \vdots \\ N_{n_j}^j \end{pmatrix}. \quad (3)$$

В формуле (1) диагональные матрицы \mathbf{G}^j для значений индексов $j = 1, 2, 3$ задают эффективные скорости роста сардины *Sardina pilchardus*, круглой и плоской сардинелл *Sardinella aurata*, *Sardinella maderensis* соответственно и имеют следующий общий вид:

$$\mathbf{G}^j = \begin{pmatrix} (g^{\text{eff}})_1^j & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & (g^{\text{eff}})_{n_j}^j \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Значения эффективных скоростей роста *Sardina pilchardus*, *Sardinella aurata*, *Sardinella maderensis* вычисляются в модели с помощью следующих соотношений: для значений индексов $j = 1, 2, 3$

$$(g^{\text{eff}})_i^j = g_i^j - (L_i^j)_N - (L_i^j)_D, \quad i = \overline{1, n_j}, \quad (5)$$

$$g_i^j = (g_i^j)^{\max} \cdot LF_{i,j}(P, Z) \cdot f_{i,j}(T_w) \cdot \phi_{i,j}(t), \quad i = \overline{1, n_j}. \quad (6)$$

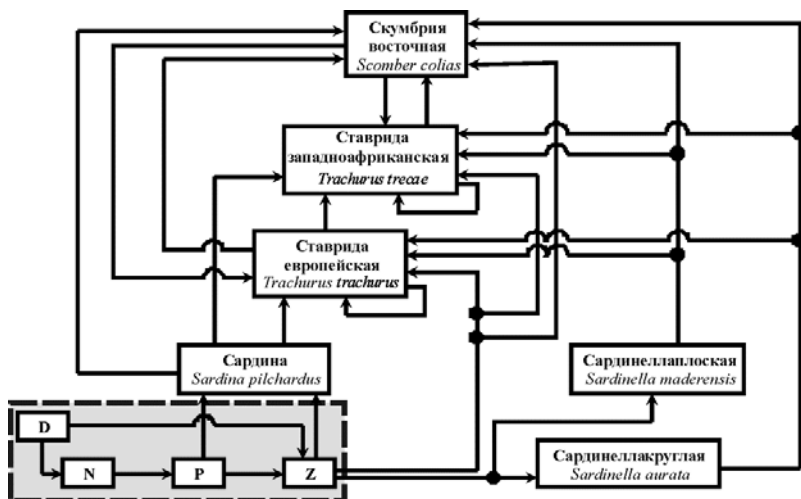


Рис. 1. Модельная структура пищевой цепи рыб в районе зоны апвеллинга ЦБА (по: [10])

В формуле (6) величины $(g_i^j)^{\max}$ задают максимальные скорости роста *Sardina pilchardus*, *Sardinella aurata*, *Sardinella maderensis* для каждого выделенного i -го класса по биомассе; функции $f_{i,j}(T_w)$ корректируют значения максимальных скоростей роста в зависимости от температуры воды T_w ; функции $\phi_{i,j}(t)$ корректируют значения скоростей роста в зависимости от времени года. Функции $LF_{i,j}(P, Z)$ представляют собой лимитирующие функции Ивлева [11]. Они имеют следующий общий вид: для значений индексов $j = 1, 2, 3$

$$LF_{i,j}(P, Z) = 1.0 - \exp\left(-(\alpha_{i,j} \cdot P + \beta_{i,j} \cdot Z)\right), \quad i = \overline{1, n_j}. \quad (7)$$

где $\alpha_{i,j}$, $\beta_{i,j}$ – эмпирические коэффициенты.

Слагаемые $(L_i^j)_N$ в соотношении (5) учитывают траты на обменные метаболические процессы у рыб, а $(L_i^j)_D$ ($j = 1, 2, 3$) – переход в детрит части потребленной рыбами пищи в результате процессов экскреции. Для расчета $(L_i^j)_N$ и $(L_i^j)_D$ в модели используются следующие соотношения:

$$(L_i^j)_N = a_{i,j} \cdot \left(g_i^j + b_{i,j} \cdot (g_i^j)^{\max} \cdot LF_{i,j}(P, Z) \cdot f_{i,j}(T_w) \cdot \phi_{i,j}(t) \right), i = \overline{1, n_j}; \quad (8)$$

$$(L_i^j)_D = c_{i,j} \cdot g_i^j, i = \overline{1, n_j}, \quad (9)$$

где $a_{i,j}$, $b_{i,j}$, $c_{i,j}$ ($j = 1, 2, 3$) – эмпирические коэффициенты. В формуле (8) учитывается, что даже в случае отсутствия потребления рыбами пищи все равно будут иметь место траты на обменные метаболические процессы.

Значения эффективных скоростей роста европейской ставриды *Trachurus trachurus*, западноафриканской ставриды *Trachurus trecae* и восточной скумбрии *Scomber colias* вычисляются в модели с помощью следующих соотношений:

для $i = 1$

$$(g^{eff})_1^j = g_1^j - (L_1^j)_N - (L_1^j)_D, j = 4, 5, 6; \quad (10)$$

для $i = 2$

$$(g^{eff})_2^j = P_2^j + g_2^j - (L_2^j)_N - (L_2^j)_D, j = 4, 5, 6; \quad (11)$$

для $i = \overline{3, n_j}$

$$(g^{eff})_i^j = P_i^j - (L_i^j)_N - (L_i^j)_D, j = 4, 5, 6. \quad (12)$$

Скорости роста g_1^j и g_2^j относятся к первым двум самым малоразмерным классам рыб и формализуют процесс роста биомассы в результате потребления европейской и западноафриканской ставридами *Trachurus trachurus*, *Trachurus trecae* и восточной скумбрией *Scomber colias* зоопланктона. Для значений $i = 1, 2$ расчет g_1^j и g_2^j проводится по следующим формулам:

$$g_i^j = (g_i^j)^{\max} \cdot LF_{i,j}(Z) \cdot f_{i,j}(T_w) \cdot \phi_{i,j}(t), j = 4, 5, 6. \quad (13)$$

$$LF_{i,j}(Z) = 1.0 - \exp(-\beta_{i,j} \cdot Z). \quad (14)$$

Слагаемые P_i^j ($i = \overline{2, n_j}$) формализуют процесс роста биомассы рыб в результате конкурентных взаимоотношений между рыбами разных видов по типу «жертва–хищник».

Слагаемые $(L_i^j)_N$ и $(L_i^j)_D$ описывают траты на обменные метаболические процессы у рыб, а также переход в детрит части потребленной рыбами пищи в результате процессов экскреции. В модели предполагается, что

$$(L_i^j)_N = (L_i^j)_D = (L_i^j)^{Zoo} \cdot g_i^j + (L_i^j)^{Fish} \cdot P_i^j + (L_i^j)^{basic} \cdot (g_i^j)^{\max} \cdot f_{i,j}(T_w) \cdot \phi_{i,j}(t) \\ , j = 4, 5, 6. \quad (15)$$

В формулах (1), (2) диагональные матрицы \mathbf{M}^j задают эффективные скорости смертности. В общем виде их можно записать следующим образом:

$$\mathbf{M}^j = \begin{pmatrix} \mu_1^j & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \mu_{n_j}^j \end{pmatrix}. \quad (16)$$

Смертность рыб определяется совокупным воздействием нескольких факторов, которые могут проявлять себя как одновременно, так и эпизодически. В модели при задании скоростей смертности рыб будем различать фоновую скорость смертности $(\mu_i^j)^b$ (background mortality); смертность, вызванную недостатком пищи $(\mu_i^j)^{starv}$ (starvation mortality); смертность Π_i^j , обусловленную конкурентными взаимодействиями между рыбами по типу «жертва–хищник» (prey–predator mortality); промысловую смертность F_i^j , обусловленную выловом рыбы промысловыми судами (fishing mortality). В соответствии с этим скорость смертности рассматриваемых в модели видов рыб в общем виде задается следующим образом:

$$\mu_i^j = (\mu_i^j)^b + (\mu_i^j)^{starv} + \Pi_i^j + F_i^j, \quad i = \overline{1, n_j}. \quad (17)$$

В том случае если промысел в тот или иной момент времени отсутствует, то тогда слагаемые F_i^j , которые учитывают промысловую смертность, становятся равными нулю.

В формулах (1) (2) матрицы \mathbf{O}^j и $\mathbf{O}_N^j, j = \overline{1, 6}$ в модели задают скорости воспроизводства потомства (пополнения; роста биомассы). Они имеют следующий общий вид:

$$\mathbf{O}^j = \begin{pmatrix} 0 & \dots & o_{n_j-1}^j & o_{n_j}^j \\ 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & -o_{n_j-1}^j & 0 \\ 0 & \dots & 0 & -o_{n_j}^j \end{pmatrix}, \quad \mathbf{O}_N^j = \begin{pmatrix} 0 & \dots & \frac{o_{n_j-1}^j}{m_0^j} & \frac{o_{n_j}^j}{m_0^j} \\ 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (18)$$

Для биомассы \mathbf{V}^j и количества особей N^j , $j = \overline{1, 6}$ соответствующие матрицы скорости перехода $\boldsymbol{\tau}^j$ и $\boldsymbol{\tau}_N^j$ из одного размерного (по массе) класса в другой имеют следующий общий вид:

$$\boldsymbol{\tau}^j = \begin{pmatrix} -\tau_1^j & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \tau_1^j & -\tau_2^j & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \tau_2^j & -\tau_3^j & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \tau_3^j & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -\tau_{n_j-1}^j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \tau_{n_j-1}^j & 0 \end{pmatrix}, \quad (19)$$

$$\boldsymbol{\tau}_N^j = \begin{pmatrix} -\frac{\tau_1^j}{m_1^j} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \frac{\tau_1^j}{m_1^j} & -\frac{\tau_2^j}{m_2^j} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\tau_2^j}{m_2^j} & -\frac{\tau_3^j}{m_3^j} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\tau_3^j}{m_3^j} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -\frac{\tau_{n_j-1}^j}{m_{n_j-1}^j} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \frac{\tau_{n_j-1}^j}{m_{n_j-1}^j} & 0 \end{pmatrix}. \quad (20)$$

В модели предполагается, что если тот или иной вид рыбы в данный момент времени находится в массовом классе i , то он перейдет в следующий, $i+1$, класс только в том случае, если средняя индивидуальная масса рыбы достигнет верхнего заданного для класса i предела биомассы. Это будет иметь место в случае выполнения следующих неравенств:

$$B_i^j / N_i^j \geq m_i^j, \quad i = \overline{1, (n_j - 1)}, \quad j = \overline{1, 6}. \quad (21)$$

Переход из одного класса в другой осуществляется дискретно во времени. При выполнении расчетов принимается предположение о том, что скорости перехода будут зависеть от выбранного модельного шага Δt по времени. В соответствии с этим будем полагать, что

$$\tau_i^j = \begin{cases} \Delta t^{-1}, & \text{если } B_i^j / N_i^j \geq m_i^j, \quad i = \overline{1, (n_j - 1)}, j = \overline{1, 6}, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (22)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. **Travers M., Shin Y.-J., Jennings S., Cury P.M.** Towards end-to-end models for investigating the effects of climate and fishing in marine ecosystems // *Progress in Oceanography*, 2007. V. 75. PP. 751–770.
2. **Haidvogel D.B., Arango H., Budgell W.P., Cornuelle B.D., Curchitser E., Di Lorenzo E., Fennel K., Geyer W.R., Hermann A.J., Lanerolle L., Levin J., McWilliams J.C., Miller A.J., Moore A.M., Powell T.M., Shchepetkin A.F., Sherwood C.R., Signell R.P., Warner J.C., Wilkin J.** Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System // *J. Comput. Phys.*, 2008. V. 227. PP. 3595–3624.
3. **Shchepetkin A.F., McWilliams J.C.** The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model // *Ocean Modelling*, 2005. V. 9. PP. 347–404.
4. **Леонов А.В., Сухорук В.И., Баркова М.В.** Математическое моделирование трансформации и рециклинга биогенных веществ в субтропической прибрежной морской экосистеме // *Океанология*, 2008, т. 48, №4, с. 537–552.
5. **Подгорный К.А.** Исследование свойств пространственно однородной математической модели четырехкомпонентной планктонной системы // *Математическая биология и биоинформатика*, 2012, т. 7, №1, стр. 299–321.
6. **Fennel W.** Towards bridging biogeochemical and fish-production models // *Journal of Marine Systems*, 2008. V. 71. PP. 171–194.
7. **Fennel W.** Parameterizations of truncated food web models from the perspective of an end-to-end model approach // *Journal of Marine Systems*, 2009. V. 77. PP. 171–185.
8. **Fennel W.** A nutrient to fish model for the example of the Baltic Sea // *Journal of Marine Systems*, 2010. V. 81. PP. 184–195.
9. **Radtke H., Neumann T., Fennel W.** A Eulerian nutrient to fish model of the Baltic Sea — A feasibility-study // *Journal of Marine Systems*, 2013. V. 125. PP. 61–76.

10. Доманевский Л.Н. Рыбы и рыболовство в неретической зоне Центрально-Восточной Атлантики. – Калининград: АтлантНИРО, 1998. – 195 с.

11. Ивлев В.С. Экспериментальная экология питания рыб. – М., 1955. – 255 с.

УДК 504.064.3:504.4.054 (262.81)

ТЕХНОЛОГИЯ РАСЧЕТА ВОДООБМЕНА И ПЕРЕНОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ ЧАСТЯМИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Монахова Г. А., Рахимбирдиев Н. М.¹, Попов С. К., Лобов А. Л.²

¹*ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский
центр», 41404, г. Астрахань, ул. Ширяева, 14,
8(8512)30-34-70, 8(8512)30-11-63, kaspnmiz@mail.ru*

²*ФГБУ «Гидрометеорологический
научно-исследовательский центр РФ»,
123242, г. Москва, Б. Предтеченский пер., 11-13,
8(499)255-93-07, lmpi@yandex.ru*

The calculation technique for water exchange and pollutants transfer between different parts of the Caspian Sea using the operational hydrometeorological model and environmental monitoring data is presented. The results of experimental calculations for the North Caspian are revealed.

В докладе представлена технология расчета водообмена и трансграничного переноса загрязняющих веществ между различными частями Каспийского моря с использованием оперативной гидрометеорологической модели и данных экологического мониторинга. Авторы приводят результаты ее апробации применительно к участку границы между западной и восточной частями Северного Каспия.

Начиная с 2001 года, в Гидрометцентре России года для составления прогнозов штормовых нагонов, полей уровня моря и течений используется гидродинамическая модель Каспийского моря [1]. Исходными материалами для нее служат выходные данные региональной метеорологической модели, также разработанной в Гидрометцентре России. При

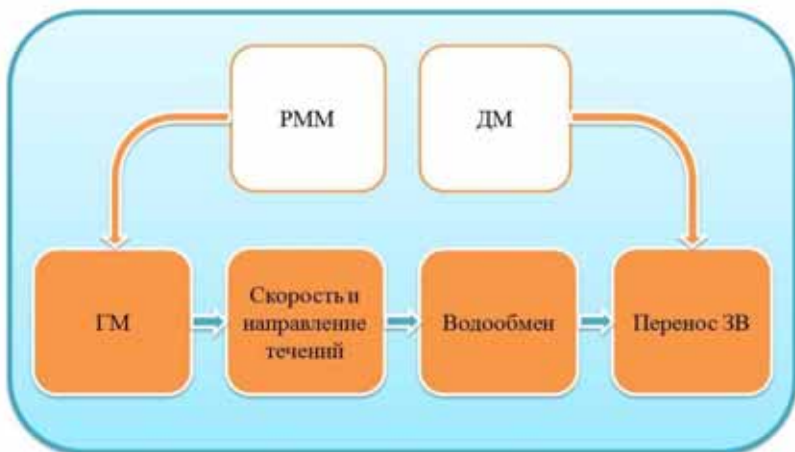
этом Каспий в течение длительного времени был единственным из российских морей, модель которого использовалась в оперативном режиме для подготовки морских гидрометеорологических прогнозов (недавно к нему присоединилось Баренцево море).

В настоящее время в автоматизированной системе оперативной обработки информации Гидрометцентра России находится оперативная гидродинамическая модель Каспийского моря с разрешением 3×3 морские мили. Одновременно с ней проходит опытные испытания новая модель с разрешением 1×1 морская миля. Повышенное разрешение позволило более реалистично описать береговой и донный рельеф. Кроме того, в методику расчетов включены среднесуточные расходы в вершине дельты Волги [2].

Усовершенствование модели позволяет получать более адекватные расчетные характеристики уровня и течений, расширяет возможности ее применения, в т.ч. для решения задач мониторинга и охраны морской среды [3]. В связи с этим КаспМНИЦ совместно Гидрометцентром России в 2013 г. приступили к разработке технологии расчета водообмена и переноса загрязняющих веществ между различными частями и секторами Каспийского моря, базирующейся на использовании оперативной гидродинамической модели Каспийского моря в связке с наблюдениями, проводимыми в рамках государственных и корпоративных программ мониторинга загрязнения морской среды. Схематическое изображение указанной технологии и результаты ее апробации даны ниже.

Для первого экспериментального расчета был выбран участок границы между западной и восточной частью Северного Каспия, лежащий между $44^\circ 20'$ и $46^\circ 10'$ северной широты, который был разбит на 11 секторов путем проведения параллелей через каждые 10 минут (морских миль). Выбор данного участка границы не был случайным, так как здесь в период с 5 по 20 октября 2013 года проводились экспедиционные исследования на разрезе «Восточный». В связи с этим далее выбранный участок границы также будет именоваться разрезом «Восточный».

Адаптация модели высокого разрешения к диагностическим расчетам водообмена и трансграничного переноса загрязняющих веществ была выполнена в компании «Инфомар». В расчетах использовались модельные данные о скорости и направлении течения, а также о компонентах X и Y скорости течения в каждой из ячеек модели, расположенной на разграничительной линии с установленной временной дискретностью 1 час.



РММ – региональная метеорологическая модель; ГМ – гидродинамическая модель; ДМ – данные мониторинга; ЗВ – загрязняющие вещества

Рис. Технологический цикл расчета водообмена и переноса загрязняющих веществ между различными частями Каспийского моря

Для каждого участка разграничительной линии, срока и слоя воды оценивались расходы воды внутрь и за его пределы. Полученные данные использовались для расчета суммарного суточного расхода воды ($\text{км}^3/\text{сутки}$) внутрь и за пределы участка для отдельных секторов и слоев воды. Все полученные результаты обобщались для одиннадцати секторов и для разграничительной линии в целом. Кроме того, для каждого сектора, слоя воды и для разграничительной линии в целом рассчитывалась повторяемость течений по направлениям за сутки.

По результатам выполненных расчетов в рассматриваемый период времени на разрезе «Восточный» преобладали течения вдоль оси, направленной с юго-запада на северо-восток. Суммарный водообмен в период с 5 по 20 октября 2013 года составил $158,7 \text{ км}^3$. Отток воды за пределы РСНП был выше притока – на $4,9 \text{ км}^3$ (за пределы российского сектора было вынесено $81,8 \text{ км}^3$ воды, привнесено $76,9 \text{ км}^3$). Наиболее интенсивным водообмен был в средней части разреза «Восточный».

Расчет трансграничного переноса осуществлялся в отношении 14 загрязняющих веществ: нефтепродуктов, СПАВ, нафталина, 1-метилнафталина, аценафтилена, аценафтена, меди, свинца, кадмия, ртути, железа,

марганца, цинка и никеля. Его величина определялась путем умножения суммарного за сутки расхода воды ($\text{км}^3/\text{сут}$) на среднюю концентрацию загрязняющего вещества ($\text{тонн}/\text{км}^3$ или $\text{кг}/\text{км}^3$), измеренную при проведении мониторинга. Трансграничный перенос так же, как водообмен, характеризовался четырьмя параметрами: суммарным переносом, оттоком, притоком загрязняющих веществ и результирующим переносом (приток минус отток).

Наибольший суммарный перенос наблюдался в слое воды от 0 до 5 м, при этом результирующий перенос для большинства загрязняющих веществ, за исключением СПАВ, 1-метилнафталина, аценафтилена и аценафтена, был положительным (приток превышал отток). В слое 5–15 м, напротив, результирующий перенос был отрицательным (отток превышал приток). Также необходимо отметить, что значения суммарного и результирующего переноса существенно варьировали по отдельным секторам разреза «Восточный».

Разработанная технология расчета трансграничного переноса загрязняющих веществ с использованием оперативной гидродинамической модели и данных мониторинга за загрязнением морских вод представляет собой яркий пример расширяющегося использования методов и технологий оперативной метеорологии и океанографии для охраны окружающей среды. Ожидается, что на Каспийском море она будет востребована для оценки загрязнения лицензионных участков, находящихся в недропользовании, российского сектора недропользования в целом, других секторов и частей Каспия, а также для разработки локальных, национальных и международных мер по защите морской среды от загрязнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Вербицкая, О.А.** Метод краткосрочного гидродинамического прогноза штормовых нагонов в северной части Каспийского моря и результаты его испытаний / О.А. Вербицкая, О.И. Зильберштейн, С. К. Попов, А. Л. Лобов // Гидрометцентр, Информационный сборник, 2002. – № 29. – С. 76–89.
2. **Попов, С. К.** Усовершенствованная технология прогноза течений и уровня Каспийского моря / С.К. Попов, В.И. Батов, В.В. Елисов, А.Л. Лобов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе, 2005. – № 7. – С. 53–59.
3. **Монахова, Г.А.** Расчет водообмена и переноса загрязняющих веществ на границе лицензионного участка / Г.А. Монахова, Н.В. Попова, С.К. Попов, А.Л. Лобов, Н.М. Рахимбирдиев // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2014. – №12. – С. 33–39.

РАЗВИТИЕ ФИТОПЛАНКТОНА В АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ, РАЙОН АБХАЗИИ В ВЕСЕННЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2012 ГОДА

Ясакова О. Н.

Институт аридных зон ЮНЦ РАН, ЮНЦ РАН, ул. Чехова, 41, 344006
Ростов-на-Дону, 8 (918) 4895292, yasak71@mail.ru

The article presents results of seasonal researches of the phytoplankton in the north-east part of Black Sea, Abkhazia region, which took place during multipurpose expedition on scientific-research vessel «Deneb» in 2012. The maximum abundance and biomass of the phytoplankton (59 thous. cells/L; 96 g/m³) was observed during the summer period.

Материал и методы. Исследования были выполнены в открытой северо-восточной части Черного моря в районе Абхазии в рейсах НИС «Денеб» ЮНЦ РАН в апреле, июле и октябре 2012 г. Изучение вертикальной структуры фитопланктона проводили на горизонтах 0, 5, 10, 25 и 50 м. Всего было отобрано и обработано 52 пробы. Пробы фитопланктона отбирали в светлое время суток в бутылки объёмом 1.5 л и фиксировали раствором Люголя, для концентрирования проб применяли осадочный метод [4,6]. Количественный учёт организмов фитопланктона производили с помощью микроскопа МИКМЕД-2 с увеличением х200 и х400. Для идентификации видов использовали общепринятые руководства [2,5,7,10,11]. Биомассу фитопланктона определяли обычным счетно-объемным методом [1,3].

Результаты исследований. В весенне-осенний период 2012 г. обнаружено 80 видов фитопланктона, относящихся к 6 отделам *Bacillariophyta* (диатомовые), *Dinophyta* (динофитовые), *Chrysophyta* (золотистые), *Euglenophyta* (эвгленовые), *Cryptophyta* (криптофитовые), *Cyanophyta* (сине-зеленые водоросли). Максимальное видовое разнообразие отмечено среди динофитовых (52 вида) и диатомовых водорослей (19 видов). Другие отделы были представлены 1-3 видами. Солоноватоводные представители сине-зеленых (родов *Oscillatoria*, *Lyngbya*) и эвгленовых водорослей (*Eutreptia lanowii* и *Euglena* sp.), показательные для загрязненных водоемов, не были широко распространены. Наибольшее

видовое разнообразие диатомовых водорослей было отмечено в апреле (15 видов), в другое время число их видов не превышало 10–11. Таксономический состав динофитовых водорослей в летний период был наиболее разнообразным (49 видов), весной и осенью их общее количество снизилось до 32 и 35 видов соответственно.

В апреле 2012 г. величины количественного развития фитопланктона были невысокими (13 тыс. кл./л и 67 мг/м³). Максимальную концентрацию планктонных водорослей (10–26 тыс. кл./л и 64–93 мг/м³) отмечали в слое моря от поверхности до 25 м. На горизонте 50 м обилие фитопланктона снизилось в 5.6 раза по численности и в 2.5 по биомассе. Повсеместно отмечали высокую концентрацию криптофитовых водорослей (*Plagioselmis punctata*, *P. prolonga*) – 17 % общего количества фитопланктона. Основную компоненту численности (соответственно 55 и 26 %) и биомассы (21 и 77 %) фитопланктона формировали диатомовые и динофитовые водоросли. Среди диатомовых водорослей наиболее многочисленными были *Chaetoceros affinis*, *C. insignis*, *C. curvisetus*, *Chaetoceros* sp., *Nitzschia tenuirostris*, *Pseudonitzschia pseudodelicatissima* и *Proboscia alata*, на уровне субдоминант развивались *Thalassionema nitzschioides*, *Pseudosolenia calcar-avis*, *Chaetoceros anastomosans* и *Cyclotella* sp. Основную биомассу формировали *Pseudosolenia calcar-avis*, *Proboscia alata*, представители родов *Chaetoceros* и *Coscinodiscus*.

В массе были зарегистрированы динофитовые водоросли *Prorocentrum cordatum*, *Katodinium glaucum*, *Scrippsiella trochoidea*, представители родов *Gymnodinium* и *Gyrodinium*, а также *Oblea rotunda*, *Enciculifera carinata* и *Prorocentrum micans*. По биомассе значительную роль играли виды рода *Ceratium*, *Diplopsalis lenticula*, *Protoperidinium crassipes* и *P. depressum*.

В июле 2012 г. отмечали максимальное обилие планктонных водорослей: значения численности и биомассы фитопланктона (59 тыс. кл./л и 96 мг/м³) соответственно в 4.5 и 1.5 раза превышали величины, обнаруженные в этом районе моря в апреле. В то же время показатели количественного развития фитопланктона более чем в 2 раза уступали таковым значениям, обнаруженным в летний период 2012 г. в российском секторе Черного моря. Пик численности и биомассы (113 тыс. кл./л, 149 мг/м³) наблюдали в горизонте моря 5 м, минимум – на горизонтах 25 и 50 м (29 и 4 тыс. кл./л; 41 и 16 мг/м³).

Основным видом в планктоне исследуемого района моря (68 % общей численности) был нанопланктонный представитель золотистых водорослей *Emiliania huxleyi*, относительная доля вида увеличивалась в верхнем – до 10 м – горизонте моря. Диатомовые формировали 5 % об-

щей численности и 12 % биомассы фитопланктона. Доминировали среди них виды – *Pseudonitzschia pseudodelicatissima*, *Pseudosolenia calcar-avis* и *Nitzschia tenuirostris*. На уровне субдоминант развивались *Dactyliosolen fragillissimus*, *Thalassionema nitzschioides*, *Chaetoceros curvisetus*, *Chaetoceros affinis*. Основную компоненту биомассы отдела формировал крупноклеточный вид – *Pseudosolenia calcar-avis*.

Значительную часть (21 %) общей численности и основу (83 %) биомассы фитопланктона составили динофитовые водоросли, доля которых увеличивалась на горизонтах 25 и 50 м, где они формировали до 90-95 % от общих значений численности и биомассы. Количественно преобладали виды рода *Gymnodinium*, *Gyrodinium fusiforme* и *Prorocentrum cordatum*, *Amphidinium longum*, *Scrippsiella trochoidea*, *Katodinium glaucum*, *Torodinium robustum*. Основу биомассы отдела формировали *Ceratium furca*, *C. tripos*, *Diplopsalis lenticula*, *Dinophysis caudata*, *D. rotundata*, *Lingulodinium polyedrum*, *Protoberidinium divergens*, *P. crassipes*, *P. steinii*, *Polykrikos kofoidii*.

Значения численности фитопланктона, обнаруженные в **октябре 2012 г.** (4.5 тыс. кл./л) по сравнению с июлем снизились на порядок, величина биомассы – вдвое (53 мг/м³). Наиболее высокие величины численности и биомассы (5-7.9 тыс. кл./л и 56-92 мг/м³) наблюдали в верхнем (до 25 м) слое моря. На горизонте 50 м обилие фитопланктона сократилось в 4 раза. Основными были диатомовые и динофитовые водоросли: они формировали соответственно 45 и 50 % общей численности и 42 и 57 % биомассы фитопланктона. В верхнем слое моря до 10 м обильно вегетировали виды рода *Ceratium*, на горизонтах 25 и 50 м отмечены слои концентрации *Pseudosolenia calcar-avis*, этот вид формировал до 91 % биомассы диатомовых водорослей. Среди диатомовых также развивались *Chaetoceros affinis*, *Thalassionema nitzschioides*, в меньшем количестве отмечены *Chaetoceros compressum*, *Nitzschia tenuirostris*, *Skeletonema costatum*, *Hemiaulax hauckii*.

Среди динофитовых водорослей количественно преобладали *Prorocentrum cordatum*, *simplex*, *Gyrodinium fusiforme*, виды рода *Gymnodinium*, на уровне субдоминант отмечены *Gyrodinium spirale*, *Prorocentrum compressum*, *P. micans*, *Scrippsiella trochoidea*, *Torodinium robustum*. Основу биомассы отдела формировали *Ceratium furca*, *C. tripos*, *Dinophysis rotundata*, *Akashiwo sanguinea*, *Protoberidinium divergens*, *P. crassipes*.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Брянцева Ю. В., Лях А. М., Сергеева А. В.** Расчет объемов и площадей поверхности одноклеточных водорослей Черного моря. – Севастополь, 2005. 25 с. (Препринт / НАН Украины, Институт Биологии Южных морей).
2. **Киселев Н. А.** Панцирные жгутиконосцы – М-Л: АН СССР, 1950. – 280 с.
3. **Кольцова Т. Н.** Определение объема и поверхности клеток фитопланктона. – *Биол. Науки* **6**, 1970. С.114–119.
4. **Кольцова Т. Н., Лихачева Н. Е., Федоров В. Д.** О количественной обработке проб фитопланктона. – *Биол. Науки* **6**, 1979. С. 96–100.
5. **Коновалова Г. В.** Динофлагелляты (*Dinophyta*) Дальневосточных морей России и сопредельных акваторий Тихого океана. – Владивосток: Дальнаука, 1998. – 297 с.
6. **Макаревич П. Р., Дружков Н. В.** Методические рекомендации по анализу количественных и функциональных характеристик морских биоценозов северных морей. Ч. 1. Фитопланктон. Зоопланктон. Взвешенное органическое вещество. – Апатиты: ММБИ КНЦ РАН, 1989. – 50 с.
7. **Прошкина–Лавренко А. И.** Диатомовые водоросли планктона Черного моря. – АН СССР. 1963. – 216 с.
8. **Ясакова О. Н., Бердников В. С.** Цветение воды в Черном море в результате массового развития кокколитофориды *Emiliana huxleyi* (Lohmann) W.W.Hay & H.P.Mohler в 2012 году. – *Земля из космоса. Наилучшие эффективные решения*. – М.: СКАНЭКС, 2012. № **12**. С 34–37.
9. **Ясакова О. Н., Станичный С. В.** Аномальное цветение *Emiliana huxleyi* (Prymnesiophyceae) в 2012 году в Черном море. – *Морской экологический журнал*, 2012. № **4**: 54.
10. **Dodge J. D.** *Marine dinoflagellates of the British Isles*. – London: HMSO, 1982. – 301 p.
11. **Tomas C.** (ed.) *Identifying marine phytoplankton*. – San Diego, CA. Academic Press: Harcourt Brace Company, 1997. – 821 p.

АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Алексеев Ю. К., 46
Андреев В. И., 228
Артамонова А. В., 241
Афанасьев М. С., 138

Б

Багнитский А. В., 46
Беликов Р. А., 326, 330
Белькович В. М., 330
Бриллиантов А. Н., 217
Бухановский А. В., 271

В

Вельтищев В. В., 31, 42
Веселовский П. Н., 180
Волков С. В., 88
Вязилов Е. Д., 252, 284

Г

Гасников О. А., 257
Гафуров С. А., 82
Гизатуллин Р. С., 57
Голик А. В., 300
Гонтарев С. В., 319
Гончарова А. А., 300
Григорьев К. А., 282

Д

Даниелян Г. Л., 116
Данилов А. В., 161
Джалилов А. Г., 342
Дорофеев В. Л., 274
Дорошенко С. Ю., 248
Душенин Ю. В., 108
Душко В. Р., 191

Е

Егоров С. А., 31, 187, 195, 198, 201, 205
Елкин А. В., 238, 241
Ермольчев В. А., 267
Есина О. И., 304

З

Заец А. Ю., 280

Зайцев М. А., 125
Зарецкий А. В., 165
Зимин П. С., 296

И

Илларионов А. В., 71
Илюхин В. Н., 112
Иноземцев В. В., 205
Ишмухаметов Р. Ф., 237, 238

К

Казеннов А. Ю., 173
Калинина О. Ю., 323
Каминский Ю. Д., 116
Карабашева Э. И., 63, 131, 136
Кикнадзе О. Е., 173
Клименко Т. С., 71
Клюев М. С., 100
Коваленко В. В., 307
Комаров В. С., 151, 157, 177
Коновалов С. К., 346
Королев А. Б., 36
Коротаев Г. К., 274
Костенко В. В., 46
Краморенко А. В., 61
Кропотов А. Н., 31, 161, 184
Крючков Р. С., 187, 195, 198, 205
Куценко А. С., 195, 198

Л

Лазоренко Д. И., 278
Лемешко Е. Е., 278
Лемешко Е. М., 278
Лемминг А. Э., 86
Леонов А. В., 334
Лобов А. Л., 358
Лопатухин Л. И., 271
Лямина Е. А., 201, 205
Лямина Н. В., 338

М

Макашов А. А., 184
Мартынова В. И., 116
Медведев А. В., 46

Мельников Д. А., 252
Мельникова Е. Б., 338
Мещерякова Р. И., 180
Милованов М. А., 71
Михайлов Д. Н., 46
Моисеенко О. Г., 346
Моисеева И. Г., 46
Мокиевский В. О., 311
Монахов С. К., 304
Монахова Г. А., 358
Морева И. Н., 120
Мосейков И. Н., 61
Мошаров С. А., 319
Мун С. А., 46

Н

Нерсесов Б. А., 63, 131, 136, 138
Никитин А. Д., 217
Новиков В. И., 205

О

Овчинников А. В., 57
Олейников И. С., 300
Ольшанский В. М., 88
Орехова Н. А., 346
Островская Е. В., 304
Островский А. Г., 88

П

Пименов А. А., 288
Пищальник В. М., 334
Плясунов В. М., 184
Подгорный К. А., 350
Подольский Л. А., 292, 300
Попов С. К., 358
Постнов А. А., 304
Прасолова Е. А., 326, 330
Проскурнёв И. С., 116
Проскурнёв С. Ю., 116

Р

Ратнер Ю. Б., 274
Рахимбирдиев Н. М., 358
Римский-Корсаков Н. А., 63, 131, 140,
248
Рогинский К. А., 228

Родькин Д. Н., 46
Родькина А. В., 191
Розман Б. Я., 238
Руссак Ю. С., 248, 315

С

Сагалевиц А. М., 14
Сапожников Ф. В., 323
Серых В. Я., 116
Серых И. В., 265
Скалацкий Н. О., 228
Скалацкий О. Н., 228
Смирнов В. Д., 82
Соколов М. А., 67
Суботэ А. Е., 296, 300
Сурма В. А., 57
Сухих Л. И., 274
Сычев В. А., 92, 96, 100, 108

Т

Татаренко Е. И., 82
Татарков Д. Б., 191
Тихонова Н. Ф., 315

У

Убарчук И. А., 267
Углев В. А., 79

Ф

Фищенко В. К., 292, 296, 300
Фомин В. В., 278

Ч

Ченский Д. А., 282
Черненко К. В., 195, 198
Чичерина О. В., 334
Чунаяв Н. В., 252
Чунаяв Н. В., 284

Ш

Шиповской Д. М., 180
Шищенко М. С., 228, 234
Шостаковский П. Г., 86

Я

Ясакова О. Н., 362
Яхонтов Б. О., 140, 148