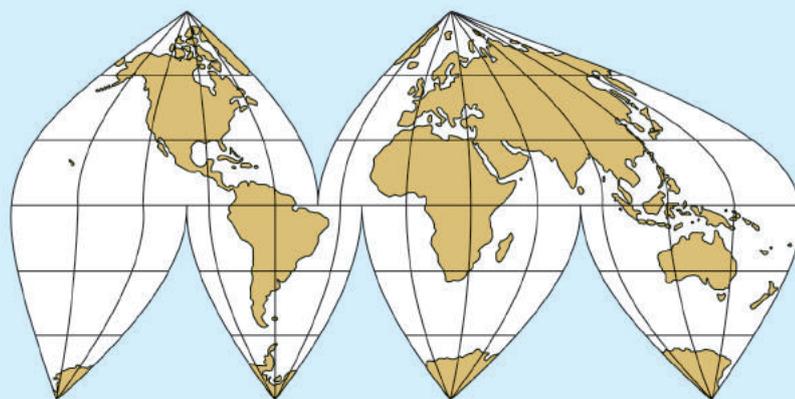


ЗАПИСКИ ПО ГИДРОГРАФИИ



№ 305
(издаются с 1842 года)

**Материалы
научно-практической
конференции «Современные
технологии гидрографии XXI века»**

2018

УПРАВЛЕНИЕ НАВИГАЦИИ И ОКЕАНОГРАФИИ
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЗАПИСКИ
ПО
ГИДРОГРАФИИ

№ 305

(издаются с 1842 года)

Материалы научно-практической конференции
«Современные технологии гидрографии XXI века»

Санкт-Петербург

2018

Ответственный редактор
начальник Управления навигации и океанографии МО РФ
кандидат технических наук
капитан 1 ранга
Травин Сергей Викторович

Члены редакционной коллегии:

Анисин Андрей Александрович, начальник Гидрографической службы Балтийского флота

Антошкевич Анатолий Викторович, доктор философии, начальник Федерального казенного учреждения (ФКУ) «280 Центральное картографическое производство ВМФ»

Башкин Юрий Владимирович, редактор сборника «Записки по гидрографии»

Бербенёв Дмитрий Викторович, начальник кафедры навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения Военного учебно-научного центра (ВУНЦ) ВМФ «Военно-морская академия имени Н. Г. Кузнецова»

Богданов Алексей Сергеевич, начальник отдела Управления навигации и океанографии (УНиО) МО РФ

Ворошилов Михаил Евгеньевич, начальник Гидрографической службы Черноморского флота

Зубченко Эдуард Семёнович, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник Центра организации научной работы и подготовки научных кадров ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия имени Н. Г. Кузнецова»

Иванов Денис Анатольевич, начальник отдела УНиО МО РФ

Кожевников Денис Михайлович, начальник Гидрографической службы Каспийской флотилии

Коньшев Михаил Юрьевич, редактор сборника «Записки по гидрографии»

Лаврентьев Анатолий Васильевич, доктор военных наук, почетный профессор Военно-морского института ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия имени Н. Г. Кузнецова»

Луйк Эдуард Энделевич, главный штурман Военно-Морского Флота РФ

Наумов Игорь Вячеславович, начальник Гидрографической службы Северного флота

Непомилуев Геннадий Николаевич, начальник Гидрографической службы Тихоокеанского флота

Неронов Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института, президент общественной организации «Гидрографическое общество»

Нестеров Николай Аркадьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией географии и природопользования Института озероведения РАН, вице-президент общественной организации «Гидрографическое общество»

Олейников Андрей Станиславович, начальник отдела УНиО МО РФ

Осипов Олег Дмитриевич, заместитель начальника УНиО МО РФ (зам. ответственного редактора)

Павленко Андрей Владимирович, начальник отдела – заместитель начальника УНиО МО РФ

Руховец Константин Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения Военно-морского института ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия имени Н. Г. Кузнецова»

Середа Олег Григорьевич, начальник Центра дальней радионавигации ВМФ

Смирнов Валентин Георгиевич, доктор исторических наук, директор ФКУ «Российский государственный архив ВМФ»

Снигирь Сергей Иванович, редактор сборника «Записки по гидрографии»

Сузюмов Алексей Евгеньевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, эксперт ЮНЕСКО по морским наукам и образованию

Фёдоров Александр Анатольевич, кандидат технических наук, начальник 373 Центра ВМФ

Шальнов Леонид Геннадьевич, начальник отдела УНиО МО РФ

Предложения, замечания, авторские рукописи статей направлять в ФКУ «280 ЦКП ВМФ» по адресу: 191167, Санкт-Петербург, ул. Атаманская, 4 (тел.: +7 (812) 578-8554; факс: +7 (812) 717-5900; E-mail: unio@mil.ru).

СОДЕРЖАНИЕ

Травин С. В. Вступительное слово.....	8
Осипов О. Д. Некоторые вопросы формирования геоинформационного пространства Мирового океана.....	9
Каевицер В. И., Кривцов А. П., Смольянинов И. В., Разманов В. М., Элбакидзе А. В., Денисов Е. Ю., Степанов А. В. Многофункциональная си- стема гидрографической съемки для установки на радиоуправляемых носителях.....	15
Болдинов Р. О., Скнар А. В., Тощов С. А. К вопросу о применении алгоритмов построения рельефа дна в интерферометрическом гидролокаторе бокового обзора (ИГБО) «Неман-500».....	20
Глазунов В. А., Попов А. М., Чунихин А. Ю., Антонов А. В., Орлов И. А. Эле- менты робототехнических систем с пятью степенями свободы.....	25
Третьяков В. Ю., Фролов С. В. Автоматизация получения данных для компьютер- ного моделирования рисков сжатий судов.....	30
Алексеев Г. В., Смирнов А. В., Вязилова А. Е. Экспериментальный аппаратно-программный комплекс мониторинга и прогноза климатических изме- нений в зоне архипелага Шпицберген и в западной арктической зоне Российской Федерации.....	34
Зубченко Э. С., Шарков А. М. Анализ проблемы компенсации параметров грави- тационного поля Земли в высокоточных инерциальных навигационных системах	40
Безбородов Г. И., Исмагилов М. И. Тестовая акватория «Эрмитаж»: внедрение стратегии e-Навигации в России.....	50
Машошин А. И. Обоснование требований к гидрологическому обеспечению подвод- ных лодок ВМФ.....	56
Лукашова М. В., Павлов Д. А., Свешников М. Л., Свешников А. М. Система для решения задач морской астронавигации.....	61
Пелевин А. Е. Задачи автоматизации движения корабля по системе галсов при геофи- зической съемке.....	67
Якушев А. А. Перспективы развития морских средств навигации.....	73
Воробьев В. И. Особенности совершенствования комплексной системы обеспе- чения сервисного обслуживания и ремонта морских средств навигации и тех- нической готовности кораблей при нахождении их в районах выполнения задач боевой службы.....	85
Тюлин А. Е., Дворкин В. В., Куршин В. В., Вдовин В. С. Направления по- вышения точности и надежности навигационно-временного обеспечения средств ВМФ в рамках единой системы навигационного обеспечения Российской Федерации.....	94
Анохин А. А., Полюга С. И. Оценка параметров подводной части айсбергов с помо- щью многолучевого эхолота.....	105
Ашик И. М., Фильчук К. В., Дымов В. И., Кулаков М. Ю. Информа- ционное обеспечение мониторинга гидрологических и гидрохимических условий Северного Ледовитого океана и арктических морей.....	108
Кемеров А. С. Комплексное использование изделий «Аляска-Ч» на кораблях 1 ранга на примере крейсера «Адмирал Нахимов».....	112

Колобов Е. В., Костенич А. В. Файлы формата BAG и их применение в ГИС-проектах.....	116
Каевицер В. И., Кривцов А. П., Смольянинов И. В., Элбакидзе А. В., Денисов Е. Ю., Мятелков В. О., Юшков Ю. В., Степанов А. В. Проведение инженерных изысканий гидроакустическим комплексом АГКПС 300 «Кедр» в Баренцевом море.....	120
Куликов Б. В. Перспективы использования автономных необитаемых подводных аппаратов в интересах Гидрографической службы Военно-Морского Флота	126
Шуляковский В. Г. Современные методы сбора и обработки данных с использованием лазерных сканирующих систем.....	132
Решение научно-практической конференции «Современные технологии гидрографии XXI века».....	139
<i>Памятка автору</i>	144

CONTENTS

Travin S. V. Opening address	8
Osipov O. D. Some items of geoinformation space formation of World Ocean.....	9
Kayevitser V. I., Krivtsov A. P., Smol'yaninov I. V., Razmanov V. M., Elbakidze A. V., Denisov E. Yu., Stepanov A. V. Multifunctional system for hydrographic survey to be installed on radio-operated carriers	15
Boldinov P. O., Sknarya A. V., Toshchov S. A. To the item on application of construc- tion algorithm of bottom relief in interferometric side scan sonar (IGBO) «Neman-500».....	20
Glazunov V. A., Popov A. M., Chunikhin A. Yu., Antonov A. V., Orlov I. A. Components of robotic systems with 5 degrees of freedom.....	25
Tret'yakov V. Yu., Frolov S. V. Automatization of data acquisition for computer simula- tion of ship compression risks.....	30
Alekseyev G. V., Smirnov A. V., Vyazilova A. E. Experimental apparatus and pro- gram complexes for monitoring and forecasting of climate changes in the vicinity of Spitsbergen and in west arctic zone of Russian Federation.....	34
Zubchenko E. S., Sharkov A. M. Analysis of parameters balance problem of the Earth gravitational field in inertial navigational systems with high accuracy.....	40
Bezborodov G. I., Ismagilov M. I. Test water area «Ermitage»: implementation of e-Navigation policy in Russia.....	50
Mashoshin A. I. Foundation for requirements to hydrological support of Navy submarines	56
Lukashova M. V., Pavlov D. A., Sveshnikov M. L., Sveshnikov A. M. System for tasks solution on marine astronavigation.....	61
Pelevin A. E. Automatization tasks of ship motion through tack system during geophysical survey.....	67
Yakushev A. A. Prospects of marine navigational aids development.....	73
Vorob'yov V. I. Improvement features of complex system for providing service mainte- nance and repair (SM and R) of marine navigational aids (MNA) and ships technical readi- ness when they are in the areas of battle service tasks routine.....	85
Tyulin A. Ye., Dvorkin V. V., Kurshin V. V., Vdovin V. S. Ways to enhance accuracy and reliability of navigation-and-time support of Naval aids to navigation in frames of unique navigation support system of Russian Federation.....	94
Anokhin A. A., Polyuga S. I. Iceberg underwater part parameters assessment by multi- beam echo-sounder.....	105
Ashik I. M., Fil'chuk K. V., Dymov V. I., Kulakov M. Yu. Information support of monitoring of hydrological and hydrochemical conditions within Arctic Ocean and Arctic seas.....	108
Kemerov A. S. «Alyaska-CH» units complex use on 1-rank ships as in the example with cruiser «Admiral Nakhimov».....	112
Kolobov Ye. V., Kostenich A. V. BAG format files and their application in GIS- projects.....	116
Kayevitser V. I., Krivtsov A. P., Smol'yaninov I. V., Elbakidze A. V., Denisov E. Yu., Myatelkov V. O., Yushkov Yu. V., Stepanov A. V. Carrying out of engineering investigations by sonar complex AGKPS 300 «Kedr» in Barents Sea.....	120
Kulikov B. V. Prospects of autonomous underwater unmanned vehicles use in the interests of Naval Hydrographic Service.....	126

Shulyakovskiy V. G. Modern methods of data gathering and processing, with using laser scanning systems.....	132
Decision of Scientific and Practical Conference «Modern technologies of hydrography in XXI century».....	139

УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!

Я рад приветствовать вас на научно-практической конференции «Современные технологии гидрографии XXI века». Это вторая конференция, организуемая Управлением навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации.

Исследование проблем в современной гидрографии требует объединения знаний и усилий многих специалистов различных специальностей, использования сложного научного оборудования, проработки огромного количества разнообразной информации, поэтому для успешного решения стоящих перед Гидрографической службой задач необходимо привлечь авторские коллективы.

Развитие науки немыслимо без борьбы мнений, свободной научной критики, обсуждения и проверки различных точек зрения. Подлинная наука не терпит субъективизма, монополии мнений отдельных личностей, какое бы высокое положение они ни занимали.

Целями нашей научно-практической конференции являются:

- коллективное обсуждение вопросов, связанных с обеспечением навигационной безопасности мореплавания;
- поиск творческих решений актуальных вопросов теории и практики в данной области;
- знакомство с результатами проведенных исследований.

Выражаю твердую уверенность в том, что представленные для обсуждения на конференции доклады позволят существенно повлиять на компетенцию специалистов-гидрографов, скорректировать в правильном направлении развитие средств и методов исследований, приступить к созданию инновационной геоинформационной продукции на Мировой океан.

Спасибо.

Начальник Управления навигации и океанографии
Министерства обороны Российской Федерации

капитан 1 ранга С. В. Травин

УДК 551.46 + 528.92 : 681.32

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА МИРОВОГО ОКЕАНА

О. Д. Осипов
(УНУО МО РФ)

В статье говорится о стратегии развития геоинформационного пространства морской деятельности Российской Федерации.

Ключевые слова: программные документы, морская доктрина, модернизация, автоматизированная картографическая система.

The article gives the policy of geoinformation space development of marine activity of Russian Federation.

Key words: program documents, marine doctrine, modernization, automated cartographic system.

Еще только два десятилетия назад для большинства людей основными средствами изображения местности, сооружений, механизмов являлись бумага, ручки, карандаши и другие чертежные инструменты.

Электронно-вычислительные машины использовались в основном подготовленными специалистами в организациях и учреждениях. Тогда мы еще не знали, что такое Интернет.

Основными источниками информации являлись книги, справочники, атласы, карты, изображения.

Настоящее время характеризуется наличием огромного количества различных гаджетов, которые позволяют получать разнообразные данные из сформированного информационного пространства. И уже, отправляясь в путешествие, достаточно подключить мобильный телефон или планшет к соответствующему поисково-информационному сервису, для того чтобы проложить оптимальный маршрут, определить расстояние и время нахождения в пути, получить необходимую информацию о различных сервисах.

«Всемирная паутина» – Интернет – предоставила нам возможность в кратчайший срок получить настолько большой объем информации, насколько наш разум способен вместить ее в отведенный промежуток времени. Как правило, любая информация имеет временную и пространственную привязку.

Предоставляемую Интернетом информацию можно условно разделить на отображаемую, описательную и справочную. И если первые два вида информации могут загружаться в информационную среду случайными пользователями, порой не обладающими достаточными компетенциями в той области, информацию по которой они предоставляют, то справочная информация, конечно же, должна предоставляться профессионалами. И естественно, что чем выше профессиональный уровень специалистов и требований к созданию информации, тем выше степень доверия к предоставляемым данным.

Основные положения руководящих документов по формированию геоинформационного пространства

Анализ программных документов Российской Федерации (РФ) в области морской деятельности, в сфере геодезии, картографии и навигации однозначно указывает на приоритетность создания и обеспечения функционирования геоинформационных систем как основы обеспечения деятельности федеральных органов исполнительной власти, органов местного самоуправления, органов военного управления, других государственных и негосударственных структур, граждан.

Морской доктриной РФ до 2030 г. определено, что безопасность мореплавания обеспечивается:

- оперативным доведением информации до российских субъектов морской деятельности о состоянии морской среды и других сведений, касающихся безопасности мореплавания;
- созданием в РФ инновационного картпроизводства, основанного на передовых технологиях;
- постоянной актуализацией и поддержанием на уровне современных требований мировой коллекции навигационных и электронных карт, изданий и пособий;
- поддержанием и развитием систем и средств навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения, подведомственных заинтересованным федеральным органам исполнительной власти, при их эффективном взаимодействии.

Стратегией развития морской деятельности РФ до 2030 г. среди основных проблем и рисков отмечен недостаточный уровень развития информационного обеспечения морской деятельности на основе систем, комплексов и средств различного подчинения, их интеграции и рационального использования.

В качестве некоторых перспективных путей развития такого вида морской деятельности РФ, как обеспечение безопасности морской деятельности, определены:

- выполнение широкомасштабных комплексных гидрографических работ в перспективных районах Мирового океана;
- совершенствование методов, технологий и технических средств навигационно-гидрографического обеспечения морской деятельности;
- создание цифровой батиметрической базы данных, объектно ориентированного банка навигационно-гидрографической информации.

Концепцией развития области геодезии и картографии РФ в целях создания морских пространственных данных РФ и обеспечения потребностей актуальной картографической информацией определена необходимость:

- обеспечения морских зон, находящихся под юрисдикцией РФ, и акватории Мирового океана высокоточной съемкой рельефа дна с использованием современных технических средств;
- на основании существующих материалов и данных гидрографических работ (съемок) с использованием современных технических средств и информации, полученной в рамках международного обмена, создания базы батиметрических и других морских пространственных данных

о морских зонах, находящихся под юрисдикцией РФ, до 2015 г., а до 2020 г. – о Мировом океане.

В целях создания, хранения, актуализации и распространения навигационных морских карт, руководств и пособий для плавания в морских зонах, находящихся под юрисдикцией РФ, и акватории Мирового океана Концепцией определена необходимость создания в ведении Министерства обороны РФ федерального автономного учреждения по картографическому обеспечению морской деятельности (далее – центр картографического обеспечения морской деятельности).

К функциям центра картографического обеспечения морской деятельности должны быть отнесены в том числе ведение банка информации (геодезической, нивелирной, гравиметрической, картографической) в отношении акватории Мирового океана, создание навигационных морских карт во Всемирной геодезической системе координат 1984 г. (WGS-84) в соответствии с требованиями международных стандартов, создание специальных морских карт для Военно-Морского Флота (ВМФ) в высокоточной геоцентрической системе координат РФ, определение перечня географических координат точек, определяющих положение исходных линий, от которых измеряется ширина территориального моря и прилегающей зоны РФ, оказание государственных услуг по предоставлению потребителям картографической продукции на морские зоны, находящиеся под юрисдикцией РФ, а также на акваторию Мирового океана, осуществление экспертного и метрологического контроля гидрографических данных и картографической продукции.

Концепция создания и развития инфраструктуры пространственных данных РФ предусматривает создание и развитие инфраструктуры пространственных данных РФ как элемента единого информационного пространства страны на основе использования базовых пространственных данных, что позволит создать условия, обеспечивающие свободный доступ к пространственным данным и их эффективное использование.

Таким образом, основным направлением деятельности Гидрографической службы (ГС) ВМФ будут являться формирование и поддержание в актуальном состоянии системы государственных геоинформационных ресурсов морской деятельности.

В рамках формирования системы государственных геоинформационных ресурсов морской деятельности в ближней перспективе потребуются:

- создание геоинформационного пространства морской деятельности;
- создание национальной коллекции электронных навигационных карт на Мировой океан;
- внедрение цифровых технологий на всех этапах создания картографической продукции;
- совершенствование и развитие функциональной подсистемы сбора и обработки первичных гидрографических данных, оснащение гидрографических подразделений современными высокоточными и высокопроизводительными средствами на основе многолучевых и многоканальных систем, применение современных технологий съемки рельефа дна;
- комплексная модернизация морского картографического производства, создание центра картографического обеспечения морской деятельности;

– внедрение и развитие системы доведения цифровой картографической информации до потребителей всех категорий посредством автоматизированной системы;

– создание национального центра контроля сертификации и распространения электронных навигационных карт РФ на базе центра картографического обеспечения морской деятельности.

Это только один фрагмент из множества составляющих системы государственных геоинформационных ресурсов морской деятельности. В рамках этой статьи не представляется возможным раскрыть содержание по другим, не менее важным направлениям деятельности ГС ВМФ.

Рассматривая понятие «геоинформационное пространство», необходимо четко определить его составные части и элементы. Составными частями будут являться: объект (событие), время, местоположение и история изменений (архив). К элементам составных частей можно отнести: трансформации формы объекта, изменение характеристик объекта, изменение местоположения объекта, скорость изменения местоположения, время наступления события, время его завершения, скорость изменения состояния, зависимость характеристики от времени, пространственную и временную протяженность и др.

Важную роль при формировании геоинформационного пространства играют информационно-связные системы, программно-аппаратные комплексы. В непосредственной зависимости от степени автоматизации находятся возможности использования, накопления и изменения геопространственной информации. Для упрощенного представления геоинформационного пространства ГС ВМФ сузим круг решаемых ею задач до обеспечения навигационной безопасности мореплавания. Для решения этой задачи ГС ВМФ необходимо:

- издать навигационные морские карты;
- издать руководства и пособия для плавания;
- обеспечить бесперебойную работу средств навигационного оборудования;
- довести до мореплавателей информацию об изменениях навигационно-гидрографической обстановки;
- обеспечить корабли и суда (только для ВМФ) средствами приема, отображения и использования навигационно-гидрографической информации.

Во временном континууме геоинформационное пространство можно охарактеризовать следующей формой.

Вчера:

- бумажные навигационные морские карты;
- печатные руководства и пособия для плавания;
- механические средства нанесения навигационной информации;
- приемники параметров отдельных навигационно-информационных систем.

Сегодня:

- совместное использование бумажных и электронных карт;
- использование печатных руководств и пособий для плавания;
- использование электронных картографических навигационно-информационных систем;

– использование электронных систем для передачи информации в аналоговом и электронном виде (НАВТЭКС, АИС...).

Завтра:

– создание комплексов всесторонней оценки навигационной информации и подготовки предложений по управлению кораблем (судном).

Однако необходимо понимать, что само по себе геоинформационное пространство не образуется, что оно состоит из отдельных слоев, баз данных, которые оформлены по соответствующим правилам (закономерностям) и могут быть использованы аппаратно-программными комплексами для интерпретации в удобном для пользователя виде.

Основными направлениями развития морской картографии в части, касающейся формирования единого геоинформационного пространства на морские зоны национальной юрисдикции РФ, зарубежных государств и вод открытого моря, являются:

– совершенствование систем и комплексов проектирования, сбора и обработки материалов гидрографических работ;

– обеспечение полного покрытия Мирового океана электронными навигационными картами, создание цифрового банка батиметрических данных на морские зоны национальной юрисдикции РФ и Мировой океан;

– развитие и совершенствование автоматизированной системы обеспечения ВМФ цифровой картографической информацией;

– разработка автоматизированной картографической системы (АКС) сбора, обработки геопространственных данных и подготовки к изданию морской картографической продукции в интересах автоматизированных систем и комплексов ВМФ, обеспечения навигационной безопасности мореплавания.

Разработка АКС в настоящее время выполняется по заказу Управления навигации и океанографии МО РФ в соответствии с государственным контрактом в рамках опытно-конструкторской работы «Модернизация».

Автоматизированная картографическая система предназначена для решения следующих задач:

– сбора, обработки геопространственных данных, поддержания их на уровне современности и подготовки к изданию цифровой и аналоговой картографической продукции;

– создания банка актуальной цифровой картографической информации;

– получения информации по запросам пользователей, а также в соответствии с требованиями стандартов Международной гидрографической организации S-57, S-65, S-100 и международных стандартов серии ISO.

В состав разрабатываемой АКС входят:

– прибор вычислительный (ПВ) «Банк геопространственных данных»;

– ПВ «Командно-информационная система»;

– ПВ «Геопортал»;

– автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора.

Прибор вычислительный «Банк геопространственных данных» представляет собой комплекс взаимосвязанных программно-технических

средств для хранения и обеспечения запросов к базам пространственных данных файловой организации, объектно реляционной организации и объектно ориентированной организации.

Прибор вычислительный «Командно-информационная подсистема» представляет собой комплекс взаимосвязанных программно-технических средств для обеспечения АРМ разделяемыми информационно-управляющими ресурсами АКС.

Прибор вычислительный «Геопортал» представляет собой комплекс взаимосвязанных программно-технических средств для обеспечения через сеть Интернет удаленных пользователей доступом к продукции АКС.

Автоматизированное рабочее место оператора представляет собой комплекс взаимосвязанных программно-технических средств для обеспечения пользователям АКС возможности выполнения функций по выпуску картографической продукции.

С внедрением автоматизированной картографической системы:

- создание и обновление электронных навигационных карт и навигационных морских карт всех масштабов будут выполняться на основании единого источника информации – объектно ориентированной базы геопространственных данных (ООБГД);

- обновление информации ООБГД будет выполняться на основании картографических материалов, ортофотопланов, материалов гидрографических работ и оперативной навигационной информации;

- подготовка, издание и обновление документов справочной навигационной информации будут выполняться автоматизированным способом на основании информации ООБГД.

Модернизация позволит поддерживать национальную коллекцию навигационных морских карт, руководств и пособий для плавания в актуальном состоянии за счет формирования геоинформационного пространства морской деятельности, интегрированного в информационное пространство РФ.

Сведения об авторе:

Осипов Олег Дмитриевич – заместитель начальника УНиО МО РФ, капитан 1 ранга.

About author:

Oleg D. Osipov is Deputy Chief of UNIO of MD of RF, 1st rank captain.

УДК 551.46

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ УСТАНОВКИ НА РАДИОУПРАВЛЯЕМЫХ НОСИТЕЛЯХ

*В. И. Каевицер, А. П. Кривцов, И. В. Смольянинов,
В. М. Разманов, А. В. Элбакидзе, Е. Ю. Денисов
(ФирЭ имени В. А. Котельникова РАН);*

*А. В. Степанов
(ЗАО «НПП «Севзапгидропроект»)*

В статье приведено описание экспериментального автономного многофункционального комплекса для гидрографической съемки дна водоемов, состоящего из гидролокатора бокового обзора (ГБО) с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) зондирующим сигналом, приемника GPS, датчика курса и качки и Wi-Fi точки доступа. Экспериментальный образец установлен на радиоуправляемой модели катера. Экспериментальные результаты работы комплекса по обследованию дна небольшого пруда подтверждают перспективность его использования при проведении гидрографических изысканий.

Ключевые слова: гидролокатор бокового обзора, гидрографическая съемка, обследование, съемка дна водоемов, гидрографические изыскания.

The article gives the description of experimental autonomous multifunctional complex for hydrographic survey of water basins bottom, which consists of side scan sonar with linear frequency modulation by probe signals, GPS receiver, course and motion sensor and Wi-Fi contact point. Experimental pattern is installed on radio-operated coach model. Experimental results of complex work on bottom survey of small pond confirm its use perspective for hydrographic researches.

Key words: side span sonar, hydrographic survey, investigation, pond bottom survey, hydrographic research.

Описание аппаратуры и программного обеспечения

Во Фрязинском филиале Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института радиотехники и электроники имени В. А. Котельникова Российской академии наук (ФирЭ имени В. А. Котельникова РАН) разработаны гидролокационные комплексы с ЛЧМ зондирующим сигналом и технологии цифровой обработки эхо-сигналов, которые позволили повысить энергетический потенциал гидролокационных систем при невысоких амплитудах зондирующих импульсов. За счет этого удалось существенно уменьшить габариты гидролокационных комплексов, в том числе и ГБО, являющегося основным прибором при обследовании дна водоемов и размещенного на модели радиоуправляемого катера Double Horse Flying Fish 7006. Разработанная аппаратура

состоит из двух частей: первая установлена на катере, вторая – на берегу. На катере установлены малогабаритный ГБО диапазона 450 кГц с ЛЧМ зондирующим сигналом, навигационный приемник ГЛОНАСС-GPS, датчики курса, качки и точка доступа Wi-Fi для обеспечения оперативного просмотра, регистрации информации и управления движением катера ПЭВМ берегового терминала. Питание аппаратуры катера осуществляется от аккумулятора емкостью 7 А/ч и напряжением 12 В. Аппаратура береговой станции состоит из ноутбука, подключенных к нему Wi-Fi адаптера, приемника спутниковой навигации и устройства управления движением катера.

**Технические характеристики ГБО,
разработанного в ФИРЭ имени В. А. Котельникова РАН**

Рабочая частота, кГц.....	455
Ширина полосы зондирующих сигналов, кГц.....	50
Длительность сигнала зондирования, мс.....	0,5÷10
Частота посылок, раз в секунду.....	50÷1
Мощность излучения, Вт.....	60÷100
Полоса обзора, м.....	10÷60

Блок-схема аппаратуры комплекса с внешними датчиками навигационной информации приведена на рис. 1.

В состав аппаратуры, установленной на автономном катере, в соответствии с приведенной нумерацией входят:

1. Блок приемопередающих акустических антенн ГБО.
2. Двухканальный усилитель мощности зондирующих посылок.
3. Синтезатор зондирующих ЛЧМ сигналов, таймеры аналого-цифрового преобразователя (АЦП) гетеродина.
4. Приемник спутниковой навигации.
5. Wi-Fi маршрутизатор.
6. Двухканальное приемное устройство.
7. Аналого-цифровой преобразователь.
8. Процессорный модуль для ввода и передачи принятых эхо-сигналов и сигналов управления движением катера в локальную сеть.
9. Датчик курса, крена и дифферента.
10. Модуль управления двигателями.
11. Аккумулятор.
12. DC-DC преобразователи.

В состав аппаратуры береговой станции входят:

13. Ноутбук.
14. Приемник спутниковой навигации.
15. Джойстик («Штурвал», «Газ»).
16. Wi-Fi адаптер с внешней антенной.

Внешний вид катера с установленной аппаратурой изображен на рис. 2.

Программное обеспечение базовой станции позволяет задавать параметры зондирующих сигналов, запускать и останавливать сбор данных, управлять скоростью и направлением движения катера, архивировать поступающие по локальной сети эхо-сигналы, данные датчиков пространственного положения катера, а также отображать их и акустическое изображение на экране ноутбука базовой станции в реальном времени.



Рис. 2. Катер в снаряженном состоянии на воде

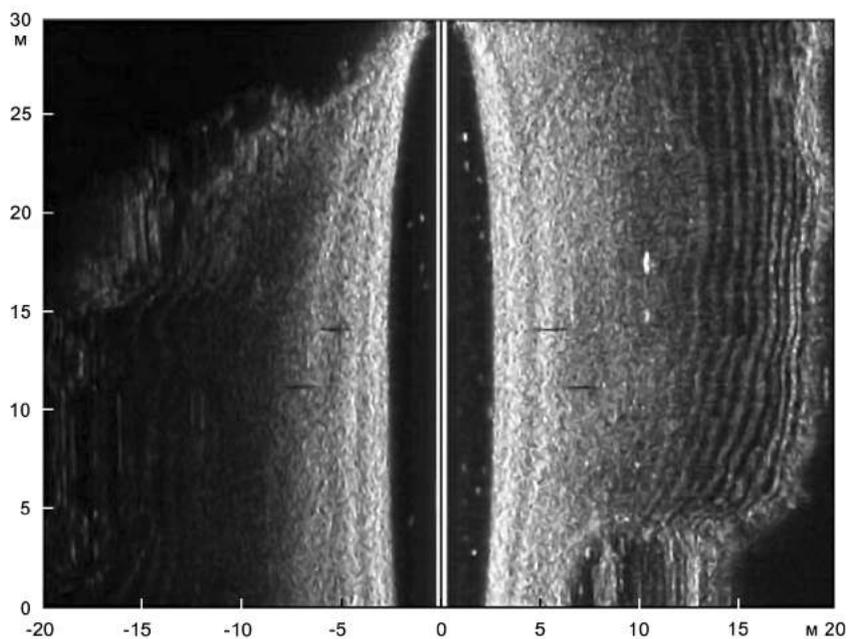


Рис. 3. Фрагмент яркостного изображения дна пресноводного водоема

Связь между микроконтроллером катера (8) и ноутбуком базовой станции (13) осуществляется через беспроводную сеть Wi-Fi. На катере

установлен маршрутизатор (5) с входами на проводной Ethernet, который позволит в дальнейшем оснащать комплекс дополнительными устройствами (видеокамера, автопилот и др.). К ноутбуку подключен USB Wi-Fi адаптер (16) с внешней антенной для увеличения радиуса действия сети.

Примеры полученных данных на рис. 3 (приведен фрагмент акустического изображения дна водоема, построенного по эхо-сигналам двух бортов ГБО в реальном времени).

ЛИТЕРАТУРА

1. Каевицер В. И., Разманов В. М. Дистанционное зондирование морского дна гидролокационными системами со сложными сигналами // Успехи физических наук. – 2009. – Т. 179, № 2. – С. 218–224.
2. Каевицер В. И., Кривцов А. П., Разманов В. М., Смольянинов И. В., Элбакидзе А. В., Денисов Е. Ю. Дистанционно управляемый катер с гидролокатором бокового обзора для картографирования дна малых водоемов // Известия ЮФУ. – 2013. – № 9. – С. 81–85.
3. URL: <http://www.dh-toys.com/eng/ShowProduct.asp?id=18>.

Сведения об авторах:

Каевицер Владилен Иосифович – главный научный сотрудник ФИРЭ имени В. А. Котельникова РАН, доктор технических наук.

Тел.: +7 (496) 565-2616; e-mail: kvi43@mail.ru.

Кривцов Александр Павлович – старший научный сотрудник ФИРЭ имени В. А. Котельникова РАН, кандидат физико-математических наук.

Тел.: +7 (496) 565-2451; e-mail: mybox17@yandex.ru.

Смольянинов Илья Вячеславович – научный сотрудник ФИРЭ имени В. А. Котельникова РАН.

Тел.: +7 (496) 565-2451; e-mail: ilia159@mail.ru.

Степанов Антон Владимирович – начальник отдела ЗАО «НПП «Севзапгидропроект».

Тел.: +7 (812) 740-4955; e-mail: szgp@szgp.ru.

Элбакидзе Андрей Владимирович – старший научный сотрудник ФИРЭ имени В. А. Котельникова РАН.

Тел.: +7 (496) 565-2447; e-mail: elbakidze@mail.ru.

Разманов Владимир Михайлович – старший научный сотрудник ФИРЭ имени В. А. Котельникова РАН, кандидат физико-математических наук.

Тел.: +7 (496) 565-2451; e-mail: razvlmi@ire.rssi.ru.

Денисов Егор Юрьевич – ведущий инженер ФИРЭ имени В. А. Котельникова РАН.

Тел.: +7 (496) 565-2447; e-mail: egor-denisov@mail.ru.

About authors:

Vladilen I. Kayevitser is main scientific worker of RAS V. A. Kotel'nikov FIRE, Doctor of technical sciences.

Tel.: +7 (496) 565-2616; e-mail: kvi43@mail.ru.

Aleksandr P. Krivtsov is senior scientific worker of RAS V. A. Kotel'nikov FIRE, master of physico-mathematical sciences.

Tel.: +7 (496) 565-2451; e-mail: mybox17@yandex.ru.

Il'ya V. Smol'yaninov is scientific worker of RAS V. A. Kotel'nikov FIRE.

Tel.: +7 (496) 565-2451; e-mail: ilial59@mail.ru.

Anton V. Stepanov is sector chief of CSC «SPE Sevzapgydroproekt».

Tel.: +7 (812) 740-4955; e-mail: szgp@szgp.ru.

Andrey V. Elbakidze is senior scientific worker of RAS V. A. Kotel'nikov FIRE.

Tel.: +7 (496) 565-2447; e-mail: elbakidze@mail.ru.

Vladimir M. Razmanov is RAS V. A. Kotel'nikov FIRE, master of physico-mathematical sciences.

Tel.: +7 (496) 565-2451; e-mail: razvlni@ire.rssi.ru.

Egor Yu. Denisov is leading engineer of RAS V. A. Kotel'nikov FIRE.

Tel.: +7 (496) 565-2447; e-mail: egor-denisov@mail.ru.

УДК 621.396.96

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ АЛГОРИТМОВ ПОСТРОЕНИЯ РЕЛЬЕФА ДНА В ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОМ ГИДРОЛОКАТОРЕ БОКОВОГО ОБЗОРА (ИГБО) «НЕМАН-500»

*Р. О. Болдинов, А. В. Скнаря, С. А. Тоцов
(АО «НИИП имени В. В. Тихомирова»)*

В статье говорится о новых технологиях, позволяющих с высокой точностью создавать различные модели поверхности дна.

Ключевые слова: акустические изображения, фильтрация интерферограммы, рельеф дна.

The article describes new technologies permitting to create with high accuracy different models of bottom surface.

Key words: acoustic images, interferogram filtration, bottom relief.

В последнее время появление новых технических возможностей построения гидролокаторов бокового обзора (ГБО) позволило получать акустические изображения поверхности дна высокого качества. Но дальнейшее повышение информативности акустического исследования поверхности дна связано с развитием технологии и техники получения детального рельефа и формированием трехмерного изображения поверхности дна. Поэтому на сегодняшний день задача создания технологий и гидроакустических комплексов, способных с высокой точностью и высокой разрешающей способностью получить как двухмерные, так и трехмерные изображения поверхности дна, является актуальной. Такую задачу способен решить, в частности, интерферометрический гидролокатор бокового обзора (ИГБО) «Неман-500» [1].

Особенности геометрии обзора поверхности дна интерферометрическим гидролокатором бокового обзора, состоящим из приемно-передающей (А2) и приемной (А1) антенн, представлены на рис. 1. Угол отклонения плоскости базы B интерферометра от вертикали равен β , угол

визирования на объект на поверхности дна (элемент разрешения) – α . Искомая глубина G в точке z равна:

$$G = H - z. \quad (1)$$

Принцип действия ИГБО основан на нахождении разности фаз между двумя сигналами, отраженными от одного и того же элемента разрешения на поверхности дна и принятыми двумя разнесенными в пространстве приемными антеннами. Найденная разность фаз является основой для построения рельефа исследуемого участка дна [2].

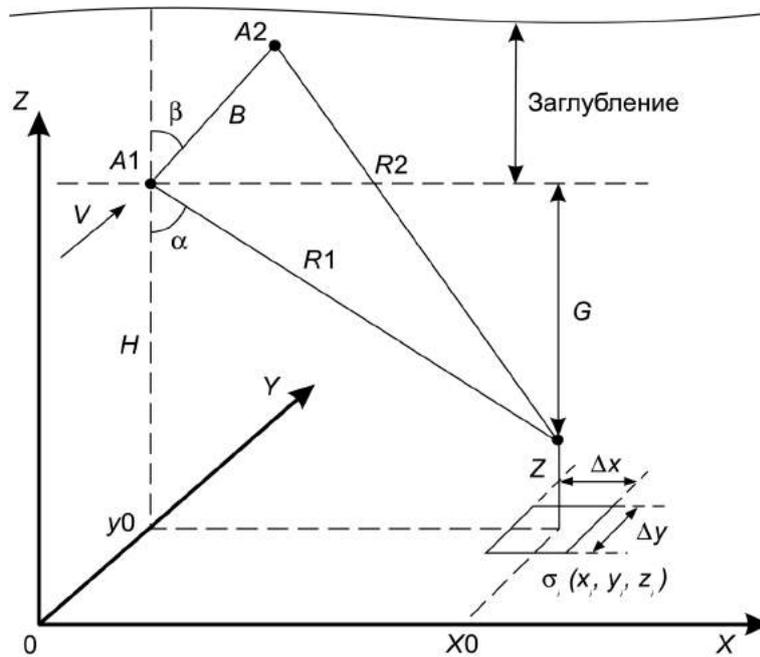


Рис. 1. Геометрия обзора поверхности дна

Рассмотрим некоторые этапы обработки эхо-сигналов на примере данных, полученных в процессе испытаний гидролокатора «Неман-500» на полигоне института.

Технические характеристики (ИГБО) «Неман-500»

Центральная частота, кГц.....	520
Типы используемых сигналов.....	тон, линейная частотная модуляция (ЛЧМ)
Размер базы, см.....	2,5
Угол отклонения плоскости базы от вертикали, град.....	30
Ширина диаграммы направленности (ДН) антенны в горизонтальной плоскости, град.....	1

На рис. 2 в качестве примера представлены акустические изображения поверхности дна с затопленной лодкой, полученные после обработки в разных приемных каналах ИГБО.

В общем случае вычисление интерферометрической разности фаз (ИРФ) происходит по следующей формуле [3]:

$$\Delta\varphi = \operatorname{arctg} \left(\frac{\operatorname{Re}(P_1) \cdot \operatorname{Im}(P_2) - \operatorname{Re}(P_2) \cdot \operatorname{Im}(P_1)}{\operatorname{Re}(P_1) \cdot \operatorname{Re}(P_2) + \operatorname{Im}(P_2) \cdot \operatorname{Im}(P_1)} \right), \quad (2)$$

где P_1, P_2 – массив комплексных отсчетов принятого сигнала с 1-го и 2-го приемных каналов ИГБО соответственно;

Re – оператор выделения реальной части комплексного числа;

Im – оператор выделения мнимой части комплексного числа.

На рис. 3 показана ИРФ, соответствующая паре акустических изображений, представленных на рис. 2.

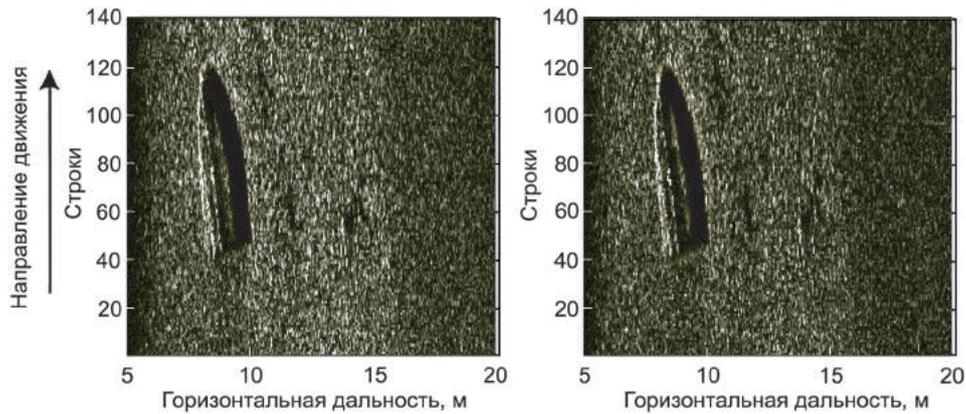


Рис. 2. Акустические изображения поверхности дна с 1-го и 2-го приемных каналов ИГБО

Из-за воздействия на систему различных источников шума и помех качество акустического изображения и формируемой разности фаз ухуд-

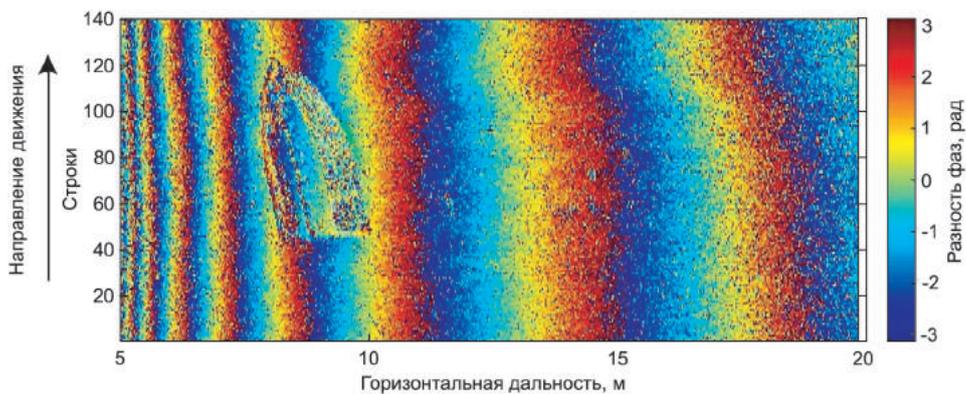


Рис. 3. Интерферометрическая разность фаз

шается. Чтобы исключить большинство ошибок на дальнейших этапах обработки, прибегают к фильтрации интерферограммы.

На сегодняшний день существует несколько широко применяемых методов фильтрации. Самый простой из них – усредняющий метод [4]. Он основан на усреднении значений сигнала в некотором окне, размер которого выбирается в зависимости от качества интерферограммы.

На рис. 4 в качестве примера представлен результат фильтрации ИРФ с помощью метода, основанного на оконном преобразовании Фурье.

Наиболее трудоемкий этап интерферометрической обработки – раскрытие фазовой неоднозначности. Сегодня существует уже достаточно много методов решения этой проблемы. Условно их можно разделить на два класса: локальные методы и глобальные (интегральные) методы.

На рис. 5 в качестве примера представлен результат раскрытия фазовой неоднозначности с помощью метода наименьших квадратов.

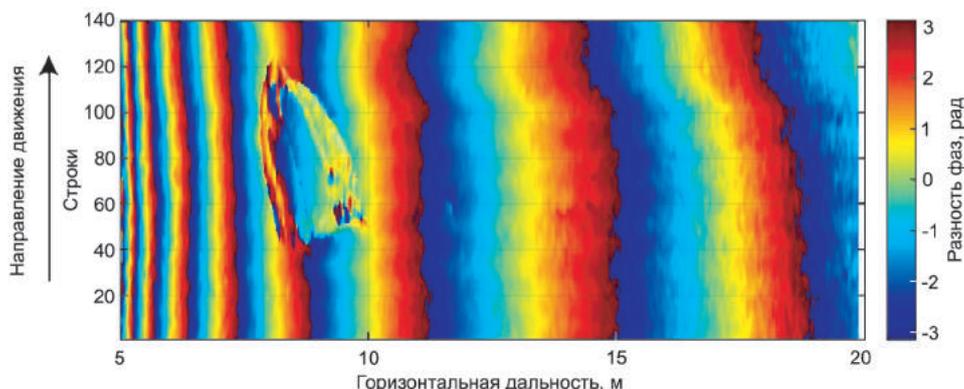


Рис. 4. Результат фильтрации разности фаз с использованием оконного преобразования Фурье

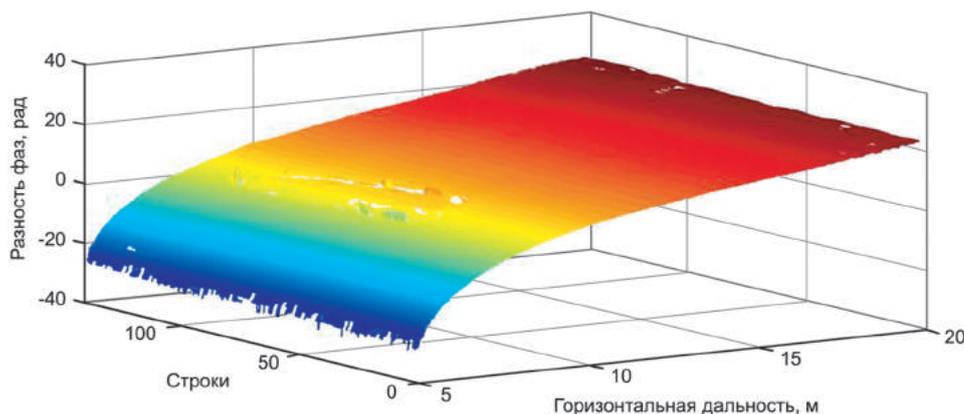


Рис. 5. Результат раскрытия фазовой неоднозначности методом наименьших квадратов

Заключительный этап обработки – пересчет значений абсолютной разности фаз в значения глубины и формирование карты глубин.

На рис. 6 в качестве примера представлена карта глубин в координатах дальность – строки зондирования исследуемого участка дна

в трехмерном (верхний график) и двухмерном (нижний график) видах, где пересчет разности фаз в глубины производился по следующей формуле:

$$G = R_1 \cdot \cos \left[\arccos \left(\frac{\Delta\varphi \cdot \lambda}{2\pi \cdot B} \right) \right] - \beta, \quad (3)$$

где R_1 – наклонная дальность до элемента разрешения;
 $\Delta\varphi$ – «развернутая» ИРФ;
 λ – длина волны;
 B – база ИГБО;
 β – угол наклона плоскости базы.

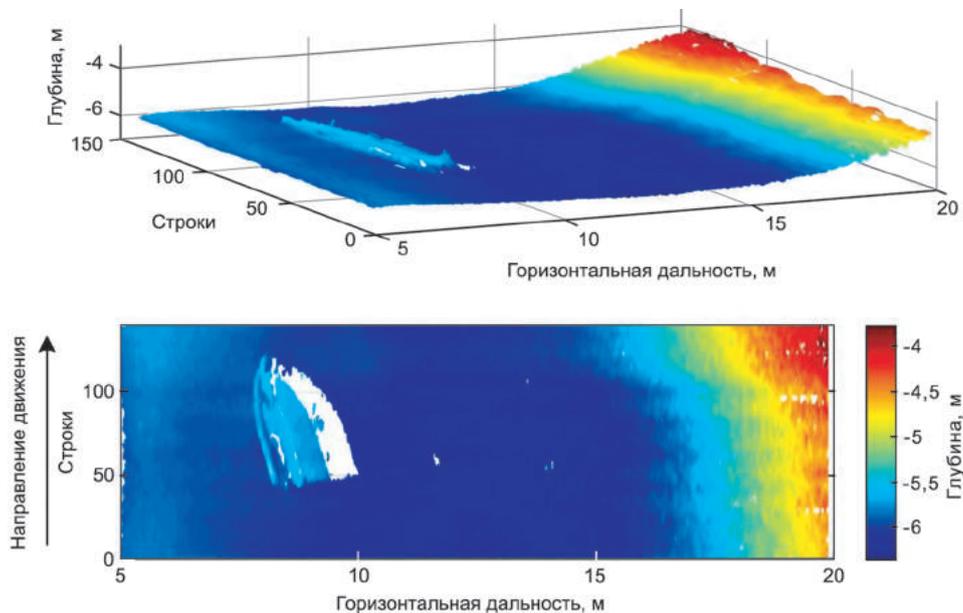


Рис. 6. Яростное изображение исследуемого участка дна в трехмерном (верхний рисунок) и двухмерном (нижний рисунок) видах

В результате настоящей обработки рельеф дна построен с точностью не хуже 1 % (6,5 см) от глубины в подлокаторной точке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Скарня А., Тутынин Е., Климов М. Отечественные гидролокаторы со сложными сигналами производства НИИ приборостроения имени В. В. Тихомирова // Морской сборник. – 2011. – № 3. – С. 47–51.
2. Каевецер В. И., Разманов В. М., Кривцов А. П., Смольянинов И. В., Долотов С. А. Дистанционное зондирование морского дна акустическими сигналами с линейной частотной модуляцией // Радиотехника. – 2008. – № 8. – С. 35–42.
3. Kendall W. B. Unambiguous accuracy of an interferometer angle-measuring system. – IEEE Trans. – 1965, June. – SET-11, № 2. – P. 62–70.
4. Ghiglia D. C., Pritt M. D. Two-dimensional phase unwrapping, John Wiley, Inc. – New York / Chichester / Weinheim / Brisbane / Singapore / Toronto, 1998.

Сведения об авторах:

Болдинов Роман Олегович – аспирант АО «НИИП имени В. В. Тихомирова».

Тел.: +7 (916) 817-7164; e-mail: BoldinovRO92@yandex.ru.

Скнаря Анатолий Васильевич – начальник отдела 301 АО «НИИП имени В. В. Тихомирова», кандидат технических наук.

Тел.: +7 (916) 887-2808; e-mail: Sknarya.A@otd301.niip.ru.

Тошов Сергей Алексеевич – инженер АО «НИИП имени В. В. Тихомирова».

Тел.: +7 (926) 339-0624; e-mail: toshovsergey@mail.ru.

About authors:

Roman O. Boldinov is graduate student of JSC «V. Tikhomirov Scientific Research Institute of Instrument Design».

Tel.: +7 (916) 817-7164.

Anatoliy V. Sknarya is candidate of technical sciences, Head of Department 301 of JSC «V. Tikhomirov Scientific Research Institute of Instrument Design».

Tel.: +7 (916) 887-2808.

Sergey A. Toshov is engineer «V. Tikhomirov Scientific Research Institute of Instrument Design».

Tel.: +7 (926) 339-0624.

УДК 62-529

ЭЛЕМЕНТЫ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПЯТЬЮ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

*В. А. Глазунов, А. М. Попов, А. Ю. Чунихин,
А. В. Антонов, И. А. Орлов*

(Институт машиноведения имени А. А. Благонравова РАН)

В статье рассмотрены задачи кинематического анализа технологического робота параллельной структуры, соответствующей пяти степеням свободы. Данный механизм имеет три кинематические цепи, что обуславливает увеличение рабочей зоны за счет уменьшения возможности взаимных помех между кинематическими цепями.

Работа выполнена в рамках гранта 16-29-04273 офи м. Авторы статьи приносят свою благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований за оказанное содействие в проведении исследований.

Ключевые слова: механизм параллельной структуры, платформа Гауфа, число степеней свободы.

The article considers the tasks for kinematic analysis of technological robot with parallel structure corresponding to 5 degrees of freedom. Such mechanism has 3 kinematic chains that allow to enhance working zone due to reduction of possible mutual interferences between kinematic chains. The work

was carried out in the frame of grant 16-29-04273. The article authors thanks the Russian Fund of Basic Investigations for the assistance in investigations.

Key words: parallel structure mechanism, Gauf platform, degrees of freedom number.

Создание надежных многофункциональных механизмов и машин обуславливает объективную необходимость поиска эффективных технологических решений в области машиноведения [1–3].

Как показывают комплексные исследования, проводимые в Институте машиноведения имени А. А. Благонравова Российской академии наук, одним из направлений решения данной задачи является использование технологических механизмов параллельной структуры [4–7].

Такие механизмы имеют несколько кинематических цепей, связывающих основание с выходным звеном – рабочим органом, и воспринимают нагрузку подобно пространственным формам. Этим они отличаются от традиционных механизмов с последовательным расположением звеньев и приводов. Данное обстоятельство обуславливает повышенные показатели механизмов параллельной структуры по точности и грузоподъемности. Поэтому механизмы параллельной структуры нашли широкое применение в качестве технологических, манипулирующих, измерительных и медицинских систем.

Другим преимуществом механизмов параллельной структуры является возможность установить все приводы на основании механизма, что увеличивает их надежность. Кроме того, приводы могут быть установлены вне рабочей зоны, что, в свою очередь, обуславливает возможность применения этих механизмов в агрессивных средах, а также в аэродинамических трубах.

Первые проекты механизмов параллельной структуры были связаны с использованием платформы Гауфа – Стюарта (гексапод). Как недостаток, эти устройства имели одну избыточную степень свободы, наличие особых положений (сингулярностей) и переменную жесткость в рабочей зоне. Развитие механизмов рассматриваемого класса привело к увеличению числа степеней свободы, в частности появлению в них линейных двигателей [3].

В данных устройствах, например фирмы HERMES [1], имеются двигатели, установленные на основании, и стержни, передающие движения на выходное звено механизма. Архитектура кинематических цепей, а также ферменная конструкция неподвижного и конечного звеньев призваны повысить жесткость при движениях элементов механизма по трем степеням свободы. Кроме того, выходное звено может быть снабжено механизмом, обеспечивающим движение по вертикали, а также вращение вокруг двух горизонтальных осей (трипод).

Одной из перспективных схем механизмов параллельной структуры является механизм технологического робота METROM [1], который представляет собой механизм параллельной структуры с пятью степенями свободы. Данный механизм имеет лишь три кинематические цепи, что обуславливает увеличение рабочей зоны за счет уменьшения возможности взаимных помех между кинематическими цепями.

Для эффективного управления механизмом необходимо знать области рабочей зоны и поля скоростей его рабочих элементов.

В статье рассматривается алгоритм определения обобщенных координат и скоростей элементов механизма параллельной структуры с пятью степенями свободы и тремя кинематическими цепями типа METROM (рис. 1).

Пусть в рассматриваемой схеме механизма известно положение точек B_p , характеризующих основание механизма, точек C_p , расположенных на шпинделе, и длины звеньев C_iA_i . Каждое положение механизма можно

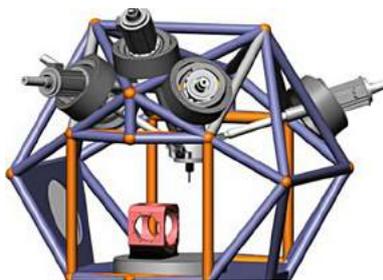


Рис. 1

задать через два угла поворота вокруг осей Y и Z и линейное перемещение вдоль осей X, Y, Z .

Для определения обобщенных координат рассмотрим решение обратной задачи для первой кинематической цепи (рис. 2). При этом используем матрицу Денавита – Хартенберга преобразования координат, описывающую поворот вокруг осей Y и Z , а также перемещение вдоль осей X, Y, Z [7]:

$$\begin{pmatrix} \cos(\gamma) \cdot \cos(\beta) & -\sin(\gamma) & \cos(\gamma) \cdot \sin(\beta) & x \\ \sin(\gamma) \cdot \cos(\beta) & \cos(\gamma) & \sin(\gamma) \cdot \sin(\beta) & y \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Здесь β и γ – углы поворота выходного звена;

x, y, z – координаты центра выходного звена в неподвижной системе координат.

Рассмотрим положение точек A_1 и C_1 на платформе. Для этого определим координаты оси X' в подвижной системе координат. Имеем:

$$\begin{pmatrix} \cos(\gamma) \cdot \cos(\beta) \\ \sin(\gamma) \cdot \cos(\beta) \\ -\sin(\beta) \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Используя матрицу (2), можно определить координаты вектора, соединяющего точки B_1 и C_1 , а затем, векторно умножая указанный вектор

на орт, направленный вдоль оси X' подвижной системы координат, можно получить координаты оси Y' подвижной координатной системы в неподвижной системе координат (рис. 3).

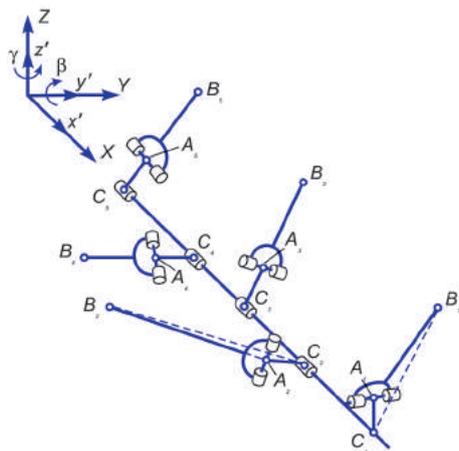


Рис. 2

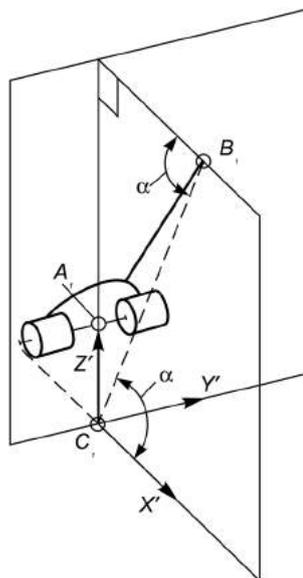


Рис. 3

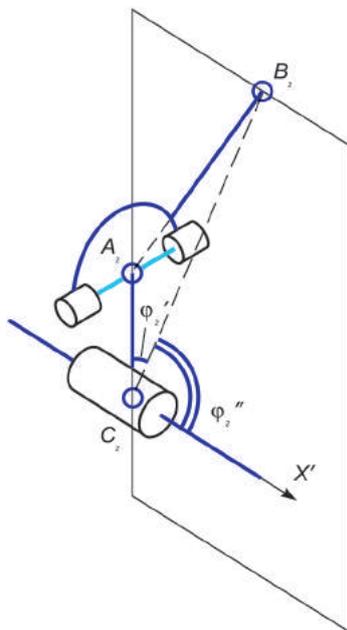


Рис. 4

С другой стороны, единичный вектор, направленный вдоль оси Y' подвижной системы координат, может быть определен непосредственно из матрицы, описывающей повороты осей координат. В подвижной

системе координаты этого единичного вектора равны $(0, 1, 0)$, а в неподвижной системе:

$$\begin{pmatrix} \cos(\gamma) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\alpha) - \sin(\gamma) \cdot \cos(\alpha) \\ \cos(\gamma) \cdot \cos(\alpha) + \sin(\gamma) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\alpha) \\ \cos(\beta) \cdot \sin(\alpha) \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Сравнивая координаты (3), можно получить формулу для вычисления угла α , а затем выразить координаты точки A_1 в неподвижной системе координат. Отсюда получаем решение обратной задачи о положениях для первой кинематической цепи как квадратный корень из суммы квадратов разностей координат точек A_1 и B_1 .

Рассмотрим решение обратной задачи в общем виде для остальных кинематических цепей, которые отличаются от первой цепи. Очевидно, решение отыскивается аналогично решению задачи для первой кинематической цепи до момента определения модуля вектора, проведенного от точки C_1 к точке B_1 .

Опуская достаточно тривиальные, но громоздкие вычисления, изложим алгоритм вычисления остальных координат точек звеньев. Запишем координаты точки B_2 в неподвижной системе координат, а координаты точки C_2 в подвижной системе координат. Далее найдем скалярное произведение векторов C_2B_2 и оси X' (рис. 4). Из полученного произведения определим косинус угла φ''_2 .

Заметим, что угол между A_2C_2 и осью X' равен $\pi/2$. Вычитая из заданного угла величину угла φ''_2 , получаем угол φ'_2 между линиями C_2B_2 и C_2A_2 .

Рассмотрим треугольник $B_2C_2A_2$. Зная в данном треугольнике величины сторон B_2C_2 и C_2A_2 , а также угол φ'_2 между ними, находим длину B_2A_2 по теореме косинусов:

$$|A_2B_2| = \sqrt{|C_2B_2|^2 + |A_2C_2|^2 - |C_2B_2| \cdot |A_2C_2| \cdot \cos \varphi'_2}. \quad (4)$$

Это решение обратной задачи для координат точек второй цепи. Для остальных координат цепей решения совершенно аналогичны. Таким образом, в данной статье решена задача о положениях для механизма параллельной структуры с пятью степенями свободы типа METROM.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов В. А., Чунихин А. Ю. Развитие механизмов параллельной структуры // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2014. – № 3. – С. 37–43.
2. Хейло С. В., Глазунов В. А., Ширинкин М. А., Календарев А. В. Возможные применения механизмов параллельной структуры // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2013. – № 5. – С. 19–24.
3. Глазунов В. А., Чунихин А. Ю. Определение числа степеней свободы пространственных механизмов для технологического оборудования // Справочник. Инженерный журнал. – 2014. – № 12. – С. 29–34.
4. Хейло С. В., Ширинкин М. А., Глазунов В. А. Определение собственных частот манипулятора параллельной структуры // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011. – № 4. – С. 120–123.

5. Демидов С. М., Глазунов В. А., Ласточкин А. Б., Артеменко Ю. Н. Анализ углов давления и особых положений модулей параллельной структуры, предназначенных для механизмов относительного манипулирования // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2011. – № 5. – С. 11–20.

6. Пат. 2478464. Российская Федерация, В25J9/00. Модульная робототехническая технологическая установка / Глазунов В. А., Ковалев В. Е., Левин С. В., Сухоруков Р. Ю., Шалюхин К. А.; опубл. 10.04.2013. Бюл. № 10.

7. Пат. 115709. Российская Федерация, В25J9/00. Робототехническая технологическая установка / Глазунов В. А., Ковалев В. Е., Левин С. В., Сухоруков Р. Ю., Шалюхин К. А.; опубл. 10.05.2012. Бюл. № 13.

Сведения об авторах:

Глазунов Виктор Аркадьевич – доктор технических наук, доктор философских наук, профессор Института машиноведения имени А. А. Благонравова Российской академии наук.

Попов Александр Михайлович – доктор технических наук, профессор Института машиноведения имени А. А. Благонравова Российской академии наук.

About authors:

Viktor A. Glazunov is Doctor of technical sciences, Doctor of Philosophy, Professor of A. A. Blagonravov Institute of machinery of RAS.

Alexandr M. Popov is Doctor of technical sciences, Professor of A. A. Blagonravov Institute of machinery of RAS.

УДК 551.581

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РИСКОВ СЖАТИЙ СУДОВ

*В. Ю. Третьяков, С. В. Фролов
(ФГБУ «АНИИ»)*

В статье представлены варианты прогнозирования ледовой обстановки для предотвращения попадания судов в аварийные ситуации.

Ключевые слова: ледовая информация, толщина льда, шейп-файл, риск сжатия.

The article gives the versions of ice condition forecast to prevent vessels from emergency situations.

Key words: ice information, ice thickness, shape-file, risk of icebouding.

Вызываемые сжатиями дрейфующих льдов аварийные ситуации с судами в Арктике и неарктических замерзающих морях при наличии ледяного покрова являются форс-мажорными обстоятельствами. Причинами всех остальных аварийных ситуаций в действительности является человеческий фактор. Так, развитие компьютерных судовых навигационных систем, систем обеспечения безопасности может существенно снизить риски посадки судов на мель, столкновений судов, столкновений судов

с айсбергами, стамухами, плавающими торосистыми образованиями и т. п.

Однако никакой прогресс прогнозирования ледовой ситуации не может исключить вероятность попадания судов в зону сжатий. Возможна лишь оценка величины риска за длительный срок эксплуатации морской транспортной системы. Известно около десяти определений понятия «риск». В некоторых из них риск рассматривается как синоним вероятности наступления нежелательного события. В других используется качественная мера риска: незначительный, умеренный, высокий и т. п. Очевидно, что как при стратегическом планировании морских транспортных операций, так и при подготовке оперативных рекомендаций требуется использование величины риска в числовом выражении, так как только в этом случае возможно объективное сравнение различных альтернативных вариантов маршрутов плавания. В этом случае риск – это количественная мера опасности с учетом ее последствий. Риск R может быть определен как произведение вероятности опасности события P на величину ожидаемого ущерба Z : $R = PZ$. Для длительного периода эксплуатации морской транспортной системы следует учитывать ожидаемую величину ущерба, рассматриваемую как сумму математического ожидания случайной величины и ее утроенного среднего квадратичного отклонения. Но и в этом случае необходим расчет вероятности аварийной ситуации. Разумеется, необходимо учитывать как межгодовую (легкие, средние, тяжелые ледовые условия), так и внутригодовую изменчивость ледовых условий. Год разбивается на отдельные декадные, полумесячные или месячные интервалы. Для каждого интервала определяется величина вероятности аварийной ситуации.

Эта вероятность может быть определена путем компьютерного статистического моделирования методом Монте-Карло. При сжатиях льдов аварийная ситуация наступает при определенной величине давления льда на корпус судна, которая возможна при совпадении ряда параметров ледяного покрова. Так, очевидно, что сжатие дрейфующих льдов возможно лишь при общей сплоченности, равной или превышающей 9 баллов, и при наличии достаточно прочных льдов. Метод Монте-Карло требует статистических распределений параметров модели, построенных на основании натуральных данных.

Так, статистические распределения суммарной протяженности определенного стандартного маршрута плавания в сплоченных льдах, относительной доли пути в сплоченных льдах с наличием льдов различных возрастных градаций могут быть получены на основании обработки шейп-файлов – результатов дешифровки и векторизации спутниковых снимков. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (ФГБУ «АНИИ») обладает обширным архивом подобных шейп-файлов, атрибутивные таблицы которых содержат ледовую информацию как в традиционном российском формате, так и в международном формате SIGRID.

Для автоматической обработки векторных слоев этой ледовой информации в среде ArcGIS на алгоритмическом языке программирования Python разработан ряд вариантов программы «Led_grad_dlina».

Алгоритм обработки данных с помощью программы «Led_grad_dlina»:

- подпрограмма выбора слоев одновременных ледовых карт по маршруту плавания;
- подпрограмма выбора слоя маршрута плавания;
- выбор слоев одновременных ледовых карт по маршруту плавания;
- создание списка названий слоев ледовых карт в прямоугольной системе координат;
- цикл просмотра списка номеров выбранных слоев ледовых карт;
- задание имени и адреса шейп-файла результата объединения;
- слияние выбранных слоев;
- задание имени и адреса шейп-файла результата объединения объектов с одинаковыми ледовыми характеристиками;
- объединение объектов с одинаковыми значениями полей ледовых характеристик;
- выделение в слое ледовой информации объектов по значению атрибута «СТ» не 90, 91, 92, т. е. с общей сплоченностью льда ниже 9 баллов;
- выделение объектов, у которых самая возрастная градация льда – начальные формы;
- выделение объектов, являющихся участками припая;
- выбор слоя маршрута;
- создание слоя – результата пересечения маршрута с объединенным площадным слоем ледовых характеристик;
- создание имени шейп-файла для создаваемого слоя пересечения участка маршрута со слоем ледовых характеристик;
- пересечение маршрута с объединенным слоем ледовых характеристик льдов сплоченностью 9–10 баллов;
- расчет общей протяженности маршрута во льдах сплоченностью 9–10 баллов;
- цикл просмотра таблицы с проверкой существования возрастных градаций льда: старый лед, толстый лед, средний лед, тонкий лед, молодой лед;
- определение относительной протяженности пути в сплоченных льдах при наличии старых льдов;
- определение относительной протяженности пути в сплоченных льдах при наличии толстых однолетних льдов;
- определение относительной протяженности пути в сплоченных льдах при наличии средних однолетних льдов;
- определение относительной протяженности пути в сплоченных льдах при наличии тонких однолетних льдов;
- определение относительной протяженности пути в сплоченных льдах при наличии молодых льдов.

Затем с помощью программы «Statistica_led_dlina» выполняется объединение созданных программой «Led_grad_dlina» шейп-файлов, относящихся к одной возрастной градации льда и одному возрастному интервалу, в новый шейп-файл. Данные атрибутивной таблицы этого шейп-файла могут использоваться как для анализа межгодовой динамики методом интегральных кривых, так и для построения статистических распределений параметров компьютерной модели определения вероятности аварийных ситуаций методом Монте-Карло.

Разумеется, крайне важным параметром, определяющим как степень трудности плавания, так и вероятность наступления аварийной ситуации в случае сжатия дрейфующих льдов, является толщина ровного льда. Для получения статистических распределений по определенным маршрутам плаваний могут использоваться данные многолетних наблюдений за толщиной льда на сети гидрометеорологических станций. Для автоматической обработки этих данных на языке Python разработана программа «Tolshina_lda».

Алгоритм обработки данных с помощью программы «Tolshina_lda»:

- подпрограмма выбора слоя станций измерения толщины льда;
- подпрограмма выбора слоя буфера;
- возвращение текущего документа карты;
- возвращение списка фреймов текущего документа карты;
- возвращение первого фрейма в списке фреймов (в документе карты должен быть только один фрейм);
- возвращение системы координат этого фрейма;
- возвращение списка всех слоев первого фрейма;
- выбор слоя станций измерения толщины льда;
- создание списка, состоящего из одного номера выбранного слоя станций измерения толщины льда.

Начало цикла обработки:

- выбор файла формата Excel с данными по толщине льда на станциях;
- задание названия будущей файловой базы геоданных;
- задание названия и адреса файла формата dBASE, в который будет преобразован файл Excel;
- создание из файла Excel файла dBASE;
- добавление в атрибутивную таблицу слоя станций измерения толщины льда данных из таблицы файла формата dBASE;
- задание имени и адреса создаваемой файловой базы геоданных;
- проверка: возможно, база геоданных с этим названием и адресом уже существует? В этом случае уничтожение файла-предшественника.

Создание новой файловой базы геоданных:

- выборка объектов, удовлетворяющих условию «толщина льда больше 0», и их запись в класс пространственных объектов Tolshina;
- удаление взаимосвязи между атрибутивной таблицей точек станций и таблицей с данными;
- интерполяция значений толщины льда методом ординарного кригинга;
- выбор полигонального слоя (буферной зоны маршрута в сплоченных льдах), по которому будет выполняться получение значений ячеек матрицы – результата интерполяции;
- запись в таблицу базы геоданных зональной статистики матрицы внутри выбранного полигонального слоя;
- обрезка раstra результата интерполяции по зональному полигону;
- задание адреса и имени создаваемого класса пространственных объектов точек центров ячеек обрезанного раstra;
- преобразование центров ячеек раstra в точки;
- задание адреса и имени создаваемой таблицы Excel;
- запись таблицы класса точек центров ячеек в таблицу Excel;
- диалог выбора: «Завершить цикл» или «Продолжить цикл».

Окончание цикла обработки.

В результате создается шейп-файл с таблицей атрибутов, содержащей осредненные значения толщины ровного льда по маршруту плавания в сплоченных льдах.

Известно, что переход толщины дрейфующих льдов в следующую возрастную градацию происходит на 2–4 декады позже, чем в припайных льдах. Поэтому результаты расчетов относятся не к декаде наблюдений на береговых станциях, а на 2 декады позже для условий суровой зимы, на 3 декады позже для умеренной зимы и на 4 декады позже для мягкой зимы.

Сведения об авторах:

Третьяков Виктор Юрьевич – доцент кафедры геоэкологии и природопользования Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета; старший научный сотрудник ФГБУ «АНИИ».

Тел.: +7 921-304-4370; e-mail: v_yu_tretyakov@mail.ru.

Фролов Сергей Викторович – заведующий лабораторией изучения ледового плавания ФГБУ «АНИИ».

Тел.: +7 921-342-7982; e-mail: svf@aari.ru.

About authors:

Viktor Yu. Tret'yakov is assistant professor of geocology and nature management faculty of Institute of Earth Sciences of Sankt-Petersburg State University; FSBE «AANII» senior scientific worker.

Tel.: +7 921-304-4370; e-mail: v_yu_tretyakov@mail.ru.

Sergey V. Frolov is manager of FSBE «AANII» laboratory of ice navigation study.

Tel.: +7 921-342-7982; e-mail: svf@aari.ru.

УДК 555.501

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ
КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗА КЛИМАТИЧЕСКИХ
ИЗМЕНЕНИЙ В ЗОНЕ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН
И В ЗАПАДНОЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

*Г. В. Алексеев, А. В. Смирнов, А. Е. Вязилова
(ФГБУ «АНИИ»)*

В статье говорится о современном подходе к прогнозированию гидрометеорологической и геофизической обстановки в арктической зоне и о применении новых аппаратно-программных комплексов.

Ключевые слова: мониторинг, специализированная база данных, эволюция морского ледяного покрова.

The article says of modern approach to forecasting of hydrometeorological and geophysical condition in arctic zone, and of application of new apparatus and program complexes.

Key words: monitoring, specialized database, evolution of marine ice cover.

В 2014 г. Министерство образования и науки РФ инициировало выполнение проекта «Создание новых методов и средств мониторинга гидрометеорологической и геофизической обстановки на архипелаге Шпицберген и в западной арктической зоне РФ». В нем поставлена задача разработать новые высокоточные методы и программные средства мониторинга и прогноза состояния атмосферы, гидросферы, криосферы и сейсмической активности в этом полярном регионе, которые должны быть реализованы в виде экспериментальных аппаратно-программных комплексов (ЭАПК).

Экспериментальный комплекс мониторинга и прогноза климатических изменений в регионе ЭАПК «Климат» был разработан в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (ФГБУ «ААНИИ»).

Центральным блоком ЭАПК «Климат» является разработанная специализированная база данных (СБД) для оценки и прогнозирования климатических изменений и связанных с ними опасных природных явлений в зоне архипелага Шпицберген и в западной арктической зоне РФ.

СБД включает существующие гидрометеорологические информационные ресурсы по региону: океанографические, метеорологические и ледовые данные; исторические архивы наблюдений в регионе; элементы криосферы архипелага Шпицберген; наборы карт и графиков с количественным описанием распределений опасных гидрометеорологических явлений по акватории района, их повторяемостей, экстремальных значений и значений разной обеспеченности.

Специализированная база данных является первой комплексной базой данных по региону, обеспечивающей всестороннее количественное описание составляющих климатической системы в регионе, наблюдаемой изменчивости их характеристик и прогноза будущих изменений и включающей базу данных, модуль управления и массивы данных. Она состоит из предметных секций «Океанография», «Метеорология», «Морской лед», «Гляциология», содержащих массивы данных наблюдений, реанализов и расчетов.

Метаданные, детально описывающие каждую из секций, загружены в базу данных, находящуюся под управлением системы управления базой данных (СУБД) «Firebird». Для организации пользовательского интерфейса разработан модуль управления с графическим интерфейсом в целях обеспечения пользователю быстрого доступа к информации, содержащейся в СБД.

Модуль управления отображает результаты обработки в визуальной среде (ESRI ArcGIS для пространственных полей или Golden Software Grapher для временных серий).

Данные, загруженные в СБД

№ п/п	Данные
1	Метеорологические данные наблюдений на метеостанциях в регионе Баренцева и Карского морей и на архипелаге Шпицберген за 1936–2014 гг.
2	Среднемесячные температура воздуха и скорость ветра, характеристика атмосферы в узлах регулярной сетки 2,5 градуса на 10 уровнях по данным реанализа NCEP с 1948 по 2015 г. (глобальное покрытие)
3	Среднемесячные температура воздуха и скорость ветра, характеристика атмосферы в узлах регулярной сетки 0,75 и 0,25 градуса на 14 уровнях по данным реанализа Interim с 1979 по 2015 г. (глобальное и региональное покрытие)
4	Повторяемость опасных гидрометеорологических явлений в зоне архипелага Шпицберген и в западной арктической зоне РФ на основе данных реанализа ERA-Interim
5	Оценки повторяемости опасных метеорологических явлений по данным наблюдений на станциях за 1973–2014 гг.
6	Данные годовых и сезонных атмосферных осадков из Климатического проекта глобальных осадков, Глобальной климатической инициативы и наземных наблюдений на архипелаге Шпицберген за 1979–2008 гг.
7	Параметры снежного покрова, влияющие на устойчивость многолетней мерзлоты в зоне архипелага Шпицберген, за 1973–2013 гг.
8	Данные о 1615 ледниках на архипелаге Шпицберген за 2001–2010 гг.
9	Массивы данных по морскому льду за 1901–2015 гг.
10	Среднемесячные значения протяженности ледяного покрова Баренцева и Карского морей с 2005 по 2050 г. по расчетам восьми моделей из CMIP5
11	Сплоченность морского льда в сентябре и марте в Северной полярной области за каждый год по 2070 г. по расчетам на глобальной модели океана Института вычислительной математики Российской академии наук (ИВМ РАН)
12	Данные о температуре и солености воды Баренцева и Карского морей и на прилегающей части Норвежского и Гренландского морей (63°–83° сев. шир., 0°–100° вост. долг.) в виде цифровых карт с разрешением 0,25° на 29 стандартных горизонтах с осреднением за 30- и 10-летние периоды, средние за 1900–2014 гг.
13	Среднемесячная температура воды на поверхности океана в узлах регулярной сетки по данным реанализа HadISST с 1900 по 2015 г. (глобальное покрытие)
14	Среднемесячная температура воды на поверхности океана в узлах регулярной сетки по данным реанализа Interim с 1979 по 2015 г. (глобальное покрытие)
15	Прогностическая среднемесячная температура воды на поверхности океана к северу от экватора по 2070 г. на основе расчетов на глобальной модели океана ИВМ РАН в узлах регулярной сетки
16	Повторяемость опасных ветроволновых явлений в Баренцевом и Карском морях
17	Экстремальные скорости течений в Баренцевом и Карском морях на основе ретроспективного моделирования региональной циркуляции атмосферы и океана
18	Повторяемость опасных уровней моря на побережье Баренцева и Карского морей

Океанографические поля, представляемые средствами СБД

Сеточные массивы температуры и солености воды на стандартных горизонтах получены путем объективного анализа данных океанографи-

ческих наблюдений. Используются данные по температуре и солёности воды в районе 63° – 83° сев. шир., 0° – 100° вост. долг., содержащиеся на 299 077 станциях, распределённых весьма неравномерно по акватории региона (рис. 1). Распределение числа станций по годам (рис. 2) показывает, что большая часть наблюдений приходится на период с 1950 по 1990 г., когда ежегодно выполнялось более 1500 станций.

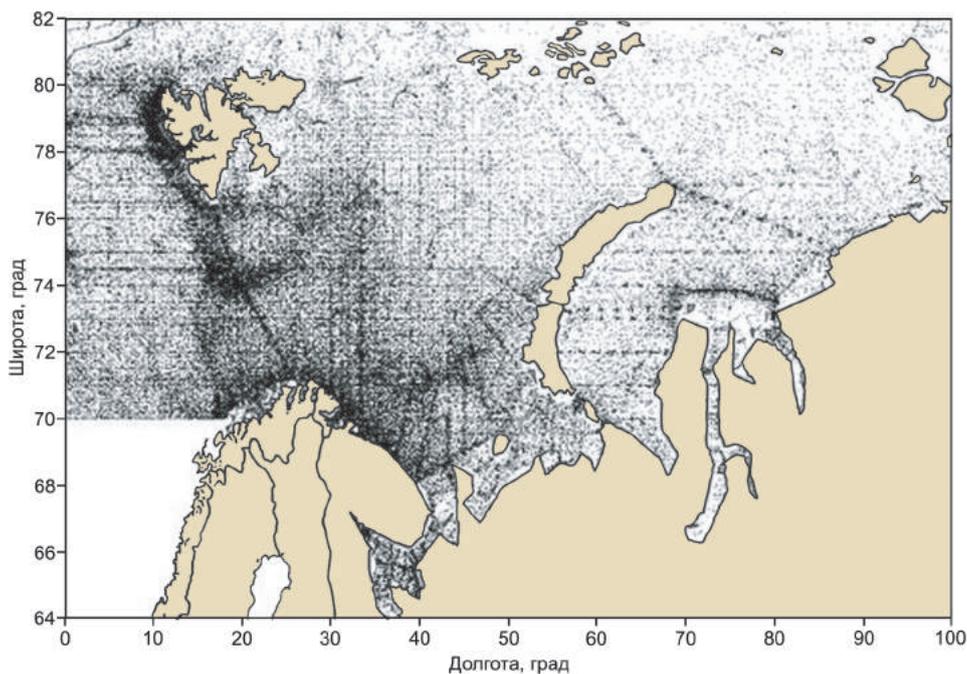


Рис. 1. Пространственное распределение океанографических станций

Кроме того, были оцифрованы данные 13 251 станции (выполнены в 1936–1949 гг. в Баренцевом море), которые хранились на бумажных носителях в фондах АНИИ. Вместе с оцифрованными ранее общее количество океанографических данных, восстановленных (оцифрованных) по бумажным источникам, составило 87 251 станцию.

Все океанографические данные прошли систематизацию и многоступенчатый контроль качества. Применённые процедуры позволили исключить данные с низкой точностью и высокой зашумленностью. Для интерполяции по вертикали использовался метод Рейнигера-Росса. Для пространственной интерполяции – метод DIVA (Data-Interpolating Variational Analysis), специально разработанный для пространственной интерполяции нерегулярных и зашумлённых океанографических данных в узлы регулярной сетки.

В итоге получены поля температуры и солёности с разрешением $0,25^{\circ}$ на 29 стандартных горизонтах: 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500, 1750, 2000, 2500, 3000 и 3500 м. Кроме того, построены поля, осреднённые за 30-летние периоды: 1900–1930, 1931–1960, 1961–1990, 1991–2014 гг., за

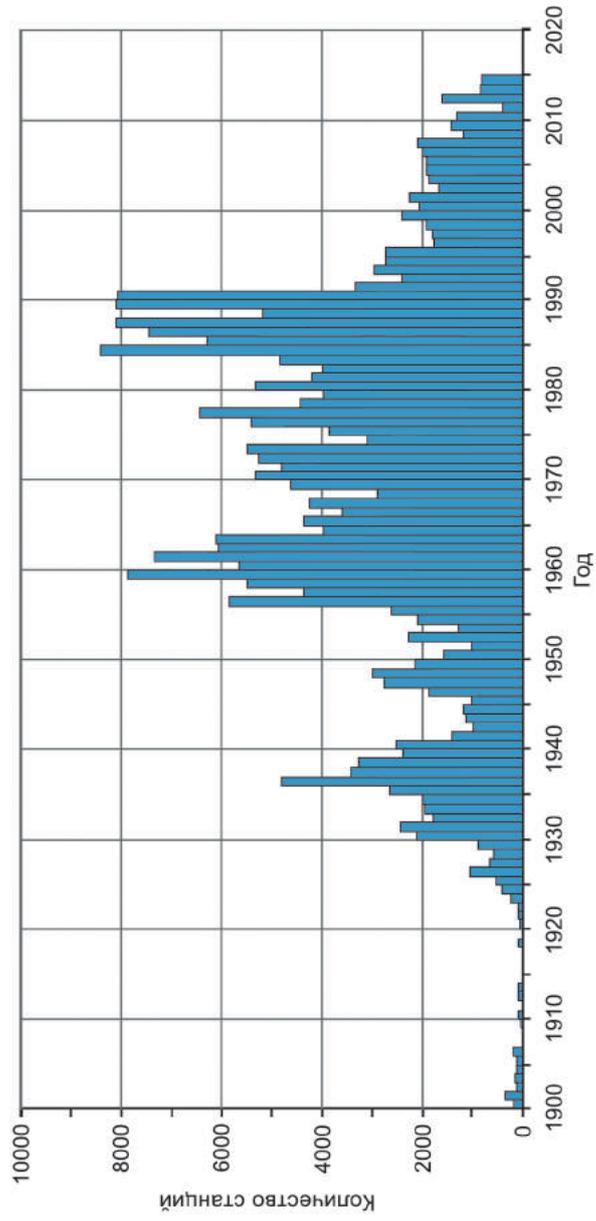


Рис. 2. Распределение океанографических станций по годам

десятилетия 1900–1910, 1911–1920, 1921–1930, 1931–1940, 1941–1950, 1951–1960, 1961–1970, 1971–1980, 1981–1990, 1991–2000, 2001–2014 гг., средние поля за 1900–2014 гг. по отдельным месяцам.

В СБД также содержатся следующие характеристики: повторяемость опасных ветроволновых явлений, брызгового обледенения судов класса СРТ; максимальные скорости течений на поверхности; характеристики ледовых условий в Баренцевом и Карском морях.

Прогностические возможности ЭАПК «Климат»

Прогнозирование изменений климата представляет одну из наиболее сложных задач в исследованиях климата. Особенно это относится к изменениям климата Арктики. Прогноз состояния морского льда в Арктике в настоящее время считается возможным до 7 месяцев вперед. Эволюция морского ледяного покрова на несколько десятилетий вперед получается из расчетов на глобальных моделях климата при заданном антропогенном воздействии. При этом оказывается, что глобальные модели недооценивают летнее сокращение площади льда в Арктике.

В ЭАПК «Климат» реализован комплексный подход к долгосрочному модельному прогнозированию, не только включающий антропогенное влияние, но и учитывающий естественное 60-летнее колебание климата. Этот подход реализован на глобальной модели циркуляции океана ИВМ РАН при сценарии совместного воздействия на изменения климата роста антропогенного влияния и наблюдаемого 60-летнего колебания, что позволило спрогнозировать значительные отклонения от антропогенного сценария будущих изменений характеристик морского льда в регионе и во всей Арктике.

Реализованные в ЭАПК методы климатического прогнозирования позволяют составить прогноз основных климатических характеристик в регионе с заблаговременностью от 2 до 57 месяцев. Оценки качества прогнозов показали оправдываемость прогнозов в пределах 66–74 %. Теоретический фундамент, на котором базируются методы, – определяющая роль океана в накоплении тепла и перенос тепла в высокие широты системой атмосферной и океанической циркуляции.

Работа осуществлена при финансовой поддержке Минобрнауки России при выполнении прикладных научных исследований и экспериментальных разработок (ПНИЭР) по теме «Создание новых методов и средств мониторинга гидрометеорологической и геофизической обстановки на архипелаге Шпицберген и в западной арктической зоне Российской Федерации» (соглашение о предоставлении субсидии от 20.10.2014 № 14.610.21.0006, уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI61014X0006).

Сведения об авторах:

Алексеев Генрих Васильевич – заведующий отделом взаимодействия океана и атмосферы ФГБУ «ААНИИ», доктор географических наук.

Тел.: +7 (812) 528-9460, +7 (812) 337-3146; e-mail: alexgv@aari.ru.

Смирнов Александр Викторович – старший научный сотрудник отдела взаимодействия океана и атмосферы ФГБУ «ААНИИ», кандидат географических наук.

Тел.: +7 (812) 337-3176; e-mail: avsmir@aari.ru.

Вязилова Анастасия Евгеньевна – младший научный сотрудник отдела взаимодействия океана и атмосферы ФГБУ «ААНИИ».

Тел.: +7 (812) 337-3176; e-mail: vae@aari.ru.

About authors:

Genrikh V. Alekseyev is manager of ocean and atmosphere relationship section of FSBE «AANII», Doctor of geographical sciences.

Tel.: +7 (812) 528-9460, +7 (812) 337-3146; e-mail: alexgv@aari.ru.

Alexandr V. Smirnov is senior scientific worker of ocean and atmosphere relationship section of FSBE «AANII», master of geographical sciences.

Tel.: +7 (812) 337-3176; e-mail: avsmir@aari.ru.

Anastasiya E. Vyazilova is junior scientific worker of ocean and atmosphere relationship section of FSBE «AANII».

Tel.: +7 (812) 337-3176; e-mail: vae@aari.ru.

УДК 550.8

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ КОМПЕНСАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ В ВЫСОКОТОЧНЫХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Э. С. Зубченко, А. М. Шарков

(АО «ГНИНГИ»)

В статье выполнен анализ требований к обеспечению перспективной инерциальной навигации данными о параметрах гравитационного поля Земли и рассмотрены возможности современных способов их компенсации.

Ключевые слова: навигационные системы, аномалии гравитационного ускорения, уровень компенсации, автономное плавание.

The article gives the analysis of requirements for providing of perspective inertial navigation with data on parameters of the Earth gravitational field and considers the possibilities of modern methods of their balancing.

Key words: navigation systems, gravitational acceleration anomalies, balance level, endurance navigation.

Для современных инерциальных навигационных систем (ИНС) разработаны и используются датчики направления и ускорения, вносящие в суммарную погрешность определения места величину, характеризующую скоростью нарастания не более 5 м/ч [1]. В то же время суммарная

величина этой погрешности остается на достаточно высоком уровне. Это выдвигает задачу поиска путей ее снижения. Главным источником погрешностей ИНС остается компенсация силы тяжести. Поэтому одним из направлений решения данной задачи считается повышение точности компенсации ускорения силы тяжести (УСТ) и учета уклонения отвесной линии (УОЛ) [2].

В целях определения эффективности данного направления для повышения точности ИНС проанализируем, какие требования выдвигаются к их обеспечению названными параметрами гравитационного поля Земли (ГПЗ).

Для учета УСТ и УОЛ в ИНС навигационного комплекса (НК) необходимо либо использовать модель ГПЗ, построенную по результатам высокоточной детальной гравиметрической съемки, либо производить измерение УСТ и УОЛ с помощью соответственно гравиметрической и градиентометрической аппаратуры. В первом случае потребуются интерполяция используемых значений параметров в точку измерения ускорения подвижного объекта и редуцирование на глубину горизонта его погружения (высоту полета). Во втором случае – только интерполяция измеренного значения на момент измерения ускорения объекта. При этом навигационные погрешности ИНС в первом случае будут являться функцией погрешностей моделей параметров ГПЗ, погрешностей пространственной интерполяции и редукиции параметров на заданный горизонт. Во втором случае – функцией погрешности измерения и погрешности временной интерполяции измеренного значения параметра на заданный момент.

Для оценки требуемого уровня компенсации УСТ в [3] предложены формула СКП выработки НК координат места объекта в зависимости от передаточной функции НК и функция спектральной плотности модели данных об УСТ, учитывающая спектральные плотности самого гравитационного поля Земли, дискретизации и погрешностей измерения УСТ. Формула имеет вид

$$\sigma_p^2(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} \omega F_p^2(\omega, t) \Phi_{gg}(\omega) d\omega, \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi/\tau$ – круговая пространственная частота ГПЗ;

$F_p(\omega, t)$ – передаточная функция НК;

$\Phi_{gg}(\omega)$ – функция спектральной плотности модели данных об УСТ, учитывающая спектральные плотности ГПЗ, дискретизации и погрешности измерения УСТ.

Оценка по данной формуле может быть выполнена при наличии априорных данных о характеристике ГПЗ, виде передаточной функции измерительного устройства и спектральных плотностей погрешности и дискретизации измерений УСТ. Все это делает эту задачу практически трудно разрешимой. Расчеты по этой формуле проводились и представлены на рис. 1 из [4] (числа у кривых – СКП положения объекта). Однако из-за использованных моделируемых параметров ГПЗ не могут рассматриваться как отражающие реальные требования к данным о УСТ.

Действительно, поскольку для оценки в [4] использовались моделируемые исходные данные о характеристиках ГПЗ и предположение о виде

передаточной функции НК, получение реальных результатов требовало поиска другого пути.



Рис. 1. Изменение СКП координат места объекта в километрах, вырабатываемого инерциальным НК с использованием модели ГПЗ различной точности

Для этой цели рассмотрим упрощенный подход, основанный на анализе зависимости пройденного пути при ускоренном движении объекта, принимая погрешность в определении этого пути за погрешность определения места. Для этого будем считать, что объект движется равномерно ускоренно на неизменном курсе и на постоянной глубине. Тогда путь S , пройденный объектом за время t , выразится формулой

$$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2 + S_z^2} \quad (2)$$

где

$$S_x = V_{0x}t + \frac{(a_x - g \sin \alpha \cos K) t^2}{2}; \quad (3)$$

$$S_y = V_{0y}t + \frac{(a_y - g \sin \alpha \sin K) t^2}{2}; \quad (4)$$

$$S_z = V_{0z}t + \frac{(a_z - g \cos \alpha) t^2}{2}. \quad (5)$$

В формулах (2) – (5) приняты следующие обозначения:

S_x, S_y, S_z – проекции пройденного объектом расстояния на оси навигационной системы координат, формируемой ИНС;

V_{0x}, V_{0y}, V_{0z} – проекции вектора начальной скорости объекта на оси упомянутой системы координат;

a_x, a_y, a_z – измеряемые проекции ускорения движения объекта на оси упомянутой системы координат;

g – значение УСТ, которое должно быть компенсировано при измерении составляющих ускорения a_x, a_y, a_z ;

α – значение погрешности выработки вертикали;

K – курс объекта.

Дифференцирование формулы (2) с учетом формул (3) – (5) по переменным g и α дает следующий результат:

$$dS = \frac{t^2}{S} (-S_x \sin \alpha \cos K - S_y \sin \alpha \sin K - S_z \cos \alpha) dg. \quad (6)$$

Заменяя в формуле (6) дифференциалы dS , dg и da на средние квадратические погрешности соответственно: σ_s – как радиальную погрешность места и σ_g – как допустимую погрешность учитываемого значения УСТ, запишем

$$\sigma_g = \frac{S\sigma_s}{t^2 (S_x \sin \alpha \cos K + S_y \sin \alpha \sin K + S_z \cos \alpha)} \quad (7)$$

Произведем оценку по формуле (7) допустимой погрешности учета УСТ при выработке составляющих пройденных расстояний по измеряемым составляющим кинетических ускорений для следующих значений входящих в нее параметров:

$$S = Vt, \quad (8)$$

где V – скорость перемещения объекта (для оценки примем равной 10 уз);

t – время автономного плавания в (с) в течение от 1 до 10 сут;

σ_s – допустимое значение радиальной погрешности выработки ИНС места объекта от 5 до 50 м (значения через 5 м);

S_x , S_y – проекции пройденного расстояния на оси системы координат, формируемой ИНС: $S_x = S \cos K$; $S_y = S \sin K$. Для оценки величина S_z принималась равной погрешности удержания объекта на заданной глубине, например 10 м. Значение курса $K = 45^\circ$. Примем, что величина погрешности выработки вертикали может составлять от долей градуса до десятка угловых секунд, т. е. α изменяется от $10''$ до $100''$, что характерно для современных НК.

Результаты вычисления по формуле (7) для указанных значений параметров представлены в табл. 1, 2.

Из табл. 1, 2 следует, что обеспечение автономной навигации в течение 10 сут с точностью, например, на уровне значения радиальной погрешности места, равного 50 м, требует, в зависимости от величины погрешности вертикали, учета значения УСТ с погрешностью на уровне от 0,13 до 0,014 мГал соответственно. Полученные результаты в отношении требований к данным по УСТ являются неожиданно чрезвычайно высокими.

Следует, однако, понимать, что полученные оценки требуемой точности значений УСТ для использования в ИНС являются необходимыми, но не достаточными. Значения УСТ с установленной точностью должны поступать синхронно с измерениями акселерометрами составляющих ускорения. Сложности реализации этого условия связаны с необходимостью вычисления в ИНС интерполированного значения параметра в точку измерения ускорения или усреднения измеряемого гравиметрическим прибором параметра в течение конечного промежутка времени и отнесения данных измерения параметра к расчетной точке траектории объекта.

Рассмотрим принцип и способы компенсации параметров ГПЗ в ИНС. Как известно, аномалия силы тяжести δg может быть представлена в виде составляющих на оси навигационной системы координат: на ось абсцисс (направленную на восток) – это Δg_E ; на ось ординат (направленную на север) – это Δg_N , а на ось аппликат (направленную вверх) – это Δg_U (рис. 2).

В базе данных ИНС аномалия силы тяжести представляется вертикальной составляющей Δg_U и значениями составляющих УОЛ (ξ, η). Составляющие Δg_N и Δg_E вычисляются по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} \Delta g_N &= -(\gamma_0 + \Delta g) \xi \\ \Delta g_E &= -(\gamma_0 + \Delta g) \eta \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

где γ_0 – величина нормальной силы тяжести (в ИНС рассчитывается по широте места);

Δg – аномалия силы тяжести.

Таблица 1

Допустимые значения погрешности компенсации УСТ (мГал) в зависимости от допустимой погрешности выработки ИНС места объекта и продолжительности автономной навигации (для значения $\alpha = 10''$)

Продолжительность автономной навигации, сут	Требуемая точность автономной навигации (радиальная погрешность места), м									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1	0,944	1,887	2,831	3,775	4,718	5,662	6,606	7,549	8,493	9,436
2	0,28	0,561	0,841	1,121	1,402	1,682	1,962	2,243	2,523	2,803
3	0,133	0,266	0,399	0,532	0,665	0,798	0,931	1,064	1,196	1,329
4	0,077	0,155	0,232	0,309	0,387	0,464	0,542	0,619	0,696	0,774
5	0,051	0,101	0,152	0,202	0,253	0,303	0,354	0,405	0,455	0,506
6	0,036	0,071	0,107	0,142	0,178	0,214	0,249	0,285	0,321	0,356
7	0,026	0,053	0,079	0,106	0,132	0,159	0,185	0,212	0,238	0,264
8	0,02	0,041	0,061	0,082	0,102	0,122	0,143	0,163	0,184	0,204
9	0,016	0,032	0,049	0,065	0,081	0,097	0,114	0,13	0,146	0,162
10	0,013	0,026	0,04	0,053	0,066	0,079	0,092	0,106	0,119	0,132

Таблица 2

Допустимые значения погрешности компенсации УСТ (мГал) в зависимости от допустимой погрешности выработки ИНС места объекта и продолжительности автономной навигации (для значения $\alpha = 100''$)

Продолжительность автономной навигации, сут	Требуемая точность автономной навигации (радиальная погрешность места), м									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,132	0,264	0,396	0,528	0,66	0,792	0,924	1,056	1,188	1,32
2	0,034	0,068	0,101	0,135	0,169	0,203	0,236	0,27	0,304	0,338
3	0,015	0,03	0,045	0,06	0,076	0,091	0,106	0,121	0,136	0,151
4	$8,536 \cdot 10^{-3}$	0,017	0,026	0,034	0,043	0,051	0,06	0,068	0,077	0,085

Окончание

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	$5,475 \cdot 10^{-3}$	0,011	0,016	0,022	0,027	0,033	0,038	0,044	0,049	0,055
6	$3,808 \cdot 10^{-3}$	$7,716 \cdot 10^{-3}$	0,011	0,015	0,019	0,023	0,027	0,03	0,034	0,038
7	$2,801 \cdot 10^{-3}$	$5,602 \cdot 10^{-3}$	$8,403 \cdot 10^{-3}$	0,011	0,014	0,017	0,02	0,022	0,025	0,028
8	$2,146 \cdot 10^{-3}$	$4,292 \cdot 10^{-3}$	$6,439 \cdot 10^{-3}$	$8,585 \cdot 10^{-3}$	0,011	0,013	0,015	0,017	0,019	0,021
9	$1,697 \cdot 10^{-3}$	$3,394 \cdot 10^{-3}$	$5,091 \cdot 10^{-3}$	$6,787 \cdot 10^{-3}$	$8,484 \cdot 10^{-3}$	0,01	0,012	0,014	0,015	0,017
10	$1,375 \cdot 10^{-3}$	$2,75 \cdot 10^{-3}$	$4,126 \cdot 10^{-3}$	$5,501 \cdot 10^{-3}$	$6,76 \cdot 10^{-3}$	$8,251 \cdot 10^{-3}$	$9,626 \cdot 10^{-3}$	0,011	0,012	0,014

Величины Δg_N и Δg_E должны быть компенсированы при измерении составляющих кинематического ускорения объекта.

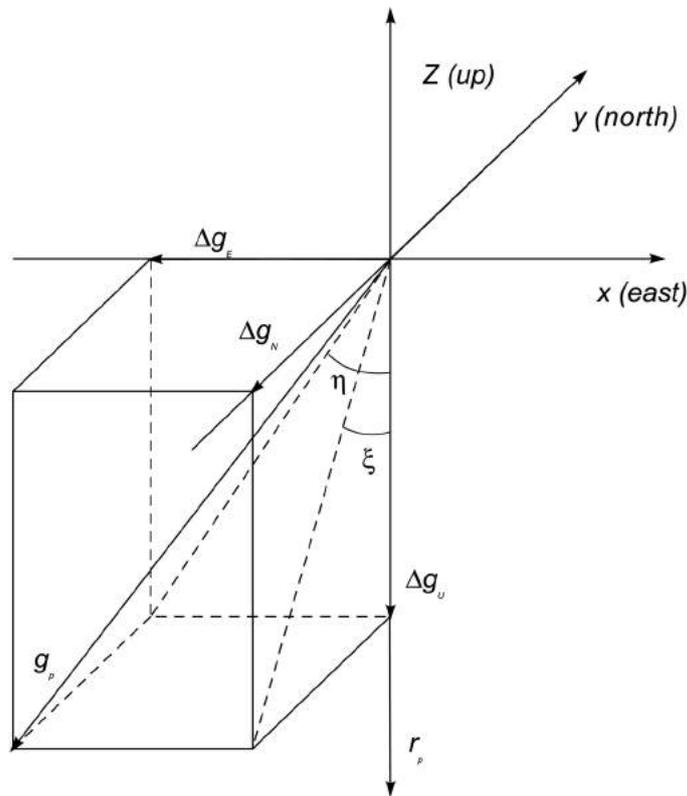


Рис. 2. Составляющие аномалии силы тяжести по осям навигационной системы координат

Чтобы достичь требуемой точности навигации с помощью ИНС, используются три способа компенсации силы тяжести [3]. Во-первых, метод на основе использования существующих моделей поля силы тяжести (EGM2008NGA США или ГАО-2008 – ЦНИИГАиК совместно с 29 НИИ МО РФ) путем вычисления модулей векторов силы тяжести при непосредственном использовании сферической гармонической модели потенциала ГПЗ. Вычисляя ошибки положения с данными аномалии силы тяжести, метод непосредственно выполняет компенсацию

результатов определения места. Используемые для этих целей формулы погрешностей ИНС в навигационной системе координат имеют вид [3]:

$$\delta \dot{V} = -\Phi \times f + C_b (\delta K_A + \delta A) f + \delta V (2\omega_{ie} + \omega_{en}) + V (2\delta\omega_{ie} + \delta\omega_{en}) + \nabla + \delta g. \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} \delta \dot{\varphi} &= \frac{\delta V_N}{R_M + h}; \\ \delta \dot{\lambda} &= \frac{\delta V_E}{R_N + h} \sec \varphi + \delta \varphi \frac{V_E}{R_N + h} \operatorname{tg} \varphi \sec \varphi; \\ \delta \dot{h} &= \delta V_U. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$\dot{\Phi} = \Phi \times \omega_{in} + \delta\omega_{in} - C_b (\delta K_G + \delta G) \omega_{ib} + \varepsilon. \quad (12)$$

В формулах (10) – (12) приняты следующие обозначения:

- $\delta \dot{V}$ – дифференциальная форма погрешности в скорости δV ;
- Φ – погрешность ориентации объекта;
- f – вектор силы, действующий на объект;
- C_b – матрица направляющих косинусов для преобразования вектора ускорения в навигационную систему координат;
- δK_A – погрешность масштабного коэффициента акселерометра;
- δA – инсталляционная угловая погрешность акселерометра;
- ω_{ie}, ω_{en} – угловые скорости вращения Земли и навигационной системы координат относительно Земли соответственно;
- ∇ – погрешность акселерометра;
- $\Delta \delta$ – погрешность аномалии силы тяжести;
- $\delta \dot{\varphi}, \delta \dot{\lambda}, \delta \dot{h}$ – дифференциальные формы погрешности широты, долготы и высоты $\delta \varphi, \delta \lambda, \delta h$;
- $\delta V_N, \delta V_E, \delta V_U$ – погрешности составляющих скорости по осям навигационной системы координат;
- R_M, R_N – радиусы кривизны меридиана и главного вертикального сечения соответственно;
- $\delta K_G, \delta G$ – погрешность масштабного коэффициента и инсталляционная угловая погрешность гироскопа соответственно;
- ω_{ib} – угловая скорость объекта;
- ε – дрейф гироскопа;
- $\dot{\Phi}$ – дифференциальная форма погрешности ориентации объекта.

Из формул (10) – (12) можно видеть, что погрешность аномалии силы тяжести δg является одним из источников погрешности составляющих скорости по осям навигационной системы координат, а следовательно, и погрешности широты, долготы и высоты.

Составляющие аномалии гравитационного ускорения вычисляются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \delta g_{\varphi} &= \frac{GM}{\rho^2} \sum_{n=2}^N \left(\frac{a}{\rho}\right)^n \sum_{m=0}^n (\Delta \bar{C}_{n,m} \cos m\lambda + \bar{S}_{n,m} \sin m\lambda) \times \bar{P}_{n,m}(\sin \varphi); \\ \delta g_{\lambda} &= \frac{GM}{\rho^2 \times \cos \varphi} \sum_{n=2}^N \left(\frac{a}{\rho}\right)^n \sum_{m=0}^n m (-\Delta \bar{C}_{n,m} \sin m\lambda + \bar{S}_{n,m} \cos m\lambda) \times \bar{P}_{n,m}(\sin \varphi), \end{aligned} \right\} (13)$$

где ρ – сферический геоцентрический радиус-вектор;
 φ – сферическая геоцентрическая широта точки (связь с геодезической широтой B : $\text{tg } \varphi = \frac{b^2}{a^2} \text{tg } B$);

λ – сферическая геоцентрическая долгота точки;
 a – большая полуось референцного эллипсоида;

GM – геоцентрическая гравитационная постоянная с учетом атмосферы;

N – максимальная степень ряда;

$\bar{C}_{n,m}, \bar{S}_{n,m}$ – полностью нормированные коэффициенты степени n и порядка m разложения потенциала силы тяжести в ряд по сферическим функциям;

$\bar{P}_{n,m}(\sin \varphi)$ – полностью нормированные полиномы Лежандра* степени n и порядка m .

Модель EGM2008 обеспечивает ряд сферических гармонических коэффициентов до степени 2190 и порядка 2159. Тогда мы можем использовать формулу (8), чтобы вычислить вектор силы тяжести в любом данном положении на или вне поверхности Земли.

Второй метод состоит в том, чтобы получить аномалию силы тяжести, используя метод интерполяции измеренных значений силы тяжести по геоиду, чтобы затем редуцировать аномалию силы тяжести на заданную глубину (высоту).

Третий метод состоит в измерении аномалии силы тяжести на траектории с использованием гравитационного градиентометра, который измеряет градиент потенциала поля.

Точность первых двух методов из-за недостаточной точности моделей не может удовлетворить требования высокоточных ИНС, особенно для районов с высокой расчлененностью ГПЗ, наблюдаемой в районе подводных гор и глубоководных желобов.

В геодезических и геофизических приложениях наиболее часто применяемые методы интерполяции – метод с использованием веса, пропорционального обратному расстоянию до точки интерполяции, и метод билинейной интерполяции. Эти методы позволяют достичь высокой точности для районов со слабой расчлененностью ГПЗ и дают плохие результаты для областей, где наблюдается его высокая расчлененность. Предложенный в [2] новый метод оценки аномалии силы тяжести, который основан на использовании нейронных сетей, так называемый

* При увеличении степени n и порядка m коэффициенты $\bar{C}_{n,m}$ и $\bar{S}_{n,m}$ при сферических функциях быстро убывают, а присоединенные функции $P_{n,m}(\sin \varphi)$, наоборот, резко возрастают. По этой причине часто не хватает разрядной сетки компьютера для выполнения вычислений. Поэтому необходимо нормировать коэффициенты и присоединенные функции Лежандра нормирующими множителями.

метод «чрезвычайной обучающейся машины», чтобы повысить точность, также не решает эту проблему.

В табл. 3 приведены данные сравнения по точности методов интерполяции УСТ, применяемых в ИНС для его компенсации в миллигалах.

Таблица 3

Критерий качества	Методы интерполяции УСТ		
	Интерполяция методом веса обратного расстояния	Метод билинейной интерполяции	Метод нейронной сети (ELM)
Средняя абсолютная погрешность	0,157	0,138	0,098
Средняя квадратическая погрешность	0,285	0,279	0,213

Из табл. 3 следует, что ни один из рассмотренных способов не удовлетворяет сформулированным выше требованиям учета УСТ.

Что касается эффективности методов компенсации УСТ с использованием цифровых моделей ГПЗ, то по оценке в [1] при использовании градированных значений УСТ с пространственным разрешением 2 минуты широты и точностью 3 мГал погрешность в компенсации УСТ вносит менее чем 5 м в погрешность местоположения после одного часа автономной навигации с использованием ИНС для типичной траектории полета на 5-километровой высоте и на скорости 300 км/ч. Это существенно расходится с оценкой в табл. 1, 2.

Дополнительная проблема состоит в том, как осуществить компенсацию силы тяжести в реальном времени. Есть два варианта:

- 1) заблаговременно вычисляют параметры ГПЗ по EGM2008 и формируют офлайн-базу данных для интерполяции в реальном времени;
- 2) вычисляют параметры ГПЗ по EGM2008 непосредственно на момент измерения ускорения. Первый метод более предпочтителен, потому что вычисление сферической гармонической модели с ультравысокой степенью и порядком считается сложным и отнимающим много времени процессом и, таким образом, представляет огромную нагрузку на процессор ИНС.

Выводы

1. Предложенный подход позволяет обосновать требования к информации о гравитационном поле Земли без использования информации о характеристиках гравитационного поля Земли и в виде передаточной функции навигационного комплекса.

2. Выполненная по предложенной методике оценка требований высокоточной инерциальной навигации к точности компенсации ускорения силы тяжести и уклонения отвесной линии показывает, что их уровень значительно превышает современные возможности технических средств и это существенно ограничивает потенциал инерциальной навигации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jay Hyoun Kwon, Jekeli C. Gravity Requirements for Compensation of Ultra-Precise Inertial Navigation // The Journal of Navigation. – 2005. – Vol. 58. – Issue 3. – P. 479–492. – URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=8969814> (дата обращения: 22.04.2017).
2. Xiao Zhou, Gongliu Yang, Qingzhong Cai, Jing Wang. A Novel Gravity Compensation Method for High Precision Free-INS Based on «Extreme Learning Machine» // Sensors 2016, 16 (12), 2019. – URL: <http://www.mdpi.com/1424-8220/16/12/2019> (дата обращения 22.04.2017).
3. Stanley K. Jordan, Julian L. Center, JR. Establishing Requirements for Gravity Surveys for Very Accurate Inertial Navigation // Navigation: Journal of The Institute of Navigation. – 1986. – Vol. 33, № 2. – P. 90–108.
4. Зубченко Э. С. Метод обоснования требований высокоточной автономной навигации к цифровой модели гравитационного поля Земли // Навигация и гидрография. – 2015. – № 39. – С. 16–24.
5. Ruonan Wu, Qiuping Wu, Fengtian Han, Tianyi Liu, Peida Hu, Haixia Li. Gravity Compensation Using EGM2008 for High-Precision Long-Term Inertial Navigation Systems // Sensors 2016, 16, 2177. – URL: <http://www.mdpi.com/1424-8220/16/12/2177> (дата обращения: 22.04.2017).
6. Глазко В. В., Шустов Е. Б., Филабок Н. Н. Морские гравиметрические комплексы и гравиметры Гидрографической службы Военно-Морского Флота // Навигация и гидрография. – 2011. – № 32. – С. 79–87.

Сведения об авторах:

Зубченко Эдуард Семёнович – старший научный сотрудник Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия имени Н. Г. Кузнецова», доктор технических наук, профессор, капитан 1 ранга в отставке. Автор 70 печатных трудов, в том числе монографии по морским геоинформационным системам.

Тел.: +7 (911) 139-3465; e-mail: ezyb@mail.ru.

Шарков Андрей Михайлович – начальник управления гидрографии, геофизики и гидрометеорологии АО «ГНИНГИ», доцент, кандидат технических наук, капитан 1 ранга запаса.

Тел.: +7 (921) 970-2178; e-mail: sharKov@mail.ru.

About authors:

Eduard S. Zubchenko is senior researcher of Military Training and research center of Naval Academy in the Naval Scientific Educational Centre (VUNTS) “N. G. Kuznetsov Naval Academy”, Doctor of technical sciences, professor. 1st rank captain retired. The author of 70 printed works, including monograph on marine geoinformational systems.

Tel.: +7 (911) 139-3465; e-mail: ezyb@mail.ru.

Andrey M. Sharkov is the chief of Department of Hydrography, Geophysics and Hydrometeorology SC “GNINGI”, assistant professor, master of technical sciences. 1st rank captain reserved.

Tel.: +7 (921) 970-2178; e-mail: sharKov@mail.ru.

УДК 656.61

ТЕСТОВАЯ АКВАТОРИЯ «ЭРМИТАЖ»: ВНЕДРЕНИЕ СТРАТЕГИИ Е-НАВИГАЦИИ В РОССИИ

Г. И. Безбородов, М. И. Исмагилов
(АО «Кронштадт Технологии»)

В статье рассказывается об истории появления термина «е-Навигация» и основных этапах развития стратегии е-Навигации.

Ключевые слова: е-Навигация, этапы развития, предназначение, аппаратное, программное обеспечение е-Навигации.

The article tells the history of appearing the term «e-Navigation» and the main steps in e-Navigation policy development.

Key words: e-Navigation, development steps, functions, apparatus, e-Navigation software.

«Важным направлением транспортной политики в области развития транспортной инфраструктуры является содействие созданию единого информационного пространства транспортного комплекса, обеспечивающего снижение издержек взаимодействия различных видов транспорта, грузоотправителей, грузополучателей, государственных контрольных, таможенных, пограничных и других органов, участвующих в осуществлении процессов перевозок» (Транспортная стратегия Российской Федерации (РФ) на период до 2030 г.).

Согласно определению Международной морской организации (ММО/ИМО), «е-Навигация представляет собой гармонизированные мероприятия по сбору, интеграции, обмену, представлению и анализу морских данных на судах, а на берегу при помощи электронных средств с целью совершенствования мореплавания и повышения эффективности связанных с ним служб обеспечения безопасности, охраны на море и защиты морской окружающей среды».

Международной морской организацией определено предназначение е-Навигации как «удовлетворение актуальных и будущих потребностей пользователей посредством согласования морских навигационных систем и береговых служб обеспечения». Описаны ключевые элементы е-Навигации, включающие: архитектуру, человеческий фактор, конвенции и стандарты, определение местоположения судна, коммуникационную технологию и информационные системы, электронные навигационные карты (ЭНК/ENC), стандартизацию оборудования и его масштабируемость. Реализация стратегии е-Навигации, по мнению ММО, поэтапный итерационный процесс непрерывного развития.

В стратегическом плане внедрения (СПВ) е-Навигации уточнены требования к ее внедрению и архитектуре:

- архитектура должна включать аппаратное обеспечение, данные, информационную, коммуникационную технологию и программное обеспечение, необходимые для удовлетворения потребностей пользователей;
- системная архитектура должна основываться на модульной и расширяемой концепции;

– аппаратное и программное обеспечение системы должны основываться на открытых архитектурах с возможностью расширения в соответствии с потребностями разных пользователей и адаптации к продолжающейся разработке и усовершенствованию.



Автоматизированные рабочие места системы е-Навигации (АРМеН):
• в Центре управления прибрежной СУДС «Раскат» (г. Петродворец),
• в ФБУ «Администрация «Волго-Балт» (г. Шлиссельбург).

Рис. 1. Береговое оборудование морского и речного сегментов

В статье представлена характеристика основных мировых проектов e-Navigation и акцентировано внимание на реализации пяти приоритетных решений в СПВ е-Навигации:

- *S1* усовершенствованная, гармонизированная и удобная для использования конструкция ходового мостика;
- *S2* средства стандартизированного и автоматизированного создания отчетов;
- *S3* улучшенная надежность, способность к восстановлению функций и целостность оборудования ходового мостика и навигационной информации;
- *S4* интеграция и представление информации, полученной при помощи коммуникационного оборудования на графических дисплеях;
- *S9* усовершенствованные коммуникации портфеля услуг систем управления движением судов (СУДС) (не ограниченные для СУДС).

В решениях *S2*, *S4* и *S9* основное внимание должно фокусироваться на эффективной передаче морской информации и данных между соответствующими пользователями (судно – судно, судно – берег, берег – судно и берег – берег). Решения *S1* и *S3* должны способствовать эффективному практическому применению информации и данных на судне.

Пять решений СПВ определили 29 подрешений, которые должны быть выполнены с помощью 18 задач и 16 портфелей морских сервисов (ПМС/МСП).

В СПВ подчеркивается, что дополнение стратегии е-Навигации будет представлять собой «непрерывный процесс отслеживания потребностей пользователей и внедрения новых технологий для получения дополнительных функциональных возможностей существующих и возможных



ЭКНИС с функциями е-Навигации оснащены 7* морских и 5** речных судов на тестовой акватории.

* Северо-Западный бассейновый филиал ФГУП «Росморпорт».

** ФБУ «Администрация «Волго-Балт».

Рис. 2. Судовое оборудование морского и речного сегментов



Персональные лоцманские комплекты с внедренным функционалом е-Навигации (5 на МС и 5 на РС)

Автоматизированные уровнемерные посты, передающие на АРМен и ИпТА информацию о текущем уровне воды в онлайн режиме

Синтетические АИС-СНО, передающие на АРМен и ИпТА информацию о своем положении и функционировании по каналам GSM и Iridium SBD

Рис. 3. Дополнительное оборудование тестовой акватории

будущих систем». Стратегический план внедрения акцентирует внимание на коммуникациях как ключевом элементе е-Навигации.

Существующие средства связи, используемые для сигналов бедствия, коммуникации, связанные с безопасностью (ГМССБ/GMDSS, АИС/AIS), приобретаемые (арендуемые) каналы – это:

– спутниковые решения (ИНМАРСАТ, Iridium и системы наземной спутниковой связи VSAT);

– наземная телефонная связь и сети передачи данных GSM 3G и 4G.

Будущие коммуникационные системы должны стать разработанными решениями для е-Навигации и включать ОБЧ/VHF данные (VDES) и NAVDAT, базирующиеся на таких интернет-технологиях, как морские облачные услуги. При рассмотрении эффективных и надежных судовых коммуникаций подчеркивается ориентация разработки систем коммуникаций на IP-технологии.

В России тематика е-Навигации получила развитие в рамках федеральной целевой программы (ФЦП) «Развитие гражданской морской техники». В 2009–2010 гг. была выполнена научно-исследовательская работа (НИР) «Подход-Т» и в ее развитие – в 2012–2014 гг. опытно-конструкторская работа (ОКР) «Подход-НАВ-Т». В этих работах, выполненных при активном участии группы «Кронштадт» в лице акционерного общества (АО) «Кронштадт» (до переименования в 2015 г. – закрытое акционерное общество «Транзас»), осуществлена разработка компонентов обеспечения е-Навигации в виде дополнений интегрированных систем для морских судов.



Научно-технический задел Группы «Кронштадт» по внедрению технологий е-Навигации:

- НИР «Подход-Т» в 2009 г.,
- ОКР «Подход-Нав-Т» в 2012 г.

Рис. 4. Внедрение е-Навигации в России

Опыт исследований по тематике е-Навигации в рамках НИР «Подход-Т» позволил специалистам группы «Кронштадт» стать одними из инициаторов включения данного направления в формирующуюся тогда программу ФЦП «ГЛОНАСС» на 2012–2020 гг. Как результат

этой работы в программе ФЦП «ГЛОНАСС» на 2016–2020 гг. по линии Министерства транспорта (Минтранс) РФ началась реализация ОКР «е-Море».

Наряду с ОКР «е-Море» еще одним драйвером развития е-Навигации в России стала рабочая группа MariNet в составе комплексной государственной программы «Национальная технологическая инициатива» (НТИ), созданной в 2015 г. Благодаря взаимодействию группы «Кронштадт» с компаниями, входящими в MariNet, появилась синергия разработчиков и исследователей в целях комплексного и взаимодополняющего развития двух вышеуказанных государственных программ.

Содержанием первого этапа ОКР «е-Море» в 2016 г., выполненного группой «Кронштадт» по заказу Минтранса РФ, стало «создание тестовой акватории, обеспечивающей всестороннюю проверку и отработку разрабатываемых навигационных, связанных, информационных систем и комплексов судовой и береговой иерархической инфраструктуры в рамках глобальной концепции е-Навигации».

В рамках работ первого этапа ОКР в 2016 г. впервые в России начато формирование уникальной тестовой акватории (ТА) е-Навигации «Эрмитаж» в Северо-Западном регионе. Тестовая акватория е-Навигации «Эрмитаж» включает в себя морской сегмент – восточную часть Финского залива от острова Гогланд до морского порта «Большой порт Санкт-Петербург» с зоной ответственности региональной СУДС «Раскат», Петродворец и речной сегмент – реки Нева, Свирь и южную часть Ладожского озера с зоной ответственности службы движения судов (СДС) Федерального бюджетного управления (ФБУ) «Администрация «Волго-Балт».

Инновационность ТА «Эрмитаж» на Северо-Западе России заключается в сращивании морских и речных технологий судовождения, в том числе с учетом наработок в рамках общеевропейской концепции речных информационных служб (РИС/RIS). Система управления судов «Раскат» и СДС в Шлиссельбурге укомплектованы автоматизированными рабочими местами е-Навигации, интегрированными с уже имеющимися источниками данных.

Кроме того, осуществлено комплектование семи судов Федерального государственного унитарного предприятия (ФГУП) «Росморпорт», работающих в тестовой акватории восточной части Финского залива, и пяти судов ФБУ «Администрация «Волго-Балт» опытными образцами электронных картографических навигационных информационных систем (ЭКНИС), адаптированными для задач е-Навигации. Поставлено десять переносных лоцманских комплектов (по пять для каждого сегмента ТА морского и речного соответственно) в целях обеспечения лоцманов информацией о навигационно-гидрографической и гидрометеорологической обстановке, местоположении судов, состоянии фарватеров и др.

Важнейшим элементом оборудования тестовой акватории является возможность использования традиционных каналов ОВЧ-радиосвязи на морском и речном сегментах в совокупности с новейшими телекоммуникационными технологиями:

- беспроводными сетями стандартов 3G и 4G;
- WiFi и WiMax;
- спутниковыми каналами связи Iridium SBD и SAT-AIS.

Среди результатов исследований, выполненных в рамках ОКР «е-Море» 2016 г., надо отметить следующие:

- впервые в России проведен всесторонний детальный анализ существующих и перспективных технологий, применяемых на морском и внутреннем водном транспорте, по реализации стратегии е-Навигации;
- разработаны проект плана внедрения (дорожная карта) е-Навигации в РФ и технический проект на создание ТА;
- проведен анализ стандартов и отраслевой документации, регламентирующих безопасность плавания судов и организацию связи;
- проведено обследование объектов ТА, разработаны предложения по совершенствованию их организационной структуры;
- определены и систематизированы параметры требуемых программно-технических средств, разработаны спецификации сервисов е-Навигации для ТА, проработана архитектура интегрированного портала е-Навигации;
- разработаны предложения для включения в техническое задание на проведение в 2017–2019 гг. ОКР «е-Море»;
- подготовлен и сдан заказчику (Минтранс РФ) отчет по ОКР «е-Море» 2016 г., в котором более 2000 страниц систематизированного и структурированного анализа тематической информации, значительное количество иллюстраций, схем, таблиц, диаграмм и другие научные материалы.

Группа «Кронштадт» продолжает активную работу по тематике е-Навигации, в том числе в составе международных организаций. В ближайших планах – работа в подкомитете eNav МАМС, участие в работе Комиссии по защите морской среды Балтийского моря (Helcom) и др.

Мировые тенденции в развитии транспорта свидетельствуют, что рынок транспортных услуг стал усложняться. Все сегменты транспортного процесса и логистики стали интегрироваться. Это привело к развитию транспортной инфраструктуры нового типа – транспортно-логистическим и товаротранспортным комплексам, которые образовали объединенную систему взаимодействия. Научно-техническая политика транспортной отрасли предполагает развитие науки, инновационных технологий и системы подготовки кадров по всем направлениям, в том числе стимулирование разработки и внедрения инновационных интеллектуальных транспортных систем, обеспечивающих эффективное управление транспортными потоками и транспортными средствами, а также повышение качества транспортных услуг.

Авторы приглашают заинтересованных специалистов к сотрудничеству и будут рады любым конструктивным замечаниям и предложениям, направленным на скорейшее внедрение стратегии е-Навигации на водных акваториях Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 г.: распоряжение Правительства РФ от 22.11.2008 № 1734-р.
2. Безбородов Г. И., Исмагилов М. И. От стратегии е-Навигации к концепции и-Акватории// Морской вестник. – 2017. – № 1 (61). – С. 77–81.

3. Ismagilov M. «Hermitage» – first test-bed e-Navigation in Russia: presentation on the conference «International e-Navigation Underway 2017». – 02.02.2017.
4. ОКР «е-Море»: отчет об ОКР. – СПб.: АО «Кронштадт», 2016.
5. URL: <http://www.iala-aism.org/products-projects/e-navigation/test-bedsprojects/hermitage/>.

Сведения об авторах:

Безбородов Григорий Иннокентьевич – кандидат технических наук, доцент АО «Кронштадт Технологии».

Тел.: +7 (812) 449-9090.

Исмагилов Марат Ирекович – кандидат технических наук, доцент АО «Кронштадт Технологии».

Тел.: +7 (812) 449-9090.

About authors:

Grigoriy I. Bezborodov is master of technical sciences, assistant professor of SC «Kronshtadt Technologies».

Tel.: +7 (812) 449-9090.

Marat I. Ismagilov is master of technical sciences, assistant professor of SC «Kronshtadt Technologies».

Tel.: +7 (812) 449-9090.

УДК 623.98

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ГИДРОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК ВМФ

А. И. Машошин

(АО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор»)

В статье говорится об оптимизации использования и получения гидрологических данных для подводного флота.

Ключевые слова: гидроакустический комплекс, Мировой океан, подводные лодки, база гидрологических данных.

The article says of optimization of hydrological data use and acquisition for submarine fleet.

Key words: sonar complex, World ocean, submarines, hydrological database.

Что понимается под гидрологическим обеспечением подводных лодок ВМФ

В настоящее время, когда возможности повышения эффективности гидроакустических комплексов подводных лодок (ГАК пл) ВМФ путем увеличения размеров антенн и роста производительности вычислительных средств обработки сигналов, поступающих с выхода антенн, практически исчерпаны, на первый план выходят методы:

– оптимизации функционирования ГАК;

- оптимизации параметров маневрирования их носителей в интересах освещения заданной акватории с заданными характеристиками обнаружения назначенных классов объектов (глубины, скорости и маршрута движения носителя);

- обеспечения скрытности носителя.

Для решения этих задач все создаваемые ГАК пл оснащаются системами гидроакустических расчетов (СГАР), решающими следующие задачи:

- выработка рекомендаций по оптимальной настройке режимов работы ГАК в текущих гидроакустических условиях (ГАУ);

- оценка дальностей действия ГАК в каждом из режимов работы в текущих либо в заданных ГАУ;

- выработка рекомендаций по оптимальному маневрированию носителя ГАК при решении поставленной задачи в текущих либо в заданных ГАУ (при расположении ГАК на маневренном носителе);

- оценка акустической заметности носителя ГАК разнородными (корабельными, авиационными, стационарными) ГАК противника в текущих либо в заданных ГАУ с выработкой рекомендаций по обеспечению скрытности.

Одним из главных условий корректной работы СГАР является обеспечение их полным набором исходных данных, который включает:

1) акустические характеристики толщи воды:

- вертикальное распределение скорости звука (ВРСЗ);

- частотные зависимости коэффициентов пространственного затухания и объемного рассеяния;

2) акустические характеристики поверхности:

- величина волнения (при отсутствии ледяного покрова);

- частотные и угловые зависимости коэффициентов отражения и рассеяния от нижней кромки льда (при наличии ледяного покрова);

- акустические характеристики дна;

- глубина моря и рельеф дна;

- частотные и угловые зависимости коэффициентов отражения и обратного рассеяния дном;

- частотные зависимости шумов удаленного судоходства.

Перечисленные данные носят название гидрологических данных (ГД). ГД делятся на изменяемые во времени (динамические) и неизменяемые во времени (статические). К динамическим ГД относятся ВРСЗ и волнение (в случае отсутствия ледяного покрова). Остальные данные относятся к статическим ГД.

Динамические ГД требуют оперативного измерения, для статических ГД должна быть создана база гидрологических данных (БГД). При этом следует заметить, что, поскольку при планировании операций с применением пл в назначенном районе необходим прогноз динамических ГД в этом районе в период проведения операции, то БГД для каждого района, кроме описания статических ГД, должны содержать статистическое описание динамических ГД в зависимости от времени года и желательно времени суток.

Задача получения гидрологических данных, необходимых для функционирования СГАР ГАК пл, носит название гидрологического обеспечения пл.

Пути решения задачи гидрологического обеспечения подводных лодок ВМФ

С учетом вышесказанного для решения рассматриваемой задачи необходимо оснастить все пл ВМФ:

- 1) средствами оперативного измерения динамических ГД;
- 2) базами гидрологических данных для всех оперативно важных для ВМФ районов Мирового океана, предусмотрев их пополнение и обновление.

Перечень средств оперативного измерения динамических ГД включает:

– измеритель скорости звука (ИСЗ), обеспечивающий высокоточное измерение ВРСЗ от поверхности до глубины более 1000 м без маневрирования пл по глубине. Такой ИСЗ со статусом СИВН разработало АО «НТЦ «Электрозонд»;

– измеритель волнения моря без всплытия пл на поверхность. С этой задачей справляются средства освещения ледовой обстановки, если они установлены на пл. Если их установка не предусмотрена, необходимо найти другой способ измерения волнения, например, с использованием станции освещения ближней обстановки или, на худой конец, через измерение уровня помех на приемных антеннах ГАК.

Следует заметить, что точные гидроакустические расчеты, для которых требуются точные гидрологические данные, нужны для проведения расчетов применительно к тактическим эпизодам, когда противником является пл либо автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА). А учитывая, что дальность обнаружения современных пл и АНПА не превышает 20 км в любых гидроакустических условиях (что вполне сопоставимо с интервалом постоянства гидроакустических условий), для выполнения точных гидроакустических расчетов применительно к этим тактическим эпизодам достаточно измерения динамических ГД в одной точке. То есть знания изменения ВРСЗ по трассе распространения сигнала не требуется.

Следует также заметить, что применительно к пл модное в наши дни понятие «оперативная океанология» должно подразумевать измерение перечисленных динамических ГД.

Для формирования БГД должен быть налажен сбор ГД во всех оперативно важных для ВМФ районах Мирового океана. Учитывая, что достоверность данных, содержащихся в БГД, пропорциональна объему обработанных «сырых» ГД, для получения которых необходимо задействовать все возможности, в частности:

- проведение специальных экспедиций;
- постоянный мониторинг особо важных районов Мирового океана с использованием автономных средств гидрологических измерений (гидрологических буев);
- сбор и обработка данных, поступающих от кораблей и судов ВМФ;
- обработка ранее полученных данных, хранящихся в архивах;
- использование зарубежных данных, доступ к которым открыт в сети Интернет.

В перспективе для повышения точности гидроакустических расчетов желательно обеспечивать все системы ГАР результатами прогноза характеристик нестационарных процессов (внутренних волн, вихрей и т. п.) в соответствующем районе Мирового океана.

Требования к структуре БГД

Структура БГД должна подчиняться следующим требованиям:

– для каждой крупной акватории Мирового океана (моря либо части океанов) формируется своя БГД;

– каждая акватория для каждого из перечисленных выше параметров разбивается на акустические районы с однородным акустическим климатом. Акустические районы, в свою очередь, представляются совокупностью элементарных географических районов (ГР), имеющих вид прямоугольников со сторонами Δd_λ и Δd_φ , параллельными параллелям и меридианам соответственно. Размеры элементарного ГР выбираются достаточно малыми (порядка 30–60 угл. минут), чтобы изменчивостью акустического климата внутри него можно было пренебречь. Каждый ГР имеет уникальный номер I_{gr} , вычисляемый по формуле:

$$I_{gr} = \left[\frac{5400 - \varphi}{\Delta d_\varphi} \right] \times \left[\frac{21\,600}{\Delta d_\lambda} \right] + N_\lambda,$$

где

$$N_\lambda = \begin{cases} \left[\frac{\lambda}{\Delta d_\lambda} \right], & \text{если } \lambda \geq 0 \\ \left[\frac{21\,600 + \lambda}{\Delta d_\lambda} \right], & \text{если } \lambda < 0 \end{cases};$$

φ – географическая широта центра ГР, угл. минуты (северная с плюсом, южная с минусом);

λ – географическая долгота центра ГР, угл. минуты (восточная с плюсом, западная с минусом);

[*] – операция вычисления целого числа.

Подряд следующие по номеру ГР образуют пояса, располагаемые вдоль географических параллелей. Ввиду этого каждый АР описывается количеством поясов ГР и границами каждого пояса на западе и востоке:

– для привязки описания ВРСЗ и волнения к времени года, год для каждого акустического района разбивается на несколько акустических сезонов (АС) с однородным акустическим климатом внутри каждого сезона. Каждый АС описывается несовместной (непересекающейся) совокупностью календарных месяцев;

– для обеспечения использования БГД для гидроакустических расчетов применительно к различным режимам работы гидроакустических средств БГД (в части, зависящей от частоты) должна формироваться для 4 частотных диапазонов (ЧД):

– ЧД-1: ниже 500 Гц;

– ЧД-2: 0,5–8 кГц;

- ЧД-3: 8–30 кГц;
- ЧД-4: 30–60 кГц.

База гидрологических данных для каждой акватории должна включать 10 баз данных (БД):

- 1) БД глубин моря и рельефа дна;
- 2) БД вертикального распределения скорости звука (ВРСЗ);
- 3) БД волнения поверхности моря;
- 4) БД коэффициентов отражения от нижней кромки льда;
- 5) БД коэффициентов рассеяния нижней кромкой льда;
- 6) БД коэффициентов отражения от дна;
- 7) БД коэффициентов обратного рассеяния дном;
- 8) БД коэффициентов пространственного затухания;
- 9) БД коэффициентов объемного рассеяния;
- 10) БД шумов удаленного судоходства.

При обращении к БГД в качестве параметров запроса указываются:

- номер БД (из 10 приведенных выше);
- географические широта и долгота;
- номер месяца;
- номер ЧД (из четырех ЧД, приведенных выше, если БД содержит характеристики, зависящие от частоты).

На это обращение БГД возвращает данные, соответствующие параметрам запроса для данной БД.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корякин Ю. А., Смирнов С. А., Яковлев Г. В. Корабельная гидроакустическая техника. Состояние и актуальные проблемы. – СПб.: Наука, 2004.
2. Коваленко В. В., Корчак В. Ю., Хилько А. И., Чулков В. Л. Требования к сетцентрическим системам подводного наблюдения // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. – 2014. – Т. 7, № 2. – С. 22–26.
3. Машошин А. И. Учет гидроакустических условий при разработке алгоритмов классификации и определения координат морских объектов // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2016. – № 11. – С. 121–132.
4. Марасёв С. В., Машошин А. И. Задачи, решаемые системой гидроакустических расчетов // *Морская радиоэлектроника*. – 2015. – № 2 (52). – С. 40–45.
5. Машошин А. И. Перспективы развития системы гидроакустических расчетов гидроакустических комплексов // *Доклады XIII школы-семинара имени акад. Л. М. Бреховских «Акустика океана», совмещенной с XXIII сессией Российского акустического общества*: Сб. тр. – М.: ГЕОС, 2011. – С. 362–364.
6. Машошин А. И. Оптимизация маневрирования подводной лодки с использованием гидроакустических расчетов // *Морская радиоэлектроника*. – 2012. – № 4 (42). – С. 24–27.
7. Машошин А. И., Соловьева О. Б. Использование гидроакустических расчетов для оптимизации активных режимов работы гидроакустических средств // *Тр. XI Всерос. конф. «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики»*. – СПб.: Наука, 2012. – С. 363–366.

Сведения об авторе:

Машошин Андрей Иванович – начальник НИЦ интегрированных систем освещения обстановки АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», доктор технических наук, профессор.

Тел.: +7 921 763-2345; e-mail: aimashoshin@mail.ru.

About author:

Andrey I. Mashoshin is the chief of Scientific Information Center of integrated systems on highlighting situation SC «Kontsern «TSNII» Electropribor», Doctor of technical sciences, professor.
Tel.: +7 921 763-2345; e-mail: aimashoshin@mail.ru.

УДК 521.95 + 98; 527.0

СИСТЕМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОРСКОЙ АСТРОНАВИГАЦИИ

*М. В. Лукашова, Д. А. Павлов, М. Л. Свешников
(ИПА РАН);*

*А. М. Свешников
(Чешский технический университет)*

Разрабатывается программа для решения основных задач морской астронавигации. Программа написана в среде Windows на языке C++ и использует 2D графическую библиотеку Cairo. Ввод задания осуществляется с помощью графического интерфейса пользователя. Решение представляется в графической форме (планшет) и в виде протокола решения. При решении используется метод наименьших квадратов (МНК) или метод Кондрашихина.

Ключевые слова: астронавигационные эфемериды, метод наименьших квадратов, графический интерфейс.

The program for the solving of the basic astronavigation tasks is developed. The program is developed in Windows environment in language C++ and uses 2D graphic library Cairo. The value assignment is carried out by using graphical user interface. The solution is represented in the graphic form (fixing position plotter) and the result log in the text form. At the solving are used LSM or Kondrashichin's method.

Key words: astronavigational ephemerides, method of least squares, graphical interface.

Исключительно важным направлением развития морских астронавигационных эфемерид является создание программных комплексов для решения судоводительских задач [1]. В Институте прикладной астрономии Российской академии наук (ИПА РАН) поставлена задача разработки специализированной астронавигационной системы «Навигатор». В качестве первого этапа разработана интерактивная система удаленного доступа «Штурман» [2]. Система предназначена для решения задач, описанных в двухгодичном Морском астрономическом альманахе (МАО-2), с точностью 0,1', соответствующей этому изданию. Система «Штурман» имеет учебно-методическую направленность и доступна на сайте ИПА

РАН по адресу: <http://shturman.ipa.nw.ru>. Однако система «Штурман» обладает рядом недостатков и зависимостью от Интернета. Необходимо создание полноценной электронной версии Морского астрономического ежегодника (МАЕ) повышенной точности (до $0,01'$). Целью настоящей работы является разработка формы решения типовых задач морской астронавигации, связанных с определением места судна (ОМС) и определением поправки компаса (ОПК) для последующего применения в системе. ОМС основывается на измерениях высот, а ОПК – на измерениях пеленгов светил при движении судна во время наблюдений. Общая схема решения представлена на рис. 1.

Исходными данными (рис. 1) являются данные в квадратах, обведенных пунктирной линией; необходимые эфемеридные и редуцированные данные приведены в квадратах со сплошной жирной линией. Задание входных параметров осуществляется с помощью графического интерфейса, обеспечивающего редактирование, диагностику входных параметров и запуск задачи.

При программировании диалогового интерфейса использовались средства CWA (Creating Windows Applications) в среде Visual Studio. Введение данных производится заполнением соответствующих полей в стартовой странице (рис. 2). При ошибочном задании значений возникает сообщение об ошибке.

Более сложные диалоговые окна (boxes) содержат альтернативные значения параметров из фиксированного списка. Так, бокс с названием «Объект» содержит названия: Солнце, Луна, названия планет от Меркурия до Нептуна, обозначения 160 стандартных навигационных звезд и 108 дополнительных звезд со звездной величиной $m < 4,0$. Если какие-то данные наблюдений для какого-либо объекта исключаются из обработки, то в дальнейших расчетах этот объект может не участвовать. Для ОМС по трем или четырем объектам возможен выбор метода решения: МНК с равными или неравными весами высотных линий положения (ВЛП) или метод Кондрашихина [3], учитывающий корреляционные связи между ВЛП. При запуске задачи происходит передача данных в соответствующую вычислительную программу, написанную в среде Windows на языке C++. Наблюдения объекта усредняются с учетом параметров движения судна и выявлением грубых измерений по малой выборке. Далее в программе используются фундаментальные эфемериды Солнца, Луны и планет теории ЕРМ [4], разрабатываемой в ИПА РАН, каталог звезд, основанный на данных FK6/HIPPARCOS, и значения параметров вращения Земли (ПВЗ), публикуемые на сайте ИПА РАН. Рефракция учитывается по Пулковским таблицам 1985 г. Вычисления эфемеридных высот и азимутов светил ведутся с точностью $0,01'$ или с полной точностью, характерной для Астрономического ежегодника. Редукция наблюдений производится в соответствии с рекомендациями МАС 2000–2012 гг. В случае выбора точности вычислений в $0,1'$ или $0,01'$ вычисление нутации и прецессии ведется по сокращенным рядам. Отметим, что в МАЕ или МАА-2 точность вычислений составляет $0,1'$, а при обработке наблюдений, кроме того, используются таблицы ТВА-57, допускающие ошибку до $0,3'–0,4'$.

Решение в графической форме с выводом на планшет осуществляется с помощью 2D графической библиотеки Cairo, согласованной с C++.



Рис. 1. Общая схема решения астронавигационных задач

Определение места по (2, 3, 4) одновременным наблюдениям

Навигационные данные

ΔT 67 сек

T_с 14-02-2011 17:50

φ_с 28 ° 2.70 ' N

λ_с 17 ° 30.40 ' W

M_{ст} 0.5

N 1 ч 00 м W

ИК 48.0 °

V_с 15.0 уз

e 17.5 м

i 1.5

s -0.5

t 20.0 °C

B 765.0 мм рт. ст.

u 0 м -20.6 °C

метод решения метод Кондрашихина

Вычислить результат

Точность решения максимально возможный

Объект 1 Объект 2 Объект 3 Объект 4

Наблюдений

Объект 29γ Ориона(Беллатрикс) Край центр

Азимут (круговой) 1100 °

Время	Отсчет секстанта
T1 5 ч 58 м 05 с	ОС1 42 ° 27.3
T2 5 ч 59 м 35.0 с	ОС2 42 ° 33.6
T3 6 ч 0 м 05 с	ОС3 42 ° 39.9
T4 6 ч 00 м 35 с	ОС4 42 ° 45.2
T5 6 ч 01 м 05 с	ОС5 42 ° 52.5
T6	ОС6
T7	ОС7
T8	ОС8
T9	ОС9

Очистить данные наблюдений

Рис. 2. Вид панели задания данных для ОМС по 2, 3 или 4 звездам

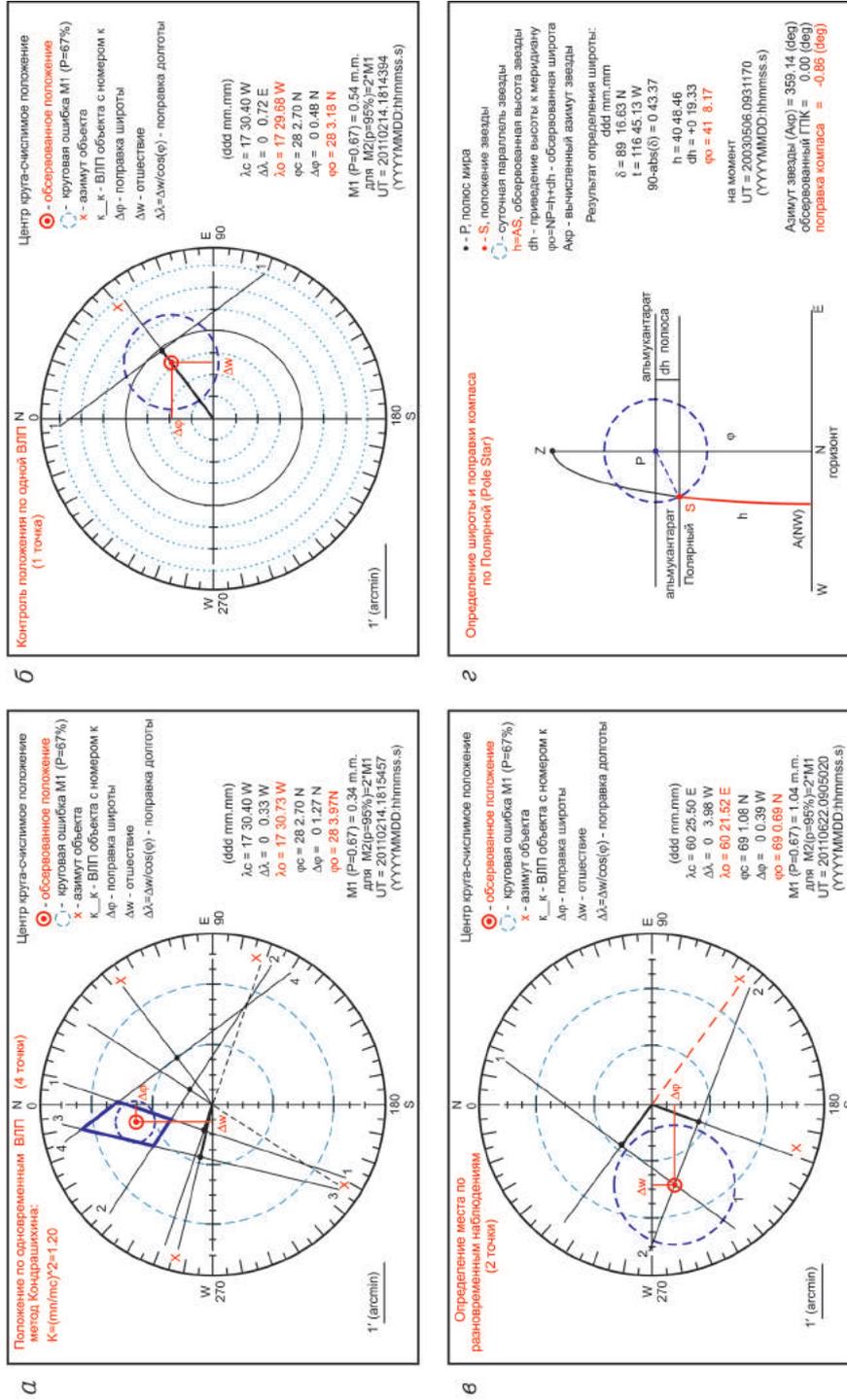


Рис. 3. Примеры планшетов для ОМС: а) по одновременным наблюдениям 4 звезд; б) контроль положения по одной звезде; в) ОМС по двум разновременным наблюдениям Солнца; г) ОПК по Полярной звезде

Вывод планшета и протокола решения на дисплей и их запись в форме файлов типа *.png и *.txt осуществляются операторами СВА.

На рис. 3 приведены планшеты для нескольких часто используемых типов наблюдений: для одновременных наблюдений четырех звезд, контроля ОМС по одной звезде, решение для ОМС по двум разновременным наблюдениям Солнца и ОПК по Полярной звезде. Приведены направления на наблюдаемые объекты (азимуты), положения ВЛП, фигуры погрешности положения, обсервованное место, сдвиг по широте $\Delta\varphi$, долготе $\Delta\lambda$ и отществе $\Delta\omega$ относительно счислимых координат. Указаны значения обсервованных координат и радиальной ошибки определения М1 для вероятности $P = 67\%$. Также показаны положение Полярной звезды на небесной сфере в момент наблюдения и результаты определения широты и поправки компаса ΔK .

В протоколе решения приводятся исходные данные, промежуточные вычисления осреднения наблюдений, данные о выбросе грубых измерений, результаты эфемеридных вычислений, величины редуционных поправок и полученные результаты методов ОМС или ОПК.

Наиболее надежной является обсервация, полученная по четырем линиям положения, имеющим попарно обратные азимуты. ОМС по трем линиям положения дает возможность установить только грубые промахи ВЛП, но не позволяет изучить возможные систематические погрешности. Обсервация по двум ВЛП не является надежной и рассматривается как ориентировочная. Контроль по одной ВЛП следует использовать лишь в исключительных случаях.



Рис. 4. Общая схема Навигатора

Продолжение разработки системы предполагает подключение новых уже подготовленных задач: вычисление эфемерид экваториальных и горизонтальных координат светил, учет переходов между различными референц-эллипсоидами, редукиции для исправления обсервованных высот и азимутов, вычисление звездного времени и рефракции,

определения освещенности от Солнца и Луны. Продолжается работа по созданию простого планетария для планирования наблюдений и опознавания светил. Требуется также расширение класса задач по ОМС и ОПК и вспомогательных разделов системы (школы, глоссария). Необходимо создание общей оболочки системы.

Предложенная структура формирования задач оказалась удобной, и на ее основе может создаваться вычислительный комплекс планируемой системы «Навигатор». Следует подчеркнуть, что создание электронной версии МАЕ и МАА-2 не означает завершения издания бумажных носителей эфемеридной морской астронавигационной информации. Недаром не только у нас в стране, но и за рубежом, несмотря на огромный технический прогресс в области электронной вычислительной техники и создания спутниковых навигационных систем, до сих пор издаются различные морские пособия и таблицы. Ни одно судно не имеет права выйти в море без аналогов МАЕ и Мореходных таблиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глебова Н. И., Лукашова М. В., Нецветаев И. Н. и др. Модернизация морских навигационных эфемерид // Тр. VII Всерос. науч.-технич. конф. «Навигация, гидрография и океанография: приоритеты развития и инновации морской деятельности» (НГО – 2011), Санкт-Петербург, 18–20 мая 2011 г. – 2011. – С. 52–56.
2. Глебова Н. И., Лукашова М. В., Нецветаев И. Н., Нецветаева Г. А., Свешников М. Л. Об электронных версиях морских навигационных эфемерид // Труды Института прикладной астрономии РАН / ИПА РАН. – СПб.: Наука, 2012. – Вып. 23. – С. 331–334.
3. Скубко Р. А., Шкатов М. Ю. Мореходная астрономия. – СПб.: СПб ВМИ, 2004. – 270 с.
4. Pitjeva E. V. EPM — High-Precision Planetary Ephemerides of IAA RAS for Scientific Research and Astronavigation on the Earth and in Space // Proceedings of the International Astronomical Union Highlights of Astronomy. – 2015. – Vol. 16. – P. 221–222.

Сведения об авторах:

Лукашова Марина Викторовна – заведующая лабораторией астрономических ежегодников ИПА РАН, кандидат физико-математических наук.

Тел.: +7 (812) 275-0987; e-mail: lmv@iaaras.ru.

Павлов Дмитрий Алексеевич – старший научный сотрудник ИПА РАН, кандидат физико-математических наук.

Тел.: +7 (812) 275-0987; e-mail: dpavlov@iaaras.ru.

Свешников Михаил Леонидович – старший научный сотрудник ИПА РАН, кандидат физико-математических наук.

Тел.: +7 (812) 275-0371; e-mail: sml@iaaras.ru.

Свешников Алексей Михайлович – ассистент кафедры физики Чешского технического университета (Прага), магистр, кандидат наук.

E-mail: sveshale@fsv.cvut.cz.

About authors:

Marina V. Lukashova is manager of astronomical yearbooks laboratory of IPA RAS, master of physical and mathematical sciences.

Tel.: +7 (812) 275-0987; e-mail: lmv@iaaras.ru.

Dmitriy A. Pavlov is senior scientific worker of IPA RAS, master of physical and mathematical sciences.

Tel.: +7 (812) 275-0987; e-mail: dpavlov@iaaras.ru.

Mikhail L. Sveshnikov is senior scientific worker of IPA RAS, master of physical and mathematical sciences.

Tel.: +7 (812) 275-0371; e-mail: sml@iaaras.ru.

Aleksey M. Sveshnikov is assistant of faculty of physics in Czech Technical University (Prague), Magister, PhD.

E-mail: sveshale@fsv.cvut.cz.

УДК 629.1

ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ КОРАБЛЯ ПО СИСТЕМЕ ГАЛСОВ ПРИ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

А. Е. Пелевин

(АО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор»)

В статье говорится о стабилизации движения корабля на галсе или оперативной траектории при автоматизации процесса съемки.

Ключевые слова: курсовой угол, многоканальный эхолот, математическая постановка задачи.

The article tells of vessel traffic stabilization on tack or operative path with survey process automatization.

Key words: course angle, multibeam echo-sounder, Task mathematical assign.

При геофизической съемке района моря корабль должен проходить по системе галсов. Традиционно задача удержания судна на галсе осуществляется заданием курса стабилизации, равного курсовому углу участка с дополнительной поправкой к нему, компенсирующей снос корабля ветром и волнением [1, 2].

В настоящее время в связи с высокой точностью выработки координат приемником спутниковой навигационной системы (СНС) задача автоматизированного судовождения при съемке радикально изменяется. Альтернативой описанному ранее подходу является предлагаемый, отличающийся тем, что задача решается непосредственно путем стабилизации движения корабля на галсе или оперативной траектории перехода, представляющей собой совокупность прямолинейных и криволинейных (в виде дуг окружностей заданного радиуса) участков движения.

Оперативная траектория. Построение оперативной траектории в предлагаемом подходе вызвано необходимостью:

- выхода корабля из текущего места, находящегося в районе системы галсов, на начало первого галса (рис. 1);
- перехода после прохождения текущего галса на следующий заданный галс (рис. 2);
- перехода после прохождения последнего галса основной системы на первый галс контрольной системы галсов (рис. 3).

Построение оперативной траектории представляет собой задачу перехода динамического объекта из позиции (задаются координаты и курс) в другую позицию за минимальное время, что обеспечит и минимизацию суммарного времени прохода кораблем основной и контрольной систем галсов. Стабилизация движения корабля на физически

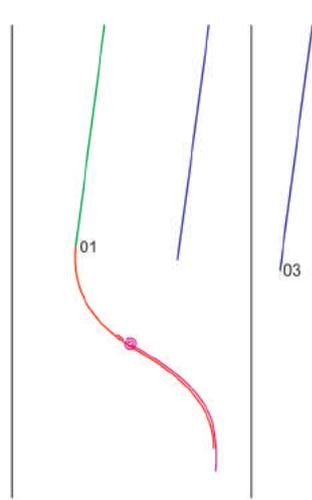


Рис. 1. Выход корабля на начало первого галса

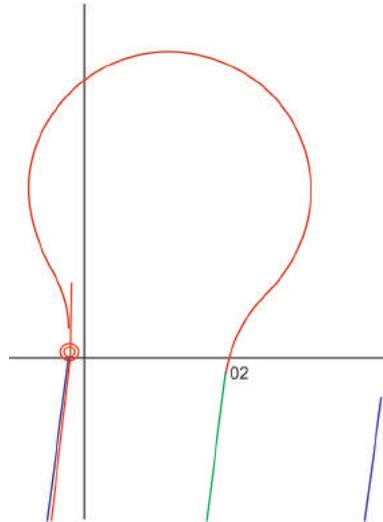


Рис. 2. Переход на следующий галс

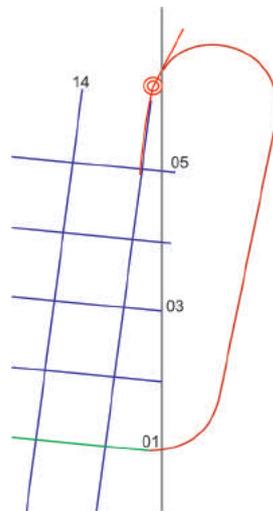


Рис. 3. Переход на галс контрольной системы

реализуемых участках оперативной траектории позволяет обеспечить достаточно высокую точность выхода корабля в точку начала любого галса.

Математическая постановка задачи формулируется в следующем виде. Задается модель движения объекта (корабля) системой дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \dot{x} &= V \sin \psi, \\ \dot{y} &= V \cos \psi, \\ \dot{\psi} &= \omega, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $\omega < |\omega_0|$; $\omega_0 = V/R$; ω – угловая скорость;

V – скорость движения корабля;

R – заданный минимальный радиус циркуляции.

Угол ψ отсчитывается от оси Oy с положительным направлением по часовой стрелке. Необходимо определить допустимое управление $\omega(t)$ для перевода объекта из начальной позиции $x(0) = x_0$, $y(0) = y_0$, $\psi(0) = \psi_0$ в конечную, задаваемую условиями $x(T) = 0$; $y(T) = 0$; $\psi(T) = 0$ за минимальное время, т. е. с минимизацией критерия

$$J = \int_0^T dt - \frac{\min}{\omega}, \quad (2)$$

где T – время перехода.

Задача решается методами теории оптимального управления. Решение задачи приведено в [3].

Стабилизация корабля на прямолинейном участке. При решении задачи стабилизации корабля на галсе привлекаются кинематические уравнения и уравнения бокового движения [4]:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\eta} &= V_0 \psi + V_y + V_{\eta T}, \\ \dot{\psi} &= \omega, \\ \dot{V}_y &= a_{22} V_y + a_{23} \omega + a_{24} \delta + f, \\ \dot{\omega} &= a_{32} V_y + a_{33} \omega + a_{34} \delta + m. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Здесь введена траекторная система координат, начало которой находится в точке начала галса, ось $O\xi$ направлена вдоль галса, ось $O\eta$ – в правую сторону (рис. 4). В уравнениях системы (3) переменная η – боковое смещение корабля с заданного галса; ψ – угол рыскания, равный разности угла курса K и курсового угла P галса; ω – угловая скорость рыскания; δ – угол перекладки руля; V_0 – скорость относительно воды; V_y – боковая составляющая относительной скорости; $V_{\eta T}$ – скорость течения в направлении оси $O\eta$; f и m – внешние возмущающие сила и момент аэродинамического и волнового воздействия.

Медленно меняющиеся, с интервалом корреляции час и более, возмущающие сила и момент и составляющая скорости течения аппроксимируются соответствующими марковскими процессами [2, 5]. Таким образом, полный вектор состояния принимает вид $X = [\eta \ \psi \ V_y \ \omega \ \delta \ f \ m \ V_{\eta T}]^T$, где T – знак транспонирования.

Для выработки сигнала управления кораблем используется вычислительная техника, поэтому систему уравнений приводим к дискретной форме

$$X_{K+1} = FX_K + Cu_K + W_K. \quad (4)$$

Для перехода используется стандартная процедура при интервале дискретности $\Delta T \approx 1$ с или менее. Именно эта система уравнений

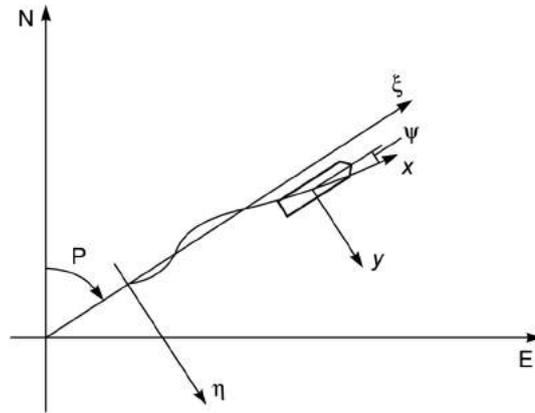


Рис. 4. Географическая O_1NE и траекторная $O\xi\eta$ системы координат

используется для формирования закона управления и оценки вектора состояния.

Вектор измерений имеет вид $Z_K = HX_K + V_K$, где H – матрица измерения; V_K – вектор белых шумов с ковариационной матрицей R . При этом для «базового» набора навигационных средств (приемник СНС, гироскоп (или ИНС) и лаг) первое измерение представляет собой боковое смещение η , рассчитываемое по информации от СНС и известным значениям начальных и конечных координат галса, второе – угол рыскания, третье – составляющую скорости движения корабля по нормали к галсу, что соответствует проекции абсолютной скорости от СНС на это направление.

Применяется линейно-квадратичный подход, основанный на линейных уравнениях движения судна и квадратичном критерии оптимальности. Обоснование такого подхода приведено в [2, 5].

Для получения оценок используется фильтр Калмана, а для синтеза закона управления – точностный критерий, имеющий вид

$$J = \int_0^T \{ \lambda_1 \eta^2 + \lambda_2 \psi^2 + \delta^2 \} dt = \int_0^T \{ XAX^T + B\delta^2 \} dt, \quad (5)$$

где штраф за отклонение от заданного участка траектории берется с весом λ_1 , а штраф за отклонение от заданного курсового угла галса – с весом λ_2 . Выбором величины λ_1 обеспечивается плавание в некотором «коридоре» относительно галса, а λ_2 задает ограничение на угол рыскания. При этом управление имеет вид $\delta_K = S_K \hat{X}_K$, где S_K – матрица закона управления;

\hat{X}_K – оценка вектора состояния.

Стабилизация корабля на криволинейном участке. Задача стабилизации на криволинейной траектории сильно отличается от задачи стабили-

зации на прямолинейном галсе и проявляется это в том, что кинематические соотношения становятся существенно нелинейными.

Линеаризованные кинематические уравнения связи для координат судна и угла рыскания при движении вблизи криволинейной траектории при малых ψ и η , а также слагаемые, содержащие квадрат кривизны траектории k^2 в условиях наличия течения, имеют в этом случае вид:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\eta} &= V_x \psi + V_y - V_{NT} \sin \psi_\xi + V_{ET} \cos \psi_\xi; \\ \dot{\psi} &= \omega_z - k (V_x + V_{NT} \cos \psi_\xi + V_{ET} \sin \psi_\xi), \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где V_{ET} , V_{NT} – проекции скорости течения на оси географической системы координат;

ψ_ξ – угол между направлением на север и касательной к траектории в той же точке;

ψ – угол, равный разности между углом курса и углом, характеризующим направление касательной к траектории в точке проекции места судна на заданную траекторию.

Введем так называемый балансировочный режим движения корабля [6], который обеспечил бы его идеальное движение по криволинейной траектории без учета возмущений, а также введем новые переменные – отклонения от значений переменных в балансировочном режиме в виде $\eta = 0 + \Delta\eta$, $\psi = \psi_0(t) + \Delta\psi$, $\omega = \omega_0(t) + \Delta\omega$, $V_y = V_{y0}(t) + \Delta V_y$, что позволяет получить кинематические уравнения в форме уравнений, аналогичных движению по прямолинейному участку [7]:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\dot{\eta} &= V_x \Delta\psi + V_y, \\ \Delta\dot{\psi} &= \Delta\omega. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Далее действия аналогичны, как и в случае формирования управления на прямолинейном участке, но с учетом балансировочного движения.

Результаты испытаний. Мореходные испытания проводились в Финском заливе на гидрографическом судне ГС-439 при скорости ветра до 12–15 м/с и волнении моря до 3 баллов.

Судно было оборудовано многоканальным эхолотом. Управление судном обеспечивалось путем задания угла для поворотных насадок со стабилизатором.

На рис. 5 приведены изменения параметров при стабилизации судна на оперативной траектории перехода (дуга окружности) и вдоль заданного галса (до момента времени $t = 65$ с происходит стабилизация на дуге окружности). Точность выхода на галс составляет 1 м.

Параметры процесса стабилизации на следующем галсе при движении в обратном направлении приведены на рис. 6. Среднее значение бокового отклонения составляет 1,8 м, максимальное 4,6 м.

Заключение. Мореходные испытания предложенного подхода автоматизации процесса съемки полигона при стабилизации корабля на системе галсов показали достаточно высокую точность и эффективность

управления по сравнению с известными: вводом поправки к заданному курсу и ручным управлением.

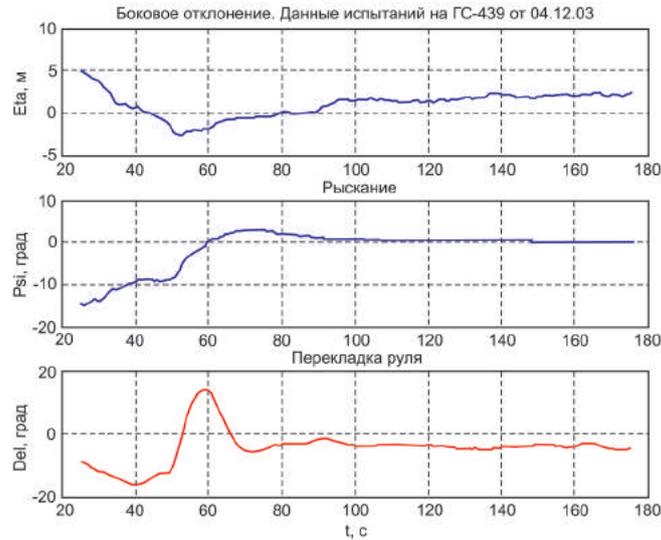


Рис. 5. Выход судна на заданный галс

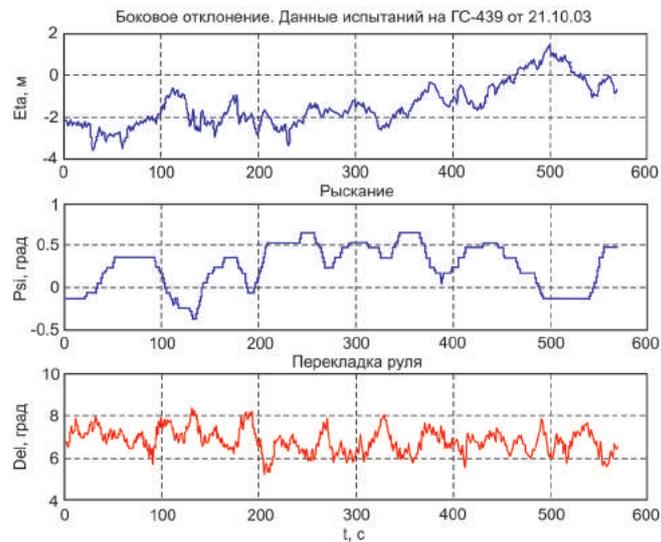


Рис. 6. Точность стабилизации на галсе

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Н. А., Лубков А. В. Управление движением судна по траектории // Теоретические вопросы построения АСУ крупнотоннажными транспортными судами. – М.: Наука, 1978. – С. 19–23.
2. Дмитриев С. П., Пелевин А. Е. Задачи навигации и управления при стабилизации судна на траектории. – СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2004. – 160 с.

3. Пелевин А. Е. Построение программной траектории выхода судна в заданную позицию по критерию оптимального быстрогодействия // Гироскопия и навигация. – 1996. – № 1. – С. 66–71.
4. Справочник по теории корабля. Т. 3: Управляемость водоизмещающих судов / Под ред. Я. И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – 768 с.
5. Дмитриев С. П., Пелевин А. Е. Обоснование возможности использования линейно-квадратичного подхода при стабилизации судна на траектории // Гироскопия и навигация. – 1997. – № 4. – С. 65–83.
6. Лукомский Ю. А., Корчанов В. М. Управление морскими подвижными объектами. – СПб.: Элмор, 1996. – 318 с.
7. Пелевин А. Е. Стабилизация движения судна на криволинейной траектории // Гироскопия и навигация. – 2002. – № 2. – С. 3–11.

Сведения об авторе:

Пелевин Александр Евгеньевич – доктор технических наук, старший научный сотрудник, заместитель главного конструктора по навигации.

Тел.: раб. +7 (812) 499-8234, моб. +7 921-307-0984;
e-mail: apelevin@eprib.ru, aepelevin@mail.ru.

About author:

Alexandr E. Pelevin is Doctor of technical sciences, senior scientific worker, Deputy chief designer on navigation.

Tel.: +7 (812) 499-8234, + 7 921-307-0984;
e-mail: apelevin@eprib.ru, aepelevin@mail.ru.

УДК 656.6

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МОРСКИХ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ

А. А. Якушев
(АО «ГНИНГИ»)

В настоящей статье рассматриваются современное состояние и перспективные направления развития некоторых морских средств навигации (МСН) надводных кораблей и судов ВМФ и проблемы создания МСН для морских робототехнических комплексов.

Ключевые слова: перспективные направления, морские средства навигации, навигационные комплексы.

Present report considers modern state and prospect trends in development of some marine A to N for Navy surface ships and vessels and problems of marine navigational aids creation for naval robot-technical complexes.

Key words: prospect trends, marine navigational aids, navigational complexes.

Навигационное вооружение современных кораблей отечественного флота отличается большим разнообразием. Это вызвано значительным количеством типов кораблей и многообразием решаемых ими задач.

Учитывая развитие отечественного кораблестроения, МСН должны постоянно совершенствоваться.

Речь в статье пойдет о следующих типах МСН:

1. Навигационные комплексы (НК).
2. Инерциальные НК.
3. Гирокомпасы.
4. Лаги.
5. Автопрокладчики.
6. Приемоиндикаторы радионавигационных систем (ПИ РНС) и навигационная аппаратура спутниковых навигационных систем (НАП СНС).
7. Электронные картографические навигационные информационные системы (ЭКНИС).
8. Астронавигационные системы.

Прежде чем перейти к долгосрочным перспективам развития МСН, рассмотрим уровень современного развития навигационного вооружения. В качестве точки отсчета для анализа состояния МСН был принят 2000 г., когда была начата опытно-конструкторская работа (ОКР) по созданию перспективного НК «Чардаш», представляющего современные разработки в области комплексирования МСН на надводных кораблях ВМФ.

За этот период современные МСН и состав навигационного вооружения претерпели следующие изменения:

- существенно уменьшились массогабаритные характеристики и энергопотребление в результате применения новой элементной базы, что значительно упростило возможность размещения приборов на корабле;
- произошел переход на цифровые средства навигации, за счет этого упростилось взаимодействие с корабельными потребителями с применением цифровых интерфейсов обмена информацией;
- надводные корабли стали оснащаться инерциальными навигационными системами (ИНС), которые заменили системы стабилизации, находящиеся ранее в составе БЧ-2, и гирокурсоуказатели;
- существенно повысились точностные характеристики МСН (например, точность выработки курса улучшилась в 10 раз);
- сократилось время готовности;
- интерфейсы управления МСН приобрели интуитивно понятный для оператора вид.

В результате этих изменений появилась необходимость и возможность перехода от «россыпи» МСН к НК, которые ранее устанавливались только на крейсерах.

И все же современные требования корабельных потребителей диктуют свои условия к навигационному обеспечению: именно цифровые интерфейсы, которые рассматриваются как положительный элемент, позволили любым корабельным потребителям получать весь комплекс навигационных данных, включая координаты, что в свою очередь требует распространения по всему кораблю информации в условиях, когда на нем существует несколько источников курса, скоростей и координат. Для централизованного формирования единого выходного массива навигационной и динамической информации необходимо было создать приборы комплексирования, которые позволили бы штурману произвести

анализ и выбор источников информации и сформировать выходной массив данных для корабельных потребителей. Эта функция успешно решена в автоматизированных комплексах навигации и гиростабилизации (АКНГ) «Чардаш» (открытое акционерное общество (ОАО) «Центральный научно-исследовательский институт (ЦНИИ) «Дельфин») и аналогичных системах, например «Ладога-11430» (Государственный научный центр Российской Федерации АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор») для авианесущего корабля «Викрамадитья» (Индия).

1. Навигационные комплексы

Навигационное вооружение современных надводных кораблей в основном представлено АКНГ типа «Чардаш». Одним из главных и принципиальных нововведений по сравнению с предыдущими типами комплексов является выработка динамических параметров для обеспечения корабельных потребителей. Это стало возможно благодаря созданию малогабаритных ИНС, что позволило существенно повысить точность выработки навигационных параметров и одновременно заменить устаревшие системы стабилизации.

В современных условиях НК является необходимой частью вооружения корабля как единый источник выработки навигационных параметров. Представим, что корабль оснащен «россыпью» МСН, тогда мы получим несколько, например, наборов координат: два комплекта от НАП СНС, один комплект от корабельного ПИ РНС, координаты, выработанные ИНС, счислимые координаты. Теперь раздадим эти координаты всем потребителям и предусмотрим функцию выбора источника координат в функциях каждого потребителя отдельно, тем самым делегируя полномочия и ответственность по выбору на потребителя. Один выберет СНС, другой – РНС, третий – счисление и т. д. Теперь сделаем то же с источниками курса, скорости, путевого угла. Итог – взаимодействие потребителей будет происходить в разных координатах и условиях, а каждый потребитель реализует у себя отдельные функции НК. Итак, сэкономив на навигационном вооружении, мы профинансировали доработку всех потребителей, но главный вопрос о работе по единым навигационным параметрам не решили, хотя всегда можно командой по громкой связи назначить источники выработки навигационных данных.

Одним из возможных путей дальнейшей модернизации и развития НК является интеграция навигационного вооружения надводных кораблей в интегрированную систему боевого управления (ИСБУ), а именно формирование НК как датчика навигационной и динамической информации и создание единой электронной картографической системы (ЕЭКС) как специализированного программного обеспечения всех автоматизированных рабочих мест (АРМ) ИСБУ, предназначенного для решения навигационно-тактических расчетов на электронной навигационной карте.

Наиболее остро в настоящее время стоит вопрос о модернизации навигационного вооружения надводных кораблей, построенных до 2000 г., путем замены устаревших МСН на современные.

Одним из путей модернизации является разработка комплексного вычислителя (КВ), задачами которого будут:

- сопряжение со всеми МСН (как по аналоговым, так и по цифровым каналам обмена) и организация обмена информацией между ними;
- получение от всех МСН на корабле выработанных навигационных параметров;
- формирование и выдача единого массива навигационных параметров (как современных, так и устаревших) для внешних потребителей;
- формирование режимов использования корабельных МСН;
- ведение аналитического и обсервационного счисления;
- выполнение функций курсографа с возможностью построения графиков контроля навигационных параметров;
- документирование навигационных параметров;
- обеспечение наращивания модернизационных возможностей.

Учитывая, что в настоящее время на кораблях отсутствует какое-либо аналогичное изделие, заменой которого можно было бы обосновать введение в состав навигационного вооружения корабля КВ, предлагается включить КВ в состав ИНС, являющейся по своей сути «сердцем» навигационного вооружения корабля. При этом такая комплектация – бесплатформенная ИНС (БИНС) – должна рассматриваться как базовая и предназначенная для установки на кораблях, не оборудованных НК. Таким образом, на базе БИНС будет сформирован навигационный контур.

Выводы:

1. Дальнейшее совершенствование НК заключается в оптимизации приборного состава в целях снижения энергопотребления, массогабаритных характеристик и стоимости.
2. Перспективный НК должен стать подсистемой ИСБУ, являющейся для потребителей единым датчиком навигационных и динамических параметров.
3. Для модернизации кораблей и судов ВМФ, построенных до 2000 г., внедрять КВ в целях интеграции современных МСН и замещения «россыпи» упрощенной версией НК – навигационным контуром.

2. Инерциальные навигационные системы (ИНС)

Исследования в области создания БИНС являются основополагающими. Безусловно, «сердцем» любого состава навигационного вооружения современных кораблей ВМФ и ряда судов обеспечения являются ИНС. Существующий модельный ряд представлен изделиями типа «Ладога», «Кама-НС-В» (публичное акционерное общество «Пермская научно-производственная приборостроительная компания» (ПАО «ПНППК»), «Бемоль» (АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»), «Пастильщик-М» (ОАО «ЦНИИ «Дельфин»). Их точностные параметры удовлетворяют требованиям существующих корабельных систем.

Характеристики отечественных ИНС представлены в табл. 1.

За последние 10 лет отечественные предприятия достигли серьезных успехов в разработке и внедрении технологий по созданию БИНС на волоконно-оптических и лазерных гироскопах.

Жесткая конкуренция требует от предприятий развития производства, повышения качества изготовления и надежности изделий, а также опти-

Таблица 1

Основные тактико-технические характеристики	Система гиросtabilизации и курсоказания «Ладога-М» (АО «Концерн «ЦНИИ «Электрон»») (Платформенная ИНС на поплавковых гироскопах)	БИНС «Каманс-В» (ПАО «ПНППК») (БИНС на волоконно-оптических гироскопах с двумя центральными приборами)	БИНС «Бемоль-Н» (АО «Концерн «ЦНИИ «Электрон»») (БИНС на волоконно-оптических гироскопах)	Гиросимутгоризонт компас 1/40 «Пастильщик-М» (ОАО «ЦНИИ «Дельфин»») (БИНС на лазерных гироскопах)
1	2	3	4	5
Предельные погрешности выработки: <ul style="list-style-type: none"> – определение местоположения, км • коррекция по относительному лагу • коррекция по ГНСС курсоказания, угл. мин • коррекция по относительному лагу • коррекция по ГНСС Измерение углов качки, угл. мин Время готовности из холодного состояния для выработки всех параметров Потребляемая мощность, Вт	5 (6 ч) 0,03 $\varphi \leq 60^\circ \Leftrightarrow \varphi > 60^\circ$ 6 \Leftrightarrow 3 сек φ 3 \Leftrightarrow 1,5 сек φ 0,5–1 9 ч Не более 5000	5 (5 ч) 0,03 6 ($\varphi < 70^\circ$) 6–12 ($\varphi > 70^\circ$) 1–1,5 Не более 60 мин Не более 150	5 (6 ч) 0,03 $\varphi \leq 60^\circ \Leftrightarrow \varphi > 60^\circ$ 6 \Leftrightarrow 3 сек φ 1 Не более 60 мин Не более 400	5 (24 ч) 0,03 $\varphi \leq 60^\circ \Leftrightarrow \varphi > 60^\circ$ 6 \Leftrightarrow 3 сек φ 1 Не более 60 мин Не более 120

мальной ценовой политики. Стоит отметить, что достижению указанных характеристик предшествовали исследования и разработки, проведенные предприятиями на протяжении 10–15 лет. Однако требования перспективного вооружения надводных кораблей к точности выработки курса и динамических параметров выше, что требует разработки новых систем. Сегодня работы по созданию вышеуказанных БИНС выполняются в инициативном порядке, этот процесс может занять еще 7–8 лет. Такая организация работ не позволяет предприятиям сфокусировать научно-производственный потенциал на дорогостоящих разработках в целях обеспечения требований перспективного корабельного вооружения при отсутствии финансирования и гарантий закупки Министерством обороны РФ высокоточных БИНС, имеющих малую серию, высокую стоимость и ограничение поставок на экспорт ввиду высоких тактико-технических характеристик. Необходимо ускорить выполнение работ в данной

области для своевременного обеспечения корабельных потребителей. Предложения по открытию ОКР по разработке высокоточной БИНС подавались в государственную программу вооружений на протяжении последних 10 лет, но, к сожалению, так и не нашли отражения в государственном оборонном заказе (ГОЗ). В качестве подтверждения данных тезисов приведу один факт – наиболее точная система типа «Ладога» была создана в рамках ГОЗ.

Тем не менее предприятия продолжают совершенствовать свои системы и проводить исследования по применению новых типов гироскопов.

Вывод

Существенно уменьшив габариты, энергопотребление, время готовности, необходимо нацелить исследования и разработки на повышение точности выработки курса, координат и динамических параметров. Для эффективного решения данной задачи требуется финансирование в рамках ГОЗ.

3. Гиросуказатели (ГКУ)

После внедрения ИНС гироскопы заняли нишу системы резервного курсоуказания, которая представлена семейством изделий ГКУ-5 (ПАО «ЛНППК»). Тем не менее актуальность ГКУ не пропала, так как они поставляются на все корабли и суда ВМФ и решают главную задачу – обеспечение навигационной безопасности плавания.

Перспективной является разработка ГКУ на гироскопах (волоконно-оптических, твердотельных волновых) с предельной погрешностью выработки курса не хуже 0,5 градуса.

Принципиальными отличиями перспективного ГКУ от существующих должны быть:

- устойчивость выработки курса на маневре – по принципу БИНС;
- высокая надежность – за счет применения немеханических гироскопов;
- малое время готовности – 10–15 мин;
- низкое энергопотребление: мощность 100 Вт и электропитание 24 В с применением блока бесперебойного питания;
- упрощенные требования к размещению центрального прибора – установка вне центра качания;
- низкая стоимость – до 500 тыс. руб.

Для данного гироскопа существует целая «ниша» вспомогательных судов ВМФ, как существующих, так и проектируемых. Кроме того, перспективный ГКУ может быть установлен в качестве резервной системы курсоуказания и на боевых кораблях 1-го и 2-го рангов в составе НК.

По своей сути перспективные гироскопы являются низкоточными БИНС, решающими функции гироскопов. В данном направлении работают ПАО «ЛНППК» – PGM-024 (на основе волоконно-оптического гироскопа (ВОГ)), PGM-022 (на основе твердотельных волновых гироскопов) и АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» – «Бекар» (на основе ВОГ).

В отличие от перспективной ИНС разработку перспективного ГКУ предлагается выполнять в инициативном порядке в связи с возможно-

стью реализации продукции для гражданского применения как в России, так и за границей.

Вывод

Перспективы развития ГКУ заключаются в уменьшении времени готовности, снижении стоимости и внедрении принципа построения БИНС.

4. Лаги

В ВМФ применяются следующие лаги:

- гидродинамический ЛГТ-1 (ОАО «Штурманские приборы»);
- ЛИ2-1 (ОАО «Штурманские приборы»);
- серия лагов типа ЛЭМ2 и «Амазонка» (АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»);
- ИЭЛ-2М (АО «Катав-Ивановский приборостроительный завод»).

В основном продолжение разработок относительных лагов заключается в переходе на современную элементную базу и в доработке программного обеспечения в целях упрощения выполнения расчетов при калибровке. В наибольшей степени это реализовано в лагах АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

Если в относительных лагах недостатка нет, то с гидроакустическими лагами (ГАЛ) ситуация несколько другая. Включение в состав НК ГАЛ позволит увеличить интервалы между коррекциями комплекса за счет высокой точности выработки параметров скорости и демпфирования ИНС (БИНС), что повысит точность выработки (хранения) координат места в автономном режиме. Данная задача является сложной ввиду необходимости уменьшения габаритов гидроакустических антенн, измерения скорости в глубоководных районах, учета влияния качки. Речь идет об измерении абсолютной скорости с предельной точностью 0,1 уз по аналогии с НАП СНС. Устанавливать такие лаги планируется на кораблях 1-го и 2-го рангов.

В РФ разработка ГАЛ в интересах флота ведется только для использования на подводных лодках. Производимые в настоящее время для коммерческих судов отечественные ГАЛ не отвечают требованиям, предъявляемым со стороны ВМФ по диапазону рабочих глубин и условиям использования.

Промежуточным этапом разработки ГАЛ может стать лаг, работающий в высокочастотном диапазоне и измеряющий как абсолютную, так и относительную скорость, что позволит начать внедрение ГАЛ на кораблях и судах и обеспечить финансирование дальнейших разработок. Финансирование в рамках ГОЗ в ближайшие три года не планируется.

Вывод

Развитие относительных лагов следует направить на совершенствование автоматизации юстировки. Необходимо вести исследования и разработки в области создания ГАЛ для надводных кораблей и судов.

5. Автопрокладчики

Автопрокладчики являются достаточно консервативными МСН как в плане изготовления (литой корпус, габариты, определяемые размерами

карты), так и в плане применения (ведение классической навигационной прокладки на бумажной морской навигационной карте). К современным автопрокладчикам относятся АП-780 (ПАО «ПНППК»), изделие «Топаз» (АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»), изделие 200МК (Федеральный научно-производственный центр акционерное общество «Научно-производственное объединение «Марс» (ФНПЦ АО «НПО «Марс»). Совершенствование автопрокладчиков может заключаться в обновлении элементной базы и формировании системы документирования по принципу «черного ящика» в целях восстановления трека движения судна на карте, кальке и т. д. Наиболее важной задачей является поиск технологии изготовления корпуса автопрокладчика для существенного снижения стоимости.

Вывод

Совершенствование автопрокладчиков заключается в снижении стоимости изготовления и внедрении функции документирования.

6. Приемоиндикаторы РНС. Навигационная аппаратура потребителей СНС

Основными автоматизированными средствами коррекции счислимых и инерциальных координат являются ПИ РНС и навигационная аппаратура потребителей СНС, которые представлены в ВМФ ПИ РНС типа «Квиток-3» и НАП СНС типа «Бриз». Перспективным является создание комплексного ПИ СНС и всех видов РНС, что позволит помимо определения места набирать в формализованном виде статистику точности определения места по РНС.

В 2017 г. по тактико-техническому заданию (ТТЗ), разработанному Государственным научно-исследовательским навигационно-гидрографическим институтом (АО «ГНИНГИ»), была открыта ОКР по созданию перспективной РНС «Неман-М», в рамках которой также разрабатываются универсальный ПИ СНС и РНС (АО «НВП «Протек»). В инициативном порядке научно-техническое предприятие АО «НТП «Нави-Далс» по ТТЗ, доработанному АО «ГНИНГИ», ведет разработку универсального ПИ «Сталкер» на базе изделия «Квиток-3».

Вывод

Целесообразным является создание универсального ПИ СНС и РНС с возможностью оценки точности работы РНС.

7. Электронные навигационные информационные системы (ЭНИС)

Развитие ЭНИС в гражданском флоте определяется международными стандартами, поэтому в статье отражены перспективные направления корабельных картографических систем в ВМФ.

В январе 2010 г. Главнокомандующим ВМФ РФ перед органами военного управления и научно-исследовательскими организациями ВМФ была поставлена задача по разработке требований к ИСБУ с учетом функциональной интеграции в них комплексов вооружения и военной техники, в частности НК надводного корабля.

В целях выполнения требований Главногокомандующего ВМФ специалистами института был проработан вопрос интеграции НК в ИСБУ путем выведения из его состава ЭНИС в составную часть ИСБУ – ЕЭКС, обеспечивающую всех корабельных потребителей цифровой картографической информацией (ЦКИ), получаемой от автоматизированной системы обеспечения (АСО) ВМФ ЦКИ, и способную решать широкий круг специальных задач в интересах всех пользователей ЦКИ.

Создание ЕЭКС с сохранением присущих для ЭНИС базовых функций и дополнением ее картографическим сервером для обеспечения всех корабельных потребителей позволит организовать централизованное снабжение потребителей ЦКИ, поддерживаемой на уровне современности, и тем самым разрешить некоторые из имеющихся на сегодняшний день проблем, таких, как:

- не все потребители ЦКИ корректно работают с АСО ВМФ ЦКИ;
- наличие на корабле большого количества комплексов и систем, использующих различные стандарты доведения, обмена, отображения и защиты.

Внедрение алгоритмов решения навигационно-тактических задач позволит автоматизировать процесс формирования предложений по маневрированию корабля для решения поставленных задач, например централизованно формировать (корректировать) маршрут перехода и передавать его на АРМ всех операторов ИСБУ. Создание ЕЭКС повысит уровень автоматизации принятия управленческих решений и обеспечит эффективную деятельность должностных лиц корабля.

В состав ЕЭКС входят:

- унифицированный общекорабельный картографический сервер (УОКС) с возможностью получения информации от АСО ВМФ ЦКИ;
- комплекс программно-аппаратных средств (КПАС) для работы с электронными картами формата S-57, защищенными по стандарту S-63, SXF, включая электронную навигационную и топогеодезическую, а в перспективе – с геопространственной информацией;
- специальная сеть обмена данными для обмена информацией с потребителями ЦКИ из состава ИСБУ.

Вывод

Существующие ЭНИС, применяемые в ВМФ, практически исчерпали необходимость дальнейшего принципиального развития. Следующим шагом в автоматизации процесса решения навигационно-тактических задач должна стать разработка ЕЭКС. В остальном ЭНИС должны поддерживаться на уровне современности и соответствовать международным стандартам применительно к ECDIS.

8. Астронавигационные системы (АНС)

Долгое время АНС не разрабатывались, тем не менее их актуальность только возросла. В настоящее время в ВМФ отсутствуют технические средства, позволяющие определить в море поправку курса, вырабатываемого современными БИНС. Именно для решения этой задачи предусматривается разработка АНС. Вторичной задачей является определение географических координат места корабля.

Новую АНС планируется создавать на базе современных телевизионно-оптических средств освещения обстановки типа «Сандал» и «Сфера».

Разработка и создание телевизионно-оптического астронавигационного пеленгатора, отвечающего указанным требованиям, позволит повысить скрытность корабля, автоматизировать задачи определения поправок курса и координат. Наличие на корабле такой системы даст возможность решать задачи маневрирования и целеуказания для обеспечения применения современного вооружения и военной техники.

Основной упор в данной системе сделан на точности измерения пеленга (азимута), а учитывая наличие в штурманской рубке АРМ, она позволяет пеленговать ориентиры дистанционно.

Разработка АНС начата по ТТЗ, разработанным АО «ГНИНГИ», в рамках ОКР по созданию перспективного корабля.

Вывод

Разработка АНС является одним из приоритетных направлений в области создания средств коррекции.

Проблемы создания морских робототехнических комплексов

Еще одним из перспективных направлений развития является разработка МСН для создания морских робототехнических комплексов (МРТК).

При проектировании и производстве МРТК отечественными предприятиями вопросы навигации рассматривались на втором плане. Навигационные модули МРТК в большинстве случаев разрабатывались на основе образцов зарубежного производства без учета необходимых точностных характеристик для решения поставленных задач.

Навигационное вооружение предприятий – изготовителей МРТК включает в себя, как правило, зарубежные навигационные приборы и системы ввиду недостаточного количества отечественных разработок. В основном это зарубежные ИНС, лаги, эхолоты и навигационные приемники GPS. Состав навигационного вооружения формируется по принципу «как можно менее энергозатратно». С этим принципом можно согласиться, если не обращать внимание на требования к точности выработки навигационно-динамической информации для обеспечения применения МРТК по прямому назначению.

На настоящий момент не определены требования к навигационно-гидрографическому обеспечению (НГО) деятельности МРТК. Имеющаяся система НГО не способна обеспечить поддержание заданных точностных параметров МРТК в полном объеме. Сегодня НГО МРТК сводится к использованию аппаратуры ГЛОНАСС/GPS и гидроакустических навигационных систем (ГАНС). АО «ГНИНГИ» считает необходимым провести исследования вопросов создания системы НГО деятельности МРТК в различных районах применения в целях определения общих технических требований, а также анализ и исследование возможностей модернизации имеющейся и разработки принципиально новой системы НГО ВМФ.

Все существующие средства, представленные на надводных кораблях и подводных лодках, разработаны под управление и контроль оператора.

Соответственно, ОКР в основном будут направлены на создание необслуживаемых МСН, а роль штурмана, ответственного должностного лица, готовящего предложения для выработки решения командира корабля, должна взять на себя ЭВМ. Именно эта ОКР будет самой трудоемкой и сложной и может выполняться в рамках создания системы управления МРТК.

Семинар, проведенный в АО «ГНИНГИ» в 2015 г., полностью подтвердил проблемы оснащения МРТК.

Указанные вопросы могут быть решены путем проведения системных научных исследований, результаты которых должны быть изложены в документах, однозначно определяющих мероприятия, направленные на решение вопросов обеспечения подводной навигации МРТК:

– «Концепция развития перспективных и прорывных технологий, технических средств и методов автономной навигации МРТК и их НГО с учетом достигнутого технологического уровня развития отечественной и мировой промышленности»;

– «Основные технические требования. Бортовые МСН и МРТК различных классов»;

– «Оперативно-тактические требования к оборудованию района средствами НГО в зависимости от задач, решаемых МРТК».

Такие исследования планируется проводить в АО «ГНИНГИ» как научно-исследовательской организации по номенклатуре Управления навигации и океанографии МО РФ, и, несмотря на сокращенное финансирование и отсутствие возможности заключить договоры с контрагентами, мы приглашаем к сотрудничеству все предприятия, занимающиеся вопросами морской робототехники, навигации и гидрографии, так как этот вклад в дальнейшем должен трансформироваться в проведение ОКР или серийных поставок.

Институт готов рассматривать инициативные предложения предприятий, технические задания, рабочие материалы и принимать участие в различных видах испытаний в целях оказания содействия в создании морских средств навигации, необходимых ВМФ.

Выводы:

1. Необходимо выполнить исследования, которые определяют оптимальные и перспективные направления развития средств и методов навигации для МРТК.

2. Параллельно с исследованиями можно вести доработку существующих МСН (БИНС, лаг, эхолот, СНС, ГКУ, НК).

3. По результатам исследований открыть научно-исследовательскую работу и ОКР по созданию перспективных средств и методов навигации.

Заключение:

1. Постоянно возрастающие требования корабельных потребителей к точности выработки навигационной и динамической информации определяют необходимость качественного совершенствования МСН.

2. Определяющим средством навигации на надводном корабле (судне) является БИНС или его менее точная версия – перспективный гирокомпас.

3. Навигационный комплекс должен устанавливаться на все типы надводных кораблей и специализированных судов, что позволит формировать единый массив навигационной информации для всех потребителей.

4. В условиях сокращенного финансирования и невозможности установки НК при модернизации надводных кораблей, построенных до 2000 г., необходимо предусматривать формирование навигационного контура для решения задачи формирования единого массива навигационной информации.

5. Развитие ЭКНИС необходимо направить на интеграцию в корабельную систему управления и на создание ЕЭКС.

6. Одним из перспективных направлений развития является разработка МСН и методов навигации для МРТК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаврентьев А. В., Майгов А. В., Титлянов В. А., Яценко С. В. Развитие навигационных комплексов кораблей ВМФ// Навигация и гидрография. – 1998.– № 7. – С. 75–79.

2. Титлянов В. А., Тимошенко О. Д., Левит Г. А. Современное состояние и перспективы развития гироскопических систем навигации и стабилизации //Тр. 6-й Рос. науч.-технич. конф. «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии»/ ФГУП «ГНИНГИ МО РФ». – СПб., 2007.

3. Современное состояние и тенденции развития зарубежных средств и систем навигации подвижных объектов военного и гражданского назначения. – СПб.: ГУНиО МО РФ, 1994.

4. Анучин О. Н., Емельянец Г. И. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электронприбор», 1999. – С. 245–246.

5. Якушин С. М. Многорежимный бесплатформенный автономный морской гироскоп на волоконно-оптических гироскопах // Сб. материалов XIV Санкт-Петербургской междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электронприбор», 2008. – С. 63–64.

6. Титлянов В. А., Якушев А. А., Левит Г. А., Костюк П. В., Тимошенко О. Д. Проблемы создания телевизионно-оптических астропеленгаторов для навигационных комплексов надводных кораблей ВМФ//Тр. 6-й Рос. науч.-технич. конф. «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии»/ ФГУП «ГНИНГИ МО РФ». – СПб., 2007. – С. 195–196.

Сведения об авторе:

Якушев Артём Анатольевич – заместитель начальника научно-исследовательского управления (АО «ГНИНГИ»), кандидат технических наук.

About author:

Artyom A. Yakushev is Deputy Chief of SC «GNINGI» Scientific Research Department, master of technical sciences.

УДК 623.98

ОСОБЕННОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА МОРСКИХ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ГОТОВНОСТИ КОРАБЛЕЙ ПРИ НАХОЖДЕНИИ ИХ В РАЙОНАХ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧ БОЕВОЙ СЛУЖБЫ

В. И. Воробьев

(ВУНЦ ВМФ «ВМА имени Н. Г. Кузнецова»)

В статье изложены общие проблемы системы обеспечения сервисного обслуживания и ремонта (СО и Р) морских средств навигации (МСН) и поддержания технической готовности кораблей при нахождении их в районах выполнения задач боевой службы (БС). Указаны недостатки действующей системы обслуживания и ремонта вооружения и военной техники (ВВТ).

Значительное внимание уделено необходимости создания комплексной системы обеспечения сервисного обслуживания и ремонта морских средств навигации. Предложены направления по совершенствованию нормативно-правовой базы организации проведения СО и Р и мероприятия по уменьшению имеющихся недостатков при несении БС.

Ключевые слова: комплексная система обеспечения технической готовности МСН, сервисное обслуживание, головной исполнитель, схема взаимоотношений.

The article describes general problems of the system for providing service maintenance and repair (SM and R) of marine navigational aids (MNA) and for support of ships technical readiness when they are in the areas of battle service tasks routine. Faults of current maintenance and repair system for armament and military facilities (VVT) are indicated.

Great attention is paid to the necessity of creating complex system for providing service maintenance and repair of marine navigational aids. Trends on the improvement of legal regulations basis for providing service maintenance and repair and measures on eliminating of existing faults during battle service routine are suggested.

Key words: complex system for providing of MNA technical readiness, service maintenance, main executor, relations mechanism.

Поддержание технической готовности МСН кораблей и судов Военно-Морского Флота (ВМФ) является одной из главных задач гидрографических служб (ГС) флотов. Исправность МСН в первую очередь определяет возможность корабля выйти в море для выполнения поставленной задачи. Руководящими документами ВМФ выход в море кораблей, подводных лодок, судов обеспечения при неисправности навигационных приборов запрещен [3].

В целях обеспечения готовности МСН в ВМФ была создана система технического обслуживания и ремонта (СТО и Р) МСН. Окончательно она сформировалась в середине 1970-х гг. и довольно успешно работала многие годы, когда на флоте появились сложные навигационные комплексы (НК) атомных подводных лодок (апл). Однако из-за произошед-

ших за последние годы изменений в экономическом и политическом устройстве страны, в структуре Вооруженных Сил (ВС) и ВМФ, в состоянии самих МСН эффективность СТО и Р заметно снизилась.

Действующая система обслуживания и ремонта ВВТ не удовлетворяет [2]:

- структуре, численности ВС и имеющемуся ресурсному обеспечению;
- резко возросшей за последние годы технической сложности образцов ВВТ;
- конкурсным механизмам размещения заказов на обслуживание и ремонт;
- современным мобилизационным заданиям;
- функционированию оборонно-промышленного комплекса в условиях рыночной экономики и многообразия форм собственности;
- резкому сокращению количества личного состава, привлекаемого к проведению работ, и снижению уровня его квалификации;
- потребности в полномасштабном участии предприятий промышленности в техническом обслуживании и ремонте как новых ВВТ (в силу их сложности), так и старых ВВТ (в силу их изношенности).

Положение НЯДИ.000.0420.00.029 – «Корабли и суда ВМФ. Порядок выполнения работ по сервисному обслуживанию в процессе их эксплуатации», обязательное для всех предприятий промышленности, задействованных в процессе сервисного обслуживания ВВТ, и «Руководство по организации ремонта, переоборудования, модернизации и сервисного обслуживания боевых кораблей, боевых катеров, кораблей специального назначения, морских и рейдовых судов обеспечения ВМФ», введенное приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации и министра обороны Российской Федерации № 2233/821дсп от 06 ноября 2014 г., потребовали создания комплексной системы обеспечения сервисного обслуживания МСН и поддержания технической готовности кораблей при нахождении их в районах выполнения задач БС.

Внедряемая в ВМФ с марта 2011 г. система обеспечения СО на сегодняшний день имеет ряд недостатков, основными из которых являются [5]:

- отсутствие постоянного мониторинга технического состояния кораблей в целях четкого определения объема необходимого ремонта;
- неоднократные переносы сроков начала ремонта кораблей из-за напряженного плана боевой подготовки флота;
- отсутствие конструктивного подхода к составлению заявочных ведомостей с учетом опыта предыдущей эксплуатации;
- отсутствие обоюдной заинтересованности в результате ремонта и своевременных сроках его окончания;
- отсутствие алгоритма принятия совместных решений с военными представительствами и органами военного управления (ОВУ) флота по использованию импортных материалов взамен отечественных, снятых с производства, и изделий, не выпускаемых российской промышленностью, но имеющихся на длительном хранении;
- несовершенство системы организации закупок комплектов запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП);

- недостаточность нормативной базы (руководящих документов) по СО и Р кораблей и судов ВМФ;

- недостаточный уровень готовности и технического состояния значительной части МСН кораблей и судов ВМФ, связанный с невыполнением нормативных требований проектных технических и организационных руководящих документов (технических условий, приказов министра обороны и главнокомандующего ВМФ) по порядку эксплуатации кораблей, а также с невыполнением плановых ремонтов кораблей (средних, текущих, доковых) и МСН с установленной периодичностью;

- возникновение дополнительного объема работ по оперативному устранению неисправностей и поломок МСН, происходящих в процессе эксплуатации;

- несоответствие лимитов бюджетных обязательств на 2017 г., выделенных на СО и Р, фактически необходимым объемам финансирования для выполнения всех работ, заявляемых личным составом (акционерному обществу (АО) «780 Ремонтный завод технических средств кораблевождения» (780 РЗ ТСК) на 2017 г. выделяется средств в 2 раза меньше необходимого) [6];

- тяжелое финансовое и неудовлетворительное производственно-техническое состояние судоремонтных заводов Министерства обороны (МО) России (35 судоремонтный завод (филиал открытого акционерного общества (ОАО) «Центр судоремонта «Звездочка») ОАО «35 СРЗ», ОАО «82 СРЗ», ОАО «10 СРЗ»), переданных в 2010–2011 гг. в ОАО «Объединенная судостроительная корпорация» (ОАО СК);

- неприспособленность региональных ремонтно-технических центров, сориентированных главным образом на выполнение текущего ремонта МСН, к организации и выполнению в пунктах базирования эксплуатационных ремонтов сложных МСН (навигационных комплексов 4-го поколения).

В непростых условиях становления системы СО в пунктах базирования сил флота вопросы оперативного устранения неисправностей МСН по заявкам эксплуатирующих организаций вне пунктов базирования в рамках СО полностью упущены. Это связано как с несовершенством разработанной на сегодняшний день нормативно-правовой базы СО кораблей (судов), так и с недостатками проводимой ОВУ флотов работы по внедрению требований руководящих документов в практику организации СО.

Подобное положение дел сложилось из-за недооценки ОВУ флотов основного требования приказа МО РФ № 320 от 2010 г. – коренного изменения схемы взаимоотношений головных исполнителей СО ВВТ кораблей (судов) и субъектов, ее эксплуатирующих (команды корабля, ОВУ флота).

Это заключается в возложении конкретных обязательств на головного исполнителя за выполнение гарантийных обязательств по ремонтным работам, проведенным в период СО и Р, в пределах сроков, установленных государственным контрактом, а на эксплуатирующую сторону – за правильную эксплуатацию. При этом разделение ответственности в условиях рыночной экономики может быть только на возмездной основе. Ответственность в размере затрат на устранение неисправности за некачественно

проведенное СО и Р в базе, повлекшее неисправность ВВТ в районе выполнения боевых задач, возлагается на головного исполнителя или (в случае вины личного состава) на эксплуатирующую организацию в счет выделенных средств на СО и Р.

Условиями государственного контракта необходимо предусмотреть, чтобы головной исполнитель организовывал эту работу с неизменным учетом гарантийных обязательств в случае его вины или за счет заказчика (эксплуатирующей организации) в случае вины личного состава. Причина выхода МСН из строя устанавливается в ходе проведения ремонтных работ и оформляется соответствующим актом. Именно такой подход позволит повысить ответственность головного исполнителя за качество работ по СО и Р в базе, так как проведение ремонта МСН в удаленных районах Мирового океана является вынужденной и финансово-затратной мерой в результате аварий, некачественного проведения СО головным исполнителем в базе.

При этом использование кораблей и судов ВМФ, в том числе плавучих мастерских флота, морских буксиров, спасателей и танкеров, в целях доставки ремонтных бригад и материальных средств, их хранения для проведения ремонта МСН должно оплачиваться головным исполнителем на условиях аренды в счет проведения СО и Р дополнительно. Именно такой подход позволит ВМФ заработать дополнительные средства на СО и Р кораблей и судов, эффективно использовать имеющийся потенциал ранее существовавшей системы поддержания технической готовности МСН, принадлежащий в настоящее время ВМФ и не используемый по назначению по ряду причин. Кроме того, такой подход позволит избежать существования в той или иной степени двух параллельных систем поддержания технической готовности МСН, однозначно определит ответственность головных исполнителей за качественное проведение СО и Р в базе во избежание необходимости проведения за свой счет дорогостоящего ремонта МСН в море.

Говоря о создании комплексной системы обеспечения СО МСН кораблей (судов) ВМФ при нахождении их в районах выполнения задач БС, необходимо учитывать, что комплексный подход – это рассмотрение совокупности предметов, явлений, действий и их свойств во взаимосвязи, взаимообусловленности, в качестве единого целого.

Таким образом, звеньями комплексной системы обеспечения СО МСН кораблей (судов) ВМФ при нахождении их в районах выполнения задач БС выступают: команда корабля, ОВУ различного уровня (флота, ВМФ, МО РФ) – как представители эксплуатирующей организации, а головные исполнители с привлечением соисполнителей (при необходимости) – как исполнители всех работ согласно заключаемым государственным контрактам.

Новая СО и Р ВВТ должна представлять совокупность двух подсистем:

- подсистема заводского СО и Р в установленном порядке на предприятиях промышленности и предприятиях АО «Гарнизон»;
- подсистема войскового СО и Р в ремонтно-восстановительных органах бригад, оперативных и оперативно-стратегических командований, а также в установленном порядке в подразделениях сервисных центров АО «Гарнизон».

В отношении образцов ВВТ с учетом сложности и трудоемкости технического обслуживания и ремонта предлагается распределить задачи, выполняемые в каждой из подсистем.

Решение задач подсистемы войскового СО и Р может осуществляться в стационарных и полевых условиях силами ремонтных подразделений (экипажей, расчетов и т. д.), войсковых ремонтных органов и отдельных ремонтно-восстановительных батальонов комплексного ремонта, а также в установленном порядке силами сервисных центров АО «Гарнизон».

При этом ремонт с устранением сложных поломок, неисправностей ВВТ предполагается осуществлять в установленном порядке выездными или стационарными бригадами в сервисных центрах АО «Гарнизон», в том числе в форме СО в рамках технического надзора. Данный вид ремонта проводится в местах постоянной дислокации войск агрегатно-узловым методом в стационарных (полустационарных) условиях.

Структура системы СО и ремонта ВВТ должна обеспечить оптимизацию трудоемкости восстановления в каждом звене системы, а также минимизировать стоимость восстановления и сократить время устранения поломок и неисправного ВВТ.

Таким образом, основным субъектом, обеспечивающим выполнение работ по сервисному обслуживанию и ремонту, может быть АО «Гарнизон», предприятия которого будут осуществлять периодический (по согласованному с МО РФ плану) мониторинг технического состояния ВВТ с последующим СО и осуществлением ремонта выездными и стационарными бригадами. При этом предполагается, что АО «Гарнизон» совместно с органами военного управления должно сформировать систему оперативного взаимодействия с разработчиками и производителями ВВТ. Указанные мероприятия должны реализовываться на договорной основе с четким регламентированием функций и ответственности каждого участника (субъекта) проведения СО и Р ВВТ.

Ответственность за поддержание изделий ВВТ в установленной степени готовности базируется на проведении всего комплекса мероприятий по СО и Р, включая диагностику причин возникновения неисправностей, востребование необходимых узлов агрегатов для восполнения ЗИП в случае его использования для текущего ремонта и оказание помощи личному составу для безаварийной эксплуатации ВВТ.

В результате проводимых преобразований в системе СО и Р резко возрастает роль и ответственность предприятий, осуществляющих СО, за техническую готовность ВВТ. Для ее обеспечения возникает необходимость:

- постоянного мониторинга технического состояния ВВТ и принятия оперативных мер при снижении технической готовности или отказах;
- выстраивания оптимальных логистических цепочек, а также организации комплексных центров сервисного послегарантийного обслуживания и ремонта ВВТ в районах, приближенных к местам дислокации;
- формирования базы учета технического состояния каждого изделия в целях определения потребности в мероприятиях ТО и ремонта для поддержания изделий в установленной степени готовности к использованию по назначению и прогнозирования на этой основе объема необходимых ресурсов на краткосрочную и среднесрочную перспективы;

- формирования, основанного на сочетании экономических и административных механизмов, эффективной системы контроля объема и качества работ, проводимых в рамках СО и Р;

- формирования системы планирования СО и Р на основе стратегии, интегрированной логистической поддержки изделия на всех стадиях его жизненного цикла и постепенного перехода от календарного принципа планирования СО и Р к планированию СО и Р на основе данных о реальном техническом состоянии изделия.

С учетом требований концепции были пересмотрены и подходы к обеспечению технической готовности МСН кораблей ВМФ. Указом Президента Российской Федерации № 1656 единственным исполнителем по ремонту и сервисному обслуживанию МСН на всех кораблях ВМФ, включая НК подводных лодок и надводных кораблей, было определено АО «780 РЗ ТСК», входящее в структуру АО «Гарнизон». Это обстоятельство поставило перед заводом новые серьезные задачи, в несколько раз увеличив нагрузку на специалистов, непосредственно работающих на кораблях ВМФ, потребовало создания региональных ремонтно-технических центров в местах базирования сил флота, а также формирования выездных ремонтно-технических бригад на каждом стратегическом направлении. При этом, имея различные задачи, возможности для их решения и финансовые интересы, подсистемы должны действовать во взаимосвязи и взаимообусловленности для достижения единой цели – поддержания технической готовности сил в районах выполнения ими задач БС.

Подсистемы тесно связаны между собой. Конечные параметры объема и качества работы каждой из них являются исходными данными другой.

Так, выполнение в полном объеме и с высоким качеством заявленных эксплуатирующей организацией работ по СО и Р кораблей перед БС в базе снижает вероятность выхода из строя обслуженных и отремонтированных МСН кораблей при нахождении в районах БС. В свою очередь, отсутствие аварийных ситуаций в море и выхода МСН из строя предполагает уменьшение объема ремонтных работ, обеспечивает плановость и своевременность проведения СО и Р после возвращения корабля в базу.

Несомненно, что определяющая роль по важности решения задач восстановления технической готовности МСН корабля с высоким качеством, выполнения всех заявленных работ с меньшими затратами материально-технических, финансовых и людских ресурсов, возможности обеспечить техническую готовность МСН на весь период несения кораблем БС принадлежит первой подсистеме.

Вторая подсистема создается вынужденно в целях ликвидации последствий аварийных выходов МСН кораблей из строя, определенная часть которых происходит не по вине личного состава, а в результате некачественно выполненного СО головными исполнителями.

Недостатки ранее действовавшего порядка обеспечения технической готовности и ремонта МСН кораблей при подготовке их к решению задач БС в базе перенесены на созданную систему СО: длительные сроки устранения выявленных при подготовке к БС недостатков, хроническое недофинансирование заявленных эксплуатирующей организацией работ по СО и Р, слабое знание ОВУ нормативно-правовой базы организации

проведения СО и Р, низкий контроль качества проводимых работ и т. д. Эффективность системы СО и Р [5] снижают:

- проводимые организационно-штатные мероприятия в ОВУ всех звеньев;
- отсутствие четко выраженной политики по отношению к головным исполнителям по выполнению ими своих обязательств в рамках существующих руководящих документов;
- диктат головных исполнителей при определении нормативно-ценовых показателей;
- отсутствие на сегодняшний день комплекта ремонтно-технологических документов, обеспечивающих организацию проведения СО в течение всего периода эксплуатации корабля.

Для совершенствования нормативно-правовой базы СО и Р необходимо ускорить создание перспективного руководящего документа, конкретизирующего вопросы организации СО и Р МСН в соответствии с существующим «Руководством по организации ремонта, переоборудования, модернизации и сервисного обслуживания боевых кораблей, боевых катеров, кораблей специального назначения, морских и рейдовых судов обеспечения ВМФ», введенным приказом Министерства промышленности и торговли Российской Федерации и министра обороны Российской Федерации № 2233/821 дсп от 06 ноября 2014 г. Только безупречная нормативно-правовая база СО и Р и ремонта позволит решить проблемы обеспечения технической готовности и ремонта МСН кораблей при подготовке их к выполнению задач БС.

Первоочередными мероприятиями по уменьшению имеющихся при несении БС недостатков могут быть:

- а) при проведении СО и Р в базе:
 - укомплектование корабля на 100 % ЗИП перед выходом в море;
 - мониторинг силами сервисных центров головных исполнителей технического состояния МСН кораблей, анализ всех случаев выхода МСН из строя в море;
 - обучение личного состава контрактной службы силами региональных ремонтно-технических центров основным ремонтным навыкам МСН в устанавливаемых пределах по ремонтно-технологическим документам;
 - включение в ведомости СО и Р всего объема работ с установлением ответственности ОВУ за их корректировку;
 - высокое качество приема выполненных работ;
- б) при нахождении корабля в районе выполнения задачи:
 - грамотное оформление необходимых документов командирами штурманских боевых частей в случае выхода МСН из строя для предъявления рекламаций головным исполнителям;
 - при необходимости выполнение ремонтных работ установленным порядком силами обученных специалистов контрактной службы.

Конечно, для повышения эффективности существующей системы СО и Р МСН и приведения ее в соответствие с принципами концепции [1] необходимо провести много организационных и технических мероприятий. В первую очередь нужно развивать регионально-технические центры и группы СО, вооружая их новым диагностическим оборудованием,

повышая квалификацию специалистов. Создать единый склад по хранению ЗИП для ремонта и восстановления МСН. Это в значительной мере повысит качество СО и Р и сократит время устранения отказов. Наиболее оптимальным способом, позволяющим решить данную задачу, является создание системы информационного обеспечения СО и Р и единого информационного пространства между предприятием и его обособленными удаленными подразделениями.

Для организации взаимодействия между ремонтными подразделениями различных уровней необходимо организовать Единое информационное пространство (ЕИП). Единое информационное пространство – это совокупность распределенных электронных баз данных различных уровней, которые содержат сведения об эксплуатационных и логистических характеристиках ВВТ, эксплуатационной среде, ресурсах организаций, участвующих в поддержке технической готовности, обеспечивая обмен этими данными, корректность, актуальность, сохранность и доступность информации, содержащейся в нем [7]. Электронная база данных – это совокупность сведений (о реальных объектах, процессах, событиях или явлениях), относящихся к определенной теме или задаче, организованная таким образом, чтобы обеспечить удобное представление этой совокупности как в целом, так и любой ее части [7].

В нашем случае под объектами понимаются МСН, а также сведения о процессах, происходящих с ними. Совокупность этих сведений будет составлять базу данных МСН (БД МСН).

Также целесообразно создать базу данных производственных мощностей и ресурсов предприятия, в которую войдут данные об оборудовании, используемом при СО и Р, специалистах, осуществляющих работы, документы (схемы, чертежи и пр.), необходимые при СО и Р МСН, и другая информация, связанная с этими процессами.

Для обеспечения распределенного доступа и удобства работы с базой данных различных специалистов необходимо использовать системы управления БД (СУБД), в международной классификации называемые PDM-системы (Product Data Management) [7]. Система управления базой данных – организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии. При этом в качестве изделий могут рассматриваться различные сложные технические объекты (корабли и автомобили, самолеты и ракеты, компьютерные сети и др.). С помощью СУБД осуществляется отслеживание больших массивов данных и инженерно-технической информации, необходимых на этапах проектирования, производства или строительства, а также поддержка эксплуатации, сопровождения и утилизации технических изделий. Такие данные, относящиеся к одному изделию и организованные СУБД, называются цифровым макетом. Системы управления базой данных интегрируют информацию любых форматов и типов, предоставляя ее пользователям уже в структурированном виде (при этом структуризация привязана к особенностям современного промышленного производства). Эти системы работают не только с текстовыми документами, но и с геометрическими моделями и данными, необходимыми для функционирования автоматических линий, станков с ЧПУ и др., причем доступ к таким данным осуществляется непосредственно из СУБД. С помощью СУБД

можно создавать отчеты о конфигурации выпускаемых систем, маршрутах прохождения изделий, частях или деталях, а также составлять списки материалов.

Все эти документы при необходимости могут отображаться на экране монитора производственной или конструкторской системы из одной и той же БД.

Одной из целей СУБД и является обеспечение возможности групповой работы над проектом, т. е. просмотра в реальном времени и совместного использования фрагментов общих информационных ресурсов предприятия.

В данной статье были подняты только общие проблемы создания комплексной системы обеспечения СО МСН и поддержания технической готовности кораблей при нахождении их в районах БС. Надеюсь, что статья послужит основой широкого обсуждения поднятых проблем не только флотскими специалистами, но и представителями экономических и правовых наук.

ЛИТЕРАТУРА

1. О Концепции адаптации системы обслуживания и ремонта вооружений и военной техники к новому облику Вооруженных Сил Российской Федерации: приказ министра обороны Российской Федерации № 320 от 6 апреля 2010 г.
2. Руководство по организации ремонта, переоборудования, модернизации и сервисного обслуживания боевых кораблей, боевых катеров, кораблей специального назначения, морских и рейдовых судов обеспечения ВМФ: приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации и министра обороны Российской Федерации № 2233/821 деп от 6 ноября 2014 г.
3. Руководство по эксплуатации и ремонту МСН кораблей и судов ВМФ. – СПб.: ГУНиО МО, 2004. – С. 92.
4. НЯДИ.000.0420.00.029 – «Корабли и суда ВМФ. Порядок выполнения работ по сервисному обслуживанию в процессе их эксплуатации».
5. Мелехин В. И., Безимов А. Л. Проблемы создания комплексной системы обеспечения технической готовности кораблей при нахождении их в районах БС: сб. материалов. – 2015.
6. Сборы руководящего состава штурманской службы ВМФ 2016 г.: сб. материалов.
7. Солнцев А. Н., Травин С. В. Использование информационных технологий для поддержания технической готовности МСН в условиях современной Концепции Минобороны по обслуживанию и ремонту ВВТ //Записки по гидрографии. – 2010. – № 247.

Сведения об авторе:

Воробьев Виктор Иванович – доцент кафедры штурманской службы ВМФ Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия имени Н. Г. Кузнецова».

About author:

Viktor I. Vorob'yov is assistant professor of navigator service sub-faculty of Naval Scientific Educational Centre (VUNTS) «N. G. Kuznetsov Naval Academy».

УДК 621.396

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ НАВИГАЦИОННО-ВРЕМЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ ВМФ В РАМКАХ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*А. Е. Тюлин, В. В. Дворкин,
В. В. Куришин, В. С. Вдовин*

(АО «Российские космические системы»)

В статье рассматриваются навигационно-временное обеспечение (НВО) средств ВМФ, требования международных морских организаций к НВО общего мореплавания.

Ключевые слова: структура задач навигации, навигационно-временное обеспечение, данные по точности, точность навигационных определений.

The article considers navigational-and-time support (NTS) of Naval aids to navigation, the requirements of International Marine Organizations to general navigation NTS.

Key words: navigation tasks structure, navigational-and-time support, data on accuracy, navigation detection accuracy.

1. Краткий анализ современного состояния НВО средств ВМФ и его связь с навигационным обеспечением Российской Федерации (РФ)

Общая структура задач навигации на море с использованием радионавигационных систем (РНС) согласно Радионавигационному плану Российской Федерации (РНП-2015) [1] с привязкой к этим задачам современных требований к РНС, установленных Международной морской организацией (ИМО), выглядит следующим образом (табл. 1).

Таблица 1

Задачи навигации	Плавание в открытом море	Плавание в прибрежных районах и узкостях	Маневрирование в портах, гаванях	Дноуглубительные работы, работы на шельфе
1	2	3	4	5
Требования к размеру рабочей зоны РНС, %	100	100	100	100
Требования к точности определения местоположения морских объектов, м	50	5	5	—
Требования к синхронизации шкал времени морских объектов, мкс	—	—	—	—

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
Требования к доступности РНС	$P = 0,998$	$P = 0,995$	$P = 0,998$	–
Требования к целостности РНС, с	10	10	10	–
Требования к непрерывности обслуживания (функционированию) РНС	–	$P = 0,9985$	$P = 0,9997$	–
Требования к пропускной способности РНС, %	–	–	–	–

Примечание. Резолюции А.953 (23) от 05.12.2003 г., MSC.112 (73) 2000 г., MSC.115 (73) 2000 г.

Специфика НВО средств ВМФ проявляется в том числе в особых требованиях к навигационному вооружению кораблей ВМФ, включающих возрастающие требования по дублированию и комплексированию морских средств навигации, к точности и подробности съемки рельефа дна и некоторых других.

Общей тенденцией развития задач навигации на море, в том числе задач навигации средств ВМФ, является повышение требований к этим задачам (по надежности навигации, по точности определения местоположения морских субъектов, по синхронизации шкал времени морских объектов и др.) и, как следствие, создание дублирующих и дополняющих навигационных систем (НС) – РНС и НС, работающих на других принципах (инерциальных НС (ИНС) и др.).

Рост требований к задачам навигации средств ВМФ можно продемонстрировать на примере структуры навигационного вооружения кораблей ВМФ [2]. Использование комплексированных морских средств навигации (КМСН) в морских навигационных комплексах (МНК), таких как автоматизированный комплекс навигации и гиростабилизации (АКНГ) [2] «Чардаш», значительно повышает эффективность НВО средств ВМФ.

Известны также такие КМСН, как МНС «Галс-МНС» [3], миниатюрная интегрированная инерциальная спутниковая система (МИИСС) «Мининавигация-1» [4], морская интегрированная малогабаритная система навигации и стабилизации (МИМСНиС) «Кама-НС-В» [5] и др. Элементом спутникового навигационного обеспечения (НО) в КМСН (типовая структура КМСН показана на рис. 1 [2]) можно считать приемодикатор (ПИ) глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), который выдает в общую шину КМСН координаты, скорость и время. В типовую КМСН входит также ПИ РНС. Все КМСН используют интерфейсы RS232/RS422 по протоколу NMEA0183, что означает их пригодность к использованию дифференциальной информации (ДИ) ГНСС. Обязательным элементом КМСН является интерфейс с ЭКНИС (электронная картографическая навигационно-информационная система, по международной терминологии – ECDIS (Electronic Chart Display and Information System)).

При всех преимуществах КМСН явным недостатком является их высокая цена (к примеру, закупочная цена АКНГ «Чардаш» ~ 900 млн руб., а МИМСНиС «Кама-НС-В» ~ 77 млн руб. [6]).

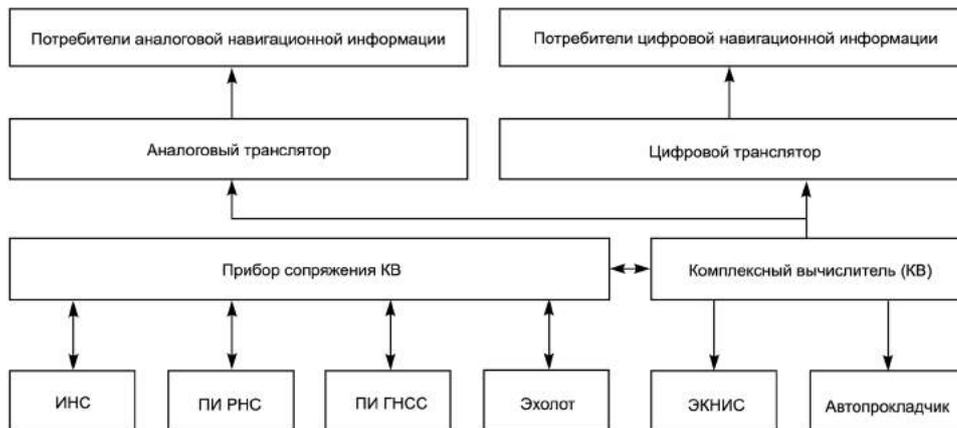


Рис. 1. Типовая структура КМСН

Необходимо отметить также, что КМСН современных кораблей являются элементом интегрированной мостиковой системы (ИМС – по международной терминологии – IBS (Integrated Bridge System), сопряженной в единый комплекс системы кораблевождения и управления кораблем (судном) в целях повышения эффективности обработки информации и управления кораблем (судном), обеспечивающей повышение навигационной безопасности плавания [7], входящей в свою очередь в боевую информационно-управляющую систему (БИУС) корабля [8].

2. Краткий анализ современного состояния НВО средств зарубежных флотов на примере вмс США и его связи с PNT США (комплекс взаимосвязанных мероприятий по позиционированию, навигации и синхронизации, пронизывающий все сферы экономики и обороны США)

Изначально, более 30 лет назад, основой PNT США были космические системы навигации (GPS) и связи (TDRSS – Data Relay Satellite System), однако, начиная с XXI в., стали развиваться концепции микро-PNT (MPNT) и альтернативной PNT (APNT). Концепция MPNT основана на комплексировании с GPS-приемниками микроминиатюрных навигационных систем, основанных на нерадиотехнических физических принципах, а концепция APNT основана на поиске путей создания навигационных систем, заменяющих GPS. Результатом разработки этих двух концепций является концепция GPSS (Global PNT System of Systems) [9], структура которой показана на рис. 2.

Анализ GPSS выходит за рамки данного исследования, однако необходимо отметить, что развитие НВО средств вмс США находится в общем тренде развития PNT и GPSS.

Современное состояние НВО средств вмс США оценим на примере типичной структуры IBS, включающей в себя подсистемы VMS (Voyage Management System), ARPA (Automated Radar Plotting Aid) и SCS (Ship Control System) [10].

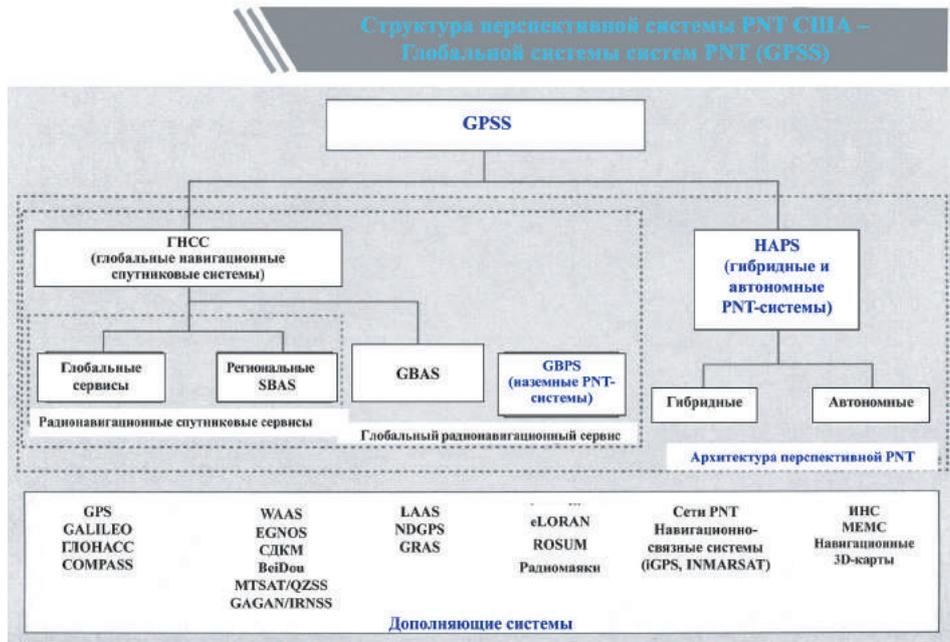


Рис. 2. Структура GPSS США

Элементы PNT и GPSS входят во все подсистемы IBS, в частности в VMS входит ECDIS-N (Navy’s Electronic Chart Display and Information System), которую можно причислить к дополняющим системам GPSS; одной из функций ARPA является синхронизация всех объектов управления кораблем – как элемент «Т» в PNT; в состав SCS входит КМСН, являющаяся основным потребительским элементом и PNT, и GPSS.

3. Краткий анализ требований ИМО к НВО общего мореплавания

В ноябре 2001 г. 22-я ассамблея ИМО утвердила требования к будущей системе ГНСС, которые изложены в резолюции А.915 (22) «Пересмотренные положения морской политики и требования к перспективным Всемирным спутниковым навигационным системам» [11].

В приложениях к резолюции указываются, в частности, перспективные на период после 2010 г. требования к точности получения навигационной информации (см. табл. 2).

Международной морской организацией и международной ассоциацией маячных служб (МАМС) разработаны также требования в отношении

развития средств навигационного оборудования (СНО) в соответствии с концепцией e-Навигации [12], в частности:

– выбор в качестве базового вида коммуникации всех береговых и плавучих объектов СНО автоматической информационной системы (АИС-СНО);

Таблица 2

Задачи навигации	Плавание в открытом море	Плавание в прибрежных районах и узкостях	Маневрирование в портах, гаванях	Дноуглубительные работы на шельфе	Автоматическая постановка в док
Требования к точности определения местоположения морских объектов, м	5	5	0,5	–	0,05

– использование единого формата обмена данными, жестко регламентированного международными стандартами;

– индикация точного местоположения объекта СНО;

– автоматический дистанционный контроль местоположения и технического состояния объектов СНО со стороны береговых служб.

Элементом спутникового навигационного оборудования в станции АИС-СНО является приемник ГНСС (согласно Стандарту IEC 61993-2 МЭК). Точность приемника ГНСС в составе АИС-СНО регламентируется приложением 2 к рекомендации ITU-RM.1371-1 [13] и может быть низкой (>10 м, автономный режим ГНСС-приемника или другого электронного устройства позиционирования) и высокой (<10 м, дифференциальный режим ГНСС-приемника или другого электронного устройства позиционирования). В качестве других устройств понимаются приемники систем Лоран-С, «Чайка» и ИНС.

Международной гидрографической организацией (МГО) разработаны требования в отношении точности и подробности съемки рельефа дна (согласно 5-й редакции стандарта S-44 МГО [14]), в частности:

– допустимая неопределенность ($P = 0,95$) определения местоположения стационарных СНО и объектов, важных для навигации (для 1-го класса съемки):

– планового положения – 1,0 м;

– высотного положения – 0,5 м;

– допустимая неопределенность ($P = 0,95$) определения местоположения плавучих СНО – 5 м.

Для определения местоположения допускается применять ГНСС (что можно считать элементом спутникового координатно-временного навигационного обеспечения (КВНО), но при этом должна быть обеспечена необходимая точность пересчета геодезических высот в высоты, отсчитываемые от принятых нулей глубин (НГ) и нулей высот. В частности, в [15] отмечается, что при наличии на район съемки модели геодезической высоты точек поверхности НГ приведение измеренной глубины к НГ может производиться путем измерения геодезической высоты уровня судовыми ГНСС-приемниками. В [15] отмечено также, что для получения точных данных о высотном положении НГ в любой точке судоходной

акватории возможно использование глобальных навигационных сервисов, таких как С-NAV RTG (Real Time Gipsi) и СДКМ. Отмечается недостаток СДКМ, заключающийся в ограниченном пространственном охвате арктических зон (не более 70° по широте), и указывается со ссылкой на [16] на ведущиеся в Роскосмосе проработки размещения бортовых ретрансляторов СДКМ на КА «Арктика». В [16] отмечена и необходимость по спутниковым определениям геодезических высот получать с нужной точностью нормальные высоты реперов сети уровенных постов (УП) относительно пунктов ФАГ С и ВГС.

4. Современное состояние навигационного обеспечения РФ и его связь с навигационно-временным обеспечением средств ВМФ

Следует констатировать, что в силу различных причин, в том числе геополитического характера, ГЛОНАСС как основа навигационного обеспечения РФ не всегда может соответствовать заявленным характеристикам.

Указанный прогноз означает, что система ГЛОНАСС не сможет полноценно обеспечивать предназначенный ей вклад в НВО средств ВМФ, что может привести к переоценке заказчиком роли не только системы ГЛОНАСС, но и навигационного обеспечения в целом, в НВО средств ВМФ.

5. Направления повышения эффективности НВО средств ВМФ в рамках развития единой системы навигационного обеспечения

В военно-морской науке рассматриваются различные варианты повышения эффективности НВО средств ВМФ, основным из которых является комплексирование МСН. Кроме комплексирования ПИ ГНСС, ПИ РНС и ИНС, рассматриваются варианты навигации по аномалиям ГПЗ, МПЗ и др. В частности, отмечается возможность коррекции НК подводных лодок (пл) по аномалиям ГПЗ [17], а также рассматриваются возможности создания системы коррекции корабельных НК по магнитному полю [18].

Взгляд авторов на комплексное предоставление услуг навигационного обеспечения представлен на рис. 3.

В качестве одного из направлений повышения развития единой системы навигационного обеспечения, которое, на наш взгляд, повысит эффективность НВО средств ВМФ, предлагается создание Российской навигационно-информационной спутниковой системы (РНИСС).

Спутниковую группировку системы предполагается создать с использованием космических аппаратов (КА) на геостационарных орбитах (ГСО) и КА на высокоэллиптических орбитах (ВЭО).

Основными требованиями при выборе орбитального построения РНИСС являются:

– обеспечение двукратного покрытия территории России зонами видимости геостационарных спутников;

- осредненный геометрический фактор точности позиционирования (PDOP) для территории России не должен превышать 2 ($P = 0,68$);
- приемлемое (по численности) число КА группировки РНИСС.

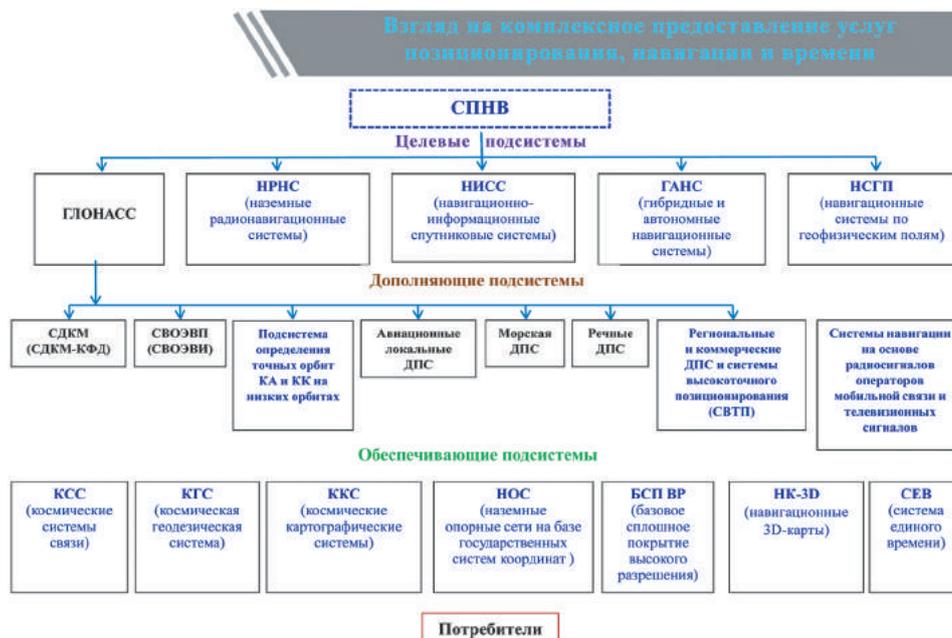


Рис. 3. Комплексное предоставление услуг навигационного обеспечения

В результате проведения моделирования предлагается в качестве орбитальной группировки РНИСС использовать группировку, кеплеровы параметры которой приведены в табл. 3.

Таблица 3

Обозначение орбитальной группировки – 4ГСО+6ВЭО_0,3

№ п/п	Средняя аномалия (долгота висения), град	Аргумент перигея, град	Большая полуось, м	Наклонение, град	Эксцентриситет	Долгота ходящего угла, град
1	70	0	42 162 800	0	0	0
2	80	0	42 162 800	0	0	0
3	140	0	42 162 800	0	0	0
4	150	0	42 162 800	0	0	0
5	0	269	42 162 800	64,8	0,3	140
6	120	269	42 162 800	64,8	0,3	20
7	240	269	42 162 800	64,8	0,3	260
8	60	269	42 162 800	64,8	0,3	140
9	180	269	42 162 800	64,8	0,3	20
10	300	269	42 162 800	64,8	0,3	260

В орбитальной группировке РНИСС геосинхронные спутники располагаются в трех плоскостях – по два в каждой (см. рис. 4).

По результатам имитационного моделирования по оценке точностных характеристик РНИСС были получены оценки PDOP и ошибок навигационных определений. Предполагалось, что точность дальномерных измерений равна 0,5 м. Минимальный угол видимости спутника над горизонтом составляет 5° .

В условиях небольшого числа КА группировки РНИСС для повышения обусловленности навигационной задачи предлагается использовать дополнительное измерение высоты, которое может быть получено при помощи барометрического датчика. То есть предполагается, что в состав аппаратуры потребителя входит барометрический высотомер (альтиметр) и тем самым потребитель может определить расстояние до центра Земли. Точность альтиметра зависит от знания давления в месте навигации.

Посредством системы сбора информации барометрическое давление и температурные значения на наземных станциях собираются на главной навигационной станции, где они классифицируются и обрабатываются, а затем прописываются в навигационное сообщение и своевременно передаются на пользовательский приемник. Далее барометрическое давление и температурные показатели, измеренные в приемнике, совмещаются вместе, чтобы получить показатель высоты местоположения приемника.

Всего на территории РФ имеется около 1000 метеостанций, которые непрерывно определяют локальные показатели давления и температуры.

Предполагается, что центр РНИСС будет собирать и обрабатывать данные с метеостанций и транслировать их пользователям в навигационных сообщениях.

Предварительные расчеты показывают, что барометрический высотомер хорошо справляется со своей задачей на территории РФ и что в большинстве областей РФ высоты могут быть определены с точностью 3 м (среднеквадратическая ошибка (СКО)).

Для морского потребителя в качестве метода, повышающего обусловленность решения навигационной задачи, можно использовать тот факт, что потребитель находится на поверхности Мирового океана, а в качестве модели Земли использовать геоид.

Таким образом, при использовании модели геоида потребитель с большой точностью знает свое расстояние до центра Земли. Поскольку по определению поверхность Мирового океана совпадает с поверхностью геоида, то при использовании модели геоида надводный морской потребитель также с большой точностью знает свое расстояние до центра Земли. Следовательно, минимальное количество спутников, необходимых для определения своего местоположения, сокращается до трех при использовании РНИСС.

Было проведено имитационное моделирование по оценке точностных характеристик РНИСС совместно с данными высоты.

В табл. 4 и 5 приведены сводные данные по точности навигационных определений для орбитальной группировки РНИСС. Данные в табл. 4

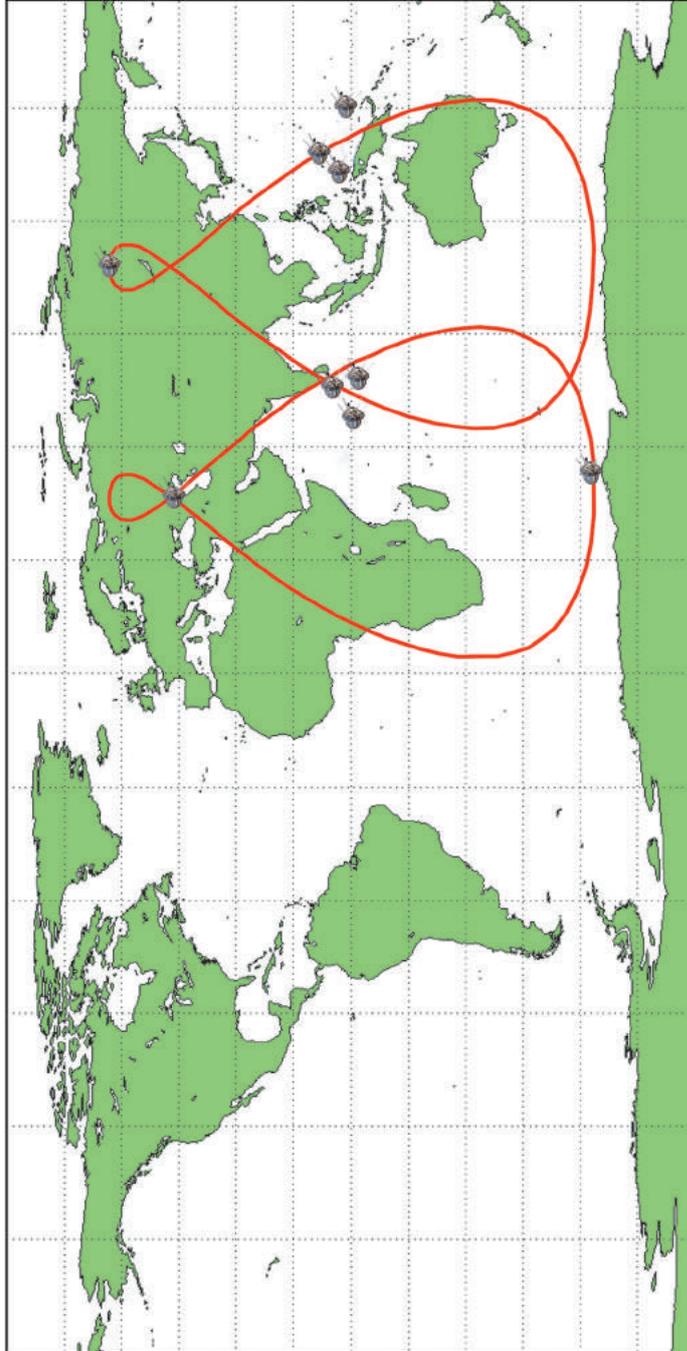


Рис. 4. Трассы подспутниковых точек орбитальной группировки РНИСС

соответствуют характеристикам глобальной навигации, а в табл. 5 – навигации на территории РФ. В этих таблицах приведены следующие величины: фактор (PDOP), доступность (A) при PDOP<6 и при PDOP<2, точность навигационных определений с использованием РНИСС, а также точность навигационных определений с использованием РНИСС и альтиметрии. Все параметры определены по уровню доверительной вероятности $P = 0,95$.

Таблица 4

**Навигация для орбитальной группировки РНИСС,
глобальная навигация**

Параметры РНИСС	
Средний PDOP (95 %)	29,8
A (PDOP<6)	0,46
Точность навигации ($P = 0,95$), м	52,8
Точность навигации + альтиметрии ($P = 0,95$), м	12,7

Таблица 5

**Навигация для орбитальной группировки РНИСС,
навигация на территории РФ**

Параметры РНИСС	
Средний PDOP (95 %)	12,9
A (PDOP<6)	0,77
Точность навигации ($P = 0,95$), м	10,0
Точность навигации + альтиметрии ($P = 0,95$), м	2,4

При построении системы РНИСС будет обеспечена взаимодополняемость с системой ГЛОНАСС, что позволит осуществлять совместное использование систем ГЛОНАСС и РНИСС. В случае выхода из строя некоторых спутников ГЛОНАСС будет обеспечено приемлемое качество навигации.

Предположим, что вышли из строя 8 спутников ГЛОНАСС с номерами 1, 5, 10, 12, 13, 14, 16, 24. Обозначим систему ГЛОНАСС, у которой вышли из строя 8 спутников как ГЛОНАСС-16.

Для корректного исследования вклада дополнительной региональной навигационно-связной системы в точность совместной навигации ГЛОНАСС+РНИСС анализ проводится не на основе фактора PDOP, а на основе ожидаемой точности определения положения потребителя в пространстве (3D) с доверительной вероятностью $P = 0,95$.

При проведении моделирования предполагалось, что точность дальномерных измерений ГЛОНАСС составляет 2 м (СКО), а точность дальномерных измерений РНИСС 5 м (СКО).

В табл. 6 приведены сводные данные по точности навигационных определений всех рассмотренных вариантов. Для сравнения дополнительно приведены точностные характеристики штатной системы ГЛОНАСС-24.

Таблица 6

Точность навигации, м ($P = 0,95$)	ГЛОНАСС-24	ГЛОНАСС-16	ГЛОНАСС + + РНИСС
Глобальная	3,17	6,13	4,45
Для территории РФ	2,81	4,94	3,78

Выводы:

1. Для НВО средств ВМФ с учетом предъявляемых требований по надежности и точности целесообразно разработать концепцию достижения заданных характеристик в зависимости от снижения влияния рисков, связанных с состоянием и развитием отдельных навигационных систем.

2. Целесообразно определиться с количеством и характеристиками каналов доставки обеспечивающей цифровой информации от внешних навигационных систем и их функциональных дополнений.

3. Целесообразно определить архитектуру развития функциональных дополнений ГЛОНАСС в связи с возможностями их использования на средствах ВМФ.

4. Целесообразно проработать вопрос о возможности и уместности использования средствами ВМФ навигационно-информационной системы на базе КА ретрансляции (РНИСС) в качестве резервной системы для повышения надежности НВО средств ВМФ.

5. Целесообразно выступить с поддержкой предложения о модернизации наземных РНС РФ до уровня современных требований с учетом обеспечения возможности их комплексирования с ГЛОНАСС и ее функциональными дополнениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радионавигационный план Российской Федерации: утв. приказом Минпромторга России от 28 июля 2015 г. № 2123.
2. Якушев А. А., Смирнов М. Ю., Чичин М. А. Навигационный контур как одно из альтернативных направлений комплексирования морских средств навигации на кораблях Военно-Морского Флота РФ// Навигация и гидрография. – 2016. – № 46. – С. 7–13.
3. URL: [http:// www.cnii-volna.ru](http://www.cnii-volna.ru).
4. URL: www.elektropribor.spb.ru.
5. URL: www.ppk.perm.ru.
6. URL: www.my-tender.ru.
7. URL: http://universal_en_ru.academic.ru/1391674/integrated_bridge_system.
8. URL: <http://www.npfmeridian.ru/index.php/ru/products/military>.
9. URL: <http://www.insidegnss.com/node/2395>.
10. URL: www.sperrymarine.northropgrumman.com.
11. Резолюция А.915 (22). Пересмотренные положения морской политики и требования к перспективным Всемирным спутниковым навигационным системам.
12. Гладских Е. П., Костин В. Н., Максимов В. А., Репин Ю. М. Развитие средств навигационного оборудования прибрежной зоны Российской Федерации в соответствии с концепцией е-Навигации// Навигация и гидрография. – 2016. – № 43. – С. 13–21.
13. Рекомендация Международного союза электросвязи ITU-RM.1371-1. Технические характеристики универсальной автоматической информационной системы, использующей

множественный доступ с временным разделением в УКВ полосе частот Морской подвижной службы. – Женева, Швейцария: МСЭ, 2001. – 103 с.

14. Зубченко Э. С., Шарков А. М. Обеспечение высотной основой съемки рельефа морского дна и навигационной безопасности судоходства // Навигация и гидрография. – 2016. – № 43. – С. 42–49.

15. Дворкин В. В., Карутин С. Н. Функциональные дополнения глобальных навигационных спутниковых систем: состояние и перспективы развития // Труды Института прикладной астрономии РАН / ФГБУ ИПА РАН. – 2009. – Вып. 20. – С. 74–80.

16. Малеев П. И., Хлыпало Ю. Г. Возможные направления развития средств коррекции корабельных навигационных комплексов // Навигация и гидрография. – 2016. – № 43. – С. 7–12.

17. Малеев П. И. Возможности создания системы коррекции корабельных навигационных комплексов по магнитному полю // Навигация и гидрография. – 2016. – № 44. – С. 9–15.

18. IHO Standards for Hydrographic Surveys. Special Publication № 44. – Monaco: IHB, 2008. – 28 p.

Сведения об авторах:

Тюлин Андрей Евгеньевич – генеральный директор АО «Российские космические технологии», доктор экономических наук.

Дворкин Вячеслав Владимирович – главный конструктор навигационно-спутниковых технологий.

Куршин Владимир Викторович – доктор технических наук.

Вдовин Владимир Степанович – начальник сектора.

About authors:

Andrey Ye. Tyulin is Director General of SC «Russian Space Technologies», Doctor of economical sciences.

Vyacheslav V. Dvorkin is chief designer of navigation-sattelite technologies.

Vladimir V. Kurshin is Doctor of technical sciences.

Vladimir S. Vdovin is the sector chief.

УДК 355 : 656.052.1; 355 : 527

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПОДВОДНОЙ ЧАСТИ АЙСБЕРГОВ С ПОМОЩЬЮ МНОГОЛУЧЕВОГО ЭХОЛОТА

А. А. Анохин, С. И. Полюга

(АО «ГНИНГИ»)

В статье рассматриваются методы определения параметров подводной части айсбергов для обеспечения безопасности мореплавания и эксплуатации инженерных сооружений и коммуникаций.

Ключевые слова: айсберг, многолучевой эхолот, программное обеспечение, 3D модель.

The article considers methods of iceberg underwater part parameters determination for safety of navigation and operation of engineering structures and communications.

Key words: iceberg, multibeam echo-sounder, software, 3D model.

Арктика – важнейший стратегический регион, являющийся зоной интересов не только арктических государств, но и Европейского союза и стран Юго-Восточной Азии. Прежде всего эти страны привлекают перспективы освоения нефтегазового потенциала арктического континентального шельфа, а также возможность сокращения маршрутов трансконтинентальных перевозок. Однако рост судоходства влечет и увеличение количества аварийных ситуаций. Одним из факторов увеличения аварийных ситуаций являются айсберги, которые наиболее опасны для судоходства и функционирования инженерных сооружений и коммуникаций, расположенных в шельфовой зоне арктических и субарктических морей. Для снижения риска навигационных происшествий целесообразно рассмотреть мероприятия по оценке подводной части айсбергов и определить возможность их буксировки. До настоящего времени оценка подводных параметров (ширина, длина, осадка) айсберга осуществляется в основном с помощью гидролокатора бокового обзора или с помощью подводной видеосъемки [1]. Возможно применение и других методов, например таких, как использование спутников или подводных лазеров, однако информации о фактическом использовании данных методов в открытой печати до настоящего времени нет. Предложенный метод съемки основан на использовании многолучевого эхолота (МЛЭ), представляющего измеряемую информацию в цифровом виде. Используя возможности специализированного программного обеспечения, можно рассчитывать объем подводной части айсбергов с высокой точностью.

Определение параметров подводной части айсбергов было проведено в ходе экспедиции 2016 г. Испытания прошли в районе залива Журавлёва, где было обследовано 13 айсбергов, и в районе Земли Франца-Иосифа, где было обследовано 6 айсбергов.

Работы по оценке размеров подводной части айсбергов включали в себя:

1) оперативную оценку геометрических характеристик айсбергов методом гидролокационной съемки многолучевым эхолотом;

2) обработку полученных данных с помощью специального программного обеспечения:

– построение 3D моделей подводной части айсбергов;

– определение возможности буксировки айсберга.

Оптимальная дистанция между катером и айсбергом в ходе выполнения съемки, обеспечивающая наиболее качественное изображение подводной части айсберга, составляла от 20 до 50 % указанной в технических характеристиках рабочей глубины МЛЭ. При этом минимальное расстояние между катером и айсбергом должно было отвечать требованиям правил техники безопасности при выполнении работ. В соответствии с этими требованиями была определена безопасная дистанция подхода к айсбергу на 30–40 м.

Во время измерений катер двигался вокруг айсберга. Выполнялось не менее двух обходов айсберга со скоростью 3–4 уз. Первый обход – на дистанции 40–60 м, второй обход – на дистанции 70–120 м в зависимости от геометрии надводной и подводной частей айсбергов, определяемой МЛЭ. Два обхода на разных дистанциях позволяли уменьшить

количество зон, пропущенных МЛЭ при съемке, и обеспечить более высокое качество и полноту измеренных данных [2].

В результате съемки было обследовано 19 айсбергов. Предполагаемые к буксировке айсберги, обследуемые в районе Земли Франца-Иосифа, как правило, были дрейфующими, что фиксировалось на навигационном дисплее судоводителя. На айсберг устанавливался навигационный буй. Через определенный промежуток времени повторно снимались координаты айсберга.

В случае если новые координаты айсберга оставались без изменения, он считался находящимся на мели, что в последующем было подтверждено результатами съемки подводной части.

В процессе съемки применялись различные варианты посылки лучей и рабочих частот эхолота в подборе оптимальных настроек при обследовании айсбергов с разных дистанций.

Наиболее оптимальные режимы: частота излучения 400 кГц и режим излучения FQUI-ANGLF. В данном режиме применяется равномерное угловое распределение лучей [3].

В ходе работ было использовано следующее оборудование:

- для определения координат катера – GPS-приемник Trimble SPS461;
- для учета параметров качки (крен, дифферент) – датчик динамических перемещений Kongsberg MRU 5;
- для съемки подводной части айсберга – многолучевой эхолот Reason SeaBat7125 SV2;
- для совместной обработки данных – специализированное гидрографическое программное обеспечение PDS-2000.

Расчет объемов подводных частей айсбергов выполнялся с помощью программного обеспечения PDS-2000. Для определения объема подводной части айсберга, сидящего на грунте, исходные данные в электронном формате *.pds были разделены на две группы точек, условно названных дно и айсберг; из этих групп точек были построены две grid-модели и выполнена интерполяция моделей в местах их соприкосновения. Поскольку электронный формат *.asc является унифицированным, его можно использовать для построения 3D моделей в сторонних программах. В данном случае для построения 3D моделей подводных частей айсбергов были использованы программы AutoCadCivil 3D и Surfer.

Комплексным проектом предусмотрены меры по навигационно-гидрографическому и аварийно-спасательному обеспечению судоходства, которые выработаны на основании положительного опыта, полученного при проведении экспедиционных работ в рамках экспедиции КАРА-ЛЕТО-2016 на борту научно-экспедиционного судна «Академик Трёшников». Целью разработки методических рекомендаций является использование наиболее эффективных и рациональных вариантов действий, которые применимы к технологии съемки подводной части айсберга с помощью многолучевого эхолота. Проблема обеспечения безопасности мореплавания на трассах Северного морского пути тесно связана с комплексной оценкой рисков. Обеспечение эффективности и безопасности морских перевозок требует комплексного подхода в области оценки рисков с учетом особенностей транспорта. В качестве предложений имеет смысл отметить целесообразность дальнейшего изучения вопроса

обследования подводных частей айсбергов в целях обеспечения безопасности при их буксировке или ином воздействии на айсберги.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зубакин Г. К., Кринцкий П.И., Гудошников Ю.П., Гладыш В. А., Виноградов Р. А. Гидролокационная съемка нижней поверхности ледяного покрова //Труды ААНИИ / Гос. науч. центр РФ Арктич. и антаркт. науч.-исслед. ин-т. – 2004. – Т. 449. – С. 229–237.
2. IHO Standards for Hydrographic Surveys Monaco: IHB, Special Publication. № 44. – 5th Edition. – 2008. – 28 p.
3. Руководство по эксплуатации многолучевого эхолота «SeaBat 7125 SV2». – TeledyneReson-2015. – С. 2.

Сведения об авторах:

Анохин Артём Андреевич – научный сотрудник АО «ГНИНГИ».
Полюга Сергей Игоревич – заместитель начальника отдела АО «ГНИНГИ».

About authors:

Artyom A. Anokhin is scientific worker of SC «GNINGI».
Sergey I. Polyuga is deputy chief of SC «GNINGI» sector.

УДК 551.501

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА И АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

*И. М. Ашик, К. В. Фильчук,
В. И. Дымов, М. Ю. Кулаков
(ФГБУ «ААНИИ»)*

В статье рассматриваются пути решения задач обеспечения гидрометеорологической информацией потребителей при планировании и проведении работ в арктической зоне.

Ключевые слова: гидрологические факторы, базы данных наблюдений, ледовый режим, программное обеспечение.

The article considers the task decision ways to provide hydrometeorological information for users when planning and fulfilling the works within arctic zone.

Key words: hydrological factors, observation databases, ice regime, software.

Эффективность и безопасность эксплуатации морского транспорта, а также работ, выполняемых в шельфовой зоне окраинных морей,

в значительной степени зависят от полноты и качества оперативной гидрометеорологической информации, используемой при планировании и проведении морских операций. Основными гидрологическими факторами, ограничивающими судоходство и хозяйственную деятельность в замерзающих морях, являются ледяной покров и волнение, а в районах ограниченных глубин, в которых располагаются практически все арктические порты, – уровень моря и течения. В связи с этим основными задачами, решаемыми в ходе гидрологического сопровождения морских операций, являются: оперативное слежение за развитием ледово-гидрологических условий на акватории морей, снабжение потребителей сведениями о фактических условиях и выпуск прогнозов различной заблаговременности.

Решение перечисленных задач в отделе океанологии Федерального государственного бюджетного учреждения «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (ФГБУ «АНИИ») осуществляется с использованием технологий, основанных на оперативно пополняемых специализированных информационных ресурсах и численных гидродинамических моделях. В их числе:

- база данных наблюдений за термохалинными и гидрохимическими характеристиками (БДТХ) по акватории Северного Ледовитого океана (СЛО);

- базы данных наблюдений за уровнем арктических морей;

- база данных наблюдений за течениями (БДТ) по акватории СЛО;

- динамическая и термодинамическая модели циркуляции вод и льдов СЛО AARI-IOCM;

- спектрально-параметрическая модель ветрового волнения AARI-PD2.

База данных наблюдений за термохалинными и гидрохимическими характеристиками включает в себя данные измерений температуры и солености, результаты определений концентрации растворенного кислорода, содержания фосфатов, кремния, нитратов, нитритов, значения водородного показателя (рН), щелочности в морской воде, полученные различными экспедициями ФГБУ «АНИИ» и других отечественных и зарубежных организаций на акваториях арктических морей, Арктического бассейна и на других сопредельных с СЛО акваториях. База данных наблюдений за термохалинными и гидрохимическими характеристиками функционирует под управлением высокопроизводительной системы управления базами данных (СУБД) Advantage Database Server. Программное обеспечение, реализующее алгоритмы усвоения, контроля, архивации данных и пользовательский интерфейс, разработано в среде Delphi. При пополнении базы данных осуществляются унификация разнородных форматов вводимых данных, экспертный анализ с присвоением флагов качества, генерация уникальных номеров станций, проверка ссылочной целостности таблиц. Информация, содержащаяся в БДТХ, регулярно используется при составлении ежеквартальных и ежегодных обзоров текущего состояния арктических морей и Арктического бассейна, включающих новые данные морских и высокоширотных арктических экспедиций.

В базах данных уровневых наблюдений объединены данные измерений уровня моря, выполнявшихся на гидрологических станциях и постах РФ (СССР), а также результаты расчета средних, аномальных и экстре-

мальных значений уровня моря, выполненного с использованием рядов многолетних уровенных наблюдений, содержащихся в базе. Базы оперативно пополняются данными сети гидрологических станций, поступающими в виде телеграмм по каналам автоматической системы передачи данных (АСПД). Программное обеспечение, реализующее инструментарий хранения, пополнения, анализа и визуализации результатов наблюдений уровня моря на гидрологических станциях и постах, построено с использованием клиент-серверной архитектуры. Серверная часть представляет собой реляционную базу данных, функционирующую под управлением СУБД MySQL. Оконное приложение, реализующее функциональность пользовательского и административного интерфейсов, создано на языке программирования высокого уровня Pascal с использованием среды разработки Delphi.

База данных наблюдений за течениями СЛО содержит результаты измерений параметров течений, выполненных на океанологических станциях в Арктическом бассейне и на акваториях арктических морей. Она функционирует под управлением СУБД FoxPro. Сопровождающее программное обеспечение позволяет выполнять первичный анализ данных измерений, вносить поправки на магнитное склонение, исключать составляющую дрейфа при обработке результатов наблюдений, выполненных с подвижной платформы, рассчитывать статистические характеристики и значения элементов суммарных непериодических течений. Метаданные включают сведения о координатах станций, времени начала и окончания постановки, коды принадлежности региона, схемы расположения автономных буйковых и многосуточных станций и т. д.

Модель AARI-IOCM представляет собой результат объединения трех моделей: трехмерной бароклинной модели циркуляции вод, модели дрейфа ледяного покрова и термодинамической модели морского льда. Модель AARI-IOCM адаптирована к акватории СЛО с разрешением 13,8 км. Исходной информацией для расчета по модели служат последовательности полей приземного атмосферного давления и информация о распределении припая и сплоченности дрейфующего льда на акватории расчетной области. В результате вычислений моделируется временная изменчивость полей таких гидрометеорологических характеристик, как: сплоченность льда; скорость и направление дрейфа льда; сила сжатий; дивергенция скорости льда (разрежение льда); колебания уровня моря; скорость и направление течений на поверхности и горизонтах. На основании модели AARI-IOCM разработаны технологии расчета и краткосрочного прогноза уровня моря и течений, дрейфа льда и айсбергов, а также переноса и трансформации загрязнений в СЛО и его морях.

Расчеты и прогнозы ветрового волнения осуществляются с использованием авторской спектрально-параметрической модели ААНИИ PD2-AARI. Исходя из особенностей ледового режима, в модели район Российской Арктики аппроксимируется двумя большими расчетными областями с шагом $1,0^\circ$ по долготе и $0,5^\circ$ по широте. Первая расчетная область включает в себя Баренцево и Карское моря, а вторая – Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское моря. Основной исходной информацией для расчетов по модели служат диагностические и прогностические поля приземного давления (или скорости ветра), поля температуры

воздуха на 2-метровом горизонте, а также батиметрические данные и данные, характеризующие ледовое покрытие расчетных областей (сплоченность морского льда). На выходе рассчитываются и прогнозируются следующие характеристики: параметры ветрового волнения (высота, период, направление) как суммарно, так и отдельно (чисто ветровые и зыбь); степень скорости брызгового обледенения судов; возможен дополнительный вывод спектров волнения в узлах расчетной области. Модель PD2-AARI неоднократно верифицировалась по данным инструментальных наблюдений на различных акваториях, сопоставлялась с такими известными в мире моделями, как WAM и WAVEWATCH, и неизменно демонстрировала хорошие результаты.

Востребованность в специализированном гидрометеорологическом обеспечении эксплуатации морского транспорта, а также работ, выполняемых в шельфовой зоне арктических морей, за последние годы резко возросла. Отдел океанологии ААНИИ участвовал в оперативном обеспечении таких крупных проектов, как разведочное бурение на Университетской структуре в 2014 г. в Карском море, строительство завода природного сжиженного газа в Сабетте, эксплуатация морской ледостойкой стационарной платформы Приразломная, обеспечение навигации в Татарском проливе в рамках проекта «Сахалин-1» и пр. На основе уникальных баз данных и климатических расчетов по моделям был подготовлен к публикации целый ряд режимно-справочных пособий, аналитических обзоров и атласов гидрометеорологических и ледовых условий.

Сведения об авторах:

Ашик Игорь Михайлович – заместитель директора по научной работе, кандидат географических наук.

e-mail: ashik@aari.ru.

Фильчук Кирилл Валерьевич – и. о. заведующего отделом океанографии.

e-mail: kirill@aari.nw.ru.

Дымов Владимир Иванович – заведующий лабораторией отдела океанологии; кандидат физико-математических наук.

e-mail: dymov@aari.nw.ru.

Кулаков Михаил Юрьевич – старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук.

e-mail: mod@aari.ru.

About authors:

Igor' M. Ashik is deputy director on scientific work, master of geographical sciences.

e-mail: ashik@aari.ru.

Kirill V. Fil'chuk is acting manager of oceanography sector.

e-mail: kirill@aari.nw.ru.

Vladimir I. Dymov is laboratory manager of oceanology sector, master of physical and mathematical sciences.

e-mail: dymov@aari.nw.ru.

Mikhail Yu. Kulakov is senior scientific worker, master of physical and mathematical sciences.

e-mail: mod@aari.ru.

УДК 621.396

**КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ «АЛЯСКА-Ч»
НА КОРАБЛЯХ 1 РАНГА НА ПРИМЕРЕ
КРЕЙСЕРА «АДМИРАЛ НАХИМОВ»**

*А. С. Кемеров
(АО «МНС»)*

В статье описана организация взаимодействия изделий «Аляска-Ч» с системами заказа проекта 11442М. Приведена схема взаимодействия изделий по локальной вычислительной сети через централизованный узел сбора и ретрансляции.

Ключевые слова: навигационный комплекс, изделие «Аляска-Ч», размещение, локальная вычислительная сеть.

The article describes the organization process of «Alyaska-CH» product interaction with 11442M project order systems. The scheme of product interaction by local computing network via centralized gathering and retranslation unit is given.

Key words: navigation complex, «Alyaska-CH» product, location, local computing network.

Акционерным обществом «Морские навигационные системы» (АО «МНС») по заказу открытого акционерного общества «Дельфин» в 2004 г. в рамках опытно-конструкторской работы (ОКР) «Чардаш» разработан модуль электронной навигационной информационной системы, обеспечивающий навигационную безопасность плавания в открытом море, узкости, на акваториях портов и при швартовке с отображением электронной навигационной карты (ЭНК) и радиолокационной информации (РЛИ).

С 2004 г. по настоящее время изделие «Аляска-Ч» поставляется в исполнениях: для применения в составе навигационного комплекса «Чардаш», для автономного применения, для применения в составе интегрированных мостиковых систем (ИМС), для применения в качестве модуля навигационной безопасности в составе корабельных систем. Изделие «Аляска-Ч» поставляется в различных конструктивах: для установки в пульт, на стол и на пол в составе пультовой стойки.

В 2015 г. АО «МНС» выдано техническое задание на доработку конструкторской документации изделия «Аляска-Ч» из состава автоматизированного комплекса навигации и гиростабилизации (АКНГ) «Чардаш» для установки на тяжелом атомном ракетном крейсере «Адмирал Нахимов» проекта 11442М.

В соответствии с техническим заданием требуется установка 10 изделий «Аляска-Ч» в различных исполнениях и в различных комплектациях с сопряжением их с системами заказа. Также целью этой работы является создание общего информационно-функционального пространства для обмена данными.

Размещение изделий «Аляска-Ч» на проекте 11442М:

– изделие «Аляска-Ч» исполнения 3 (№ 1) – во флагманском командном пункте (ФКП);

- изделие «Аляска-Ч» исполнения 6 (№ 2 и 3) – в главном командном пункте боевого информационного центра (ГКП БИЦ);
- изделие «Аляска-Ч» исполнения 6 (№ 4 и 6) – в интегрированной мостиковой системе ИМС-11442М (АРМ Ш) ходового командного пункта (ХКП) и центральном посту (ЦП);
- изделие «Аляска-Ч» исполнения 6 (№ 5) – в ИМС-11442М (АРМ К) ХКП;
- изделие «Аляска-Ч» исполнения 6 (№ 7) – в ИМС-11442М (АРМ ВО) ХКП;
- изделие «Аляска-Ч» исполнения 3 (№ 8) – в штурманской рубке (ШР);
- изделие «Аляска-Ч» исполнения 3 (№ 9) – в ходовом пульте управления (ХПУ);
- изделие «Аляска-Ч» исполнения 3 (№ 10) – в запасном командном пункте (ЗКП).

Для реализации совместного функционирования всех изделий «Аляска-Ч» как между собой, так и с системами заказа необходимо объединение изделий в единую информационную систему с единым узлом обмена данными.

В качестве центрального транспортного узла обмена данными разработано исполнение прибора УС-1, который в свою очередь объединил изделия «Аляска-Ч» в локальную вычислительную сеть (ЛВС) и сопряг изделия «Аляска-Ч» с системами заказа.

Функционирование изделий «Аляска-Ч»

Изделия «Аляска-Ч», установленные в помещениях корабля, объединены в ЛВС типа «звезда» через прибор УС-1.

Каждое изделие «Аляска-Ч» через прибор УС-1 как по основному, так и по резервному каналу сопряжено с изделиями, приведенными в таблице.

Сопрягаемые изделия	Выдаваемые параметры
АКНГ «Чардаш-11442М» УКС «Прилив»	Навигационные параметры Файлы картографической информации
АИС «Транзас Т-104»	Данные о местоположении судна, принятые из эфира и переданные в эфир
КРС «Сигма-11442М»	Данные предварительной прокладки (маршрута) и результаты решения задач контроля прохождения маршрута и безопасности движения по маршруту
МК-54ИС	Данные предварительной прокладки (маршрута)
МР-231	Первичная и вторичная радиолокационная информация
МР-231-3	Первичная и вторичная радиолокационная информация
Изделия «Аляска-Ч» из состава АКНГ «Чардаш-11442М», установленные в ИМС-11442М	Данные предварительной прокладки (маршрута) с возможностью решения задач в полном объеме

Прибор УС-1 выполняет функции сбора навигационных данных с ретрансляцией в ЛВС каждому изделию «Аляска-Ч», обмена данными между изделиями «Аляска-Ч» и выдачи данных от изделия «Аляска-Ч» изделиям заказа.

Каждое из изделий «Аляска-Ч» может быть назначено ведущим, а остальные – ведомыми.

На каждом изделии дублируется навигационный маршрут, созданный на ведущем изделии.

Описание взаимодействия изделий «Аляска-Ч» на заказе

Перед эксплуатацией изделий «Аляска-Ч» на заказе изделия настраиваются так, чтобы только одно изделие было ведущим, а остальные – ведомыми.

Во все изделия «Аляска-Ч» загружаются ЭНК с изделия УКС «Прилив» или локально на внешнем носителе информации.

Оператор (как правило, это штурман) изделия «Аляска-Ч», имеющего признак ведущего, создает маршрут предварительной прокладки на ЭНК. Далее оператор ведущего изделия «Аляска-Ч» выдает созданный маршрут ведомым изделиям «Аляска-Ч», а также сопрягаемым изделиям заказа – КРС «Сигма-11442М» и МК-54ИС.

Прибор УС-1 из состава изделия «Аляска-Ч» принимает навигационные данные от АКНГ «Чардаш-11442М», АИС «Транзас Т-104» и радиолокационную информацию от МР-231, МР-231-3. Полученные данные прибором УС-1 формализуются и транслируются изделиям «Аляска-Ч» по ЛВС на сетевой порт. Изделия «Аляска-Ч» независимо друг от друга «прослушивают» сетевые порты на наличие данных, при наличии данных принимают их и отображают на своих экранах. Транслируемые данные отображаются на экранах изделий «Аляска-Ч» в виде круговой развертки РЛИ, формуляров целей РЛС и целей АИС, наложенных на ЭНК, а также отображаются на экранах в виде информации о координатах корабля, курсе, скорости и глубины под килем, располагаемой на экране справа от ЭНК.

В случае выхода из строя одного или нескольких изделий «Аляска-Ч» ведущим изделием по выбору оператора становится любое из оставшихся работоспособных.

В случае выхода из строя прибора УС-1 основные данные транслируются через резервный прибор УС-1 по резервной ЛВС.

Описанная организация взаимодействия изделий «Аляска-Ч» на заказе позволяет объединить в сеть большое количество изделий в целях повышения надежности и живучести системы. Появляется масштабируемость системы в случаях установки дополнительных рабочих мест, а именно – простота введения в состав нового изделия.

При постройке корабля минимизировано количество проложенных кабельных трасс. Все сопрягаемые системы подводятся к двум точкам сопряжения – приборам основному и резервному УС-1.

Сведения об авторе:

Кемеров Артём Самсонович – руководитель проекта отдела.

E-mail: mns@mnsspb.ru.

About author:

Artyom S. Kemerov is project leader of the sector.

E-mail: mns@mnsspb.ru.

УДК 528.931.2

ФАЙЛЫ ФОРМАТА BAG И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ГИС-ПРОЕКТАХ

Е. В. Колобов, А. В. Костенич

(АО «ГНИНГИ»)

В статье говорится о файлах формата BAG и их применении в геоинформационных системах (ГИС-проектах).

Ключевые слова: ГИС-проект, BAG-файл, батиметрические данные, метаданные, модели гидрографических данных кодирования, декодирования, передача информации.

The article tells of files in BAG format and their application for geoinformation systems (GIS-projects).

Key words: GIS-project, BAG-file, bathymetric data, metadata, hydrographic encoding and decoding data models, information transmission.

В целях внесения необходимых корректур, поправок и дополнений в батиметрические разделы частично пересмотренного представления России в отношении внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане было предложено создать ГИС-проект батиметрических данных на основе BAG-файлов (BAG – Bathymetric Attributed Grid). **Использование файлов формата BAG** отвечает самым современным возможностям предоставления гидрографической (батиметрической) информации и имеет перспективы широкого практического распространения. К сожалению, в России использование BAG-файлов пока не нашло широкого распространения, тем более – создание ГИС-проектов на основе BAG-файлов. Преимущество таких ГИС-проектов заключается в отсутствии необходимости создания пространственных описаний истории получения данных.

Понятие BAG-файлы появилось в 2004 г. в контексте развития концепции «Навигационная поверхность». Их основное предназначение – способствовать развитию и совершенствованию гидрографических съемок и процессов составления морских карт за счет оптимизации выполняемых задач автоматизации картографии (Smith, 2003). Спецификация формата BAG разрабатывалась с использованием стандартов ISO 19115 и 19115-2 и в свою очередь послужила одной из основ при создании стандарта ИЮ S-102, поэтому изучение программных продуктов, создающих и использующих BAG-файлы, надо начинать с изучения международных стандартов и спецификаций, имеющих отношение к файлам формата BAG.

Концептуальное представление содержания каждого из элементов данных BAG показано на рис. 1 (Format Specification Document, 2013).

Файл формата BAG включает следующие обязательные (1–5) и опциональные (6) элементы:

1) Elevation (высота, возвышение) – содержит двухмерный массив батиметрических данных;

2) Uncertainty (неопределенность) – содержит двухмерный массив значений неопределенностей батиметрических данных;

3) Metadata (метаданные) – информация о том, с какой целью, кем, когда, где и как (с помощью каких аппаратных и программных средств) был создан файл;

4) Tracking list (список изменений) – содержит историю изменений батиметрических данных, сделанных гидрографом в «ручном режиме» обработки первичных данных.

Применяется для исправления гидрографом результатов автоматической обработки и сохранения первичных данных, влияющих на безопасность мореплавания (в основном на небольших глубинах), в двухмерных массивах батиметрических данных и неопределенности. В самом элементе Tracking list указываются координаты измененных точек, значения величин до изменения и причины изменения. В качестве примера можно привести сохранение гидрографом в «ручном режиме» глубины мачты затонувшего судна, которая при автоматической фильтрации была отнесена к шумам, помехам. Такие точки носят название «золотых точек» («golden points»);

5) Certification (сертификат) – удостоверяет подлинность и предназначение данных;

6) Nominal elevation (номинальная высота) и Vertical datum (исходный уровень) – примеры необязательных дополнительных элементов.

Данная логическая схема реализована в файле, структура которого показана ниже (рис. 2). Эта структура базируется на известном формате HDF (hierarchical data format – иерархический формат данных) версии 5, который был разработан для хранения большого количества цифровой информации, организованной подобно иерархической файловой системе.

Для представления концептуальной модели гидрографических данных и спецификации географической информации используются универсальный язык моделирования (UML) и схемы UML для их графического представления. Подробно об этом изложено в работе [1].

Разработчики формата BAG расширили формат HDF5, добавив к нему блок сертификации для юридического закрепления ответственности создателя того или иного BAG-файла при использовании батиметрических данных в качестве дополнительного слоя электронных навигационных карт (ЭНК) для обеспечения безопасности мореплавания.

Согласно стандарту ИНО S-102 (ИНО Publication S-102, 2012), файл формата BAG состоит из атрибутированной батиметрической сетки (BAG Data) и блока цифровой подписи и называется Bathymetric Surface Data Product.

В структурной схеме дополнительно присутствует элемент Version Tag. Этот элемент является текстовой строкой, идентифицирующей ту версию формата, которая использовалась при создании файла. Любой BAG-файл начинается с этой текстовой строки.

При использовании цифровых данных из большого количества различных источников возникает необходимость в точном отслеживании происхождения и описании данных (атрибутировании). Одной из

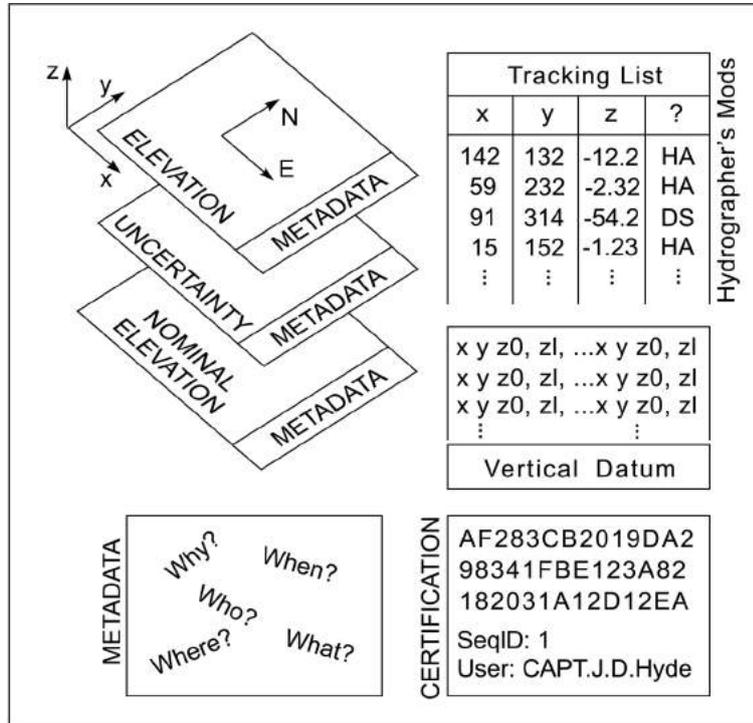


Рис. 1. Элементы файлов формата BAG (Format Specification Document, 2013)

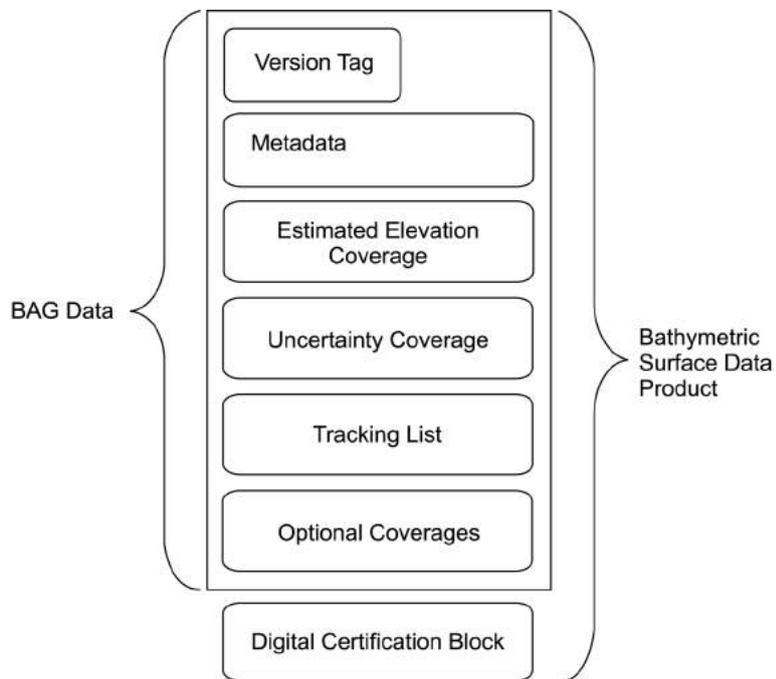


Рис. 2. Структура файла формата BAG

главнейших целей создания формата BAG является обеспечение единообразного кодирования, декодирования и передачи информации о том, с какой целью, кем, когда, где и как был создан BAG-файл.

В качестве базовой структуры для хранения метаданных в BAG-файле используются структуры, описанные в стандартах ISO 19115 и 19115-2. Профиль стандарта метаданных BAG описывает минимально необходимые поля корректного файла BAG. Однако пользователь не ограничен этим профилем и может добавить любой другой компонент из тех, которые описаны в стандартах 19115.

В стандарте ISO 19115 отсутствуют атрибуты, необходимые для описания применявшегося метода получения неопределенности, типов введения поправки за вертикальный разрез скорости звука в воде и связи записей элемента Tracking list с соответствующими им записями элемента Metadata. Поэтому в стандарт метаданных BAG-файла добавлены следующие атрибуты:

- verticalUncertaintyType – тип введения поправки за вертикальный разрез скорости звука;
- depthCorrectionType – метод получения неопределенности;
- trackingId – история изменений батиметрических данных, сделанных гидрографом в «ручном режиме».

Файлы формата BAG могут быть созданы при помощи следующих программных продуктов: CARIS HIPS and SIPS (HIPS and SIPS 7.0, 2011), Нураск, Fledermaus и др. Полученные файлы можно использовать при создании ГИС-проектов с помощью стандартных и дополнительных средств программных продуктов ArcGIS for Desktop Standard (ArcEditor) и ArcGIS for Desktop Advanced (ArcInfo), начиная с версии 10.

Стандартные средства позволяют отобразить в ГИС-проекте данные из элементов BAG-файла Elevation и Uncertainty, но не дают доступа к данным, содержащимся в элементах Metadata и Tracking List. Частично эта проблема решена в дополнительном модуле ArcGIS for Maritime – Bathymetry. Модуль предназначен для работы с постобработанными батиметрическими данными и метаданными. Он управляет гридированными данными средствами специальной базы геоданных, называемой Bathymetric Information System (батиметрическая информационная система), сокращенно – BIS.

Для автоматизации управления большим количеством данных BIS предоставляет такие средства, как фильтры запросов и правила сортировки, основанные на значениях атрибутов метаданных.

Фильтры запросов применяют значения атрибутов метаданных для отбора данных, которые будут задействованы при создании составной модели поверхности.

Правила сортировки применяют значения атрибутов метаданных для определения порядка рендеринга отображенных данных.

Модуль Bathymetry позволяет работать с метаданными трех типов:

- метаданные коллекции данных;
- внешние метаданные – позволяют пользователю создать собственные метаданные для описания наборов данных, имеющих в базе данных;
- внутренние метаданные – метаданные, содержащиеся в элементе Metadata, добавленном в базу данных BAG-файла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зубченко Э. С. Универсальная модель гидрографических данных в стандарте S-100 Международной гидрографической организации // Записки по гидрографии. – 2015. – № 294. – С. 30–59.
2. Format Specification Document. Description of Bathymetric Attributed Grid Object (BAG) / Published by the Open Navigation Surface Working Group (ONSWG), 2013. – Version 1.5.1. – 54 p. – URL: <http://www.opennavsurf.org>.
3. HIPS and SIPS 7.0 Service Pack 2: User Guide. – CARIS-Canada, 2011. – 826 p.
4. IHO Standards for Hydrographic Survey / Published by the International Hydrographic Bureau. – Monaco, 2012. – Edition 1.0.0, IHO Publication S-102. – 466 p. – URL: http://www.iho.int/iho_pubs/standard/S-102_1.0.0.pdf.
5. Smith S. M. The Navigation Surface: A Multipurpose Bathymetric Database: Masters Thesis. – Center for Coastal and Ocean Mapping & Joint Hydrographic Center, University of New Hampshire, 2003. – 86 p. – URL: http://www.opennavsurf.org/papers/smith_thesis_navigation_surface.pdf.

Сведения об авторах:

Колобов Евгений Владиславович – старший научный сотрудник.

Костенич Александр Валерьевич – кандидат технических наук, начальник лаборатории.

About authors:

Yevgeniy V. Kolobov is the senior scientific worker.

Alexandr V. Kostenich is master of technical sciences, laboratory chief.

УДК 550.8

**ПРОВЕДЕНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ АГКПС 300 «КЕДР»
В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ**

*В. И. Каевицер, А. П. Кривцов, И. В. Смольянинов,
А. В. Элбакидзе, Е. Ю. Денисов*

(ФирЭ имени В. А. Котельникова РАН);

*В. О. Мятелков, Ю. В. Юшков, А. В. Степанов
(ЗАО «НПП «Севзапгидропроект»)*

В статье приведены некоторые результаты практического применения малогабаритных многофункциональных гидролокационных комплексов (МГК) АГКПС 300 «Кедр» с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ) зондирующими сигналами, разработанных совместно Фрязинским филиалом Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институтом радиотехники и электроники имени В. А. Котельникова Российской академии наук (ФирЭ имени В. А. Котельникова РАН) и проектно-изыскательской организацией закрытым акционерным

обществом «Научно-производственное предприятие «Севзапгидропроект» (ЗАО «НПП «Севзапгидропроект»). Гидроакустический комплекс АГКПС 300 «Кедр» включает интерферометрический гидролокатор бокового обзора, промерный высокочастотный эхолот и низкочастотный профилограф с единым управляющим контроллером и программой регистрации, обеспечивающими синхронную регистрацию как сигнальных, так и навигационных данных.

Ключевые слова: комплекс, гидролокация, гидролокатор, промерный эхолот, профилограф.

The article gives some results of practical application of small-sized multifunctional sonar complexes (MSC) AGKPS 300 «Kedr» with linear frequency modulation (LFM) by probe signals, these complexes were jointly developed by Fryazino branch of Federal State Budget Enterprise of Science, V. A. Kotel'nikov Institute of Radio Engineering and Electronics of Russian Academy of Sciences (RAS V. A. Kotel'nikov FIRE) and Closed Stock Company «Scientific and Production Enterprise Sevzapgydroproekt» (CSC «SPE Sevzapgydroproekt») of Scientific and Research Organization. Sonar complex AGKPS 300 «Kedr» includes interferometric side scan sonar, survey high frequency echo-sounder and low frequency profiler with single managing controller and register program, which provide synchronous register both of signal and navigation data.

Key words: complex, sonaring, sonar, survey echo-sounder, profiler.

При проведении изыскательских работ в шельфовой зоне под прокладку волоконно-оптического кабеля требуются данные о рельефе дна, структуре донных отложений и объектах, которые могут помешать прокладке и сохранности кабеля связи. Для проведения таких работ ФИРЭ имени В. А. Котельникова РАН совместно с ЗАО «НПП «Севзапгидропроект» были разработаны и испытаны МГК АГКПС 300 «Кедр» с ЛЧМ зондирующими сигналами и цифровой когерентной обработкой эхо-сигналов, обеспечивающие более высокий энергетический потенциал и помехозащищенность систем дистанционного зондирования морского дна [1, 2]. Многофункциональный гидролокационный комплекс с интерферометрическим гидролокатором бокового обзора (ИГБО) диапазона частот 70 кГц разработан для проведения изысканий в шельфовой зоне, в том числе арктических морей на глубинах от 10 до 1000 м. Опыт создания и практического использования гидролокационных систем дистанционного зондирования морского дна – ИГБО, эхолотов, профилографов [3, 4] показал, что возникает проблема электрической и акустической совместимости составных частей комплекса, связанная с длительными зондирующими посылками и их высокой энергетикой. В разработанных МГК, совмещающих в себе интерферометрический гидролокатор бокового обзора, промерный высокочастотный эхолот и низкочастотный профилограф, проблема решается синхронизацией излучения и приема всех приборов единым управляющим контроллером и одной регистрирующей вычислительной машиной.

На рис. 1 приведена блок-схема измерительного комплекса, созданного на базе гидроакустического комплекса АГКПС 300 «Кедр».

В состав измерительного комплекса входят:

1. Гидроакустический комплекс АГКПС 300 «Кедр».

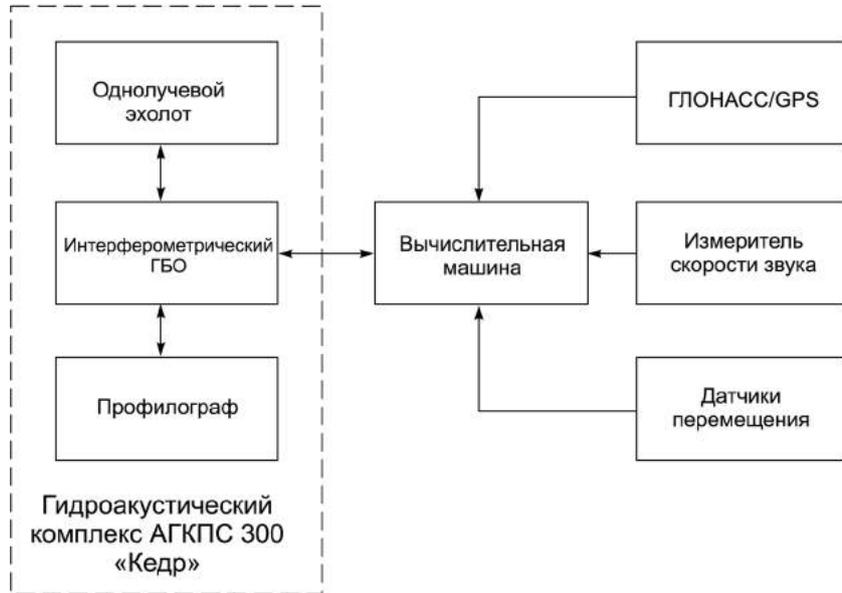


Рис. 1. Блок-схема измерительного комплекса, созданного на базе гидроакустического комплекса АГКПС 300 «Кедр»

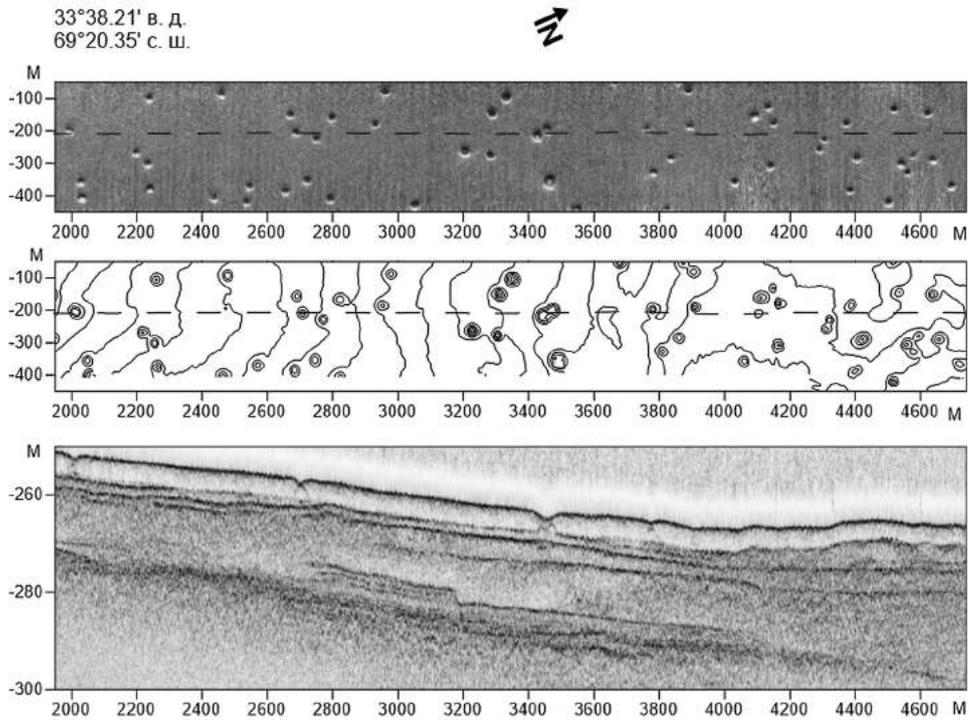


Рис. 2. Результаты камеральной обработки данных, полученных с помощью многофункционального гидроакустического комплекса

2. Вычислительная машина.
3. Спутниковая навигационная система С-Nav2050.
4. Датчик углов крена, дифферента, вертикальных перемещений и курса ОСТANS-IV.
5. Измеритель скорости звука SVP.

**Технические характеристики гидроакустического комплекса АГКПС 300
«Кедр»**

Рабочая частота интерферометрического гидролокатора бокового обзора (ИГБО), кГц	70
Разрешающая способность ИГБО по наклонной дальности, м	0,1
Диапазон рабочих глубин ИГБО, м	5–1000
Зондирующий сигнал	импульсный с ЛЧМ, для всех систем
Диапазон рабочих частот профилографа, кГц	4,5–9
Разрешение профилографа по дальности, м	0,2
Диапазон рабочих глубин профилографа, м	3–1000
Глубина профилирования донных осадков профилографа, м	до 30
Полоса гидролокационной съемки глубины, м	не менее 5
Рабочая частота однолучевого эхолота, кГц	100
Разрешающая способность по дальности однолучевого эхолота, м	0,05
Диапазон рабочих глубин, м	1–1000

На рис. 2 показаны примеры камеральной обработки данных, полученных с помощью МГК в Баренцевом море.

Рис. 2 представляет собой фрагмент участка исследуемого морского дна в относительной системе координат. В верхней части рис. 2 приведено гидролокационное изображение поверхности морского дна, в средней части – рельеф этого участка морского дна, построенный по данным ИГБО с использованием программы вычисления глубин [5], в нижней части приведен профиль донных отложений для участка морского дна, полученный по данным профилирования. На профиле донных отложений по оси ординат отложена глубина. В левом верхнем углу рис. 2 приведены географические координаты левого верхнего угла карт гидролокационного изображения и рельефа морского дна. На картах гидролокационного изображения и рельефа морского дна пунктирной линией нанесена траектория движения судна, которая соответствует проекции на дно линии профилирования.

На участке морского дна, приведенного на рис. 2, преобладает мягкий грунт со слабым коэффициентом отражения и относительно малыми изменениями рельефа.

На рис. 3 приведены результаты обработки данных, полученных для участка морского дна с сильным изменением рельефа и выходом на поверхность твердых грунтов.

Структура рис. 3 аналогична рис. 2.

Полученные результаты исследований показали перспективность применения разработанного комплекса и программного обеспечения для решения широкого круга научных и технологических задач по изучению структуры морского дна в шельфовой зоне морей, в том числе и арктических.

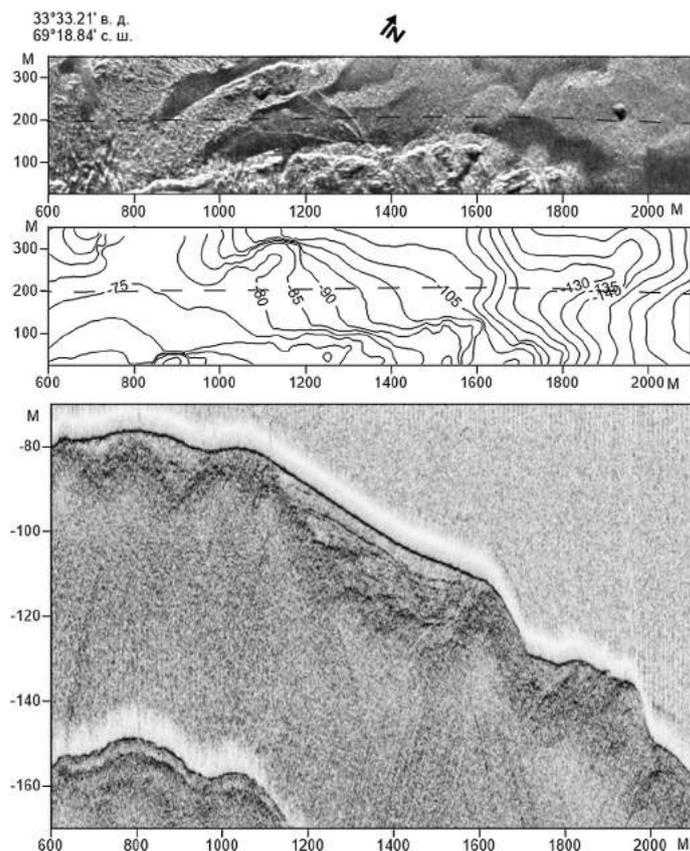


Рис. 3. Результаты обработки данных, полученных с помощью многофункционального комплекса для участка морского дна с сильным изменением рельефа

ЛИТЕРАТУРА

1. Каевицер В. И., Разманов В. М. Дистанционное зондирование морского дна гидролокационными системами со сложными сигналами // Успехи физических наук. – 2009. – Т. 179, № 2. – С. 218–224.
2. Каевицер В. И., Разманов В. М., Кривцов А. П., Смольянинов И. В., Долотов С. А. Дистанционное зондирование морского дна акустическими сигналами с линейной частотной модуляцией // Радиотехника. – 2008. – № 8. – С. 35–42.
3. Долотов С. А., Каевицер В. И., Кривцов А. П., Разманов В. М., Смольянинов И. В. Применение интерферометрического ГБО с ЛЧМ зондирующим сигналом для исследования морского дна // Известия ТРТУ. – 2004. – № 5. – С. 268–273.
4. Каевицер В. И., Разманов В. М., Элбакидзе А. В., Смольянинов И. В. Некоторые результаты исследования характеристик акустических сигналов низкочастотного ЛЧМ профилографа // Известия ЮФУ. – 2009. – № 6. – С. 115–123.
5. Кривцов А. П. Программа вычисления глубин и построения рельефа дна для интерферометрического гидролокатора бокового обзора: свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2015610922.

Сведения об авторах:

Каевицер Владилен Иосифович – главный научный сотрудник ФИРЭ имени В. А. Котельникова РАН, доктор технических наук.

Тел.: +7 (496) 565-2616; e-mail: kvi43@mail.ru.

Мятелков Вадим Олегович – начальник отдела ЗАО «НПП «Севзапгидропроект», кандидат технических наук.

Тел.: +7 (812) 740-4955; e-mail: szgp@szgp.ru.

Юшков Юрий Владимирович – технический директор ЗАО «НПП «Севзапгидропроект».

Тел.: +7 (812) 740-4955; e-mail: szgp@szgp.ru.

Кривцов Александр Павлович – старший научный сотрудник ФИРЭ имени В. А. Котельникова РАН, кандидат физико-математических наук.

Тел.: +7 (496) 565-2451; e-mail: mybox17@yandex.ru.

Смолянинов Илья Вячеславович – научный сотрудник ФИРЭ имени В. А. Котельникова РАН.

Тел.: +7 (496) 565-2451; e-mail: ilia159@mail.ru.

Степанов Антон Владимирович – начальник отдела ЗАО «НПП «Севзапгидропроект».

Тел.: +7 (812) 740-4955; e-mail: szgp@szgp.ru.

Элбакидзе Андрей Владимирович – старший научный сотрудник ФИРЭ имени В. А. Котельникова РАН.

Тел.: +7 (496) 565-2447; e-mail: elbakidze@mail.ru.

Денисов Егор Юрьевич – ведущий инженер ФИРЭ имени В. А. Котельникова РАН.

Тел.: +7 (496) 565-2447; e-mail: egor-denisov@mail.ru.

About authors:

Vladilen I. Kayevitser is main scientific worker of RAS V. A. Kotel'nikov FIRE, Doctor of technical sciences.

Tel.: +7 (496) 565-2616; e-mail: kvi43@mail.ru.

Vadim O. Myatelkov is sector chief of CSC «SPE Sevzapgydroproekt», master of technical sciences.

Tel.: +7 (812) 740-4955; e-mail: szgp@szgp.ru.

Yuriy V. Yushkov is technical director of CSC «SPE Sevzapgydroproekt».

Tel.: +7 (812) 740-4955; e-mail: szgp@szgp.ru.

Aleksandr P. Krivtsov is senior scientific worker of RAS V. A. Kotel'nikov FIRE, master of physico-mathematical sciences.

Tel.: +7 (496) 565-2451; e-mail: mybox17@yandex.ru.

Il'ya V. Smol'yaninov is scientific worker of RAS V. A. Kotel'nikov FIRE.

Tel.: +7 (496) 565-2451; e-mail: ilial59@mail.ru.

Anton V. Stepanov is sector chief of CSC «SPE Sevzapgydroproekt».

Tel.: +7 (812) 740-4955; e-mail: szgp@szgp.ru.

Andrey V. Elbakidze is senior scientific worker of RAS V. A. Kotel'nikov FIRE.

Tel.: +7 (496) 565-2447; e-mail: elbakidze@mail.ru.

Egor Yu. Denisov is leading engineer of RAS V. A. Kotel'nikov FIRE.
Tel.: +7 (496) 565-2447; e-mail: egor-denisov@mail.ru.

УДК 623.98

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ В ИНТЕРЕСАХ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА

*Б. В. Куликов
(Центр ПП ВМФ)*

В статье рассматриваются перспективы использования АНПА и их технические характеристики.

Ключевые слова: подводные аппараты, характеристики, поиск, обнаружение донных объектов.

The article considers prospects of ANPA use and their technical characteristics.

Key words: underwater vehicles, characteristics, search, bottom objects detection.

Назначение автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА)

Автономный необитаемый подводный аппарат «Юнона» разработан и создан в акционерном обществе «Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин» (АО «ЦКБ МТ «Рубин»). В данный момент АНПА находится на завершающем этапе предварительных испытаний.

Комплекс АНПА «Юнона» (мод. 1) предназначен:

а) для выполнения подводных поисковых и осмотровых работ двойного назначения, в части:

– поиска донных объектов, в том числе опасных или потенциально опасных, включая заиленные и занесенные слоем грунта;

– решения поисковых задач при обеспечении спасательных операций;

– картографирования, исследования топографии, определения рельефа дна, в том числе в условиях мелководья;

б) для исследования и мониторинга акваторий (при наличии соответствующего оборудования в составе АНПА), в части измерения температуры, солёности, скорости звука, определения расположения температурных границ, фронтов солёности, построения гидрологических разрезов;

в) для применения с надводного носителя (НН), в том числе маломерных судов и плавсредств (катеров, шлюпок, надувных лодок), а также с пирсов и необорудованного берега;

г) для экспериментальной отработки и испытаний разрабатываемых после создания АНПА (мод. 1) подсистем (оборудования) в целях оснащения малых АНПА другого назначения;

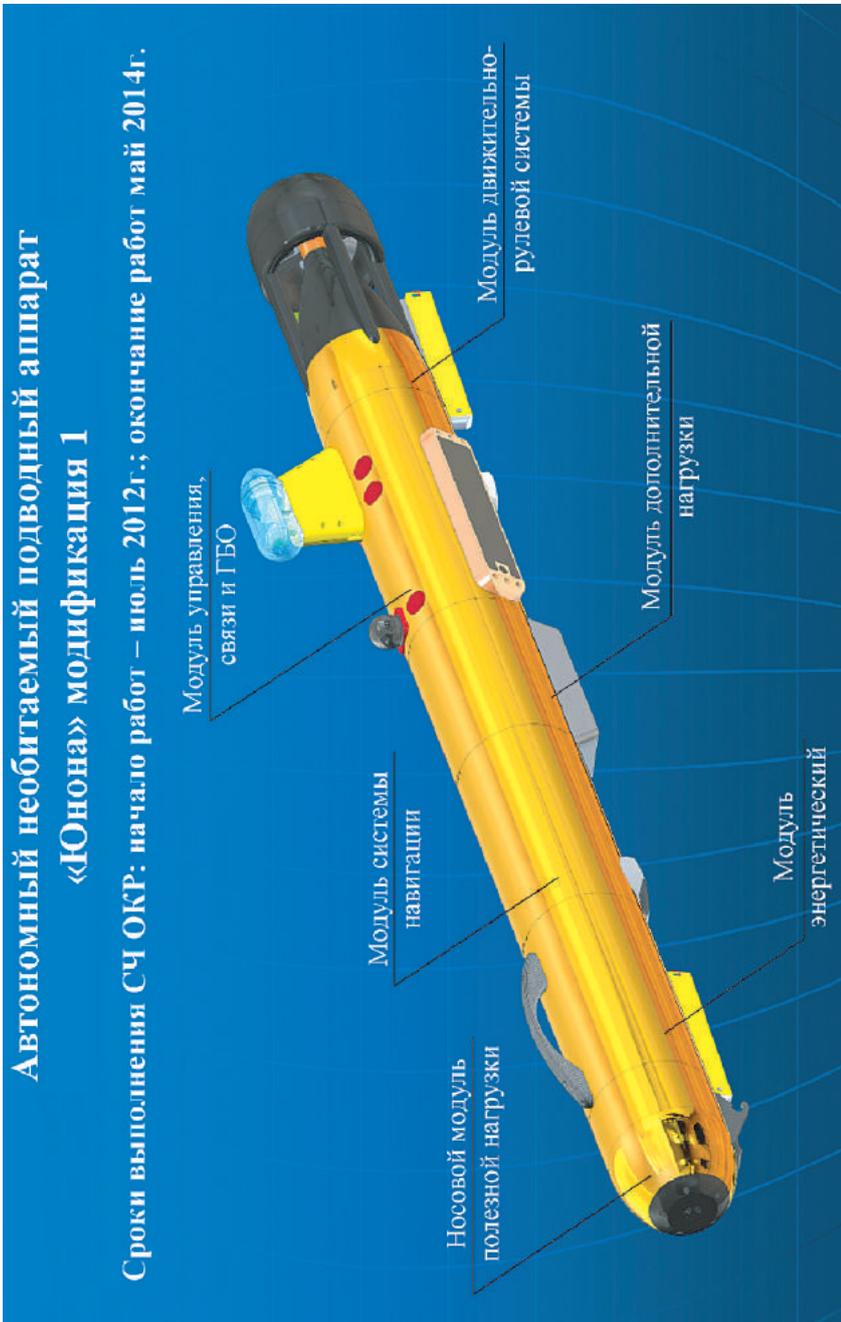


Рис. 1

д) для использования АНПА «Юнона» (мод. 1) в качестве базовой модели для создания малых автономных и телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов, используемых с различных НН в целях выполнения подводных поисковых и осмотровых работ двойного назначения;

е) в качестве отечественного аналога комплексам АНПА иностранного производства и для приобретения опыта создания малогабаритных (переносных) комплексов АНПА;

ж) для осуществления импортозамещения и внедрения перспективных разработок при решении задач ВМФ.

Примечания:

1. Под поиском объекта понимается обследование определенного района (подводной среды и донной поверхности), производимое в целях обнаружения (или подтверждения отсутствия) объекта, о котором известно или имеется предположение, что он находится в данном районе.

2. Под обнаружением объекта понимается процесс принятия решения о наличии объекта или его отсутствии путем анализа полученной (имеющейся) информации о подводной обстановке (т. е. выявление таких объектов или соответствующих им сигналов, которые по одному или нескольким признакам могут принадлежать к интересующему типу объекта). Обнаружение производится либо визуально, либо с помощью различных технических средств.

3. Под картографированием понимается процесс нанесения на электронную карту рубежей планирования миссий и координат обнаруженных объектов (текущей и предыдущих миссий) в данном районе.

Задачи, решаемые АНПА

При выполнении своего назначения комплекс АНПА «Юнона» (мод. 1) должен обеспечивать:

– подготовку АНПА к выполнению поисковой миссии, ввод в систему управления АНПА маршрутного задания и параметров выполнения миссии (циклограммы работы бортового оборудования) по радиоканалу при нахождении АНПА на НН или берегу;

– возможность контроля положения и состояния систем АНПА, а также передачу команд управления на борт АНПА по гидроакустическому каналу связи в подводном положении;

– возможность задания параметров миссии АНПА, контроля положения и состояния систем АНПА, передачу команд управления на борт АНПА, снятие данных фото-, видео- и гидролокационной регистрации по радиоканалу при нахождении АНПА в надводном положении;

– возможность обработки контрольно-телеметрической информации и данных фото-, видео- и гидролокационной регистрации с привязкой ее к району выполнения маршрутного задания;

– возможность поиска АНПА по передаваемым с его борта данным о местоположении по радиоканалу дальнего радиуса действия в надводном положении;

– определение местоположения АНПА при его всплытии собственными средствами с помощью приемников ГЛОНАСС и GPS.

При этом АНПА из состава комплекса «Юнона» (мод. 1) должен обеспечивать:

– возможность автоматического следования по заданному маршруту;

– осуществление цифровой черно-белой видеосъемки, цветной фотосъемки и гидролокационной съемки поверхности дна и объектов при

выполнении маршрутного задания и в соответствии с заданной циклограммой работы бортовых средств регистрации;

– возможность автоматического обнаружения и обхода препятствий при выполнении миссии;

– возможность автоматической самодиагностики своего состояния при выполнении маршрутного задания и принятия решения о прекращении его выполнения и всплывти при возникновении аварийных ситуаций. Перечень выявляемых аварийных ситуаций определяется в ходе проектирования;

– возможность автоматического выхода на связь с пунктом управления АНПА после завершения (прекращения) выполнения маршрутного задания и всплывти АНПА с указанием местоположения аппарата.

Примечание. Задачи уточняются по результатам эскизного и технического проектирования исходя из достигнутых технических характеристик.

Состав комплекса:

– автономный необитаемый подводный аппарат;

– комплект берегового оборудования.

Состав АНПА:

– модуль гидроакустической станции (ГАС) навигационной безопасности;

– модуль энергетический;

– модуль навигации – бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС), скорость дрейфа позиции не более 25 м/ч;

– модуль дополнительной нагрузки (модуль профилографа);

– модуль управления связи и гидролокатор бокового обзора (ГБО);

– кормовой модуль движительно-рулевой системы.

Состав комплекта берегового оборудования:

– пульт управления;

– прибор 16 (коммутация);

– прибор 1 (подводная связь);

– антенны Wi-Fi, радиосвязи, GPS.

Технические характеристики АНПА «Юнона» (мод. 1):

– предельная глубина погружения АНПА – не менее 1000,0 м;

– маршрутная скорость подводного хода АНПА – от 1 до 1,5 м/с;

– дальность хода на маршрутной скорости АНПА – не менее 30,0 км;

– продолжительность движения АНПА – не менее 6,0 ч;

– диаметр корпуса АНПА – не более 200,0 мм;

– масса опытного образца АНПА (на воздухе в сухом состоянии) без балластных пластин и грузов – не более 85,5 кг;

– дальность обнаружения объектов $R_3 = 0,2$ м, находящихся в толще воды, средствами ГБО в активном режиме – от 5 до 100 м;

– ширина полосы съемки дна с ГБО (при отстоянии АНПА от дна не более 100 м): на центральной частоте режима низкой частоты – не менее 400 м, на центральной частоте режима высокой частоты – не менее 200 м;

– профилограф должен обеспечить поиск и обнаружение объектов $R_3 = 0,2$ м, заиленных (зарытых) на глубину не менее 5 м (песчаный грунт) и не менее 10 м (илистый грунт) при отстоянии АНПА от дна от 5 до 100 м в полосе шириной, ограниченной сектором обзора $\pm 15^\circ$ в каждую сторону от оси АНПА;

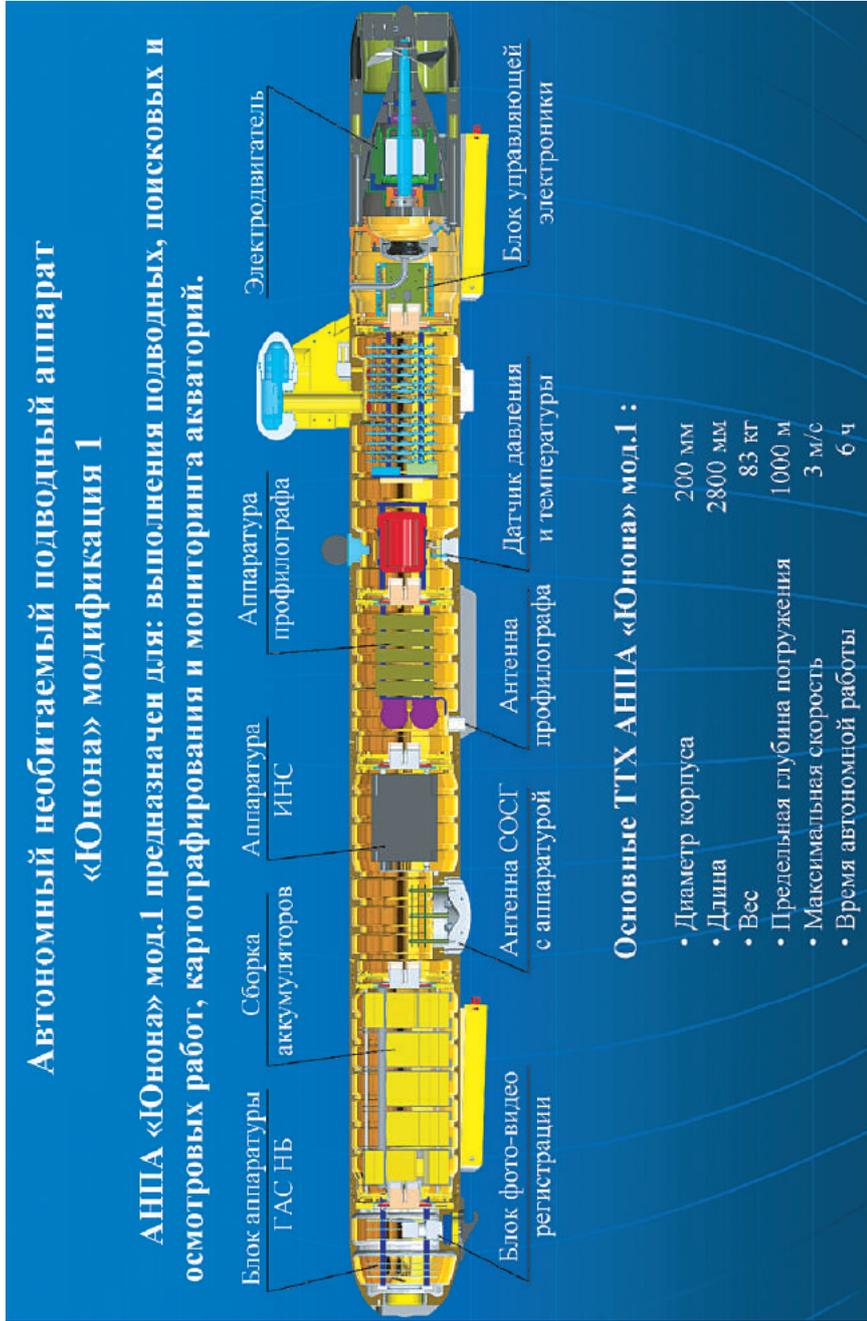


Рис. 2

- дальность обнаружения ТВ-средствами объектов в толще воды по курсу АНПА в диапазоне глубин от поверхности моря до предельной (рабочей) глубины погружения АНПА – 0,7 Z_б (Z белая);
- максимальная дальность системы гидроакустической навигации и связи АНПА – не менее 1,0 км.

Сравнительные характеристики АНПА

Характеристика	АНПА «Юнона» (мод. 1)	АНПА «Gavia»
1	2	3
Диаметр корпуса, мм	200	200
Длина корпуса, мм	2800	2700
Масса (без грузов), кг	85,5	79
Предельная глубина погружения, м	1000	1000
Энергозапас МЭ, кВт · ч	1,2	1,2
Продолжительность движения АНПА на маршрутной скорости, ч	6,0	6,0
Максимальная скорость подводного хода, м/с	3,0	2,7
Гидроакустическая система уклонения от препятствий	Есть	Есть
Цифровая фотокамера	Есть	Есть
Фотовспышка	Есть	Есть
Инерциальная навигационная система	Есть	Есть
Система определения скорости	Есть	Есть
Система определения глубины	Есть	Есть
Система определения скорости звука	Есть	Есть
Система определения температуры	Есть	Есть (опция)
Модем радиосвязи	Есть	Нет
Модем спутниковой связи	Нет	Есть
Модем гидроакустический	Есть	Есть (опция)
Модем Wi-Fi	Есть	Есть
Аппаратура GPS	Есть	Есть
Гидролокатор бокового обзора	Есть	Есть
Профилограф	Есть	Нет
Средства световой сигнализации, в том числе аварийной	Есть	Есть

Модульность построения (вместо дополнительной нагрузки устанавливается другой модуль, при этом, вероятно, можно изменить модуль навигации и в совокупности с модулем дополнительной нагрузки поставить другую информационную навигационную систему).

Точность определения места аппарата составляет 25 м/ч (при продолжительности движения АНПА 6 ч точность составит 150 м), что недостаточно для выполнения задач Гидрографической службы (ГС) ВМФ. В случае же заинтересованности ГС ВМФ в АНПА можно рассмотреть вопрос о замене в модуле навигации навигационного комплекса с другими точностными характеристиками и, соответственно, с другим

программным обеспечением. При этом необходимо учитывать жесткое ограничение по размерам АНПА.

Сведения об авторе:

Куликов Борис Валентинович – старший научный сотрудник Центра перспективных программ ВМФ.

About author:

Boris V. Kulikov is senior scientific worker of Navy Perspective Program Centre.

УДК 551.4.06

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНЫХ СКАНИРУЮЩИХ СИСТЕМ

В. Г. Шуляковский

(ООО «АртГео»)

В статье рассматриваются вопросы, примеры, сущность и тенденции лазерного сканирования.

Ключевые слова: лазерное сканирование, съемка, инструменты, батиметрические комплексы, цифровая модель поверхности.

The article considers the items, examples, essence and trends of laser scanning.

Key words: laser scanning, survey, tools, bathymetric complexes, digital surface model.

Лазерное сканирование. Примеры данных и сущность метода

1. Лазерное сканирование и автономные беспилотные авиационные системы (БАС) – ключевые особенности.

2. Батиметрический комплекс лазерного сканирования авиационного базирования – действенный инструмент получения данных.

Лазерное сканирование как метод дистанционного получения большого набора измерительных данных успешно используется с 80-х гг. прошлого века. Сначала данная технология применялась только в аэро-съемочных целях для топографических работ как технология, сопутствующая классической аэрофотосъемке с пилотируемых носителей.

Сущность метода заключается в дальномерных измерениях, выполняемых лазерным сканером, и в расчете времени прохождения импульса лазера от момента его излучения до момента фиксации сигнала, отраженного от поверхности лазерным приемником сканера. Процесс дальномерных измерений многократно повторяется, при этом исходящий луч лазера направляется на зеркало, которое находится на вращающемся шаговом электродвигателе, распределяющем механическим способом лазерные импульсы в заданном направлении. Угол поворота зеркала

учитывается и применяется к соответствующему дальномерному измерению. Далее математическим способом из полярных координат (направления и дальности) выполненные измерения пересчитываются в декартовы (X, Y, Z). Таким образом, каждая точка лазерных отражений (ТЛО) от поверхности имеет свои четкие координаты в пространстве. Однако для получения приемлемого результата, который удовлетворял бы требованиям картографической продукции, необходимо получать также позицию и ориентацию в пространстве точки отсчета (той точки, от которой производятся вычисления точек лазерных отражений в полярной системе координат). Важно синхронизировать все получаемые данные (позиция и ориентация в пространстве) с моментом времени выполнения конкретного измерения лазерным сканером. С развитием систем глобального спутникового позиционирования все эти задачи стали достаточно просто решаться. Точное определение координат является прямой функцией таких систем. Синхронизация же по времени выполняется благодаря меткам времени высокоточных атомных часов, установленных на спутниках этих же навигационных систем. Эти метки содержатся (по умолчанию) в сигналах навигационных спутников. Таким образом, только совмещение всех трех наборов данных (дальномерное измерение лазером, высокоточное позиционирование, высокоточное определение углов ориентирования в пространстве), синхронизированных как можно точнее по времени, может предоставить в итоге тот самый трехмерный материал, который сейчас принято называть цифровой моделью поверхности (ЦМП) или цифровой моделью рельефа (ЦМР).

Дальнейшее развитие технология лазерного сканирования получила уже в наземных методах. Наземным лазерным сканерам пришлось пройти длинный эволюционный путь технологического развития и уменьшиться до таких размеров, когда инструмент уже можно было установить на геодезический штатив.

В последнее время большое развитие получила кинематическая наземная съемка, которая чаще всего называется мобильным лазерным сканированием (реже – мобильным картографированием). Мобильное лазерное сканирование имеет чрезвычайно высокую производительность и наиболее эффективно на линейных объектах, таких как автомобильные и железные дороги. Однако и на площадных объектах данный вид съемки также позволяет достичь высокой производительности наряду с сохранением высокого качества получаемых измерительных данных.

Системы мобильного лазерного сканирования могут быть установлены на различные подвижные средства: автомобиль, железнодорожную платформу или катер.

При совмещении мобильного лазерного сканирования и данных многолучевого эхолота можно получить набор данных, отражающий как надводную инфраструктуру, например морского или речного порта и других инженерных сооружений (облако точек лазерного сканирования), так и подводную часть (измерительные данные многолучевого эхолота). Такие работы уже выполняются в мире и не являются чем-то уникальным с точки зрения получения результата измерений.

Автономные беспилотные авиационные системы (БАС или БПЛА) стали в последние несколько лет еще одним из типов носителей



Рис. 1



Рис. 2

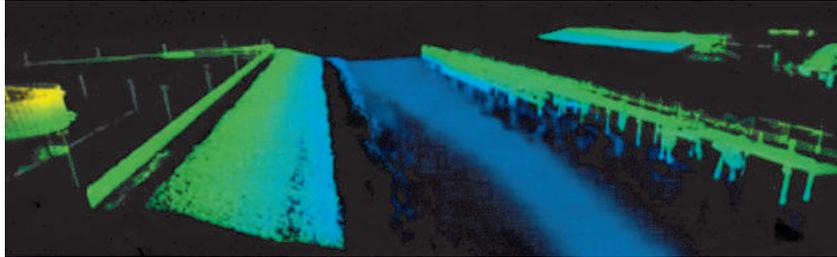


Рис. 3

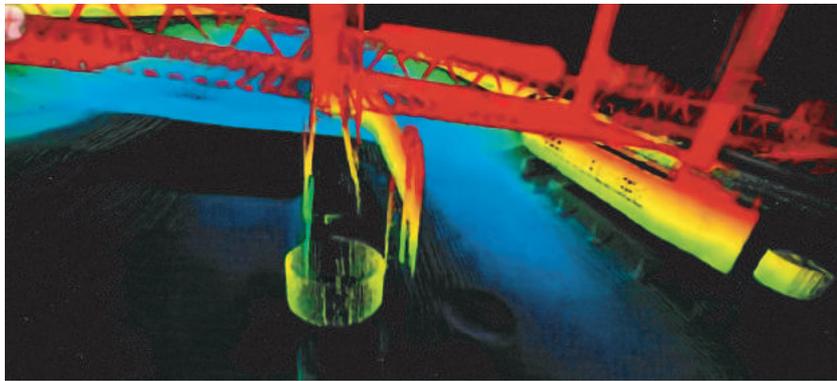


Рис. 4



Рис. 5

лазерных сканеров. Ключевым фактором возможности установки сканирующих систем на БАС стали уменьшение размеров сканеров до компактного и существенное снижение их веса.

Автономные беспилотные авиационные системы с фотокамерами на борту в качестве полезной нагрузки стали повсеместно использоваться последние несколько лет для получения данных при создании ортофотопланов.

Основные факторы, повлиявшие на широкое распространение данного типа съемки:

1) появление компактных цифровых фотокамер высокого разрешения с электронным затвором и их доступность по цене;

2) открытость рынка БАС (его незарегулированность), благодаря чему появилось множество различных компоновок БАС, и, как следствие, – высокая конкуренция между производителями данных систем. В результате мы имеем большой выбор БАС по разумной цене (особенно на электротяге);

3) появление программного обеспечения для полностью автоматического (без участия человека) расчета фотомозаики и создания по ней цифровой трехмерной поверхности, а также псевдооблака точек (подобие лазерного сканирования).

Последние тенденции рынка таковы, что все больше пользователей хотят получить решение с БАС (БПЛА) в качестве носителя, но уже с лазерным сканером на борту в качестве инструмента для выполнения измерений. Основным сдерживающим фактором в распространении данного решения является пока еще высокая стоимость оборудования для лазерного сканирования, а также совмещенных с ним систем инерциальной навигации и позиционирования. Суммарный вес всех компонентов (больше, чем вес малых фотокамер) вынуждает пользователя применять более крупные, а соответственно, и более дорогие БАС, чем при установке только одной цифровой камеры в качестве полезной нагрузки. Таким образом, общая стоимость решения БАС с лазерным сканером (LIDAR) может существенно отличаться от аналогичной по классу БАС, несущей только аэрофотосъемочное оборудование, что естественно. Сравнить данные, которые пользователь может получить при использовании в решении именно лазерного сканера, можно с классическим воздушным лазерным сканированием и проводимой параллельно с ним аэрофотосъемке.

Системы лазерного сканирования устанавливаются на БАС вместе с компактными камерами (аналогичными тем, что установлены на фотограмметрические БПЛА/БАС) для получения не только ТЛО, но и фотографий. Таким образом данные сканирования совмещаются с фотоснимками высокого разрешения, а итоговое облако точек может быть расцветчено в натуральные цвета для дешифрирования данных. Таким решениям нет альтернативы на малых объектах, где использование пилотируемой авиации с установленным аэросъемочным комплексом на борту экономически не оправдано и не имеет практического смысла.

Пилотируемые решения целесообразно использовать на больших объектах, где протяженность маршрута носителя измерительного комплекса (самолет, вертолет, автожир) составляет сотни километров. Для таких

аэросъемочных комплексов новым решением является появление батиметрических комплексов лазерного сканирования.

Батиметрические воздушные лазерные сканеры позволяют выполнять измерения как береговой части в целях топографии, так и подводной части с получением точек лазерных отражений от дна и от водной поверхности. Ограничения по глубине выполнения измерений батиметрическим лазерным сканером связаны в основном с прозрачностью воды (до 1,5 по диску Секки) и рассеиванием лазерного излучения в ее толще. Максимальная глубина выполнения измерений при идеальных условиях может составлять до 50 м. Однако такой феноменальный результат обычно ограничен естественными условиями распространения лазерного излучения, которое подвержено оптическим законам.

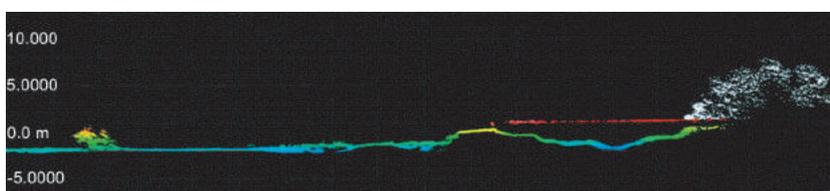


Рис. 6

Если говорить о местах применения батиметрических систем воздушного лазерного сканирования в гидрографии, то это, безусловно, съемка береговой линии и прибрежный промер, являющийся очень трудоемким и затратным по времени и привлекаемым силам и средствам. Принимая во внимание, что данные системы параллельно со съемкой подводной части выполняют и съемку побережья, то это естественным образом избавляет гидрографическую службу от применения затратных наземных методов инструментальной топографической съемки.

В дополнение лазерные сканеры данного типа дают сплошное покрытие данными береговой части (до уреза воды) и подводной части объекта (ниже уреза воды). Важным позитивным аспектом таких работ является то, что съемка выполняется в сжатые сроки со скоростью производства, равной скорости полета носителя оборудования, на котором установлен лазерный сканер. Следовательно, измерения, выполненные с одного пролета, будут выполнены при одинаковой уровенной поверхности, что не потребует дополнительной корректировки данных за разные даты проведения измерений. Созданная трехмерная модель рельефа может служить для выполнения вычислений, расчета параметров глубин и их изменений в различной гидрометеорологической обстановке, при разных стоннонагонных и приливо-отливных явлениях.

Сведения об авторе:

Шуляковский Всеволод Геннадьевич – директор департамента лазерного сканирования ООО «АртГео».

e-mail: v.shulyakovskiy@art-geo.ru.

Тел.: +7 (926) 214-3813.

About author:

Vsevolod G. Shulyakovskiy is Director of Laser Scanning
Department OSC «ArtGeo».
e-mail: v.shulyakovskiy@art-geo.ru.
Tel.: +7 (926) 214-3813.

РЕШЕНИЕ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОГРАФИИ XXI ВЕКА»

г. Санкт-Петербург

24–26 мая 2017 г.

Конференция организована и проведена Управлением навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации.

В работе конференции приняли участие 96 человек из 34 научно-исследовательских, проектных, образовательных, производственных и общественных организаций: Арктическая академия наук, 24 Научно-исследовательский институт МО РФ, Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, Военный учебно-научный центр ВМФ «Военно-морская академия имени Н. Г. Кузнецова», Центр перспективных программ ВМФ, Федеральное государственное бюджетное учреждение (ФГБУ) «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт», ООО «Гидрографическое общество», ООО «Фертоинг», ЗАО «Аквamarin», АО «Ижевский радиозавод», АО «Концерн Океанприбор», АО «Концерн «Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор», АО «Кронштадт Технологии», АО «Морские навигационные системы», АО «Научно-исследовательский институт приборостроения имени В. В. Тихомирова», АО «Российский институт радионавигации и времени», АО «Российские космические системы», АО «Транзас», Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (РАН), ООО «АртГео», ООО «Морская геодезия», Санкт-Петербургский Горный университет, ФГБУ науки Институт радиотехники и электроники имени В. А. Котельникова РАН, Федеральное государственное унитарное предприятие «Гидрографическое предприятие», ПАО «Пермская научно-производственная приборостроительная компания», АО «Конструкторское бюро навигационных систем», ОАО «Научно-производственное предприятие «Радиосвязь», филиал ОАО «Объединенная ракетно-космическая корпорация «Научно-исследовательский институт космического приборостроения», АО «Научно-техническое предприятие «Нави-Далс», АО «Научно-исследовательский институт точных приборов», Федеральное казенное учреждение «280 Центральное картографическое производство ВМФ», 460 Центр дальней радионавигации ВМФ.

В составе участников 12 докторов наук, 25 кандидатов наук. Заслушано 37 секционных докладов.

На конференции рассматривались вопросы внедрения современных методов, технологий, технических средств и программно-аппаратных комплексов в интересах исследования Мирового океана, обеспечения безопасности мореплавания.

На секции **«Использование робототехнических средств и систем, программно-аппаратных комплексов и экспериментальных разработок в интересах решения задач Гидрографической службы ВМФ»** заслушано 11 докладов, которые были посвящены вопросам современного состояния и перспектив развития технических средств гидрографических и морских геофизических исследований, использования геоинформационных систем в интересах картографирования Мирового океана, автоматизации процессов съемки и обработки информации о физических полях Мирового океана, применения беспилотных летательных аппаратов в целях картографирования прибрежных акваторий, автоматизации и использования аппаратно-программных комплексов в интересах моделирования гидрологических и гидрометеорологических процессов.

Секция отметила большие перспективы использования беспилотной техники в качестве платформы для картографирования береговой полосы, съемки рельефа дна, определения гидрофизических свойств морской среды. При этом отмечается более высокая экономическая эффективность и производительность. Эффективность и безопасность эксплуатации морского транспорта, а также работ, выполняемых в шельфовой зоне окраинных морей, в значительной степени зависят от полноты и качества оперативной гидрометеорологической информации, используемой при планировании и проведении морских операций. Использование программно-аппаратных комплексов обработки данных и моделирования состояния среды позволяет с большей эффективностью использовать корабли и суда флота, обеспечивать их безопасное плавание, в том числе в сложных ледовых условиях. Несмотря на недостаточные темпы разработки отечественных автономных комплексов производства измерений, отмечается повышение компактности, мобильности и автономности беспилотных средств измерений.

На секции **«Геоинформационное пространство: технологии, продукты, возможности»** заслушано 10 докладов, которые были посвящены вопросам состояния и перспектив развития картографического производства ВМФ, современного состояния и перспективам развития оперативной океанологии в целях обеспечения ВМФ, использования беспилотных летательных аппаратов в интересах картографирования побережья, перспектив использования необитаемых подводных аппаратов в интересах Гидрографической службы ВМФ.

Секция отмечает, что создание и поддержание на уровне современности единого банка цифровой картографической информации и пространственных данных (океанографической, геофизической, гидрографической, навигационно-описательной и оперативной навигационной информации) и автоматизированной системы обеспечения ВМФ цифровой картографической информацией является основой формирования геоинформационного пространства Мирового океана. Интегрирование разнородной геопрограммной информации (ГПИ) является общемировой тенденцией и направлено на создание и использование:

- бесшовных сплошных покрытий ортофотоизображений, моделей поверхности рельефа, векторных моделей пространственных объектов;
- единого поля идентификации пространственных объектов, организованных в виде глобальных каталогов;
- сервис-ориентированных технологий доступа к ресурсам интегрированной ГПИ.

Обозначены общие для Российской Федерации проблемные вопросы геоинформационного обеспечения, среди которых:

- имеющаяся ГПИ не в полной мере соответствует требованиям по точности, по ряду регионов отсутствует информация о параметрах перехода от одной системы координат к другой;
- межведомственная несогласованность картографических материалов и районов выполнения работ, отсутствие единых стандартов представления геопространственных данных;
- отечественная картографическая и геопространственная информация требует более оперативного обновления.

Рассмотрены основные направления внедрения стандартов Международной гидрографической организации серии S-100.

В очередной раз подтверждена необходимость завершения опытно-конструкторской работы (ОКР) «Модернизация», планирования ряда научно-исследовательских работ (НИР) и ОКР в ее развитие.

На секции **«Навигация – современное состояние, проблемы и перспективы развития»** заслушано 13 докладов по вопросам современного состояния и основных направлений развития зрительных, радиотехнических, спутниковых и гидроакустических средств навигационного оборудования, подходов к реализации в Российской Федерации технологии e-Навигация.

Секция отметила, что наиболее полно перспективным требованиям потребителей к координатно-временному навигационному обеспечению (КВНО) отвечают радионавигационные системы (РНС) космического и наземного базирования. В качестве основы КВНО задач в сфере обороны и экономики в Российской Федерации признана глобальная навигационная спутниковая система (ГНСС) ГЛОНАСС. Ряд задач КВНО, в силу заложенных в ГНСС принципов построения, система ГЛОНАСС самостоятельно, без наземной поддержки, обеспечить не в состоянии. Растущая зависимость от спутниковой навигации и синхронизации ключевых элементов инфраструктуры современного общества, таких как энергосистемы, телекоммуникации, транспорт и финансовые системы, делает данную инфраструктуру уязвимой по отношению к внезапным перерывам в работе ГНСС. При этом эксплуатируемые в настоящее время наземные радионавигационные системы, в силу имеющихся недостатков, не в состоянии в полной мере парировать вышеизложенные риски. Важными являются вопросы совершенствования нормативно-технической документации по вопросам эксплуатации средств навигационного оборудования. Отмечено существенное уменьшение массогабаритных характеристик и энергопотребления морских средств навигации и океанографии (МСНиО), в результате применения новой элементной базы, что существенно упростило возможность размещения приборов на корабле.

Произошел переход на цифровые средства навигации, за счет чего упростилось взаимодействие с корабельными потребителями с применением цифровых интерфейсов обмена информацией.

Надводные корабли стали оснащаться инерциальными навигационными системами, которые заменили собой системы стабилизации и гироскоуроказатели.

Существенно повысились точностные характеристики, сократилось время готовности МСНиО.

Интерфейсы управления морскими средствами навигации (МСН) приобрели интуитивно понятный вид для оператора.

Ключевыми проблемами дальнейшего развития спутниковой навигационной системы (СНС) ГЛОНАСС являются:

– невозможность предоставления ключевых услуг навигации при отсутствии каналов связи;

– уязвимость и низкая помехозащищенность сигналов СНС ГЛОНАСС.

Вариантом направления решения проблем развития КВНО может стать создание Российской навигационно-информационной спутниковой системы (РНИСС), способной комбинировать действующие космические аппараты (КА) связи на ГСО и ВЭО для предоставления навигации потребителям и не являющейся функциональным дополнением к системе ГЛОНАСС.

Конференция рекомендует:

– активно внедрять в практику элементы системы e-Навигация;

– шире использовать геоинформационные системы для формирования геоинформационного пространства Мирового океана, организовать подготовку квалифицированных специалистов в этой сфере;

– повсеместно внедрять беспилотные летательные и необитаемые подводные аппараты, использовать материалы спутниковой батиметрии в интересах пополнения банка геопространственных данных;

– для навигационно-временного обеспечения средств ВМФ с учетом предъявляемых требований по надежности и точности целесообразно разработать концепцию достижения заданных характеристик в зависимости от снижения влияния рисков, связанных с состоянием и развитием отдельных навигационных систем;

– целесообразно определить архитектуру развития дифференциальной навигации ГЛОНАСС и ее использования на средствах ВМФ;

– проработать вопрос о возможности и целесообразности использования средствами ВМФ навигационно-информационной системы на базе связанных КА РНИСС в качестве резервной системы для повышения надежности навигационно-временного обеспечения средств ВМФ;

– учитывая значимость системы ГЛОНАСС в решении задач экономики и обороны страны, представляется необходимым и своевременным рассмотреть вопрос о создании по отношению к ГНСС комплекса резервных средств навигации и точного времени на территории Российской Федерации;

– выполнить исследования, которые определяют оптимальные и перспективные направления развития средств и методов навигации для морских радиотехнических комплексов;

– параллельно с исследованиями вести доработку существующих МСН (БИНС, лаг, эхолот, СНС, ГКУ, МК).

По результатам исследований открыть НИР и ОКР по созданию перспективных средств и методов навигации.

ПАМЯТКА АВТОРУ

В настоящей памятке даны рекомендации, которыми следует руководствоваться при подготовке рукописей и приложений к ним.

При написании статьи должны применяться термины в соответствии со «Справочником гидрографа по терминологии» изд. ГУНиО МО 1984 г.

1. Рукопись должна быть отпечатана в двух экземплярах на листах формата А-4 с параметрами:

- размер шрифта – 14;
- выравнивание – по ширине;
- поля левое и правое – 2 см;
- межстрочный интервал – полуторный.

К печатному виду должен прилагаться электронный вариант на CD или Flash-носителях в формате *.doc (если файлы статьи готовятся в приложении Microsoft Office Word 2007 г., в главном меню выбирается файл → сохранить как → формат → *.doc). Носители информации перед представлением должны пройти проверку на качество и отсутствие вирусов. Объем статьи не должен превышать 20 страниц.

2. Графики, чертежи, схемы, фотографии прилагаются отдельно в двух экземплярах, а на CD или Flash-носителях – отдельными файлами формата *.jpeg, *.jpg предпочтительно в цветном изображении. В тексте рукописи необходимо делать ссылки на размещение иллюстраций. Фотографии должны быть высокого качества, без трещин и заломов, на глянцевой бумаге (можно в одном экземпляре), CD или Flash-носителях (с распечаткой). Пояснительные надписи надо выполнять на оборотной стороне простым мягким карандашом. Одна распечатка фотографии или ксерокопии без представления на CD или Flash-носителях не является оригиналом для иллюстраций.

3. В формулах должно быть отображено четкое различие между прописными (большими, например X) и строчными (малыми, например x) буквами, написанием цифры 0 (ноль) или буквы O и т. д. При наличии в тексте ссылки на формулы производится их нумерация. Все аббревиатуры, содержащиеся в тексте рукописи, должны быть расшифрованы.

4. Таблицы должны иметь названия и быть открытыми, т. е. без боковых и нижней линеек, а в случае продолжения таблицы на следующий лист – нумерацию граф. Слова в головке таблиц даются без сокращений с указанием размерности приводимых величин.

5. Список использованной литературы дается в конце статьи.

При использовании книг указываются: фамилия, инициалы автора, название книги, номер тома, место издания, издательство, год издания, количество страниц или ссылка на страницы книги.

При использовании журнальных статей указываются: фамилия, инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год и номер выпуска, ссылка на страницы.

Список литературы составляется в порядке упоминания работ в статье, при этом номера работ в тексте даются в прямых скобках (например [3]). Если ссылки на литературу в статье отсутствуют, то список составляется в алфавитном порядке.

6. К рукописи прилагаются:

– акт экспертизы по установленной форме за подписью командира части (руководителя предприятия), скрепленный круглой печатью предприятия, где служит (работает) автор;

– сведения об авторе: фамилия, имя, отчество, место работы, ученая степень и звание (для военнослужащих – воинское звание), полный почтовый адрес, электронный адрес, номер телефона;

– аннотация и ключевые слова, определяющие содержание и основные вопросы, рассматриваемые в статье.

7. Статьи представляются на имя начальника Управления навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации (УНиО МО РФ) – 1-й экз. (199034, Санкт-Петербург, В. О., 11 линия, д. 8) и в редакцию «Записок по гидрографии» – 2-й экз. (191167, Санкт-Петербург, ул. Атаманская, д. 4).

Редакция оставляет за собой право производить необходимые сокращения и уточнения. Публикуются рукописи, прошедшие рецензирование специалистами УНиО МО РФ. Представленные статьи и материалы авторам не возвращаются, исключение составляют лишь ценные фотографии, возврат которых может осуществляться по согласованию с редакцией.

Редакционная коллегия **сборника «Записки по гидрографии»** выражает признательность всем авторам за участие в издании и надеется на дальнейшее сотрудничество.

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

В сборнике «Записки по гидрографии» № 298 допущена ошибка на странице 22.

Под фотографией «Рис. 2» следует читать:

Слева направо: капитан 1 ранга Г. Н. Непомилуев, капитан 1 ранга В. В. Вдовиченко, В. С. Попов, А. А. Козлов, капитан 1 ранга С. В. Травин, И. А. Туманова (Рогоцкая).

Все материалы, опубликованные в сборнике статей «Записки по гидрографии», защищены и охраняются в соответствии с законодательством РФ, в том числе об авторском праве и смежных правах. Полное или частичное копирование текстовых материалов, изображений без письменного разрешения редакции запрещено и влечет ответственность, предусмотренную законодательством РФ о защите авторских прав.

Редакторы: *Ю. В. Башкин, М. Ю. Коньшев, С. И. Снигирь*

Технический редактор *Е. В. Тимофеева*

Литературный редактор *Е. В. Губанова*

Компьютерная верстка *К. Е. Лопатиной*

Компьютерная графика *Н. Е. Лоскутовой*

Перевод *Т. Н. Демидовой*

Сдано в производство 05.12.2018 Формат 70×108^{1/16}. Подписано в печать 05.12.2018

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать термостатическая.

Усл. печ. л. 12,95. Тираж 200 экз. Изд. № 78. Заказ 125.

Подготовлено к изданию и отпечатано в ФКУ «280 ЦКП ВМФ»
191167, Санкт-Петербург, ул. Атаманская, 4

