

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ



НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

Издается с 1995 года

3
1996

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санкт-Петербург

**Главный редактор
В.С.Макода**

Редакционная коллегия

**С.П.Алексеев (заместитель главного редактора),
Ю.И.Базаров, А.И.Баранов (секретарь), Б.Н.Беляев,
П.Г.Бродский, В.Л.Галахов, А.А.Дадашев,
В.Г.Дзюба, А.Н.Добротворский, Г.И.Емельянец,
Б.Е.Иванов, И.В.Козырь, П.И.Малеев,
Н.А.Минаев, А.П.Михайловский,
Н.Н.Неронов, В.И. Пересыпкин, В.Г.Пешехонов,
В.Н.Раскатов, А.Е.Сазонов, А.Н.Солощев,
А.И.Сорокин, В.В.Стрела,
А.В.Федотов, В.Н.Фрадкин**

Выпускающий редактор С.А.Рудас

Ответственный за выпуск В.В.Огородников

**© Государственный научно-исследовательский
навигационно-гидрографический институт Министерства обороны РФ**

1996

THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC INSTITUTE

NAVIGATION AND HYDROGRAPHY

Published since 1995

3
1996

RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE

Saint -Petersburg

**Editor-in-chief
V.S.Makoda**

Editorial board

**S.P.Alekseev (vice editor-in-chief),
Yu.I. Bazarov, A.I.Baranov(secretary), B.N.Belyaev,
P.G.Brodsky, V.L.Galakhov, A.A.Dadashev,
V.G.Dzuba, A.N.Dobrotvorsky, G.I.Emelyantsev,
B.E.Ivanov, I.V.Kozyr, P.I.Maleev,
N.A.Minaev, A.P.Mikhaylovsky,
N.N.Neronov, V.I.Peresykin, V.G.Peshekhonov,
V.N.Raskatov, A.E.Sazonov, A.N.Soloshchev,
A.I.Sorokin, V.V.Strela,
A.V.Fedotov, V.N.Fradkin**

Editor for the issue S.A.Rudas

Responsible for the issue V.V.Ogorodnikov

**© RF Ministry of Defence
State Research Navigation-Hydrographic Institute**

1996

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

<i>Макода В.С.</i> О современном состоянии, стратегии развития и основных направлениях деятельности Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института МО РФ.....	9
<i>Судольский А.С.</i> Береговые процессы и их влияние на условия судоходства	13

МЕТОДЫ, ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВИГАЦИИ. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШТУРМАНА

<i>Тихонов А.Ю.</i> Оценивание точности системы навигации подвижного объекта на протяжении интервала времени.....	18
<i>Дадашвв А.А.</i> Способ определения относительной скорости корабля на переменном течении при сокращении числа пробегов	29
<i>Тихонов А.Ю.</i> О подходах к обоснованию требований к точности навигационной информации	35
<i>Беляев Б.Н., Иванов Б.Е.</i> К вопросу использования распределения Лапласа в навигации	43

НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

<i>Нечаев Ю.И.</i> Исследование динамики ветроволновых полей с помощью судовых интеллектуальных систем.....	45
---	----

СПУТНИКОВЫЕ И НАЗЕМНЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

<i>Макода В.С., Базаров Ю.И.</i> Международные стандарты на аппаратуру морских потребителей глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС).....	51
<i>Голяков А.Д., Романов В.В.</i> Метод обеспечения длительных сроков автономного функционирования системы астронавигации космического аппарата.....	56
<i>Ададуров С.Е., Степанов М.Г., Ясько С.А.</i> О возможности навигационных определений абонентов в многоспутниковых низкоорбитных системах связи.....	60
<i>Резниченко В.И.</i> К вопросу использования приемоиндикаторов СНС для определения скорости судна	67

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГИДРОГРАФИИ, МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ

<i>Кондюрин В.Д., Юшков Ю.В.</i> Использование аэрокосмических фотоснимков для прогнозирования расположения подводных валов в прибрежной зоне шельфа.....	69
<i>Зубченко Э.С., Лакунин А.А.</i> Повышение точности учета наклона дна при промере широколучевым эхолотом	72
<i>Веселов О.А., Зотов А.А., Коржов Ю.А.</i> Перспективы развития ледоразрушающих средств и технологий для обеспечения зимней навигации на замерзающих акваториях.....	79
<i>Сорокин А.И.</i> Определение площади произвольной формы в прямоугольных координатах меркаторской проекции на карте и экране ЭВМ.	83
<i>Фирсов Ю.Г.</i> Методика калибровки многолучевого эхолота на морском полигоне с плоским дном	87
<i>Бахмутский В.Г.</i> Тарирование многолучевого эхолота	93
<i>Долотов С.А., Каевицер В.И., Смольянинов И.В.</i> Точность определения угла прихода эхосигналов гидролокационным комплексом бокового обзора.....	100

Рыбакин В.Н. Электромагнитные методы изучения строения морского дна в задачах обеспечения безопасности мореплавания и портового строительства.....	104
Иванов Б.Е. О дискретности гравиметрических измерений в океане	107

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРЕПЛАВАНИЯ

Вольфсон Л.М. Автоматизация средств освещения гидрометеорологической обстановки экологического мониторинга.....	112
Козырь И.В. Опыт государственного управления деятельностью гидрометеорологических служб военных и гражданских ведомств США.....	116

МОРСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

Ставрое К.Г. Принципы использования комплекса средств и методов гидрографии и геофизики в целях экологического мониторинга морской среды и предотвращения ее загрязнения	122
---	------------

КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ, СЕМИНАРЫ

"Морская история казачества" - научная конференция, посвященная 300-летию Российского флота.....	127
"Русское географическое общество и Флот" - 6-я конференция по географии и картографированию океана Русского географического общества, посвященная 300-летию Российского флота.....	127
Научно-технический семинар "Проблемы навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения работ по освоению нефтегазовых месторождений в Арктике".....	128
Очередная конференция Российского общественного института навигации	129
Научная школа "Астронавигация -97"	130

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

Федотов А.В. Развитие морской навигации в XX веке.....	132
Красовский В.С. "Совершенные правители мореплавания" (к "Дню Штурмана").....	138
Яковлев А.Н. В океанском походе.....	141

ЗА РУБЕЖОМ

Майгов А.В. Автоматизированные системы управления противоминными действиями и навигационное вооружение кораблей противоминной обороны иностранных государств	144
Виноградов К.А. Гидроакустические доплеровские измерители скорости фирмы RD Instruments	150
Аннотации на английском языке	154
Сведения об авторах	158

CONTENTS

GENERAL MATTERS

Makoda V.S. Strategy of Gos.NINGI development and its trends of activities.....	9
Sydolsky A.S. Coastal processes and Its possible influence upon navigation conditions.....	13

METHODS, ACCURACY AND EFFICIENCY OF NAVIGATION. NAVIGATOR'S ACTIVITY

Tikhonov A.Yu. Mobile navigational system accuracy evaluation during the time interval.....	18
Dadashev A.A. The method of ship relative speed on the changeable current when quantity of tacks is decreased.....	29
Tikhonov A.Yu. Substantiation of navigational data accuracy requirements.....	35
Belyev B.N., Ivanov B.E. About using Laplace distribution in navigation	43

NAVIGATION AND INTEGRATED SYSTEMS

Nechaav Yu.I. Research dynamic of windwaves fields with shipboard Intelligence systems helping	45
---	----

SATELLITE AND LAND-BASED RADIONAVIGATION SYSTEMS

Makoda V.S., Bazarov Yu.I. International Standards for Marine User Receiver Equipment of Global Navigation Satellite System (GLONASS).....	51
Golyakov A. D., Romanov V.V. Long terms maintenance method of a space vehicle astronavigation system autonomous functioning.....	56
Adadurov S.E., Stepanov M.G., Yasko S.A. About possibilities of navigation users definitions by multisatellite low orbit communication systems	60
Reznichenko V.I. About NSS indicator receiver using for vessel velocity deterring.....	67

MEANS AND METHODS OF HYDROGRAPHY, MARINE CARTOGRAPHY AND GEOPHYSICS

Kondurin V.D., Yushkov Yu.V. Aerospace photographs using for location prognostication of the submarine banks on coastal shelf area.....	69
Zoubtchenko E.S., Luckunin A.A. The increase of bottom/slope inventory accuracy bywidebeam echosounder sounding	72
Veselov O.A., Zotov A.A., Korzhov Yu.A. Perspectives of icebreaking equipment and technologies development for winter navigation providing in freezing waters.....	79
Sorokin A.I. Arbitrary form area determination in cartesian coordinate system of mercator projection on the chart and PC display.....	83
Firsov Yu.Q. The method for calibration of multibeam echosounder on flat sea floor.....	87
Bahmutsky V.G. Multibeam sounder taring.....	93
Dolotov S.A. , Kaevitsw V.I. , Smolyaninov I.V. The precision of arrival echosignal angle measurement in interferometric sidescan sonar.....	100
Rybakin V.N. Sea bottom structure investigations using electromagnetic methods for navigation and harbour construction safety	104
Ivanov B.E. On discrete of gravimeter measurements in the ocean.....	107

HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT OF MARINE NAVIGATION

Volfson L.M. Automatization of means to light up meteorological situation for ecological monitoring.....	112
Kozir I.V. US State Management experience in the field of civilian and military meteorological services activity.....	116

MARINE ECOLOGY

Stavrov K.G. Principles of hydrography and geophysics aids and means complex using for sea medium ecological control and pollution prevention. **122**

CONFERENCES, SYMPOSIA, SEMINARS

"The Cossacks Marine History" - scientific conference devoted to the Russian Fleet 300-th anniversary... .. **127**

"Russian Geographic Society and the Fleet" - the Sixth conference on geography and ocean cartography of the Russian Geographic Society, devoted to the Russian Fleet 300-th anniversary.. .. **127**

Scientific-technical seminar " Navigation-hydrographic and hydrometeorological support of oil/gas fields development work in Arctic" **128**

The next Russian public institute of navigation conference **129**

Scientific school "Astronavigation-97". **130**

HISTORY PAGES

Fedotov A.V. The development of marine navigation in the XX-th century.. .. **132**

Krasovsky V.S. "The Perfect Rulers of Navigation" (to "The Navigator Day"). **138**

Yakovlev A.N. In Ocean Cruise..... **141**

ABROAD

Maigov A.V. Automated mine countermeasure systems and navigation aids for mine warfare ships of foreign states **144**

Vinogradov K.A. RD Instruments's Doppler velocity measurers..... **150**

Abstracts **154**

Information about authors..... **158**

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ГРНТИ 78.21.36.01

О СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ, СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ И ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОСУДАРСТВЕННОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА МО РФ

В. С. МАКОДА
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Приводится качественная оценка состояния и характеристика деятельности Института, излагаются взгляды на стратегию его развития и основные направления научных исследований и работ на среднесрочный период.

В соответствии с целями и задачами военной реформы [1], планами военно-научной работы на 1996-2000 гг. предстоит осуществить переход к новой системе организации, планирования и координации научной работы, обеспечения ее необходимыми ресурсами. В связи с этим представляется актуальным осветить современное состояние, стратегию развития и основные направления деятельности Института на среднесрочную перспективу, под которой подразумевается период 1997-2000 гг.

С 1939 г., т.е. с момента своего образования, Институт прошел несколько этапов развития [2, 3]. С начала 90-х годов, после известных коренных геополитических и экономических изменений, и в связи с разработкой "Основ новой военной доктрины", провозглашением и началом реализации военной реформы в РФ, возникла необходимость переосмысления и оценки роли и места Института в общей системе военной науки, формирования возможных перспектив и стратегии его развития.

Проведенный анализ существующего положения дел, состояния и тенденций развития средств и методов навигации, гидрографии, океанографии и гидрометеорологии показал, что сложное финансово-экономическое положение страны непосредственно отразилось на Институте. Существенное уменьшение оборонного заказа на строительство новых кораблей и разработку соответствующего навигационного вооружения, неустойчивое финансирование НИОКР привело к свертыванию ряда перспективных исследований и разработок, оттоку специалистов в другие сферы деятельности, снижению темпов развития научных школ и подготовки научного задела. В целом, для настоящей ситуации характерно, что сложившаяся практика управления развитием ВТ уже практически не работает, а рыночные отношения, стимулирующие научно-техническое развитие, еще не работают, реальностью является политика выживания. В этих условиях без рационально продуманной стратегии развития НИИ обречен на "умирание".

Несмотря на столь сложную ситуацию, в 1997 г. Институт имеет все основания при выполнении ряда условий перейти к стратегии, ориентированной на долгосрочные цели и приоритеты.

Основой этого являются:

1. Официальное признание статуса Гос.НИНГИ как головной научно-исследовательской организации, ответственной за обоснование и разработку технической политики в области навигации, гидрографии, морской картографии, океанографического обеспечения обороны и экономики страны (в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 19.06.94 г. №711 "О совершенствовании научных исследований...").

2. Разработка и участие Института в ряде долгосрочных федеральных программ и планов, в осуществлении которых Гос.НИНГИ принимает непосредственное участие.

3. Значительный объем исследований и разработок по поиску путей решения и реализации ряда актуальных проблем ВМФ, ВС в целом в части средств и методов

НГО и ГМО с учетом финансовых ограничений. (В 1996 г. Институт проводил исследования по 74 НИР, из которых был головным по ВМФ в 4 работах, в МО – по 2).

4. Практика проведения Российских научно-технических конференций по актуальным проблемам навигации и океанографии (1992, 1995 и план 1998 гг.), устойчивая работа Межведомственного координационного научно-технического совета, диссертационного совета, семинара НТОС им.акад.А.Н.Крылова.

5. Издание сборников трудов, а с 1995 г. и выпуск периодического научно-технического журнала "Навигация и гидрография", призванного стать общероссийским печатным органом по вопросам навигации и гидрографии.

6. Расширение сферы деятельности Института на чисто гражданские приложения методов и средств навигации, гидрографии и гидрометеорологии (на общегосударственном, федеральном и региональном уровнях).

В целом, современный этап развития Института следует соотносить с переходом от решения внутриведомственных задач к общегосударственным при проведении исследований и разработок и координации планов их осуществления для различных учреждений, министерств и ведомств с соблюдением приоритета интересов МО РФ.

Стратегия развития Института может рассматриваться как предметная область, которая охватывает теоретические и практические вопросы подготовки средств и методов НГО и ГМО ВС к войне, решения проблем обеспечения общего мореплавания и безопасности жизни человека на море, обосновывает способы и формы их реализации, исследует закономерности развития морских средств навигации и океанографии. Она формирует конкретные цели и задачи подразделений Института, распределение сил и средств по направлениям исследований и работ, диктует формирование соответствующей структурной организации. В свою очередь, стратегия развития определяется функциональным предназначением, ответственностью за решение задач, возложенных Постановлением Правительства РФ от 19.06.94 г. №711, задач МО по военно-научной работе, выполнением директивных указаний командования с учетом объективно складывающихся тенденций развития МСН и О, имеющегося научно-технического задела и возможностей научного потенциала, а также экономических условий.

При формировании современной стратегии развития Института учитываются основные принципы подхода к реформированию сети военных научных учреждений МО, факторы сокращения численности личного состава и общего объема целевого финансирования научных исследований из бюджета ВС на соответствующий временной период. На этой основе современная стратегия развития Института состоит в:

* Решении актуальных проблем создания средств и разработки методов НГО и ГМО ВМФ для поддержания необходимого уровня обороноспособности страны за счет обеспечения боеспособности сил флота.

* Концентрации усилий на приоритетных направлениях совершенствования традиционных и разработки качественно новых средств НГО и ГМО с целью недопущения критического отставания от передовых военных технологий в условиях финансовых ограничений НИОКР.

* Гибком изменении подходов в научно-практической проработке проблем военно-технической политики в области НГО и ГМО по глубокому всестороннему обоснованию развития ВС РФ применительно к прогнозируемым условиям политической, экономической и демографической обстановки.

* Совершенствовании стратегического управления и технологии проведения исследований, поиске новых сфер приложения и областей применения, а также источников финансирования.

В соответствии с изложенным, современная стратегия развития Гос.НИНГИ предлагает реализацию следующих основных направлений деятельности.

1. В области проведения научных исследований и разработок, ведения научно-технического сопровождения работ в промышленности.

1.1. Участие в реализации разработанных и разработка новых федеральных программ, планов и проектов.

1.2. Обеспечение создания по методам и средствам навигации:

1.2.1. Корабельных инерциальных навигационных систем, построение на их основе навигационных комплексов подводных лодок, аппаратов, надводных кораблей, других подвижных объектов, разработка методов их испытаний и использования; поиск новых принципов комплексирования и методов обработки навигационной информации.

1.2.2. Современных средств стабилизации и ориентации, измерителей скорости и глубины под килем, навигационно-гидроакустических средств и систем:

- РНС на единой координатно-временной основе (на основе ЕРНП);
- зрительных и радионавигационных средств системы навигационного оборудования и системы регулирования движением;
- систем отображения электронных карт, обеспечивающих решение вопросов безопасности плавания.

1.3. Обеспечение создания по методам и средствам гидрографии, геофизики, морской картографии:

1.3.1. Современных технических средств съемки рельефа и грунта дна, геофизических полей, технологии гидрографической съемки, методов использования геофизической информации.

1.3.2. Средств и методов обработки, хранения и использования цифровой картографической информации.

1.4. По океанографии и гидрометобеспечению:

1.4.1. Разработка оптимальной технологии и организации информационного процесса в системе ГМО ВМФ, ВС РФ; разработка и внедрение в АСУ ВМФ (МО) различных уровней количественных методов использования (усвоения) гидрометинформации в процессе поддержки принимаемых решений, распространение указанных методов на систему гидрометобеспечения экономики страны; обоснование состава и характеристик технических средств ГМО ВС, обоснование стратегии и определение конкретных задач изучения океанов и морей в интересах ВМФ.

1.4.2. Разработка предложений по проведению океанографических исследований, подготовка материалов гидрологических, метеорологических и аэрологических исследований для обеспечения штабов, частей и учреждений МО, международного обмена при передаче их в Международный центр данных.

1.4.3. Проведение коренной перестройки существующих технологий формирования и ведения информационных фондов океанографических данных, превратив их в специализированный банк данных АС ГМО, переход к эффективной информационно-вычислительной сети.

2. В области совершенствования организации военно-научной работы.

2.1. Совершенствование технологии проведения научных исследований и разработок.

2.2. Переход к единой системе военно-научной информации МО РФ.

Разработка автоматизированных рабочих мест руководителя (администратора) и информационно-справочных систем и банков данных, систем поддержки принятия решений, систем автоматизированного проектирования технических средств и оценки качества этапов их разработки.

2.3. Подготовка научных кадров и развитие научных школ по отдельным программам и планам.

2.4. Проведение военно-научных конференций, симпозиумов, семинаров и выставок с широким привлечением ученых и специалистов.

3. В области развития международного, в том числе военно-технического, сотрудничества, научных контактов и связей, рекламно-издательской деятельности.

3.1. Осуществление международного проекта "ГОДАР", проводимого под контролем МОК ЮНЕСКО.

Разработка и согласование в международных комиссиях и рабочих органах (МЭК, ТСМ) проектов стандартов на приемную аппаратуру систем ГЛОНАСС и ГЛОНАСС-НАВСТАР, передачи дифпоправок к каналам этих систем в обеспечение реализации плана межгосударственной стандартизации на 1997 г.

Развертывание сотрудничества с Министерством обороны США в области военной океанографии в соответствии с заявлением комиссии Гора – Черномырдина по технологическому и экономическому взаимодействию, протоколом 1996 г. министров обороны России и США по научному взаимодействию в Арктике.

Обеспечение создания и сдачи в эксплуатацию МСН экспортных заказов.

3.2. Продолжение выпуска трудов Института, журнала "Навигация и гидрография", приложений к нему с опубликованием материалов МКНТС, семинара НТОС им.акад.А.Н.Крылова, отдельных творческих трудов, монографий и исторических материалов; разработка и распространение рекламы Института, разработка и оформление имиджа Института.

4. В области лицензионной деятельности и сертификационной работы.

4.1. Окончание подготовительной работы и развертывание сертификационной деятельности, в том числе определение порядка ее реализации применительно к НГО и ГМО и механизма функционирования рабочих органов сертификации.

5. В области конверсионной деятельности, двойных технологий.

5.1. Проведение работ, разработка предложений по НГО освоения природных ресурсов в арктической шельфовой зоне; проектно-изыскательские работы по обустройству портов, прокладке трубопроводов и кабелей.

5.2. Участие в прикладных разработках по созданию отдельных технических средств навигации, средств контроля и диспетчеризации подвижных объектов, работ по земельному кадастру в обеспечение деятельности правительственных органов.

5.3. Экологический мониторинг прибрежных акваторий и прикладные разработки информационных технологий цифровой картографии.

Таким образом, изложенные взгляды характеризуют в целом современное состояние Института и направления его деятельности, показывают наличие объективных предпосылок для дальнейшего развития Гос.НИНГИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Военная реформа – общегосударственная задача. Пресс-конференция Министра обороны РФ Игоря Родионова и начальника Генерального штаба генерала армии Виктора Самсонова. Красная звезда, 17.01.1997.
2. Федотов А.В. Из истории Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института МО РФ. "Навигация и гидрография", 1995, №1. С.117-121.
3. Макода В.С., Федотов А.В. Научные исследования в области морской навигации в России. "Навигация и гидрография", 1996, №2. С.9-13.

БЕРЕГОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УСЛОВИЯ СУДОХОДСТВА**А.С.СУДОЛЬСКИЙ**
(С.-Пб. ГГИ)

Приводятся общие соображения о сложности и многообразии береговых процессов, иллюстрируемые количественными характеристиками вдольбереговых перемещений наносов на конкретных участках побережья Черного и Азовского морей, а также сведениями о параметрах береговых аккумулятивных форм, которые могут затруднять или благоприятствовать условиям практического использования береговой зоны моря.

Практически ни одно крупное судно не может отправиться в плавание, минуя береговую зону. Маломерные же плавсредства почти исключительно эксплуатируются на ее акватории, глубины которой ограничивают условия плавания и могут под действием природных процессов или антропогенных воздействий изменяться во времени. Поэтому исследование береговых процессов является актуальной задачей.

Морфологические черты прибрежной зоны любого водного объекта обычно являются показателем длительности и интенсивности динамических воздействий моря на береговой склон и зависят от геологического строения и прочности слагающих его пород.

Прибрежные зоны в основном достигли в своем развитии так называемой стадии относительного динамического равновесия, которая характеризуется весьма значительным или почти полным затуханием плановых деформаций надводного уступа в результате приближения к предельным потерям волновой энергии на подходах к берегу, но с частичным сохранением обратимых глубинных деформаций дна. Обратимые глубинные деформации дна во многих случаях, особенно при наличии довольно мощных вдольбереговых течений, сопровождаются вдольбереговыми перемещениями наносов, происходящими как в пределах пляжей, так и в пределах береговых отмелей. Количество перемещаемых вдоль берега наносов обычно увеличивается с увеличением размеров водоема. На береговых отмелях крупных озер в течение года через створ может перемещаться 20–50 тыс.т песчаных наносов [1], на таких морях, как Азовское [2] и Черное – до 100–300 тыс.т, а на Балтийском – до 500-800 тыс.т [3]. Если эти наносы аккумулируются в судоходном канале, у оградительной стенки, у входа в залив или в устье реки, то только для восстановления судоходства приходится затрачивать огромные средства. При необходимости обеспечения требований всех возможных пользователей береговой зоной они еще больше возрастают.

Неблагоприятные условия эксплуатации береговой зоны возникают и на тех ее участках, где происходит истощение запасов песчано-гравийно-галечных материалов (например, в результате вдольбереговых выносов твердого материала, его истирания, а также в результате сокращения поступлений речного аллювия в море из-за его изъятий на строительные цели). Истощение запасов пляжевого материала нередко ухудшает условия рекреационной способности береговой зоны и часто является причиной активизации размыва берегового уступа, чем создается угроза разрушению размещенных на суше сооружений.

Для обнаружения и своевременного предсказания возможных изменений морфологии береговой зоны обычно требуется проведение соответствующих научно-исследовательских работ, тем более трудоемких, чем сложнее и многообразнее происходящие береговые процессы. К зонам со сложными процессами относятся, например, небольшие заливы с впадающими в них реками и деформируемыми мысами на границах. Приходная часть баланса наносов в таких заливах определяется поступлениями речного аллювия и материала деформаций надводных уступов, а расходная часть: вдольбереговыми выносами, истираемостью пляжевого материала и выносами

наносов в глубоководную зону. Близкие к названным балансы наносов составлены по данным исследований ГГИ для трех небольших заливов Черноморского побережья Кавказа (табл. 1). Поступления речного аллювия на названные объекты оценивалось по сведениям [4], данные по истираемости грунтов определены по методу А.М.Жданова [5], вдольбереговые перемещения гравийно-галечного пляжевого материала – по методу В.А.Петрова и Н.А.Ярославцева [6], а перемещения илисто-песчаного материала над береговой отмелью – в соответствии с [1, 2]. Сведения о запасах и крупности гравийно-галечного материала на пляжах заливов определены ГГИ по данным натурных и лабораторных измерений.

Из приведенных в табл.1 данных видно, что количество пляжевого материала в Туапсинском заливе примерно равно годовому количеству, перемещаемых вдоль берега наносов. В двух других рассмотренных заливах годовое количество перемещаемых вдоль берега наносов существенно больше запаса аллювиального материала на пляже.

Таблица 1

Составляющие баланса твердого материала в береговой зоне небольших заливов Черноморского побережья Кавказа

Общее количество гравийно-галечного материала на пляже, тыс.т	Средний диаметр пляжевого материала, мм	Средняя годовая аккумуляция речного (гравийно-галечного) материала, тыс.т/год	Потери пляжевого материала на истирание, тыс.т/год	Вдольбереговой перенос пляжевого материала, тыс.т/год		Вдольбереговой перенос песчано-илистого материала береговой отмели, тыс.т/год	
				к северу	к югу	к северу	к югу
Туапсинский залив (городской пляж)							
125	1,0-3,4	33	4,0	102	20	14	3,0
Михайловский залив							
64	0,5-2,2	21	2,0	135	18	14	1,3
Залив Джубга							
45	0,3-1,9	8	1,5	160	58	34	10,0

Из этого следует, что пляжи каждого из названных заливов могли бы практически полностью лишиться гравийно-галечного материала в результате вдольберегового выноса наносов всего за один год. Этого не происходит почти исключительно из-за того, что каждый из них представляет собой обособленную динамическую зону, ограниченную с севера и с юга мысами или гидротехническими сооружениями, которые препятствуют выносу твердого материала и создают возможность возврата наносов на прежнее место при смене направления действия очередного шторма.

Следует подчеркнуть, что, по данным расчетов и по натурным измерениям ГГИ в 1991–1992 гг., во всех трех заливах преобладает перенос пляжевого и мелкозернистого материала береговых отмелей в северном направлении. Это совпадение, как представляется, обусловлено исключением из расчетов данных, характеризующих влияние ветров со скоростью менее 5 м/с и ветровых волн (1%-ной обеспеченности) с высотами менее 0,75 м. По-видимому, их учет в расчетах других авторов приводил к искажению расчетного итогового переноса.

В морских заливах с песчаными пляжами, лишенными поступлений речного аллювия и с малой истираемостью грунтов берега, баланс наносов определяется практически исключительно вдольбереговыми перемещениями наносов. Это обстоятельство иллюстрируется данными табл.2, составленной на основании расчетов применительно к условиям Казантипского и Арабатского заливов Азовского моря [2]. В расчетах учтены результаты довольно обширных натурных измерений (волн, течений, мутности воды, крупности грунтов и расходов наносов), выполнявшихся ГГИ [2].

Количество песчаных наносов (тыс. т), перемещаемых вдоль берега через расчетные створы Казантипского и Арабатского заливов Азовского моря за разные сезоны года

Направление переноса	Зима	Весна	Лето	Осень	Весь год
Казантипский залив					
К югу	10	14	19	24	67
К северу	55	80	33	58	226
Сумма	65	94	52	82	293
Арабатский залив					
К югу	7	18	18	20	63
К северу	7	15	24	20	66
Сумма	14	33	42	40	129

В заливах с песчаными пляжами и пологими береговыми отмелями, как и в заливах с относительно приглубыми берегами, возможно истощение пляжей в результате вдольберегового выноса твердого материала. Однако такое явление наблюдается редко, т.к. волны, направленные с залива, чаще всего имеют меньшую высоту, чем волны, действующие с открытого моря.

В заливах, имеющих уклоны береговых отмелей около 0,015-0,030 (0,9°–1,7°) при нормальном подходе ветровых волн к линии берега наблюдается формирование 1–2 подводных валов [2]. Высота таких валов на Азовском море обычно составляла 0,4–0,5 м и очень редко достигала 0,7–0,8 м. Такие валы могут подвергаться значительной перестройке даже в течение одного продолжительного шторма (рис.1а).

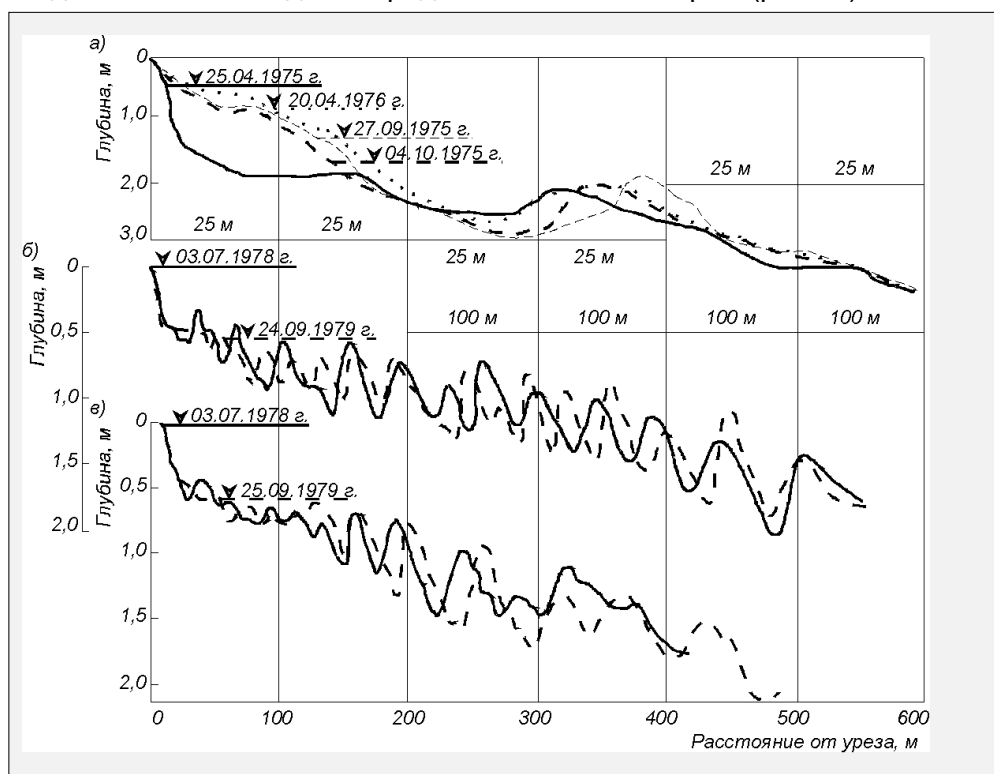


Рис.1. Совмещенные поперечные профили дна по створам с различным числом подводных песчаных валов: а) Азовское море, Казантипский залив; б) Ладожское озеро, у устья р.Свирь; в) Ладожское озеро, у устья р.Гумбарицы.

Значительно большей стабильностью во времени отличаются береговые валы на участках с пологим дном, где уклоны составляют 0,003 – 0,007 (0,2°–0,4°), а запасы песчаного материала не создают ограничений процессам глубинных деформаций. На

береговых отмелях, имеющих ширину порядка нескольких сотен метров, при указанных уклонах может одновременно сформироваться 6–8 и даже 12–15 подводных валов.

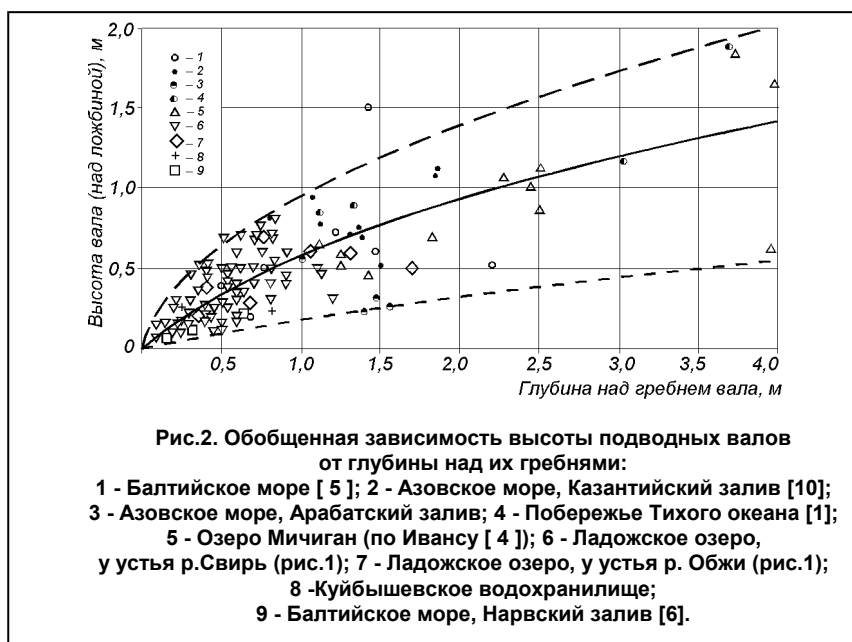
Берега с большим количеством подводных валов наиболее широко распространены на крупнейших озерах Европы – Ладожском и Онежском, особенно в их южных частях. Примеры профилей с такими валами показаны на рис.1б,в. На всех профилях, полученных путем высокоточной съемки рельефа, подводные валы характеризуются асимметричностью поперечного сечения, увеличением высоты и расстояния между гребнями по мере удаления от уреза.

Одиночные подводные валы и серии валов обычно подвергаются значительной перестройке, что отчетливо видно по совмещению очередных промеров на одних и тех же створах (см.рис.1).

Причинами перестройки в одних случаях являются изменения уровня воды в водоеме, а в других – изменения силы очередных штормов. Наиболее заметна перестройка валов в периоды длительных штормов большой силы, сопровождающихся изменениями уровня. В связи с этим, очередные промеры глубин чаще всего фиксируют некоторую промежуточную стадию формирования или какую-либо стадию перестройки валов.* Валы однотипных плавных очертаний обнаруживаются очень редко.

Возможно, что эти обстоятельства послужили основой появления существенно разливающихся между собой гипотез [7, 8], объясняющих причины появления, формирования и перестройки валов. Различия в стадиях формирования и степени перестройки подводных валов являются главными причинами различий абсолютных и относительных величин их параметров.

Это обстоятельство отчетливо видно на обобщенном графике зависимости высоты подводных валов (относительно подвалья со стороны уреза воды) от глубины над их гребнями (рис.2), построенном по результатам измерений ГГИ и с учетом данных, приведенных в [3, 8, 9, 10].



Сплошной линией показана зависимость между осредненными характеристиками, а пунктиром – зависимости между предельными значениями характеристик. Таким образом, по рис.2 можно определить наиболее вероятную высоту подводного вала при конкретной глубине над его гребнем, а также возможные предельные ее значения.

* По всем положениям Гидрографической службы ВМФ РФ промеры в районах с такими условиями выполняются после ледоходов и штормов большой силы, т.е. они фиксируют уже перестроившиеся валы. (Прим.ред.).

Если для практических целей нужна не высота подводного вала, а глубина воды над его подвалом (со стороны уреза), то последняя равна сумме двух величин - глубины над гребнем вала и высоты вала (наиболее вероятной, наибольшей или наименьшей).

Данными рис.2 можно воспользоваться, например, для решения вопросов размещения объектов рекреации, при высадке людей и грузов с судов на побережье, при выборе мест размещения водозаборных или водосбросных сооружений и в других целях.

Над подвальями подводных валов с присущими им повышенными глубинами в периоды значительных штормов создаются более благоприятные условия для прохождения маломерных плавсредств, чем в зонах гребней валов, где обычно наблюдается интенсивное забурунивание и разбивание волн.

Береговые зоны с множеством параллельных между собой подводных валов обычно относятся к зонам моря с замедленным водообменом. В них может происходить накопление загрязняющих веществ, в чем и состоит одна из отрицательных особенностей подобных зон. Выяснения других отрицательных и положительных черт береговой зоны в интересах народного хозяйства можно ожидать только в случае дальнейшего продолжения соответствующих натуральных и теоретических исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баском В. Волны и пляжи. Пер. с англ.-Л.: Гидрометеиздат, 1966, - 280 с.
2. Джаошвили Ш.В. Речные наносы и пляжеобразование на Черноморском побережье Грузии. - Тбилиси.: Собчата Сакартвело. 1986, - 156 с.
3. Жданов А.М. Истирание галечных наносов под действием волнения. Бюлл. океаногр. комиссии АН СССР, - М.: Изд-во АН СССР, 1958, N 1. С.81-88.
4. Зенкович В.П. Динамика и морфология морских берегов. Ч.1. - М-Л.: "Морской транспорт", 1946. - 496 с.
5. Кнапс Р.Я. О некоторых закономерностях развития подводных песчаных валов. Труды океанограф. комиссии АН СССР, 1959, т.IV. С.44-53.
6. Логвиненко Н.В., Барков Л.К. К вопросу о динамике рельефа подводного берегового склона и его прогнозирование. Океанология, 1974, т.XIV, вып.2. С.295-303.
7. Лонгинов В.В. Динамика береговой зоны бесприливных морей. - М.: Изд-во АН СССР, - 380 с.
8. Петров В.А., Ярославцев Н.А. Исследования вдольберегового транспорта галечных наносов. - "Водные ресурсы", 1985, N 2. С.79-85.
9. Судольский А.С. Динамические явления в водоемах. Л.: Гидрометиздат, 1991, - 264 с.
10. Судольский А.С., Клавен В.М. Исследование течений и вдольбереговых перемещений наносов на Азовском море. - Труды ГГИ, 1980, вып.263. С.134-145.



МЕТОДЫ, ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВИГАЦИИ. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШТУРМАНА

ГРНТИ 78.25.31.35.29.01

ОЦЕНИВАНИЕ ТОЧНОСТИ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИИ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА НА ПРОТЯЖЕНИИ ИНТЕРВАЛА ВРЕМЕНИ

А.Ю.ТИХОНОВ

(ВМА им.адм.Н.Г.Кузнецова)

Изложен порядок расчета вероятности невыхода погрешности места по направлению из коридора допустимых значений в течение некоторого интервала времени для случаев некорректируемого и корректируемого счисления. На основе теории выбросов случайных процессов и метода временной дискретизации формализован закон распределения случайной величины - длительности счисления с требуемой точностью. Даны в общем виде выражения для расчета ее функции распределения, плотности вероятности и математического ожидания, для конкретных условий указан порядок оценивания величин, входящих в эти выражения.

В качестве подвижного объекта (ПО) в настоящей работе рассматриваются морские суда, надводные корабли, подводные лодки, летательные аппараты (ЛА), перемещающиеся в некоторой системе координат по траектории, которая должна соответствовать наложенным пространственно-временным ограничениям.

Под системой навигации (СН) ПО будем понимать совокупность взаимосвязанных элементов (подсистем), функции которых состоят в получении, обработке и выдаче (отображении) навигационной информации (НИ) с целью обеспечения точного, скрытного и безопасного в навигационном и минном отношении движения в соответствии с поставленной задачей и условиями обстановки, а также для своевременной выработки навигационных данных (НД) с точностью, необходимой для применения оружия и использования технических средств. В реальности функции, отнесенные к СН ПО, выполняются личным составом штурманской службы, бортовыми техническими средствами навигации (ТСН) и каналами передачи НИ.

Поскольку условия и результат функционирования СН ПО, значения отдельных ее характеристик реализуются случайным образом, СН может быть отнесена к стохастическим информационно-измерительным системам. В настоящее время точность таких систем принято оценивать одной из числовых характеристик случайной величины - погрешности выходного НП на конкретный момент времени. Однако такой показатель не всегда удобен, поскольку не позволяет вынести суждение о точности СН на протяжении некоторого интервала времени ее функционирования. Поэтому в тех случаях, когда СН решает задачу обеспечения движения ПО по заданной траектории (в ходе поиска противника, противоминных действий, выставления морских минных заградителей, плавания по фарватеру, прохода через протяженную узость, полета по заданному маршруту или в пределах отведенного пространственного коридора) либо задачу длительной выдачи НД в обеспечиваемые системы (например, при обеспечении действий по закрытию района, по слежению за противником с целью выявления характера его деятельности и т.п.), в качестве показателя точности СН целесообразно использовать числовую характеристику случайного процесса изменения погрешности выходного НП на конкретном интервале времени. Числовой характеристикой случайного процесса в этом случае может быть вероятность того, что на протяжении некоторого интервала времени погрешность НП не превысит заданного (допустимого) значения.

В настоящей работе ограничимся рассмотрением в качестве выходного НП координаты места ПО по направлению. Задавшись некоторым допустимым значением погрешности места по этому направлению, оценим вероятностные характеристики случайного события, состоящего в первом достижении погрешностью места допустимого значения. Одной из таких характеристик является момент времени T_x первого превышения погрешностью места допустимого значения (первого выброса за заданный уровень). Случайную величину T_x целесообразно характеризовать законом ее распределения, полученным на основе теории выбросов случайной функции за данный уровень [1,2] с использованием метода временной дискретизации случайного процесса [3].

Пусть $z(t)$ - случайный процесс изменения погрешности места по некоторому направлению в ходе счисления, а $\dot{z}(t)$ - скорость изменения погрешности места по этому направлению. Известно, что процесс $z(t)$ в общем случае не является стационарным и характеризуется увеличением дисперсии с течением времени.

Предположим, что нас интересует вероятность пересечения процессом $z(t)$ некоторого уровня a "снизу вверх" (выброс) на малом интервале времени от t до $t + dt$ при условии, что на момент времени t процесс находился "ниже" уровня a . Для того, чтобы такой выброс состоялся, значение $z(t)$ должно отстоять от уровня a на величину, не большую той, которую процесс может преодолеть скоростью $\dot{z}(t)$ за время dt . Искомая вероятность выброса в этом случае при известной двумерной совместной плотности вероятности $f(z, \dot{z})$ случайного процесса $z(t)$ и его производной $\dot{z}(t)$ может быть рассчитана согласно [1] по формуле

$$P[a - \dot{z}dt < z(t) < a; \dot{z} > 0] = \int_0^{\infty} \int_{a-\dot{z}dt}^a f(z, \dot{z}) dz d\dot{z}. \quad (1)$$

При решении большинства практических задач требуется найти вероятность невыхода модуля рассматриваемой погрешности за пределы допустимого значения, т.е. вероятность пребывания процесса $z(t)$ в симметричном диапазоне (коридоре) значений $\pm a$. При этом распределение процесса принимается симметричным относительно нулевого значения (математическое ожидание погрешности равно нулю), что обеспечивает равенство вероятностей выбросов "вверх" и "вниз". Расчет вероятности выхода процесса из коридора в этом случае выполняется путем удвоения значения, полученного с использованием выражения (1).

Таким образом, зная двумерную совместную плотность вероятности $f(z, \dot{z})$ случайного процесса $z(t)$ изменения погрешности места по направлению и его производной $\dot{z}(t)$, можно определить вероятность выхода процесса $z(t)$ за пределы уровня a (выброс вверх) или коридора $\pm a$ (выбросы вверх и вниз) на малом интервале времени от t до $t + dt$. Интервал времени dt должен быть настолько малым, чтобы можно было пренебречь изменением плотности вероятности $f(z, \dot{z} + dt/2)$ на протяжении этого интервала. Дополнительное уменьшение влияния такого изменения достигается использованием в расчетах значения плотности вероятности, соответствующего не началу, а середине интервала dt .

В настоящей работе рассматривается только невыход погрешности места по направлению из симметричного коридора допустимых значений при условии распределения погрешности по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием. Коридор может рассматриваться как полоса бесконечной длины шириной $2a$, ось (середина) которой проходит через счислимое (обсервованное) место ПО перпендикулярно заданному направлению погрешности. Исследование эффективности СН при обеспечении решения других задач может выполняться с использованием аналогичного подхода без внесения принципиальных изменений. Например, при обеспечении противоминных действий целесообразно ограничиться рассмотрением выброса за положительный уровень, а вероятность выброса за бесконечно удаленный отрицательный уровень принимать равной нулю. В некоторых случаях допустимое значение погрешности может рассматриваться как функция времени и даже быть различным для верхнего и нижнего уровней, т.е.: $a = a(t), a_g(t) \neq -a_n(t)$.

Функция распределения $\Phi P_x(t)$ случайной величины T_x представляет собой вероятность $P(T_x < t)$ того, что интервал времени T_x между началом счисления и моментом выхода погрешности места по направлению за пределы допустимого значения окажется меньше длительности t счисления, т.е. что выброс из коридора $\pm a$ произойдет на интервале времени t после опорной обсервации (после начала счисления). Расчет этой вероятности целесообразно выполнять с использованием значений вероятности $P_{OB}(t)$ альтернативного события - отсутствия выброса за время t как

$$\Phi P_x(t) = P(T_x < t) = 1 - P_{OB}(t) = 1 - P(T_x \geq t). \quad (2)$$

В [1,2,3] показано, что для нестационарного процесса $z(t)$ получить $\Phi P_x(t)$ в виде формулы нельзя. Однако применение метода временной дискретизации позволяет аппроксимировать непрерывную $\Phi P_x(t)$ односвязным дискретным приближением, т.е. представить ее в виде односвязной случайной последовательности, каждый i -ый член которой рассматривается как зависящий от предыдущего $i-1$ -го члена и не зависящий от предшествующих членов с номерами, меньшими $i-1$.

Метод временной дискретизации предусматривает разбиение области изменения временного аргумента непрерывной функции на малые (в идеале – бесконечно малые) элементарные интервалы таким образом, чтобы значение функции для каждого из таких интервалов могло быть рассчитано с использованием известного локального закона изменения функции (при нахождении аргумента в области данного элементарного интервала значений). При этом односвязное приближение позволяет использовать в расчетах значение функции, полученное для соседнего элементарного интервала, и запрещает использовать значения функции, полученные для остальных (более удаленных) элементарных интервалов. Метод не налагает ограничений на изменчивость временного шага расчета, поэтому при выполнении пошагового расчета членов аппроксимирующей последовательности длительность элементарного интервала может меняться от шага к шагу при условии сохранения справедливости локального закона изменения функции.

Для искомой $\Phi P_x(t)$ аргументом является длительность t функционирования СН ПО, а ее расчет выполняется через вероятность $P_{OB}(t)$ отсутствия выброса за время t . В ходе расчета весь интервал времени t разбивается на элементарные интервалы dT , а случайное событие, состоящее в отсутствии выброса за время t , рассматривается как сложное событие, представляющее собой совместную

реализацию (произведение) всех элементарных случайных событий, состоящих в отсутствии выброса на каждом элементарном интервале времени dT . Соответственно вероятность $P_{OB}(t)$ рассчитывается как произведение всех элементарных вероятностей dP_{OB_i} отсутствия выброса на каждом i -ом элементарном интервале времени dT_i

$$P_{OB}(t) = \prod_i dP_{OB_i}$$

Каждая элементарная вероятность dP_{OB_i} , в свою очередь, рассчитывается через соответствующую ей элементарную вероятность выброса. Если длительность dT_i временного шага расчета выбрать настолько малой, чтобы можно было пренебречь погрешностями расчета, обусловленными неучетом изменчивости совместной плотности вероятности на этом элементарном интервале, то элементарная вероятность dP_{B_i} выхода погрешности места из коридора допустимых значений в течение dT_i может быть рассчитана с использованием выражений вида (1), а именно

$$dP_{B_i} = 2 \int_{-a}^a \int_{-a}^a f(z, T_i - dT_i / 2) dz dx$$

Это безусловная вероятность, поскольку для ее расчета используется безусловная плотность вероятности $f(z, T_i - dT_i / 2)$, характеризующая случайный процесс изменения погрешности места на области изменения $\pm\infty$. Однако при пошаговом расчете вероятности $P_{OB}(t)$ отсутствия выброса по условию известно, что к моменту времени $T = T_i - dT_i$ начала i -го интервала выброса не было, т.е. область изменения процесса $z(t)$ на этот момент времени составляет $\pm a$. Поэтому для перехода от безусловной плотности вероятности к условной ее следует разделить на вероятность пребывания случайной величины $z(T_i - dT_i)$ в коридоре $\pm a$. Будем считать, что на любой момент времени погрешность места распределена по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием, тогда на момент времени начала i -го интервала значение процесса $z(t)$ может характеризоваться его СКО $\sigma_{z_{i-1}}$. Вероятность пребывания случайной величины $z(t) = z(T_i - dT_i)$ в коридоре допустимых значений может быть рассчитана с использованием соответствующего интеграла вероятности:

$$P[-a < z(T_i - dT_i) < a] = \Phi(a/\sigma_{z_{i-1}}),$$

где $\Phi(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^x \exp(-y^2 / 2) dy$.

В этом случае условная совместная плотность вероятности для каждого i -го шага дискретизации рассчитывается как

$$f(z, T_i - dT_i / 2) / \Phi(a/\sigma_{z_{i-1}}).$$

Таким образом, элементарная условная вероятность dP_{OB_i} отсутствия выброса на i -ом элементарном интервале (при условии, что выброса не было к моменту

времени $T = T_i - dT_i$ начала этого интервала) может быть рассчитана с использованием выражения

$$dP_{OB_i} = 1 - \frac{2}{\Phi(a/\sigma_{z_{i-1}})} \int_0^{\infty} \int_{a-dT_i}^a f(z, T_i - dT_i/2) dz dT_i \quad (3)$$

Тогда вероятность P_{OB_i} отсутствия выброса на момент времени T_i окончания каждого $i - \text{го}$ элементарного интервала рассчитывается рекуррентно как

$$P_{OB_i} = P_{OB_{i-1}} dP_{OB_i}. \quad (4)$$

Для выполнения расчетов на первом шаге ($i = 1$) в качестве значения $dP_{OB_{i-1}}$ в выражении (4) следует использовать вероятность P_{OB_0} невыхода погрешности места за пределы допустимого значения в начальный момент времени $t = 0$. С учетом принятых допущений эта вероятность может быть рассчитана по формуле

$$P_{OB_0} = \Phi[a/\sigma_z(0)]. \quad (5)$$

Таким образом, для любого момента времени t значение $\Phi P_x(t)$ может быть оценено рекуррентно с использованием выражений (2) – (5) путем последовательного наращивания аргумента T_i от 0 до t малыми шагами dT_i

$$\begin{cases} \Phi P_x(T_i) = 1 - P_{OB_i}, & t = T_i > 0, \\ \Phi P_x(0) = 1 - P_{OB_0}, & t = T_0 = 0, \\ \Phi P_x(t) = 0, & t < 0. \end{cases} \quad (6)$$

Анализ выражений (6) с учетом (3) – (5) показывает, что выбранный способ расчета $\Phi P_x(t)$ обеспечивает ее соответствие всем свойствам функции распределения.

Кроме функции распределения, для описания случайной величины T_x может использоваться ее плотность вероятности $f_x(t)$. Использование метода временной дискретизации позволяет аппроксимировать непрерывную функцию $f_x(t)$ совокупностью дискретных значений, каждое из которых соответствует $i - \text{му}$ элементарному интервалу времени dT_i . При этом каждое дискретное значение $f_x(T_i)$ рассчитывается как среднее значение производной функции распределения на $i - \text{ом}$ шаге путем замены дифференциала $d\Phi P_x(t)$ конечным приращением за малый интервал времени dT_i

$$\begin{aligned} f_x(T_i) &= \left[P(T_x < T_i) - P(T_x < T_{i-1}) \right] / dT_i = (P_{OB_{i-1}} - P_{OB_i}) / dT_i = \\ &= P_{OB_{i-1}} (1 - dP_{OB_i}) / dT_i. \end{aligned} \quad (7)$$

До сих пор исследовался общий вид изменчивости случайной величины T_x . Конкретные выражения для оценивания ее характеристик могут быть получены в зависимости от того, производились ли за время t наблюдения.

В случае, если на ПО ведется некорректируемое счисление, величина T_x может рассматриваться как длительность "точного" счисления T_x^c , представляющая собой интервал времени между началом счисления и моментом времени выхода

погрешности места ПО по направлению из коридора допустимых значений. Характер изменения погрешности места по направлению в этом случае может быть описан так.

В некоторый случайным образом расположенный на оси времени момент времени $T = 0$ выполняется обсервация – уточнение значения координаты места ПО по направлению с использованием средств определения места (СОМ). Погрешность обсервованного места оценивается конкретным значением среднеквадратического отклонения погрешности (СКП) по направлению, которое рассчитывается с учетом характеристик использованных СОМ и реализованного алгоритма получения, обработки и отображения НИ. В ходе обсервации могут определяться не только значения координат места, но и, например, значения скорости их изменения (для последующего прогнозирования значений элементов вектора перемещения ПО). Далее СН осуществляет счисление координат места с участием только автономных ТСН. Погрешности счисления характеризуются законом изменения погрешности места по направлению, позволяющим на любой момент времени $T > 0$ после обсервации в $T = 0$ оценить значения СКП места по данному направлению, производной этой СКП и СКП скорости изменения погрешности места по этому направлению. Закон изменения погрешности места ПО формализуется для конкретного состава автономных ТСН, значений их точностных и надежностных характеристик, для реализованного в СН алгоритма получения, обработки и отображения НИ, для конкретных свойств среды, влияющих на точность счисления.

Рекуррентный пошаговый расчет дискретной последовательности $f_x^c(T_i)$, аппроксимирующей плотность вероятности $f_x^c(t)$ случайной величины T_x^c , может быть выполнен с использованием выражений (4), (5) и (7):

$$\left\{ \begin{array}{l} f_x^c(T_i) = \frac{2}{\Phi(a/\sigma_{z_{i-1}}) dT_i} \int_0^{\infty} \int_{a-dT_i}^a f(z, T_i - dT_i/2) dz d\& \\ P_{OB_i}^c = P_{OB_{i-1}}^c - f_x^c(T_i) dT_i; \\ P_{OB_0}^c = P_{OB_0} = \Phi[a/\sigma_z(o)]. \end{array} \right. \quad (8)$$

При этом для оценивания функции распределения $\Phi P_x^c(t)$ случайной величины T_x^c может быть использована аппроксимирующая дискретная последовательность вида (6), в которой вместо верхнего выражения удобнее использовать выражение:

$$\Phi P_x^c(T_i) = \Phi P_x^c(T_{i-1}) + f_x^c(T_i) dT_i, \quad T_i > 0. \quad (9)$$

Для получения конкретных расчетных формул введем следующие обозначения:

$\sigma_z^2 = \sigma_z^2(t) = R_z(t_1, t_2) |_{t_1 = t_2 = t}$ – дисперсия погрешности места $z(t)$ по данному направлению в момент времени t (через $R_z(t_1, t_2)$ обозначена корреляционная функция погрешностей места);

$\dot{\sigma}_z^2 = \dot{\sigma}_z^2(t) = [R_{zz}(t_1, t_2) |_{t_1 = t_2 = t}] = \partial^2 R_z(t_1, t_2) / \partial t_1 \partial t_2 |_{t_1 = t_2 = t}$ – дисперсия скорости $\dot{z}(t)$ изменения погрешности места в момент времени t (через $R_z(t_1, t_2)$ обозначена корреляционная функция скоростей изменения погрешности места);

$\dot{\sigma}_z = \dot{\sigma}_z(t) = d\sigma_z(t)/dt = [R_{zz}(t_1, t_2) |_{t_1 = t_2 = t}] / \sigma_z(t)$ – производная СКП места в момент времени t , рассчитываемая как отношение значения взаимной корреляционной функции $R_{zz}(t_1, t_2)$ погрешности места в момент времени t_1 и скорости ее изменения в момент времени t_2 к значению СКП погрешности места;

$r=r(t)=\dot{\sigma}_z(t)/\sigma_z(t)=[R_{zz}(t_1,t_2)|t_1=t_2=t]/[\sigma_z(t)\sigma_z(t)]$ – значение нормированной взаимной корреляционной функции погрешности места и скорости ее изменения в момент времени t .

Перед каждым i -ым шагом расчета все обозначенные величины должны оцениваться на момент времени $t = T = T_i - dT_i/2$ после начала счисления.

С учетом того, что погрешность места по направлению и скорость ее изменения описываются нормальным законом распределения с нулевым математическим ожиданием, выражение для их совместной плотности вероятности имеет вид:

$$f(z, \dot{z} | T) = \frac{1}{2\pi\sigma_z\sigma_{\dot{z}}\sqrt{1-r^2}} e^{-\frac{1}{2\sqrt{1-r^2}}\left(\frac{z^2}{\sigma_z^2} - \frac{2rz\dot{z}}{\sigma_z\sigma_{\dot{z}}} + \frac{\dot{z}^2}{\sigma_{\dot{z}}^2}\right)}. \quad (10)$$

Подставив (10) в (8), с учетом введенных обозначений получим окончательное выражение для расчета аппроксимирующего значения $f_x^c(T_i)$ плотности вероятности случайной величины T_x^c на каждом i -ом шаге

$$f_x^c(T_i) = \frac{P_{OB_{i-1}}^c}{dT_i\sqrt{2\pi}\cdot\sigma_z\Phi\left[\frac{a}{\sigma_z(T_{i-1})}\right]} \times \int_0^\infty e^{-\frac{\dot{z}^2}{2\sigma_{\dot{z}}^2}} \times \left\{ \Phi\left(\frac{a\sigma_z^2 - \dot{z}\dot{\sigma}_z\sigma_z}{\sigma_z\sigma_z\sqrt{\sigma_z^2 - \dot{\sigma}_z^2}}\right) - \Phi\left(\frac{a\sigma_z^2 - \dot{z}(dT_i\sigma_z^2 + \dot{\sigma}_z\sigma_z)}{\sigma_z\sigma_z\sqrt{\sigma_z^2 - \dot{\sigma}_z^2}}\right) \right\} d\dot{z}. \quad (11)$$

Для расчетов с использованием выражения (11) необходимо оценить значения всех входящих в это выражение величин. Методика такого оценивания подробно изложена в [4] применительно к конкретному составу автономных ТСН и реализованному в СН алгоритму получения, обработки и отображения НИ. Она основана на декомпозиционном подходе, предусматривающем отдельный учет независимого влияния различных факторов на погрешность места ПО по направлению. При этом дисперсия погрешности места по направлению представляется в виде суммы дисперсий составляющих этой погрешности, каждая из которых характеризует влияние одного из учитываемых факторов: погрешности выработки НП конкретным ТСН, погрешности обработки или отображения НИ выбранным способом и т.п. Поскольку счисление координат места ПО, как правило, ведется путем интегрирования оценок элементов его вектора перемещения, порядок учета влияния конкретного фактора зависит от того, влияет он на погрешность места непосредственно или опосредованно, в форме погрешности интегрируемого НП. В последнем случае порядок учета оказывается наиболее сложным.

В качестве примера рассмотрим порядок учета влияния погрешностей гирокомпаса (ГК) на величины, входящие в выражение (11). Пусть погрешность определения направления перемещения ПО, обусловленная случайным процессом отклонения оси чувствительного элемента ГК от плоскости компасного меридиана, характеризуется косинус-экспоненциальной корреляционной функцией (АКФ) вида

$$R(t_1, t_2) = \sigma_{ycm}^2 \exp[-h|t_1 - t_2|] \cos[b(t_2 - t_1)]$$

с параметрами h и b и дисперсией процесса σ_{ycm}^2 . Пусть погрешность определения направления плоскости компасного меридиана (постоянной поправки ГК) характеризуется дисперсией $\sigma_{ГКП}^2$.

Обусловленная погрешностями ГК составляющая дисперсии погрешности места ПО по направлению, перпендикулярному направлению его движения со скоростью V , на момент времени T после начала счисления будет определяться выражением:

$$\sigma_z^2(T) = V^2 \left\{ T^2 \sigma_{ГКП}^2 + \frac{2\sigma_{ycm}^2}{h^2 + b^2} \left[ht - \frac{h^2 - b^2}{h^2 + b^2} + \frac{1}{h^2 + b^2} e^{-hT} \left[(h^2 - b^2) \cos bT - 2hbsin bT \right] \right] \right\}$$

Квадрат производной СКП места и дисперсия скорости изменения погрешности места для этих же условий будут определяться выражениями:

$$\dot{\sigma}_z^2(T) = V^2 \left\{ T \sigma_{\text{ожн}}^2 + \frac{2\sigma_{\text{--}\square}^2}{h^2 + b^2} [hT - e^{-hT} (h \cos bT - b \sin bT)] \right\} / \sigma_z^2(T);$$

$$\sigma_z^2(T) = V^2 (\sigma_{\text{ожн}}^2 + \sigma_{\text{--}\square}^2)$$

Если влияние фактора на погрешность места ПО описывается более простыми зависимостями, то и приведенные выражения также следует упростить:

– для случая, когда погрешность интегрируемого НП характеризуется экспоненциальной корреляционной функцией, параметр b следует принять равным нулю; в частности, такой подход может быть использован для учета влияния течения, поскольку в работе [5] АКФ составляющих скорости сноса водоизмещающего корабля течением предлагается характеризовать суммой двух экспонент; такой же подход согласно [4] используется для учета влияния ветра на погрешность места ЛА;

– для случая, когда погрешность интегрируемого НП характеризуется только дисперсией, ее влияние учитывается аналогично учету влияния погрешности определения постоянной поправки ГК;

– для случая, когда учитываемый фактор влияет на погрешность места ПО непосредственно, его влияние может описываться постоянным для данных условий значением составляющей дисперсии погрешности места ПО.

Таким образом, система выражений (8) с учетом (11) позволяет оценить плотность вероятности $f_x^c(T)$ случайной величины T_x^c на любой момент времени T после наблюдения. Выражения (6) с учетом (9) позволяют перейти к оценке $\Phi P_x^c(T)$ на этот же момент времени.

Перечисленные выражения позволяют также оценить математическое ожидание \bar{T}_x^c длительности "точного" счисления T_x^c , которая представляет собой непрерывную случайную величину. Использование метода временной дискретизации, предусматривающего замену непрерывной плотности вероятности $f_x^c(t)$ совокупностью ее дискретных значений $f_x^c(T_i)$, постоянных на каждом интервале от $t = T_i - dT_i$ до $t = T_i$, дает возможность рассчитать значение \bar{T}_x^c по известным формулам теории вероятностей для дискретных случайных величин. При этом в качестве совокупности дискретных значений $T_{x_i}^c$ случайной величины T_x^c берутся средние значения $T_i - dT_i/2$ всех i -ых интервалов, а в качестве вероятностей

реализации каждого дискретного значения берутся вероятности попадания T_x^c в соответствующие интервалы. Эти вероятности могут рассчитываться либо непосредственно как изменения вероятностей отсутствия выброса на интервале, либо через дискретные значения плотности вероятности с использованием (7). Таким образом

$$\bar{T}_x^c = \sum_{i=1}^{\infty} (T_i - dT_i/2) P_{OB_{i-1}}^c (1 - dP_{OB_i}^c) = \sum_{i=1}^{\infty} (T_i - dT_i/2) f_x^c(T_i) dT_i. \quad (12)$$

Анализ показывает, что распределение длительности T_x^c "точного" счисления является одномодальным асимметричным. Сразу после начала счисления плотность вероятности выброса невелика, но быстро возрастает, достигает максимума, а затем убывает быстрее, чем возрастала (математическое ожидание случайной величины T_x^c всегда меньше моды). Скорость изменения плотности вероятности, значения моды и математического ожидания зависят от свойств конкретной СН и среды. Описанный характер распределения T_x^c позволяет, в частности, обоснованно назначать дискретность наблюдений применительно к конкретным условиям решения задачи.

Выражения (8),(9),(11) соответствуют случаю некорректируемого счисления. Как правило, в реальности счисление является корректируемым: эпизодически оно прерывается наблюдениями, в ходе которых числовые характеристики погрешности места ПО скачкообразно уменьшаются до значений, определяемых характеристиками используемых СОМ и принятым способом обработки НИ. После каждой наблюдения распределение длительности функционирования СН ПО с требуемой точностью вновь приобретает вид (8),(9),(11), т.е. отсчет длительности "точного" счисления после каждой наблюдения начинается как бы заново. При этом ранее накопленная вероятность отказа СН сохраняется, а дальнейшее изменение вероятности безотказной работы СН происходит таким образом, как если бы ее работа только началась с момента времени последней (опорной) наблюдения.

Длительность T_x^k функционирования СН ПО с требуемой точностью в условиях корректируемого счисления может рассматриваться как случайная величина с функцией распределения $\Phi P_x^k(t)$ и плотностью вероятности $f_x^k(t)$, вид которых после первой наблюдения будет отличаться от вида (9) и (11) уже известных $\Phi P_x^c(t)$ и $f_x^c(t)$. Вывод выражений для расчета значений $\Phi P_x^k(t)$ и $f_x^k(t)$ может быть выполнен на основе подхода, аналогичного использованному для случая некорректируемого счисления: с применением метода временной дискретизации строятся выражения вида (2) – (8) для рекуррентного пошагового расчета.

Заметим, что в выражениях (2) и (3) не используются значения величин, рассчитанные на предшествующих шагах: все входящие в эти формулы величины зависят только от длительности счисления на текущем шаге расчета. Поэтому для случая корректируемого счисления значение элементарной условной вероятности $dP_{OB_j}^k$ отсутствия выброса на j -ом шаге расчета, зависящее только от длительности счисления после опорной наблюдения и не зависящее от длительности работы СН, будет равно известному значению $dP_{OB_i}^c$, рассчитанному с использованием выражения (3) для случая, когда отстояние $i - z_0$ шага от начала некорректируемого счисления равно отстоянию $j - z_0$ шага от момента времени опорной наблюдения.

Если общее число наблюдений за время t составляет n , а длительность счисления ΔT_{ok} перед каждой k -ой наблюдением известна, то на произвольный момент времени t от начала функционирования СН ПО время T_a , предшествующее опорной наблюдению, может быть рассчитано как

$$T_a = \sum_{k=1}^n \Delta T_{ok}.$$

Если же моменты времени наблюдений неизвестны (при априорных исследованиях), то случайную величину ΔT_o интервала времени между наблюдениями целесообразно характеризовать ее условным математическим ожиданием $\overline{\Delta T_o}$, оцениваемым при условии, что СОМ доступно для использования. Тогда общее число выполненных наблюдений на момент времени t будет представлять собой целую часть частного от деления t на $\overline{\Delta T_o}$, а время T_a может быть рассчитано как

$$T_a = n \overline{\Delta T_o}.$$

Таким образом, на произвольный момент времени t от начала функционирования СН ПО длительность счисления T после опорной наблюдению может быть оценена величиной

$$T = t - T_a.$$

При пошаговом расчете, когда $t = T_j$, значение элементарной вероятности $dP_{OB_j}^k$ отсутствия выброса на j -ом шаге корректируемого счисления рассчитывается по формуле (3) для $T_i = T_j$ как

$$dP_{OB_j}^k = 1 - \frac{2}{\Phi(a/\sigma_{z_{j-1}})} \int_0^{\infty} \int_0^a f(z, \dot{z} \mid T_j - dT_j/2 - T_a) dz d\dot{z}.$$

После подстановки выражения (10) для $f(z, \dot{z} \mid T)$ при $T = T_j - dT_j/2 - T_a$ эта формула примет вид

$$dP_{OB_j}^k = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_z \Phi \left[\frac{a}{\sigma_z (T_{j-1} - T_a)} \right]} \times \int_0^{\infty} e^{-\frac{\dot{z}^2}{2\sigma_z^2}} \left\{ \Phi \left(\frac{a\sigma_z^2 - \dot{z}\sigma_z\sigma_z}{\sigma_z\sigma_z\sqrt{\sigma_z^2 - \dot{\sigma}_z^2}} \right) - \Phi \left[\frac{a\sigma_z^2 - \dot{z}(dT_j\sigma_z^2 + \dot{\sigma}_z\sigma_z)}{\sigma_z\sigma_z\sqrt{\sigma_z^2 - \dot{\sigma}_z^2}} \right] \right\} d\dot{z}. \quad (13)$$

Расчет вероятности отсутствия выброса на момент времени $t = T_j$ окончания j -го шага выполняется по формуле вида (4), адаптированной к алгоритму корректируемого счисления следующим образом: для того, чтобы при моделировании корректируемого счисления организовать многократный учет погрешностей наблюдения, в случаях равенства $T_j = T_a$ значения $P_{OB_j}^k$ следует дополнительно умножать на величину $P_{OB_0}^k$ вероятности отсутствия выброса в ходе наблюдения, т.е.

$$\begin{cases} P_{OB_j}^k = P_{OB_{j-1}}^k dP_{OB_j}^k, & T_j > T_a; \\ P_{OB_j}^k = P_{OB_{j-1}}^k P_{OB_0}^k dP_{OB_j}^k, & T_j = T_a; \\ P_{OB_0}^k = \Phi(a / \sigma_{z_0}). \end{cases} \quad (14)$$

где σ_{z_0} - СКП обсервованного места по направлению.

Плотность вероятности $f_x^k(t)$ и функция распределения $\Phi P_x^k(t)$ длительности T_x^k "точного" корректируемого счисления могут быть оценены на момент времени $t = T_j$ после начала работы СН ПО с использованием рекуррентных выражений (7) и (6) соответственно путем подстановки в эти выражения вместо P_{OB_i} конкретных значений $P_{OB_j}^k$ из (14).

Оценка математического ожидания \bar{T}_x^k длительности T_x^k может быть выполнена с использованием выражения (12) путем подстановки в него $T_j, dT_j, P_{OB_j}^k, f_x^k(T_j)$ вместо $T_i, dT_i, P_{OB_i}^c, dP_{OB_i}^c, f_x^c(T_i)$, соответственно.

Поскольку по физическому смыслу вероятность $P_{\bar{o}p}(t)$ безотказной работы СН ПО в течение времени t соответствует вероятности отсутствия выброса, расчет вероятностей безотказной работы для случаев корректируемого и некорректируемого счисления можно выполнить с использованием рекуррентных выражений (14) и (3) – (5). При этом получим

$$P_{\bar{o}p}^k(T_j) = P_{OB_j}^k; \quad P_{\bar{o}p}^c(T_i) = P_{OB_i}^c.$$

Если случайное событие доступности СОМ для использования в течение всего времени работы СН ПО охарактеризовать вероятностью P_{ucn} , то полученные выражения позволяют построить простейшую математическую модель для рекуррентного пошагового оценивания вероятности безотказной работы СН ПО на интервале времени от $t = 0$ до $t = T_i$

$$P_{\bar{o}p}(T_i) = P_{ucn} P_{\bar{o}p}^k(T_i) + (1 - P_{ucn}) P_{\bar{o}p}^c(T_i).$$

При необходимости более тонкого учета влияния характеристик отдельных ТСН и среды на точность СН ПО изложенный в статье математический аппарат может быть использован для построения моделей сложных многокомпонентных СН на основе марковских и полумарковских систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. – М.: Наука, 1968. – 463 с.
2. Тихонов В.И., Хименко В.И. Выбросы траекторий случайных процессов. – М.: Наука, 1987. – 304 с.
3. Фомин Я.А. Теория выбросов случайных процессов. – М.: Связь, 1980. – 216 с.
4. Козарук В.В., Ребо Я.Ю. Навигационные эргатические комплексы самолетов. – М.: Машиностроение, 1986. – 288 с.
5. Беляев Б.Н., Болдырев В.С. К вопросу об оценке точности счисления пути судна. Сборник трудов ЦНИИМФ "Навигация и управление судном". – М.: Транспорт, 1990. – С.7-11.

**СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ КОРАБЛЯ
НА ПЕРЕМЕННОМ ТЕЧЕНИИ ПРИ СОКРАЩЕННОМ ЧИСЛЕ ПРОБЕГОВ**

А.А.ДАДАШЕВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Обосновывается способ определения относительной скорости корабля при сокращенном числе пробегов с обработкой результатов измерений на ЭВМ.

В настоящее время при определении относительной скорости корабля на мерной линии широко используется способ групповых пробегов. Для определения относительной скорости корабля этим способом с исключением переменного течения необходимо выполнить три–четыре пробега на взаимнообратных курсах при одном режиме работы движителей. Учитывая, что для определения соответствия скорости частоте оборотов движителей необходимо произвести скоростные испытания на 3 – 5 режимах, всего потребуется выполнить от 9 до 20 пробегов. Это большой объем работы, причем основная часть времени и моторесурсов уходит на выходы в начальную точку, поворот на обратный курс и разгон.

В работах [1, 2] теоретически обоснована возможность определения относительной скорости корабля при сокращении объема работ на мерной линии в 1,5–2 раза. Основным препятствием в использовании этой возможности в 60-х годах было отсутствие на борту корабля электронно-вычислительной техники, способной быстро производить сложные расчеты. Современные же ЭВМ позволяют не только автоматизировать измерения и обработку их результатов, но и усовершенствовать способ, расширить область его применения, а также оптимизировать работы на мерной линии.

В основе теории традиционного способа групповых пробегов лежит представление продольной составляющей скорости V_o на пробеге в виде уравнения

$$V_o \pm (A + B t_i + C t_i^2 + K D t_i^n) = V_{x_i}, \quad (1)$$

где V_o – относительная скорость корабля;

$v_T = \pm (A + B t_i + C t_i^2 + K + D t_i^n)$ – уравнение скорости течения с неизвестными коэффициентами A, B, C, D ;

t_i – средний момент времени i -го пробега, равный полусумме моментов начала и конца пробега.

Знак перед уравнением течения меняется при изменении курса корабля на обратный.

Если аппроксимировать скорость течения уравнением $v_T = \pm (A + B t)$ и составить три уравнения пробега вида [1], то получим систему уравнений, решение которой в общем виде позволит вычислить относительную скорость корабля

$$V_o = \left[(t_3 - t_2) V_{x_1} + (t_3 - t_1) V_{x_2} + (t_2 - t_1) V_{x_3} \right] / 2 (t_3 - t_1). \quad (2)$$

При аппроксимации скорости течения уравнением $v_T = \pm (A + B t + C t^2)$ необходимо выполнить четыре пробега. Решение системы из четырех уравнений пробегов позволит получить

$$V_o = (F_1 V_{x_1} + F_2 V_{x_2} + F_3 V_{x_3} + F_4 V_{x_4}) / (F_1 + F_2 + F_3 + F_4), \quad (3)$$

где F_i – произведение всех положительных разностей средних моментов t_i пробегов за исключением тех, у которых индекс равен индексу F_i . Например, $F_1 = (t_4 - t_3)(t_4 - t_2)(t_3 - t_2)$ и т.д.

Если спланировать и выполнить пробеги с равными интервалами времени между ними, то формулы (2), (3) примут знакомый вид

$$\left. \begin{aligned} V_o &= \frac{V_{x_1} + 2V_{x_2} + V_{x_3}}{4} \\ V_o &= \frac{V_{x_1} + 3V_{x_2} + 3V_{x_3} + V_{x_4}}{8} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Формулы (2) и (3) учитывают фактические интервалы времени между пробегами и поэтому свободны от методической погрешности, присущей формулам (4). Будем называть их уточненными формулами. Анализ процедуры их вывода показывает, что не обязательно после каждого пробега изменять курс на обратный. Достаточно изменить курс один раз, но при этом на одном из курсов выполнить два пробега, сдвинутых по времени. Решение системы уравнений пробегов (1) в этом случае приводит к формулам

$$V_o = \frac{(t_3 - t_2)V_{x_1} + (t_3 - t_1)V_{x_2} - (t_2 - t_1)V_{x_3}}{2(t_3 - t_2)},$$

если второй и третий пробег выполнены на одном курсе; (5)

$$V_o = \frac{(t_2 - t_1)V_{x_3} + (t_3 - t_1)V_{x_2} - (t_3 - t_2)V_{x_1}}{2(t_2 - t_1)},$$

если первые два пробега выполнены на одном курсе.

Для исключения более сложного течения необходимо выполнить по два пробега на каждом из двух взаимообратных курсах. Формула для вычисления относительной скорости при этом будет

$$V_o = \frac{F_1 V_{x_1} - F_2 V_{x_2} - F_3 V_{x_3} + F_4 V_{x_4}}{F_1 - F_2 - F_3 + F_4}. \quad (6)$$

В случае равенства интервалов времени между пробегами формулы (5) и (6) соответственно примут вид

$$\begin{aligned} V_o &= \frac{V_{x_1} + 2V_{x_2} - V_{x_3}}{2}; \\ V_o &= \frac{V_{x_3} + 2V_{x_2} - V_{x_1}}{2}; \\ V_o &= \frac{V_{x_1} - 3V_{x_2} - 3V_{x_3} + V_{x_4}}{-4}. \end{aligned} \quad (7)$$

Анализ точности вычислений по формулам (5)–(7) показывает, что минимум погрешности имеет место при равенстве интервалов времени между пробегами, а именно $m_{v_o} = 1,22m_{v_i}$, $m_{v_o} = 1,12m_{v_i}$, соответственно.

В работе [1] показано, что используя условие равенства количества уравнений в системе и количества неизвестных, позволяющее получить однозначное решение, можно в одну группу пробегов объединить пробеги при двух и более режимах работы движителей. Например, выполнив два пробега на одном режиме и два пробега на другом с изменением курса после каждого пробега на обратный, можно составить 4 уравнения пробегов. Решение полученной системы уравнений позволит вычислить две скорости на разных режимах работы движителей с исключением равномерно изменяющего течения по формулам

$$V_{oA} = \frac{(t_{42} + t_{32})V_{A1} + (t_{41} + t_{31})V_{A2} + t_{21}(V_{B1} - V_{B2})}{2(t_{42} + t_{31})},$$

$$V_{oB} = \frac{(t_{42} + t_{41})V_{B1} + (t_{32} + t_{31})V_{B2} + t_{43}(V_{A2} - V_{A1})}{2(t_{42} + t_{31})}$$

где $t_{42} = t_4 - t_2$, $t_{32} = t_3 - t_2$ и т.д.

При равенстве интервалов времени между пробегами формулы упрощаются

$$V_{oA} = \frac{3V_{A1} + 5V_{A2} + V_{B1} - V_{B2}}{8};$$

$$V_{oB} = \frac{5V_{B1} + 3V_{B2} + V_{A2} - V_{A1}}{8}.$$

Средняя квадратическая погрешность при вычислениях по этим формулам будет равна $m_{V_{oA}} = m_{V_{oB}} = 0,75 m_{V_i}$.

Если выполнить шесть пробегов по два пробега при разных режимах работы движителей, то можно вычислить три относительные скорости с исключением скорости течения, изменяющейся по квадратичной параболе. Формулы для этого случая довольно громоздки [1]. Однако при соблюдении равенства интервалов времени между пробегами они упрощаются и принимают вид

$$V_{oA} = \frac{1}{16} [5V_{A1} + 11V_{A2} + 4(V_{B1} - V_{B2}) + V_{C2} - V_{C1}],$$

$$V_{oB} = \frac{1}{16} [8(V_{B1} + V_{B2}) + V_{A2} - V_{A1} + V_{C1} - V_{C2}],$$

$$V_{oC} = \frac{1}{16} [11V_{C1} + 5V_{C2} + 4(V_{B2} - V_{B1}) + V_{A1} - V_{A2}].$$

Погрешность вычислений по ним будет

$$m_{V_{oA}} = m_{V_{oC}} = 0,84 m_{V_i}; \quad m_{V_{oB}} = 0,72 m_{V_i}.$$

Расчеты показывают, что при отклонении отдельных интервалов времени от среднего их значения до двух минут погрешность вычислений пренебрежимо мала, и следовательно, можно пользоваться упрощенными формулами. В тех случаях, когда не удалось соблюсти указанное условие, не обязательно использовать уточненные формулы для вычисления относительной скорости. Решение системы линейных уравнений сравнительно просто осуществляется с помощью персональной ЭВМ и даже программируемого микрокалькулятора. При этом вычисляются не только скорости V_o , но и коэффициенты уравнения течения A, B, C . Допустим, что при определении двух относительных скоростей на четырех пробегах получены следующие результаты измерений

$$t_1 = 11 \text{ ч } 15 \text{ мин}; V_{x_1} = 10,3000 \text{ уз};$$

$$t_2 = 11 \text{ ч } 35 \text{ мин}; V_{x_2} = 9,5333 \text{ уз};$$

$$t_3 = 11 \text{ ч } 51 \text{ мин}; V_{x_3} = 15,6000 \text{ уз};$$

$$t_4 = 12 \text{ ч } 06 \text{ мин}; V_{x_4} = 14,2750 \text{ уз}.$$

Уравнения пробегов имеют вид

$$\begin{aligned}
 V_{oA} + A + B t_1 &= V_{x_1}; \\
 V_{oA} - (A + B t_2) &= V_{x_2}; \\
 V_{oB} + A + B t_3 &= V_{x_3}; \\
 V_{oB} - (A + B t_4) &= V_{x_4}.
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Для решения задачи составим матрицу коэффициентов a_i, b_i, c_i, t_i при неизвестных V_{oA}, V_{oB}, A, B и свободных членов V_{x_i}

$$\begin{array}{cccccc}
 a_i & b_i & c_i & t_i & , & V_{x_i} \\
 \left| \begin{array}{cccc|c}
 1 & 0 & 1 & 0 & 10,3000 \\
 1 & 0 & -1 & -20 & 9,5333 \\
 0 & 1 & 1 & 36 & 15,6000 \\
 0 & 1 & -1 & -51 & 14,2750
 \end{array} \right|
 \end{array}$$

Решение системы уравнений на микрокалькуляторе по программе [3,4] дает результат: $V_{oA} = 10,0000$ уз; $V_{oB} = 15,0000$ уз; $A = 0,3$ уз; $B = 0,00833$ уз/м = 0,5 уз/ч. Таким образом уравнение течения будет иметь вид $v_T = (0,3 + 0,5 t_i)$ уз. Оценка точности отдельного измерения скорости m_{V_i} осуществляется по формуле

$$m_{V_i} = \sqrt{\frac{[\Delta_V^2]}{n_I(n-I)}},$$

где Δ_V – разность между отдельными измерениями V_x и средним его значением на пробеге;

n, n_I – количество измерений скорости на пробеге и количество пробегов соответственно.

СКП относительной скорости оценивается соотношением

$$m_{V_o} = 0,75 m_{V_i}.$$

В данном примере в качестве скоростей V_{x_i} использовались средние скорости на пробеге как это требуют действующие правила. При наличии на борту ПЭВМ или даже программируемого микрокалькулятора в осреднении скоростей на пробеге нет необходимости. Более того, желательно использовать все замеры скорости для составления системы уравнений, в которой их количество будет больше числа неизвестных. Решить такую систему можно методом наименьших квадратов. При этом уравнения поправок будут иметь вид

$$\begin{aligned}
 V_o \pm (A + B t_{ij}) - V_{x_{ij}} &= v_i; \\
 \text{или } V_o \pm (A + B t_{ij} + C t_{ij}^2)_{ij} - V_{x_{ij}} &= v_i,
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

где t_{ij} – средний момент j -го измерения скорости на i -ом пробеге;

$V_{x_{ij}}$ – j -ое измерение скорости корабля на i -ом пробеге.

По уравнениям поправок составляются нормальные уравнения [5], решение которых позволяет определить неизвестные V_o, A, B, C .

Рассмотренный способ определения относительной скорости корабля привлекателен не только для штурманов, но и для гидрографов. Во-первых, потому, что гидрографы обеспечивают и часто непосредственно участвуют в скоростных испытаниях. Во-вторых, Правила гидрографической службы N4 требуют при подго-

товке к съемке рельефа дна и в ходе съемки осуществлять проверку технических средств навигации. Работу лага в ходе съемки рекомендуется контролировать по частоте оборотов движителей. Однако соответствие скорости корабля частоте оборотов движителей со временем изменяется. Поэтому, актуальным вопросом является поиск экономичного способа определения относительной скорости корабля с целью проверки и уточнения поправки лага и соответствия скорости частоте оборотов движителей в процессе съемки.

Учитывая, что относительную скорость судна можно определить на двух взаимно-обратных курсах, ее определение можно совместить с хождением судна по галсам съемки с наблюдениями на галсе по высокоточным радионавигационным системам. Для этого необходимо продолжить два последовательных галса за границу района съемки (планшета) на величину, необходимую для определения скорости и вычислить V_o по формулам или методом наименьших квадратов. Истинные курсы при этом должны быть взаимнообратными.

Допустим, что на двух взаимнообратных курсах получены следующие результаты измерений:

на первом курсе:		на обратном курсе:	
$t_{11} = 13 \text{ ч } 10 \text{ мин};$	$V_{x_{11}} = 11,0182 \text{ уз}$	$t_{21} = 13 \text{ ч } 31 \text{ мин};$	$V_{x_{21}} = 8,8166 \text{ уз}$
$t_{12} = 13 \text{ ч } 11 \text{ мин};$	$V_{x_{12}} = 11,0116 \text{ уз}$	$t_{22} = 13 \text{ ч } 32 \text{ мин};$	$V_{x_{22}} = 8,8183 \text{ уз}$
$t_{13} = 13 \text{ ч } 12 \text{ мин};$	$V_{x_{13}} = 11,0094 \text{ уз}$	$t_{23} = 13 \text{ ч } 33 \text{ мин};$	$V_{x_{23}} = 1,8078 \text{ уз}$
		$t_{31} = 14 \text{ ч } 00 \text{ мин};$	$V_{x_{31}} = 8,5895 \text{ уз}$
		$t_{32} = 14 \text{ ч } 01 \text{ мин};$	$V_{x_{32}} = 8,5915 \text{ уз}$
		$t_{33} = 14 \text{ ч } 02 \text{ мин};$	$V_{x_{33}} = 8,5487 \text{ уз}$

По этим данным составим уравнения поправок (9) и соответствующую матрицу их коэффициентов a_{ij}, b_{ij}, t_{ij} при неизвестных V_o, A, B и свободных членов $V_{x_{ij}}$. С целью упрощения расчетов начало счета времени примем с момента $t_{11} = 0$ в мин.

$$\begin{array}{cccc}
 a_{ij} & b_{ij} & t_{ij} & V_{x_{ij}} \\
 \left| \begin{array}{cccc}
 1 & 1 & 0 & 11,0182 \\
 1 & 1 & 1 & 11,0116 \\
 1 & 1 & 2 & 11,0094 \\
 1 & -1 & -21 & 8,8166 \\
 1 & -1 & -22 & 8,8183 \\
 1 & -1 & -23 & 8,8078 \\
 1 & -1 & -50 & 8,5895 \\
 1 & -1 & -51 & 8,5915 \\
 1 & -1 & -52 & 8,5487
 \end{array} \right|
 \end{array}$$

Коэффициенты и свободные члены нормальных уравнений получаются суммированием произведений

$$\left| \begin{array}{cccc}
 [aa] & [ab] & [at] & [aV] \\
 [ba] & [bb] & [bt] & [bV] \\
 [ta] & [tb] & [tt] & [tV]
 \end{array} \right|$$

В результате получим

$$\begin{vmatrix} 9 & -3 & -216 & 85,2116 \\ -3 & 9 & 222 & -19,1332 \\ -216 & 222 & 9264 & -1860,8741 \end{vmatrix}$$

Решение системы нормальных уравнений можно выполнить на программируемом микрокалькуляторе по программе, приведенной в работах [3, 4]. Результаты решения: $V_o = ,999$ уз, $A = 1,005$ уз, $B = 0,00819$ уз/м = $0,491$ уз/ч. Таким образом, продольная составляющая скорости течения определяется уравнением $v_T = (1,005 + 0,491t_{ij})$ уз.

Оценка точности одного измерения скорости $V_{x_{ij}}$ производится по формуле

$$m_{V_j} = \sqrt{\frac{[V_i^2]}{n-k}} = \sqrt{\frac{0,001693}{9-3}} = 0,017 \text{ уз},$$

где n – количество измерений ;

k – количество неизвестных;

V_i – поправки, которые вычисляются по уравнениям (9) с учетом вычисленных значений V_o, A, B .

Для оценки точности относительной скорости V_o необходимо произвести обращение матрицы, составленной из коэффициентов при неизвестных нормальных уравнений. Это можно выполнить с помощью программируемого микрокалькулятора [4] или персональной ЭВМ.

Оценка выполняется по формуле [5]

$$K_{ij} = m_{V_j}^2 N^{-1},$$

где K_{ij} – корреляционная матрица погрешностей;

N^{-1} – матрица обратная матрице коэффициентов нормальных уравнений.

Выполнив обращение и подставив значение m_{V_j} получим

$$K_{ij} = 2,8 \cdot 10^{-4} \begin{vmatrix} 0,3736 & -0,2209 & 0,0140 \\ -0,2209 & 0,4024 & -0,0148 \\ 0,0140 & -0,0148 & 0,0008 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0,0001 & -0,0001 & 0 \\ -0,0001 & 0,0001 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

По главной диагонали корреляционной матрицы расположены дисперсии искоемых неизвестных V_o, A, B . Остальные элементы матрицы представляют собой их корреляционные моменты. Таким образом

$$m_{V_o} = \sqrt{0,0001} = 0,010 \text{ уз}.$$

Эта оценка учитывает погрешность аппроксимации течения, которая остается неучтенной при других способах оценки.

При хождении судна по съёмочным галсам под влиянием течения истинные курсы IK_1, IK_2 на прямом и обратном галсах могут быть не противоположными, то есть $\Delta IK = IK - (IK \pm 180^\circ) \neq 0$. При этом изменяется проекция вектора скорости течения на истинный курс. Последнее вызывает изменение продольной составляющей абсолютной скорости $V_{x_{ij}}$. Расчеты показывают, что при скоростях

течения $\leq 0,5$ уз и расхождениях взаимобратных курсов на величину $\Delta IK \leq 3^\circ$ этими изменениями можно пренебречь и измерения скорости выполнить в конце од-

ного и начале следующего галса съемки без их продолжения за границу района (планшета).

Необходимо учитывать, что при съемке судно следует не по курсу, а по заданной линии. Поэтому изменения курса с целью удержания судна на галсе не должны превышать углов рыскания. Это позволит принять курс пробега равным среднему его значению на пробеге.

По измерениям на пробегах скорость по лагу и частота оборотов движителей вычисляются по тем же формулам и тем же порядком, что и относительная скорость. При планировании работ на мерной линии для выбора того или иного способа определения скорости или варианта маневрирования корабля и продолжительности пробегов по заданной погрешности m_{V_o} можно использовать методику, описанную в работе [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дадашев А.А. Вычисление относительной скорости при неравных интервалах времени между пробегами // Записки по гидрографии. – 1968. – №4. – С.31–37.
2. Дадашев А.А. О возможности уменьшения числа пробегов при определении скорости корабля на переменном течении // Записки по гидрографии. – 1967. – № 2–3. – С.35–44.
3. Дьяконов В.П. Справочник по расчетам на микрокалькуляторах. М.: Наука, – 1989. – 461 с.
4. Цветков А.Н., Епанечников В.А. Прикладные программы для микроЭВМ. – М.: Финансы и статистика, 1984. – 171 с.
5. Дадашев А.А. Картография и математическая обработка навигационно-гидрографической информации. – Л.: ВВМКУ им М.В. Фрунзе, 1987. – 364 с.
6. Иванов Б.Е. Выбор числа и продолжительности пробегов при определении поправки лага на мерной линии // Записки по гидрографии. – 1970. №2. С.3–11.

ГРНТИ 78.21.41.19

О ПОДХОДАХ К ОБОСНОВАНИЮ ТРЕБОВАНИЙ К ТОЧНОСТИ НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

А.Ю.ТИХОНОВ

(ВМА им. адм.Н.Г.Кузнецова)

Изложен порядок обоснования требований к точности навигационной информации с использованием прямого и косвенного подходов. Даны варианты и примеры реализации этих подходов применительно к конкретным обстоятельствам, главным образом в зависимости от установленной формы связи между числовыми характеристиками погрешностей навигационных параметров и эффективностью решения задач потребителями навигационной информации.

Одной из задач штурманской службы (ШС) является выработка навигационной информации (НИ), которая используется потребителями при управлении силами и средствами флота, применении оружия и использовании технических средств. Эффективность ШС при решении этой задачи определяется соответствием погрешностей выходных навигационных параметров (НП) требованиям, предъявляемым потребителями к точности их выработки. При этом в качестве граничных условий могут рассматриваться требования, относящиеся к своевременности и скрытности выработки НП.

Требования к точности НИ могут быть обусловлены необходимостью:

– точного отображения пространственно-временных элементов обстановки в ходе ее оценки, выработки замысла, принятия решения, планирования, формирования управляющего воздействия, контроля выполнения спланированных мероприятий;

– обеспечения перемещения сил и средств, применения оружия и использования технических средств по ненаблюдаемому противнику в соответствии с принятым решением;

– обеспечения безопасности плавания в навигационном и минном отношении, безопасности от оружия, применяемого своими силами, соблюдения пространственных элементов международно-правовых и экологических норм;

– обеспечения исходными данными устройств пространственного ориентирования, находящихся в заведовании нештурманских боевых частей кораблей.

Требования к точности НИ формулируются в ходе априорных исследований, проводимых с целью синтеза рациональной структуры ШС. При этом приходится иметь дело не с самими случайными величинами – погрешностями места корабля или некоторого одномерного НП, а с оценками их числовых характеристик. Поэтому требования к точности НИ целесообразно выражать в форме допустимых значений радиальной средней квадратической погрешности (РСКП) места корабля $M_{дон}$, среднего квадратического отклонения погрешности (СКП) одномерного НП $\sigma_{ндон}$ или допустимых значений соответствующих предельных погрешностей.

Очевидно, что с точки зрения потребителя погрешности НИ должны быть минимальными, а в идеале – нулевыми (чем точнее, тем лучше). Поэтому не имеет смысла вести речь об оптимизации числовых характеристик погрешностей НИ по критерию максимального уровня эффективности решения задач потребителем (этот максимум недостижим). Однако стремление повысить точность НИ, как правило, сопряжено с большими затратами, причем даже максимальное использование существующих ресурсов не позволяет полностью устранить погрешности НИ. Следует признать, что ШС объективно заинтересована в снижении требований к точности НИ. Обоснование этих требований, таким образом, сводится к поиску компромисса между указанными противоположными тенденциями. Как правило, обоснование состоит в отыскании таких максимальных (допустимых) значений числовых характеристик погрешностей НИ, при которых будет обеспечен приемлемый уровень эффективности решения задач ее потребителями.

Сложность обоснования требований к точности НИ обусловлена недостаточностью знаний об условиях решения задач потребителем НИ, а также необходимостью учета влияния на эффективность решения этих задач большого числа различных факторов. В общем виде часть таких факторов может быть учтена в форме обобщенных "затрат" Z потребителя для достижения его цели в конкретных условиях. К затратам в данном случае могут быть отнесены число ракет в залпе, число кораблей в группе, число повторяемых действий (например, тральных галсов), длительность действий и т.п.

Кроме того, в большинстве случаев на эффективность решения задач потребителем наряду с погрешностями НИ влияют погрешности "ненавигационного" характера, к которым в данном случае целесообразно отнести погрешности всех данных, к выработке которых не имеет отношения ШС. В число таких погрешностей могут быть включены погрешности целеуказания, технического рассеивания, удержания кораблем заданных значений курса и скорости и т.п. Будем учитывать эти "ненавигационные" погрешности в общем виде в форме СКП $\sigma_{нн}$, оцениваемой постоянным для данных условий значением $\sigma_{нн} = const$.

Погрешности НИ будем учитывать также обобщенно, в форме СКП σ_H некоторого одномерного НП, к точности которого и будем предъявлять требования. Разумеется, все изложенные подходы могут быть использованы и для обоснования $M_{доп}$, и для обоснования соответствующих предельных характеристик.

Обоснование допустимых значений числовых характеристик погрешностей НИ может быть выполнено с использованием прямого или косвенного подхода.

При прямом подходе обоснование выполняется через показатель эффективности Π_{ε} потребителя НИ по следующему алгоритму (рис.1):

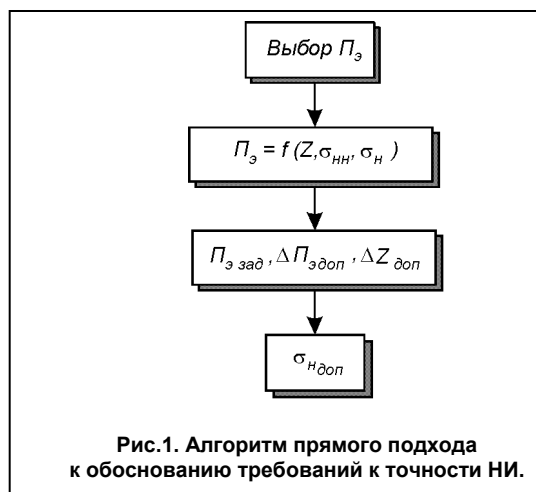


Рис.1. Алгоритм прямого подхода к обоснованию требований к точности НИ.

– выбирается Π_{ε} , критичный к числовым характеристикам погрешностей НИ (при условии их зависимости от погрешностей НИ такими показателями могут быть, например, число ракет или снарядов, необходимое для достижения заданной степени поражения противника; математическое ожидание числа пораженных целей; вероятность обнаружения подводной лодки и т.п.);

– устанавливается функция связи погрешностей НИ с эффективностью решения задач ее потребителем (далее функция связи) – формализованная зависимость Π_{ε} от значений числовых характеристик погрешностей НИ, которая может быть записана в общем виде как

$$\Pi_{\varepsilon} = f(Z, \sigma_{HN}, \sigma_H); \quad (1)$$

– определяется минимально (максимально) допустимое значение $\Pi_{\varepsilon\text{зад}}$ или максимально допустимое изменение $\Delta \Pi_{\varepsilon\text{доп}}$, обусловленное погрешностями НИ, либо максимально допустимые дополнительные затраты $\Delta Z_{\text{доп}}$ для компенсации влияния погрешностей НИ;

– с использованием функции связи (1) на основе известных $\Pi_{\varepsilon\text{зад}}$, $\Delta \Pi_{\varepsilon\text{доп}}$ или $\Delta Z_{\text{доп}}$ рассчитывается допустимое значение $\sigma_{H\text{доп}}$ СКП НП.

В зависимости от условий конкретного исследования в рамках прямого подхода последние 2 шага алгоритма реализуются в различных вариантах.

Если "затраты" потребителя для достижения его цели в конкретных условиях не подлежат изменению ($Z = const$), требования к точности НИ могут быть получены заданием минимально (максимально) допустимого уровня $\Pi_{\varepsilon\text{зад}}$ с последующим решением относительно $\sigma_{H\text{доп}}$ полученного из (1) уравнения

$$\Pi_{\varepsilon\text{зад}} = f(Z, \sigma_{HN}, \sigma_{H\text{доп}}). \quad (2)$$

Частным случаем этого варианта является предъявление требований к точности НИ в форме допустимого значения $R_{доп}$ модуля вектора погрешности места или допустимого значения $\Delta_{доп}$ погрешности НП в сочетании с заданием вероятности реализации этих требований.

Например, при проходе узкости или при плавании по фарватерам погрешность места корабля в направлении, перпендикулярном направлению его движения, не должна превышать величины, позволяющей кораблю находиться в пределах ширины фарватера (узкости). В этом случае в качестве показателя эффективности потребителя НИ может быть взята вероятность безопасного плавания корабля. Получим функцию связи вида (1).

При обеспечении плавания по середине узкости или по оси фарватера допустимое значение $\Delta_{\partial on_{\perp}}$ составляющей вектора погрешности места корабля в направлении, перпендикулярном направлению его движения, может быть рассчитано путем вычитания из полуширины B узкости или фарватера расстояния D_1 , учитывающего размеры корабля и влияние среды на точность удержания кораблем заданной траектории движения, и расстояния D_2 , учитывающего инерционные характеристики корабля по направлению, перпендикулярному направлению его движения, т.е.

$$\Delta_{\partial on} = \Delta_{\partial on_{\perp}} = B - D_1 - D_2. \quad (3)$$

Далее, приняв гипотезу о нормальном распределении погрешности места по любому направлению и о нулевом математическом ожидании погрешности и задаваясь вероятностью $P_{\text{эзад}}$ безопасного плавания корабля, можно получить формулу для расчета допустимого значения $\sigma_{\text{ндоп}} = \sigma_{\partial on_{\perp}}$ СКП места корабля по направлению, перпендикулярному направлению его движения:

$$\sigma_{\partial on} = \sigma_{\partial on_{\perp}} = \Delta_{\partial on_{\perp}} / \Phi^{-1}(P_{\text{эзад}}),$$

где $\Phi^{-1}(P_{\text{эзад}})$ – функция, обратная интегралу вероятности вида

$$\Phi(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \int_0^x \exp(-y^2 / 2) dy.$$

Аналогичным образом могут быть обоснованы требования к точности НИ при обеспечении прохода кораблем назначенного рубежа в заданный срок с погрешностью во времени прохода не более допустимой и при обеспечении своевременного подхода корабля к берегу с выходом его в проход заданной ширины в назначенный срок (например, в бою за высадку войск морского десанта).

Использование данного варианта прямого подхода предполагает известность $P_{\text{эзад}}$. Однако даже для сравнительно простого случая прохода через узкость ни в одном руководящем документе не указывается требуемое значение вероятности безопасного плавания корабля.

Использование других вариантов прямого подхода предусматривает сравнение реальной ШС с идеальной. Под идеальной ШС понимается ШС, структура которой обеспечивает минимально возможные для данных условий значения числовых характеристик погрешностей выходных НП. Понятие идеальной ШС относительно, оно зависит от цели исследования и имеющегося объема исходных данных. В предельном случае, когда исследуется влияние погрешностей НИ на эффективность решения задач ее потребителем, числовые характеристики погрешностей выходных НП идеальной ШС принимаются равными нулю. Более часто в качестве характеристик идеальной ШС берутся такие, которые не могут быть улучшены в процессе совершенствования структуры ШС (например, соответствующие достигнутому уровню развития науки и техники). Точность НИ, вырабатываемой идеальной ШС, будем характеризовать обобщенно значением $\sigma_{\text{нmin}}$ СКП выходного НП.

Рассмотрим варианты реализации последнего шага алгоритма прямого подхода, основанные на использовании характеристик идеальной ШС.

Если вместо заданного уровня эффективности решения задач потребителем НИ удалось получить допустимую величину $\Delta P_{\text{эдоп}}$ снижения этого уровня вследствие влияния погрешностей НИ, то требования к точности НИ могут быть получены с использованием функции связи вида (1) путем решения относительно $\sigma_{\text{ндоп}}$ уравнения вида:

$$\Delta P_{\text{эдоп}} = \left| f(Z, \sigma_{\text{нн}}, \sigma_{\text{нmin}}) - f(Z, \sigma_{\text{нн}}, \sigma_{\text{ндоп}}) \right|. \quad (4)$$

В данном случае изменение показателя эффективности $P_{\text{э}}$, обусловленное погрешностями НИ, представляет собой модуль разности значений функции связи, рассчитанных для погрешностей НП, соответствующих идеальной и реальной ШС, при постоянстве значений всех остальных аргументов функции связи. Например, если считается допустимым снижение на 1% вероятности захвата цели системой самонаведения противокорабельной ракеты вследствие влияния погрешностей места корабля, то выражение (4) позволяет оценить допустимое значение СКП места по направлению, перпендикулярному плоскости стрельбы.

В случае, если уровень эффективности потребителя НИ не подлежит изменению ($P_{\text{э}} = \text{const}$), требования к точности НИ могут быть получены заданием максимально допустимого увеличения $\Delta Z_{\text{доп}}$ "затрат" потребителя, необходимого для компенсации влияния погрешностей НИ. Увеличение затрат оценивается для одинакового $P_{\text{э}}$ путем сравнения "затрат", соответствующих идеальной ШС, с "затратами", соответствующими реальной ШС. При использовании этого варианта прямого подхода требования к точности НИ могут быть получены путем решения относительно $\sigma_{\text{ндоп}}$ уравнения вида:

$$f(Z, \sigma_{\text{нн}}, \sigma_{\text{нmin}}) = f(Z + \Delta Z_{\text{доп}}, \sigma_{\text{нн}}, \sigma_{\text{ндоп}}). \quad (5)$$

Таким образом, если идеальная ШС позволяет потребителю НИ решить задачу ценой Z (применив Z ракет, совершив Z галсов, потратив Z ч), и эта цена может быть увеличена на $\Delta Z_{\text{доп}}$ без ущерба для потребителя, то допустимыми оказываются те погрешности НИ, которые могут быть скомпенсированы величиной $\Delta Z_{\text{доп}}$.

Рассмотренный вариант может оказаться наиболее удобным в случае, если учитываются конкретные условия решения задачи потребителем НИ. При этом допустимое увеличение "затрат" может задаваться неявно, как следствие необходимости выражать "затраты" целыми числами. Например, если в конкретных условиях потребитель, обеспечиваемый идеальной ШС, может достичь требуемого уровня эффективности решения задач путем применения дробного числа ракет или выполнения дробного числа тральных галсов $Z_{\text{рас}}$, то в решении командира, очевидно, будет фигурировать целое число $Z_{\text{реш}}$, минимально превышающее расчетное дробное значение. Как правило, при этом достигается "избыточный" уровень эффективности, поэтому появляется возможность употребить образовавшийся "излишек" эффективности для компенсации влияния погрешностей НИ. Их допустимое значение в этом случае может быть оценено в ходе решения относительно $\sigma_{\text{ндоп}}$ уравнения

$$f(Z_{\text{рас}}, \sigma_{\text{нн}}, \sigma_{\text{нmin}}) = f(Z_{\text{реш}}, \sigma_{\text{нн}}, \sigma_{\text{ндоп}}). \quad (6)$$

Например, корабельной тральной группе поставлена задача уничтожить минные заграждения в районе шириной 2 км. Ширина тральной полосы составляет 800 м. При отсутствии погрешностей НИ (с нулевым перекрытием тральных полос и кромки района) одно покрытие составит $Z_{pac} = 2,5$ галса. Очевидно, будет назначено $Z_{perm} = 3$ галса. Образовавшийся "излишек" 400 м может быть без изменения длительности решения задачи использован для компенсации погрешностей НИ путем создания перекрыша между тральными полосами и перекрыша за кромки района.

Опыт показывает, что наибольшую трудность в реализации прямого подхода представляет формализация функции связи. Это обусловлено, в частности, необходимостью совместного учета влияния на Π_{Σ} множества факторов, в том числе и выходящих за рамки настоящего исследования (т.е. не относящихся к ШС). Кроме того, возможны сложности при определении значений величин, не имеющих отношения к ШС и учитываемых в форме Z и $\sigma_{ни}$. Как правило, от исследователя при этом требуется большой объем знаний по смежным специальностям. Даже если удастся полностью формализовать функцию связи и идентифицировать значения входящих в нее переменных, в большинстве случаев оказывается невозможно получить значения $\Pi_{\Sigma зад}$, $\Delta \Pi_{\Sigma доп}$, $\Delta Z_{доп}$.

При невозможности использования прямого подхода иногда целесообразным может оказаться применение косвенного подхода, требующего значительно меньшего объема знаний, не относящихся к ШС. Он основан на использовании метрологического принципа наименьшего влияния (принципа ничтожных погрешностей), позволяющего не учитывать (считать допустимыми) такие погрешности, влияние которых на конечный результат пренебрежимо мало.

Косвенный подход к обоснованию допустимых значений числовых характеристик погрешностей НИ применяется в случаях:

– когда удалось формализовать функцию связи (1), но нет возможности задаться величинами $\Pi_{\Sigma зад}$, $\Delta \Pi_{\Sigma доп}$, $\Delta Z_{доп}$ [т.е. из выражения вида (1) нельзя получить уравнения вида (2),(4)–(6)] – не реализован третий шаг алгоритма прямого подхода;

– когда функция связи (1) не формализована (не реализован второй шаг алгоритма прямого подхода), но имеется возможность хотя бы на качественном уровне выделить и оценить факторы, влияющие на эффективность решения задач потребителем тем же путем, что и погрешности НИ.

Последнее требование означает, что в ходе качественного анализа характера зависимости эффективности решения задач потребителем от погрешностей величин различной природы должно быть показано, что эта эффективность зависит от суммы погрешностей НИ и других погрешностей с известными числовыми характеристиками, обусловленных действием "ненавигационных" факторов (погрешностей целеуказания, технического рассеивания, удержания корабля на заданном курсе и т.п.). Как правило, установить такую зависимость намного проще, чем формализовать функцию связи целиком.

При выводе выражения (1) "ненавигационные" погрешности характеризовались в общем виде значением их СКП $\sigma_{ни}$, а погрешности НИ – значением их СКП $\sigma_{н}$. Если допустить, что эти погрешности независимы и что при оценке их влияния на эффективность они должны суммироваться, то дисперсия σ_{Σ}^2 суммарной погрешности будет представлять собой сумму дисперсий отдельных погрешностей, т.е.

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \sigma_{ни}^2 + \sigma_{н}^2.$$

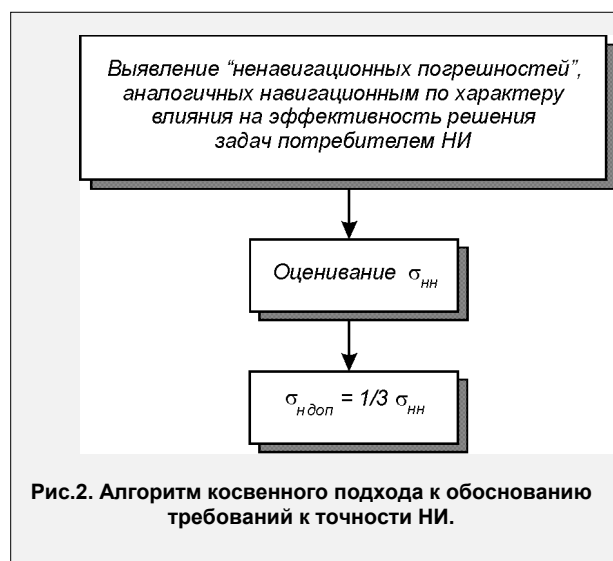
В этом случае при соблюдении условия $\sigma_{н} < 1/3 \sigma_{ни}$ доля погрешностей НИ составит не более 5,5% от величины СКП суммарной погрешности, что позволяет считать их пренебрежимо малыми по сравнению с "ненавигационными" погрешностями.

Таким образом, алгоритм применения косвенного подхода выглядит следующим образом (рис.2):

– в ходе качественного анализа характера зависимости эффективности решения задач потребителем НИ от погрешностей величин различной природы выявляются погрешности "ненавигационного" происхождения, влияние которых на эффективность может быть учтено путем суммирования их величин с величинами погрешностей НИ;

– оценивается СКП $\sigma_{нн}$, характеризующая эти "ненавигационные" погрешности;

– по формуле рассчитывается максимально допустимое значение $\sigma_{ндоп}$ СКП НИ



$$\sigma_{ндоп} = 1/3 \sigma_{нн} \quad (7)$$

Использование косвенного подхода, как правило, ведет к существенному ужесточению требований к точности НИ: погрешности НИ должны не просто обеспечивать достаточный уровень эффективности решения задач потребителем НИ, они должны быть пренебрежимо малыми независимо от достигнутого уровня эффективности. Однако, когда эффективность низка из-за погрешностей "ненавигационного" характера, использование косвенного подхода может даже привести к смягчению требований к точности НИ.

В качестве примера использования косвенного подхода может быть рассмотрена задача обеспечения ШС нанесения удара противокорабельными крылатыми ракетами по ненаблюдаемому противнику. Погрешности НИ, вырабатываемой ШС стреляющих кораблей, влияют на эффективность удара по различным направлениям:

- ударные группы могут оказаться не в назначенных позициях или занять их несвоевременно;
- цель может оказаться вне зоны действия системы самонаведения ракеты;
- структура залпа может отличаться от расчетной.

В то же время на эффективность удара влияют погрешности целеуказания, погрешности расчета боевого порядка, погрешности маневрирования, техническое рассеивание ракет и т.д. Построить функцию связи вида (1) с учетом всех перечисленных факторов крайне сложно, да и бесполезно, поскольку ее скорее всего не удастся преобразовать в уравнения вида (2)–(6). Проще использовать косвенный подход.

Анализируя влияние на эффективность удара погрешностей различной природы, заметим, что погрешность места противника по данным целеуказания и погрешность места стреляющего корабля влияют на нее одинаковым образом. Для выбранного способа целеуказания в специальной литературе, как правило, приводятся значения $M_{цy}$ РСКП места цели. Использование выражения (7) позволяет перейти от $M_{цy}$ к допустимому значению РСКП места стреляющего корабля

$$M_{доп} = 1/3 M_{цy} .$$

Невыход РСКП места корабля за пределы этого значения позволяет пренебречь влиянием погрешности места на эффективность удара.

Следует отметить, что в данном случае из рассмотрения были исключены погрешности, обусловленные устареванием данных о цели и техническим рассеиванием ракет. Учет этих факторов позволил бы смягчить требования к точности НИ, обоснованные с использованием косвенного подхода.

Для обоснования требований к точности НИ при обеспечении безопасного прохода узкости вместо прямого подхода также может быть использован косвенный подход. В этом случае погрешность управления кораблем при удержании его на заданной траектории движения следует учитывать не в форме одной из составляющих неслучайной величины D_I из выражения (3), а в форме случайной величины, характеризуемой составляющей σ_{nn} СКП места корабля по направлению, перпендикулярному заданному направлению его движения. Если в форме σ_{nn} будет учтено влияние инструментальных погрешностей управления движением корабля, то формула (7) позволит оценить максимально допустимое значение СКП НП, при котором влиянием погрешностей НИ на безопасность плавания корабля можно пренебречь.

Изложенные подходы позволяют обосновать требования к точности только выходных НП, исходя из характера и условий решения задач потребителем НИ. Для того, чтобы на основе этих требований обосновать требования к точности остальных НП, не являющихся выходными, но используемых для их выработки, необходимо применить системный подход. ШС корабля при этом описывается как система выработки НИ, в которой происходит получение, обработка и отображение (выдача) НП – выходных и внутренних (не выдаваемых потребителям, но необходимых для выработки выходных). Обоснование требований к точности внутренних НП может выполняться с использованием модели погрешностей системы выработки НИ, которая должна строиться как функция, выражающая зависимость числовой характеристики погрешности выходного НП от числовых характеристик погрешностей внутренних НП с учетом свойств среды и реализованного в системе способа получения, обработки и отображения НП. В общем виде для n внутренних НП модель может быть записана как

$$\sigma_n = F(\sigma_1, \sigma_2, K, \sigma_i, K, \sigma_n). \quad (8)$$

Чтобы при известном допустимом значении $\sigma_{n\text{доп}}$ СКП выходного НП получить допустимое значение $\sigma_{i\text{доп}}$ СКП i -го внутреннего НП, необходимо задаться значениями $\sigma_{j\phi}$ СКП всех остальных внутренних НП и решить относительно $\sigma_{i\text{доп}}$ уравнение, полученное из выражения (8)

$$\sigma_{n\text{доп}} = F(\sigma_{1\phi}, \sigma_{2\phi}, K, \sigma_{i\text{доп}}, K, \sigma_{n\phi}).$$

Такой подход может быть использован, например, при обосновании требований к точностным характеристикам отдельного корабельного технического средства навигации в рамках известной структуры корабельной системы выработки НИ.

Изложенные подходы к обоснованию требований к точности НИ должны применяться творчески, с учетом целей исследования и наличного объема данных о ШС, о потребителе НИ, об условиях решения им задач.

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛАПЛАСА В НАВИГАЦИИ**Б.Н.БЕЛЯЕВ,
Б.Е.ИВАНОВ**
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Критикуется идея превосходства нормального распределения погрешностей при оценке точности навигационной информации над распределением Лапласа.

В статье Н.М.Груздева, опубликованной в предыдущем номере журнала в порядке обсуждения [1], рассматривается какое из распределений погрешностей – нормальное или Лапласа – больше подходит для использования при оценке точности навигационной информации. Сама по себе такая постановка вопроса не нова, поскольку следует из известного факта плохого соответствия нормального распределения фактическим данным на "хвостах", т.е. при больших (по модулю) значениях погрешностей [2]. По этой причине в работе [3] предлагается применять распределение Лапласа, которое хотя и хуже совпадает с эмпирическим распределением при не очень больших значениях аргумента, но зато лучше согласовывается с ним на "хвостах".

В статье [1] такой подход представляется неверным. Утверждается, что судить о совпадении распределений следует только на основе известных в статистике критериев согласия, вне всякой связи с особенностями той или иной практической задачи. Однако известно, что формальное применение критериев согласия не позволяет получить достаточно уверенное суждение о совпадении сравниваемых распределений. Более того, применение различных критериев в одних и тех же условиях может привести к противоречивым результатам [2]. Абсолютизация критерия согласия приводит, как представляется, к методологической ошибке – налицо "злоупотребление формальной стороной теории вероятностей в ущерб здравому смыслу" [4].

В дальнейших рассуждениях приводятся [1] обстоятельства, которые, по мнению автора, окончательно утверждают превосходство нормального распределения. С этой целью прежде всего предпринимается попытка путем использования приближенного метода статистических испытаний проверить полученное точным аналитическим методом в работе [5] соотношение для распределения Лапласа, представляющее собой свертку распределений нормального и Релея. Причем в упомянутом соотношении при моделировании распределение Релея ошибочно заменяется на равномерное. Это однако не мешает автору статьи [1] признать результаты моделирования полностью совпадающими с теоретическим распределением!

Далее, очевидная ошибка при анализе интеграла в предельном случае приводит к суждению, что распределение Лапласа в канонической форме не вытекает из общего случая. На этой основе делается вывод, что такая форма если и может найти применение в навигации, то только в особых случаях, в то время как нормальное распределение универсально. В обоснование сказанного в статье [1] проводится сопоставление свойств обоих распределений в условиях, заведомо более благоприятных для нормального распределения.

Вряд ли имеет смысл останавливаться на других ошибочных или, по крайней мере, некорректных положениях статьи [1]. Сказанного выше вполне достаточно, чтобы сделать главный вывод: идея утвердить превосходство нормального распределения слишком увлекла ее автора.

Известно, что особые симпатии некоторых специалистов к нормальному распределению имеют давние корни. Еще А.Пуанкаре заметил: "Все верят в нормальный закон; математики – потому, что думают, что физики наблюдают его на опыте; физики же – потому, что думают, что математики способны доказать теоретически, что нормальный закон выполняется" [6].

Существенно, что упомянутое выше преимущество распределения Лапласа на "хвостах" безусловно справедливо в теории. Когда же речь идет об аппроксимации эмпирических распределений, то этого преимущества может и не оказаться, поскольку все распределения, по-видимому, "дают в области "хвостов" одинаково не заслуживающие доверия результаты" [6]. К тому же на практике наши знания о фактическом распределении погрешностей таковы, что использование разных теоретических распределений может вообще не повлиять на оценку точности навигации.

Вместе с тем необходимо отметить, что распределение Лапласа обладает и другими свойствами, которые применительно к решению конкретных задач могут побудить предпочесть его нормальному или какому-нибудь иному распределению. Так, например, использование распределения Лапласа позволяет получать различные зависимости в аналитической форме, чего нельзя достичь с использованием нормального распределения. Именно это и явилось причиной предпочтения распределения Лапласа в еще не опубликованной работе [7], на которую имеется ссылка в статье [1]. Можно лишь удивляться, что автор последней] не уделил должного внимания названному обстоятельству.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Груздев Н.М. Об использовании лапласовской модели погрешностей в навигации // Навигация и гидрография.–1996.–№ 2.– С.59–65.
2. Сорокин А.И. Гидрографические исследования Мирового океана.–Л.:Гидрометеиздат, 1980.–288 с.
3. Кондрашихин В.Т. Определение места судна. 2–е изд., перераб. и доп.– М.: Транспорт, 1989.–230 с.
4. Грекова И. Методологические особенности прикладной математики на современном этапе ее развития // Вопросы философии.–1991.–№6.–С.104–114.
5. Мудров В.И., Кушко В.Л. Методы обработки измерений. Квазиправдоподобные оценки. 2–изд., перераб. и доп.– М.:Радио и связь, 1983.–304 с.
6. Тутубалин В.Н. Теория вероятностей.–М.:МГУ,1972.–230 с.
7. Иванов Б.Е. О критерии навигационной безопасности плавания // Записки по гидрографии (в печати).



НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

ГРНТИ 78.21.43.15

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВЕТРОВолновых Полей с помощью Судовых Интеллектуальных Систем

Ю.И.НЕЧАЕВ
(СПб. ГМТУ)

Рассматривается судовая интеллектуальная система анализа и прогноза динамики ветроволновых полей. Формулируется концепция создания такой системы. Рассматривается подход к построению базы знаний на основе данных измерений параметров ветра и волнения непосредственно с борта судна. Решение поставленной задачи обеспечивается с помощью алгоритмов, использующих методы математического моделирования и процедуры статистического и спектрального анализа. Дается содержательная интерпретация предлагаемых решений и оценка их достоверности на основе данных натурных испытаний.

Описан демонстрационный прототип разработанной интеллектуальной системы. Новизна разработки подтверждена патентами Российской Федерации на способы контроля динамических характеристик судна и параметров морского волнения в интеллектуальных системах, функционирующих в реальном масштабе времени.

Введение. Разработка интеллектуальных систем (ИС) представляет собой одно из перспективных направлений в новых информационных технологиях. Появление ИС в области прикладной океанологии и гидроаэродинамики связано с совершенствованием методов измерений и обработки информации об особенностях движения ветроволновых полей и их взаимодействии с плавучими техническими объектами в штормовых условиях.

Практика эксплуатации и анализ аварий судов показывают, что при решении проблемы безопасности мореплавания необходимо знание не только общей картины изменения ветроволновых полей, но и фактических данных о динамике судна, позволяющих осуществлять оперативный контроль и принятие обоснованных решений в каждой конкретной ситуации. Необходимость измерений ветроволновых режимов непосредственно с борта судна связана с широким использованием в практике эксплуатации судов, имеющих ограничения Регистра по погодным условиям, а также плавучих технических средств освоения океана. Особенно остро такая проблема ставится практикой эксплуатации малотоннажных судов и судов класса “река–море”, осваивающих все новые международные линии.

Вместе с тем, имеющаяся статистическая информация о ветроволновых режимах характеризует лишь некоторые осредненные данные по различным районам Мирового океана и не позволяет решать практические задачи обеспечения безопасности плавания в условиях эксплуатации, особенно в нестандартных и критических ситуациях. Проблема внешних сил (ветер, волнение) составляет наиболее уязвимое звено в цепи математических описаний и расчетов, связанных с оценкой мореходных качеств и особенно остойчивости судна. Замена действительного морского волнения спектральными представлениями с помощью “стандартных” нормируемых спектров и умозрительные представления о характере порывистости ветра непосредственно над взволнованным морем (подстилающая поверхность) дают лишь грубую схематизацию фактической динамической нагрузки, обрушивающейся на судно в штормовых условиях.

Для решения проблемы безопасности мореплавания совершенно недостаточно данных по шквалистым ветрам, по реальному трехмерному волнению, по взаимосвязи ветра и волнения, по прогнозированию параметров морского волнения в условиях усиливающегося шторма, особенно в прибрежных районах.

Отсутствие ИС, обладающих “способностями” интеллектуального помощника, не позволяет судоводителю ориентироваться в сложной гидрометеорологической обстановке на основании данных, поступающих от береговых метеостанций и служб погоды. ИС предоставляет уникальные возможности получения данных, которые не могут быть получены на основе имеющейся на судне технической документации, в том числе и информации об остойчивости и непотопляемости. На их основе система осуществляет анализ ситуации и выдает практические рекомендации по управлению судном в штормовых условиях.

Важной особенностью ИС является возможность доступа судоводителя к базе знаний (БЗ) системы и участия в процессе принятия решения. Путь получения каждого вывода может быть прослежен вплоть до исходных данных. Используемый в ИС принцип открытости БЗ создает возможности ее пополнения и коррекции за счет применения новых теоретических данных и практических рекомендаций. Таким образом, применение методов искусственного интеллекта и достижений “инженерии знаний” нацелено на создание компьютерных программ, способных не только накапливать и организовывать знания, но и эффективно решать практические задачи обеспечения безопасности мореплавания.

В настоящей статье обсуждаются структура и особенности построения ИС анализа и прогноза динамики ветроволновых полей на основании опыта, приобретенного автором при разработке бортовых ИС различного назначения, в том числе систем обеспечения безопасности мореплавания и посадки летательных аппаратов корабельного базирования.

Концепция создания ИС. Создание ИС рассматриваемого назначения основано на использовании теоретико-экспериментальных данных о движении ветроволновых полей и динамике их взаимодействия с качающимся судном и ряда оригинальных научно-технических решений на способы контроля и прогноза динамических характеристик судов и плавучих технических средств освоения океана, подтвержденных патентами Российской Федерации 1994–1995 гг.

Концепция базируется на следующих принципиальных положениях.

1. Анализ альтернатив и принятие решений ИС осуществляются на основе данных динамических измерений, математических моделей и структурированной БЗ. Для обеспечения надежной оценки ситуации и выработки основных решений учитываются:

- реальная структура ветроволновых возмущений;
- трансформация волнового поля около судна за счет процессов дифракции и интерференции корабельных и набегающих волн;
- особенности динамики взаимодействия судна с внешней средой в различных условиях эксплуатации.

2. Алгоритмы и программное обеспечение ИС реализуются с учетом функционирования в реальном масштабе времени, исходя из обеспечения допустимого времени принятия решений после получения информации от датчиков в пределах 0,5 – 10,0 с.

3. Оценка и прогноз динамических характеристик ветроволновых полей и качающегося судна основаны на использовании эффективного сочетания методов математического моделирования с данными измерений и достижениями теории и эксперимента в рассматриваемой предметной области.

4. БЗ ИС в наибольшей степени приспособлена для восприятия фактической информации о поведении судна в условиях неполноты и неопределенности исходных данных.

5. Интеллектуальный интерфейс организуется с учетом обеспечения простоты и доступности при интерпретации сложных процессов и явлений, связанных с движением ветроволновых полей и динамикой их взаимодействия с судном.

Сформулированная выше концепция определяет принцип организации и использования знаний в ИС, структура которых должна обеспечивать непрерывное их расширение и корректировку в соответствии с новыми теоретико-экспериментальными данными, результатами практических наблюдений и опыта мореплавания.

Особенности БЗ и информационной технологии. Представление знаний в ИС по своему содержанию является традиционным для сложных систем, использующих технологию искусственного интеллекта. Особенности пространства поиска и предметной области обеспечили архитектуру ИС, характерную для систем консультационного типа, функционирующих на основе данных измерений, математических моделей и структурированной БЗ. В основе разработанной модели БЗ, содержащей декларативную и процедурную компоненты, лежит логическая структура, включающая модели оценки ситуаций и распознавания состояния сложной иерархической системы в условиях неполноты и неопределенности исходной информации. Модели принятия решений ориентированы на использование фактических данных измерений динамики ветроволновых полей и процессов их взаимодействия с судном в различных условиях эксплуатации, в том числе и в экстремальных ситуациях. Формализованная система знаний создана методами концептуального моделирования путем анализа, систематизации и структуризации знаний в рассматриваемой предметной области. В качестве модели представления знаний используются правила продукций, являющиеся формальной конструкцией, управляющей знаниями и позволяющей обеспечить модульность организации знаний, независимость правил и возможность отделения управляющих знаний от предметных. Механизм вывода ориентирован на использование нечетких рассуждений. Методологической основой для построения процедур принятия решения в этих условиях служит концепция нечетких целей и ограничений. Наряду с символьными, эвристическими методами искусственного интеллекта система включает значительный объем операций, связанных с привлечением численных, алгоритмических методов. Это позволяет повысить эффективность процесса принятия решений в экстремальных ситуациях.

Таким образом, требования к информационной технологии и построению БЗ можно сформулировать в следующих основных положениях:

- представление знаний должно осуществляться в виде конструкций, отражающих правила общего вывода, хранение и модификация которых осуществляется независимо от используемых алгоритмов и программ, что обеспечивает гибкость программного обеспечения и полноту задачи формирования и анализа исходных данных;
- структура используемых математических моделей должна обеспечивать коррекцию ее компонент с учетом адаптации системы к различным условиям эксплуатации;
- функционирование БЗ осуществляется независимо от объема используемой информации в диапазоне доверительной вероятности 0,80–0,98.

Особенности вычислительной технологии. Процедурная компонента БЗ включает различные классы математических моделей: от сравнительно простых статистических зависимостей, регрессионных и авторегрессионных моделей до чрезвычайно сложных, существенно нелинейных стохастических моделей, реализация которых в условиях дефицита времени связана с определенными математическими трудностями. Используемая в рассматриваемой ИС вероятностная модель взаимодействия судна с внешней средой основана на алгоритме оптимального управления – вариационной задаче Лагранжа в форме Понтрягина. В качестве исходной информации принимаются установленные в процессе измерений данные о нагрузке судна, спектральных характеристиках ветроволновых потоков и инерционно-демпфирующих компонент математической модели.

Используемый подход в рассматриваемой предметной области имеет определенные преимущества перед другими сложными и трудноформализуемыми методами анализа существенно нелинейных стохастических систем (метод Монте-Карло, метод моментов, уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова). Разработанный алгоритм позволяет реализовать вероятностную модель взаимодействия в реальном масштабе времени. Этому способствовало специально выполненное исследование по анализу точности метода путем сопоставления с данными физического моделирования на основе испытаний самоходных радиоуправляемых моделей на естественном волнении. Критическое отношение к полученным результатам, искусство анализа и интерпретации

данных – важнейший арсенал предварительной вычислительной работы, выполняемой при тестировании БЗ. Нарушение требований к вычислительной математике и стремление получить решение ценой конечного числа операций, может привести к необоснованным практическим операциям. Нахождение рационального компромисса между точностью решения и ограниченностью времени на выполнение алгоритма в жестких временных условиях функционирования ИС – одна из сложных проблем вычислительной технологии, требования которой связаны, с одной стороны, с реализацией стохастического алгоритма и других используемых математических конструкций, а с другой – с поиском рационального компромисса между точностью решения и ограниченностью времени на выполнение алгоритма с учетом простоты интерпретации результатов вычислений.

Определение стратегий, гипотез и типов ограничений, накладываемых на процесс решения задач анализа и прогноза исследуемых динамических характеристик и информационных потоков составляет основу формирования процедурной компоненты БЗ на этапе концептуализации.

Интеллектуальный интерфейс. Главным достоинством рассматриваемой ИС является простота и компактность, а также гибкость представления знаний, характер вывода которых на экран дисплея близок к стандартным формам и выглядит естественно для судоводителя. Элементы изображения выделяются различным цветом, интенсивностью и текстурой для отображения характерных особенностей набегающего волнения и качающегося судна. На разработку интеллектуального интерфейса повлияли особенности режима эксплуатации и средств реализации ИС, и прежде всего – технические ограничения на время реакции системы.

Интеллектуальный интерфейс функционирует на основе элементов автоматического синтеза, обеспечивая компромисс между декларативной и процедурной компонентами, конструирование программ решаемых задач, анализ и интерпретацию данных, совершенствование изобразительных возможностей и синтез ответной реакции.

При организации интеллектуального интерфейса особое место занимает проблема визуализации и когнитивной компьютерной графики. Наглядное представление обрабатываемой информации на экране дисплея с помощью графических образов позволило разработать удобные средства отображения сложноструктурированных данных. Редактор создаваемых объектов осуществляет управление цветом и форматом изображения, вызывая в необходимые моменты пользовательские процедуры. С помощью абстрактных изображений особенностей процессов и явлений средствами когнитивной компьютерной графики реализована многокритериальная задача выбора оптимального курсового угла и скорости судна, исходя из обеспечения требований к устойчивости, качке, ходкости и прочности на волнении, а также выделены периодические структуры при оценке резонансных режимов (основной и параметрический резонанс) колебательных движений судна на волнении. Это способствует качественно новому восприятию динамики судна в экстремальных ситуациях.

Используемые изобразительные приемы далеко не исчерпывают всех возможностей когнитивной визуализации в сложных задачах динамики судна на волнении. Дальнейшее накопление данных позволит расширить важные для оператора средства образно-интуитивного мышления, особенно на этапах идентификации ситуации и принятия решений по сохранению мореходных качеств судов.

Технические средства и характеристики. Разработанная ИС представляет собой компьютерную программу, написанную на одном из языков высокого уровня (ТУРБО ПАСКАЛЬ, ТУРБО СИ++) и следующие технические средства:

- бортовую персональную ЭВМ IBM/486 стандартной конфигурации;
- измерительную систему (блок датчиков исходной информации);
- модуль преобразования измерительной информации и ввода ее в ЭВМ (устанавливается на специальный порт компьютера).

Система может быть размещена в рулевой или в штурманской рубках. Специального докования для ее установки не требуется.

Важнейшими техническими характеристиками ИС являются:

- время принятия решений после получения информации от датчиков — до 10 с;
- надежность практических рекомендаций — 80-98%.

Питание элементов системы осуществляется от бортовой сети:

- ЭВМ — 110/120 В, 50 Гц переменного тока;
- измерительный блок — 24-27 В постоянного тока и 36 В 400 ГЦ переменного тока.

Последовательность операций. Ниже представлена характеристика некоторых ИС, разработанных на основе изобретений автора и под его научным руководством.

ИС “Помощник пилота”: измерение процесса колебательного движения носителя летательного аппарата (судно, буровая установка, имеющие посадочную площадку) на волнении; определение статистических характеристик ветра и волнения и выделение параметров для корректировки математических моделей прогноза и времени упреждения; контроль ситуации и выдача практических рекомендаций во время взлетно-посадочных операций; представление руководителю посадки информации о фактических характеристиках динамики плавучего объекта в рассматриваемой ситуации.

ИС “Мореходность”: контроль и прогноз параметров морского волнения; оценка мореходных качеств судна (остойчивость, качка, заливаемость, слеминг, инерциальные перегрузки) и выдача практических рекомендаций по их обеспечению в различных условиях эксплуатации, в том числе и в экстремальных ситуациях; анализ и прогноз устойчивости в условиях усиливающегося шторма и при тяжелом обледенении; выбор оптимального курсового угла и скорости судна, исходя из обеспечения требований к устойчивости, качке, ходкости и прочности на волнении; оценка и прогноз потери скорости судна при обрастании корпуса; оценка влияния мелководья; представление судоводителю информации, недоступной из судовой документации, в компактном, удобном для восприятия виде.

ИС “Непотопляемость”: оценка опасности ситуации и прогноз интервала времени до наступления критических условий по устойчивости и посадке поврежденного судна; идентификация случая затопления; оперативный контроль равновесного положения аварийного судна на волнении, метацентрической высоты и диаграмм устойчивости; оценка общего поведения аварийного судна на волнении; выдача практических рекомендаций по обеспечению непотопляемости судна; предоставление судоводителю информации о динамике аварийного судна, недоступной из судовой документации, в компактном, удобном для восприятия виде.

Результаты испытаний. Натурные испытания проводились в Средиземном море и Атлантическом океане, а также в Черном море на одном из кораблей ВМФ. В процессе испытаний измерялись параметры морского волнения, оценивались показатели мореходности, осуществлялся прогноз развития волнения на 4 и 8 ч вперед. Одновременно проводилась корректировка БЗ с учетом новых данных. Выявленные знания интегрировались со старыми, что обеспечило адаптацию математических моделей к реальным условиям эксплуатации. При этом установлено, что такие характеристики ветроволновых возмущений, как законы распределения, спектральные плотности и корреляционные функции, используемые при функционировании БЗ ИС, целесообразно выводить на экран дисплея только в специальных задачах исследования соответствующих режимов. Для судоводителей достаточно указать лишь средние значения скорости ветра, длины, высоты и периода волны, а также высоту волны 3%-ой обеспеченности и в отдельных случаях – значительную высоту волны (параметр, используемый в зарубежной практике мореплавания).

Проблемы и перспективы. Проблемы создания и практического использования ИС определяются техническими и психологическими аспектами и могут быть сформулированы в следующих положениях:

- отсутствие инструментальных средств для разработки ИС;
- практическая невозможность использования универсальных оболочек ИС;
- отсутствие бортовых ЭВМ, приспособленных для решения задач искусственного интеллекта в реальном масштабе времени;
- слабая подготовка судоводителей в области компьютерных технологий и восприятия новых подходов к оценке сложных процессов взаимодействия судна с внешней средой в терминах теории вероятностей и математической статистики;
- психологические аспекты, связанные с неоднозначным восприятием результатов оценки ситуации и практических рекомендаций (роль ИС как “черного ящика”, не использующегося в практике эксплуатации судов).

Одной из важных проблем является разработка эффективного математического аппарата анализа и прогноза поведения плавучих динамических объектов и унификация требований национальных норм с целью создания единой системы критериев мореходности для реализации в бортовых ИС обеспечения безопасности мореплавания, функционирующих в реальном масштабе времени. Такое исследование намечено осуществить в рамках Европейского проекта, в разработке которого будут участвовать университеты России, Англии, Германии и Италии.

Заключение. Результаты, достигнутые при разработке и испытаниях ИС рассматриваемого назначения, позволяют оптимистично оценивать перспективы использования таких систем в условиях эксплуатации. Предоставляя судоводителю уникальную информацию, система обеспечивает уверенный оперативный контроль динамики судна в сложной гидрометеорологической обстановке. При этом информация о параметрах ветра и волнения, скорости хода и курсовом угле относительно генерального направления бега волн накапливается в базе данных и служит исходным материалом для корректировки математических моделей, описывающих изменение мореходных качеств.

Основные трудности создания ИС удастся преодолеть за счет использования подхода к организации знаний, основанного на принципах компактности, непрерывности и предсказуемости, определяющих “пространство знаний”. Качество принимаемых решений, эффективность разработанных алгоритмов, организация интеллектуального интерфейса, простота механизма объяснений и сервисных функций обеспечили функционирование рассмотренных ИС в реальном масштабе времени.

В заключении следует высказать принципиальное и в какой-то степени полемическое соображение о том, что создание эффективно функционирующей ИС анализа и прогноза поведения сложных технических объектов на волнении практически невозможно без использования датчиков исходной информации о динамике судна и ветроволновых возмущений, а также достижений искусственного интеллекта и “инженерии знаний”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нечаев Ю.И. Натурные испытания судовой экспертной системы принятия решений в экстремальных ситуациях. // В сб. трудов II-ой Всесоюзной конференции по искусственному интеллекту. Тверь, 1992. С.67-68.
2. Нечаев Ю.И., Согомонян С.В. Экспертная система контроля и прогноза параметров морского волнения. // В сб. трудов “Океанографические информационные системы, базы и банки данных и знаний”. МГИ АН Украины. Севастополь, 1993. С.93-95.
3. Нечаев Ю.И., Согомонян С.В. Анализ измерительной информации при контроле и прогнозировании динамики аварийного судна в штормовых условиях. // В сб. трудов Международного научно-технического семинара “Морское и экологическое приборостроение”. МГИ АН Украины. Севастополь, 1994. С.71.
4. Nechaev Yu.I. Conception, paradigms and analysis of alternatives with the help of methods knowledge. Proceedings of the international workshop on physical and mathematical modelling. OTRADNOYE '93. Russia. Vol.2. Paper 11.
5. Nechaev Yu.I. The intellectual systems of ship's safety navigators. The experimental and practical results. Florida, USA. 1994. Proceedings STAB '94. Vol.2. Paper 12.

СПУТНИКОВЫЕ И НАЗЕМНЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

ГРНТИ 78.25.31.35.29.29.29.37

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СТАНДАРТЫ НА АППАРАТУРУ МОРСКИХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ГЛОБАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ (ГЛОНАСС)

**В.С. МАКОДА,
Ю.И. БАЗАРОВ**
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Статья характеризует уровень признания спутниковых навигационных систем (СНС) ГЛОНАСС (РФ) и НАВСТАР (США) мировым сообществом, состояние разработок рекомендаций и стандартов в Международных организациях (ИМО, ИКАО, ИЕС, ИТУ, IALA) на аппаратуру морских потребителей СНС ГЛОНАСС, НАВСТАР, ГЛОНАСС/НАВСТАР, аппаратуру приема дифпоправок СНС ГЛОНАСС и НАВСТАР, рекомендации по порядку передачи дифпоправок СНС ГЛОНАСС и НАВСТАР, а также интерфейсу этой аппаратуры (NMEA и IEC). Показана степень участия Гос.НИНГИ МО в разработке этих документов.

В 1993 г. глобальная СНС ГЛОНАСС, предназначенная для определения координат и скорости объекта, а также и времени, распоряжением Президента Российской Федерации принята на вооружение [1].

Однако, еще в 1988 г. СССР представил в Международную организацию гражданской авиации (ИКАО) и в Международную морскую организацию (ИМО) документы о разрабатываемой системе, ее планируемых характеристиках и намерениях предоставить ее мировому сообществу в бесплатное пользование. В 1995–1996 гг. РФ подтвердила эти намерения, представив документы в Подкомитет ИМО по безопасности на море, и предложила рассмотреть ГЛОНАСС в качестве компоненты Всемирной радионавигационной системы (ВРС) [2]. В документе указано, что ГЛОНАСС позволяет определять координаты места потребителя с погрешностью 60м ($P=0.997$).

Одновременно было заявлено, что система предоставляется к использованию бесплатно и загрузка предоставляемого канала не планируется. 42-я сессия Подкомитета ИМО по безопасности на море согласилась с предложением и направила проект на одобрение на 67 сессию Комитета по безопасности на море (МСС), которая планировалась на декабрь 1996 г. и, наиболее вероятно, должна была одобрить признание ГЛОНАСС (на ряду с уже признанной СНС НАВСТАР) в качестве компоненты ВРС.

В соответствии со взглядами ИМО ВРС должна соответствовать рекомендациям, изложенным в Резолюции А.815(19), принятой 23 ноября 1995г., а именно [3]:

- доступность системы должна превышать 99,8 % за 30–ти суточный период функционирования;
- надежность системы должна составлять не менее 99,97 % для среднесуточных значений по всему Мировому океану в течение годового интервала;
- предупреждения о сбоях в работе (о невозможности использования системы) система должна выдаваться потребителю не позднее 10 с;
- при использовании системы для обеспечения плавания судов на подходах к берегу, входах в порт и других акваториях с ограниченной возможностью маневрирования, погрешность определения места не должна превышать 10м ($P=0.95$);
- при плавании в прочих водах система должна обеспечивать определение координат с погрешностью и частотой обновления не хуже той, которая указана в Резолюции А.529(19).

При этих требованиях (погрешности координат и частоте обновления) доступность системы должна составлять не менее 99,8% времени за 30–ти суточный период.

К сожалению, до настоящего времени наши Военно–Космические Силы не указали ни в одном из своих официальных документов выходные характеристики ГЛОНАСС, отсутствие которых затрудняет признание ее международными организациями. Однако, такие расчеты существуют в Гос.НИНГИ и представлены в Международную электротехническую комиссию (IEC) в качестве приложения к проекту Эксплуатационных требований к судовому приемному оборудованию ГЛОНАСС (IEC 1108–2) [4]. Они показывают, что выходные характеристики ГЛОНАСС находятся в согласии с изложенными в Резолюции А.815.(19) требованиями и в целом подтверждаются на практике фирмами Trimble Navigation, 3S Navigation и Ashtech, но не могут являться официальными, так как не вытекают непосредственно из документов ВКС.

Таково официальное состояние вопроса о признании IMO (MSC) ГЛОНАСС в качестве компоненты Всемирной радионавигационной системы.

Основная деятельность IMO, ICAO связана с координацией усилий стран, направленных на обеспечение безопасности плавания судов и полетов самолетов, соответственно. Одним из путей обеспечения безопасности на море MSC видит в использовании дифференциального режима глобальных СНС НАВСТАР и ГЛОНАСС (GNSS), который в зоне их действия может обеспечить определение координат судна с погрешностью 10м ($P=0.95$) на удалениях до 500–600 км от контрольной станции, вырабатывающей дифпоправку.

Начиная с конца 80–х годов ряд фирм и в первую очередь Trimble Navigation и Magnavox разработал и предложил дифрежим использования НАВСТАР для морского потребителя и на практике продемонстрировал успешное его применение при передаче дифпоправок СНС НАВСТАР через радиомаячный канал. В настоящее время более 25 стран уже его активно используют.

Первые положительные результаты экспериментов подтолкнули национальные (в первую очередь Радиотехническую комиссию для морских служб (RTCM) США и международные организации (IMO, ICAO, IEC, ITU, IALA) начать разработку документов, определяющих требования к информационному содержанию, формату, скорости передачи данных, виду модуляции и сигнала к аппаратуре приема дифпоправок, судовой спутниковой аппаратуре СНС НАВСТАР. С этой целью были созданы специальный комитет SC–104 RTCM (США) для подготовки соответствующих рекомендаций для дифференциальной службы БО США и рабочая группа WG 4A TC–80 IEC (МЭК) для разработки международного стандарта на приемную аппаратуру СНС НАВСТАР для морских потребителей. IALA (МАМС) готовила проект рекомендации ITU (МСЭ) по характеристикам радиомаячного канала, использующегося для передачи дифпоправок СНС НАВСТАР для морских потребителей.

В ходе этой работы с начала 90–х годов Российская Федерация (ГУНиО МО, Гос.НИНГИ, РИРВ, ДМТ и НТЦ “Интернавигация”) включились в подготовку названных документов по уточнению предложений в проекты стандартов, определяющих порядок использования дифрежима СНС ГЛОНАСС при передаче поправок через радиомаячный канал. Стало очевидным насколько международные организации не имеют информации о СНС ГЛОНАСС, что, естественно, несколько замедляло работу. Да и в стране не было единства подхода к решению названной задачи.

Работа началась под руководством НТЦ “Интернавигация”. Основная ее часть выполнялась сначала в SC–104 RTCM, а затем и в IALA . На первом этапе в России были разработаны две версии формирования формата дифпоправок, передаваемых через радиомаячный канал: первая на базе формата ГЛОНАСС (длина строки 100 бит) и вторая на базе Рекомендованных SC–104 RTCM стандартов для дифференциальной службы (длина строки 30 бит) СНС НАВСТАР.

Сторонником первой версии был РИРВ, а второй – Гос. НИНГИ, ДМТ, РНИИ КП. В мае 1992 г. обе версии стандартов были представлены на рассмотрение в SC–104 RTCM. После обсуждения за основу для дальнейшей работы была принята вторая версия, что аргументировалось следующими соображениями:

- началом международного сотрудничества по объединенному использованию СНС НАВСТАР и ГЛОНАСС;

- существованием уже разработанного SC–104 RTCM стандарта для дифференциальной службы СНС НАВСТАР;
- внедрением рядом фирм стандарта SC–104 RTCM в аппаратуру потребителя;
- простотой адаптации программного обеспечения для контрольно–корректирующей станции и аппаратуры потребителя под СНС ГЛОНАСС.

В ходе доработки названной версии группа, возглавляемая НТЦ "Интернавигация" (члены ее из Гос. НИНГИ, РИРВ, РНИИ КП, МКБ Компас, ДМТ) подготовила предложения по расширению стандарта RTCM для обеспечения использования ГЛОНАСС в дифрежиме как индивидуально, так и совместно с НАВСТАР.

Проект итогового документа в декабре 1992 г. был представлен на рассмотрение в SC–104 RTCM.

При его обсуждении возникли проблемы с:

- идентификацией систем;
- согласованием систем координат (WGS–84, ПЗ–90);
- согласованием временных шкал (UTC USNO, UTC SU).

Рассматривались три варианта идентификации систем:

- разные преамбулы для идентификации каждой системы (предложения Инмарсат);
- разные номера контрольно–корректирующих станций (ККС) и радиомаяков (предложение фирмы 3S Navigation);
- разные номера типов сообщений (предложения НТЦ "Интернавигация").

Разные преамбулы, как показали проработки Гос. НИНГИ и РИРВ, приводят к уменьшению вероятности приема достоверной синхросылки в реальных условиях, что в конечном счете сводится к увеличению дискретности приема достоверных поправок. Это обстоятельство было подтверждено и в серии экспериментов, проведенных БО США, которая в результате поддержала наши предложения.

Различные номера ККС и радиомаяков для идентификации систем сужают количество станций для ДНАВСТАР и ДГЛОНАСС, потому что число бит для идентификации станций ограничено. В этих условиях различные номера типов сообщений более предпочтительны, почему именно они окончательно приняты.

Было также решено при расчете поправок для каждой системы использовать свои координатные системы и свое системное время.

В результате типы сообщений для СНС ГЛОНАСС были включены в Рекомендации RTCM, а сам документ переименован применительно к службам ГНСС с учетом включенных предложений по СНС ГЛОНАСС [5]. Этот документ послужил основой для разработки и уточнений Рекомендаций ITU–R M.823. Проект Рекомендаций ITU–R M.823 был доработан Гос. НИНГИ, представлен в Радионавигационный комитет IALA и после рассмотрения направлен через Совет МАМС в МСЭ (ITU) на утверждение. В 1996 г. Рекомендации ITU–R M.823, характеризующие порядок, форматы, содержание поправок, требования к радиомаячному каналу передачи информации вступили в силу [6].

В табл. 1 представлены типы сообщений СНС НАВСТАР и ГЛОНАСС, передаваемые через радиомаяки морским потребителям.

Кроме этого, в Рекомендации RTCM по передаче дифпоправок для GNSS включен перечень сообщений типа 18–21, которые не передаются в стандартном режиме для морских потребителей, но предусмотрены в принципе для случая, когда необходимо обеспечить геодезические точности. Эти типы сообщений обеспечивают реализацию кинематических способов использования GNSS в реальном масштабе времени (RTK) при измерениях фазы несущей, псевдодальности (18-ое–20-ое сообщения), а также высокоточных поправок при измерениях псевдодальности (21 сообщение).

Таблица 1

Перечень сообщений, передаваемых в дифференциальном режиме ГНСС

№ кадра сообщений НАВ-СТАР	Содержание сообщений	№ кадра сообщений ГЛОНАСС
1	Дифференциальные поправки (полный набор спутников)	31
3	Параметры контрольной станции	32
5	Состояние созвездия	33
6	Нулевой кадр	34 (N=0 or N=1)*
7	Альманах радиомаяков	35
9	Быстроменяющиеся дифференциальные поправки (могут заменять кадр 1 или 31)	34(N>1)
16	Специальные сообщения	36

* Примечание: N – число строк в сообщении.

На базе Рекомендаций ITU-R M.823 (МСЭ) и RTCM для GNSS Гос.НИНГИ разработан проект стандарта для передачи дифпоправок СНС ГЛОНАСС и НАВСТАР радиомаячной службой ГУНиО МО [7]. Этот документ определяет порядок передачи информации для СНС ГЛОНАСС и НАВСТАР через единый радиомаячный канал. Дискретность передачи информации для СНС ГЛОНАСС и НАВСТАР радиомаячной службой ГУНиО МО приведена в табл. 2.

Таблица 2

Условия передачи сообщений в дифференциальном режиме ГНСС

НАВСТАР		ГЛОНАСС	
№ кадра сообщений НАВСТАР	Условия передачи	№ кадра сообщений ГЛОНАСС	Условия передачи
9(1)	Должен передаваться так часто, как это возможно (приблизительно каждые 15 – 20 с)	34; 31	Должен передаваться каждые 50–60 с
3	Должен передаваться дважды в час (на 15-й и 45-й минуте каждого часа)	32	Должен передаваться дважды в час (на 15-й+1 и 45-й+1 минуте каждого часа)
5	Должен передаваться на 5 минуте каждого часа и каждые 15 мин после этого	33	Должен передаваться дважды на 5-й+1 минуте каждого часа и каждые 15 мин после этого
6	Должен передаваться при необходимости	34 (N=0 or N=1)	Должен передаваться при необходимости
7	Должен передаваться на 7-й минуте часа и каждые 15 мин после этого	35	Будет передаваться дважды на 7-й минуте каждого часа и каждые 15 мин после этого
16	Должен передаваться при необходимости	36	Должен передаваться при необходимости

Из табл. 2 видно, что сообщения 9 (1) будут передаваться чаще, чем 34 (31). Это объясняется наличием режима селективной доступности (загрубления) в СНС НАВСТАР, который уменьшает продолжительность существования дифпоправок. Передача дифпоправок с помощью сообщений 9, 34 более предпочтительна, так как в этом случае сообщение включает информацию только о трех и менее спутниках (всего передается информация не более, чем о девяти спутниках). При существующей схеме оценки качества информации в условиях промышленных помех уменьшение длины посылки приводит к повышению вероятности приема достоверной информации и, естественно, к уменьшению дискретности приема дифпоправок, что, в свою очередь, повышает точность дифференциального режима.

Очевидно, что увеличение объема передаваемой информации для СНС ГЛОНАСС и НАВСТАР потребует увеличения скорости передачи данных. При передаче информации об обеих системах скорость будет 100 или 200 бод. Окончательный выбор будет сделан по результатам испытаний.

Радиомаячной службой для повышения вероятности приема достоверной информации в условиях промышленных помех предусмотрена возможность дополнительного кодирования передаваемой информации. Это позволяет также несколько увеличить дальность обслуживания дифрежимом при одной и той же мощности излучения, но, к сожалению, одновременно уменьшает информационную скорость передачи примерно в два раза. Целесообразность реализации дополнительного кодирования должна быть оценена в период испытаний дифрежима СНС ГЛОНАСС в 1997 г.

Неформализованная дополнительная информация о СНС ГЛОНАСС и НАВСТАР или другая информация, обеспечивающая безопасность плавания, будет передаваться с помощью сообщения 16 на английском языке и 36 – на русском и английском языках.

Ранее, еще в 1991г. на сессии ТС–80 ИЕС (МЭК) председатель рабочей группы WG 4A ТС–80 ИЕС г–н М. Фокс предложил РФ разработать два стандарта – стандарт на судовой приемник СНС ГЛОНАСС и стандарт на судовой приемник СНС НАВСТАР/ГЛОНАСС –, получившие индексы МЕК: ИЕС 1108–2, ИЕС 1108–3, соответственно. Начиная с того времени, Гос.НИНГИ совместно с ЦНИИМФ приступили к разработке этих документов. Следует заметить, что проект стандарта ИЕС 1108–1 на приемник СНС НАВСТАР был уже в своей основе подготовлен и, естественно, послужил прототипом для разработки новых стандартов. Первая их редакция была представлена на рассмотрение WG 4A ТС–80 ИЕС и RTCM (SC–104) в мае 1992 г.

В настоящее время стандарт ИЕС 1108–1 уже одобрен и носит статус международного [8]. Проект стандарта ИЕС 1108–2 находится на стадии DIS (Draft International Standard) и проходит процедуру голосования. Стандарт распространяется на суда, скорость хода которых менее 50 уз. Указано, что погрешность определения места не должна превышать 45 м ($P=0.95$), а при работе в дифрежиме должна быть менее 10 м ($P=0.95$). Дискретность обновления координат должна быть не менее одного раза в 2 с. Аппаратура работает в системе координат ПЗ–90 (Параметры Земли 1990 г.) с возможностью перевода в любую другую систему с известными параметрами перехода и в шкале времени системы ГЛОНАСС, привязанной к UTC (SU).

Аппаратура должна выдавать предупреждения в случаях, когда потеряно место или HDOP превышает установленное значение, либо место не определено в течение 2 с.

Что касается проекта стандарта ИЕС 1108–3, то его отработка завершена и он проходит последние этапы рассмотрения и согласования. Он является компиляцией двух предыдущих стандартов – ИЕС 1108–1 и ИЕС 1108–2. При этом погрешность определения координат места объекта по смешанному созвездию спутников по предложению фирмы Ashtech записана 35 м ($P=0.95$).

Последним документом в данном ряду является стандарт (проект) ИЕС 1108–4 передаваемых через радиомаяки на судовую приемную аппаратуру дифпоправок СНС НАВСТАР и ГЛОНАСС для морских объектов.

Начиная с 1994 г., рабочие группы WG A4 и SC–104 RTCM начали отрабатывать проекты Резолюций ИМО (MSC), которые уже с позиций ИМО должны определить требования сначала к судовой приемной аппаратуре СНС НАВСТАР, а позже и к ГЛОНАСС, ГЛОНАСС/НАВСТАР и приемнику дифпоправок этих систем по радиомаячному каналу. В настоящее время для судовой приемной аппаратуры СНС НАВСТАР они уже воплощены в Резолюцию ИМО А.819(19) [8], для судовой приемной аппаратуры СНС ГЛОНАСС они должны были быть приняты в конце 1996 г.. Для судовой приемной аппаратуры, работающей по объединенному созвездию, и для судовой аппаратуры приема дифпоправок СНС НАВСТАР и ГЛОНАСС Резолюции ИМО разработаны и разосланы странам–членам ИМО (MSC) на рассмотрение и согласование.

Завершает эту серию стандартов стандарт IEC 1162–1 (МЭК) [9], который должен включить положения по интерфейсному обмену перечисленной выше аппаратуры с внешними абонентами навигационной информации.

В 1995 г. представители РФ на сессии ТС–80 IEC в Стокгольме обратили внимание на то, что IEC 1162–1 оговаривает сообщения, касающиеся обмена судовой приемной аппаратуры СНС ГЛОНАСС с внешними потребителями навигационной информации и предложили разработать проект соответствующих предложений по данному вопросу, что и было зафиксировано в решениях. Гос.НИНГИ их разработал и через НТЦ “Интернавигация” представил в феврале 1996 г. в WG 6 ТС–80 IEC и Председателю Комитета NMEA (США) на рассмотрение. В целом они были одобрены. Однако подчеркнута необходимость учесть возможности появления в будущем новых спутниковых систем.

Вторая редакция предложений была подготовлена Гос.НИНГИ и направлена на рассмотрение в NMEA в октябре прошлого года. По ранее достигнутой договоренности после рассмотрения их на заседании рабочей группы NMEA они должны быть включены в стандарт NMEA 0183 и представлены на рассмотрение в WG 6 IEC для последующего рассмотрения и включения уже в стандарт IEC 1162–1.

Таково современное состояние разработки и статуса стандартов, касающихся судовой приемной аппаратуры СНС ГЛОНАСС, НАВСТАР/ГЛОНАСС в международных и национальных организациях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Президента РФ от 24.09.1993 г. №658 – РПС.
2. Recognition of the Global Navigation Satellite System (GLONASS). NAV 42/7/34, 1996.
3. World–Wide Radionavigation System. Resolution IMO A. 815(19), adopted 23.11.1995.
4. IEC 1108: Part 2: GLONASS. Performance standards of testing and required tests results. November 1995.
5. RTCM Recommended Standards for Differential GNSS Service, RTCM SC–104, version 2.2. March 1996.
6. Technical Characteristics of Differential Transmissions for GNSS from Maritime Radio Beacons in the Frequency Band 285–325 kHz. 1996.
7. Стандарт по передаче дифференциальных поправок СНС ГЛОНАСС и НАВСТАР Радиомаячной службой ГУНиО МО. Проект 1995 г.
8. Resolution A. 819(19). Performance Standards for Shipboard GPS Receiver Equipment. Adopted 23.11.95.
9. IEC 1162–1. Maritime Navigation and Radiocommunication Equipment and Systems-Digital Interface, DIS. 1995.
10. International Standards for Marine User Receiver Equipment of Global Navigation System (GLONASS).

ГРНТИ 78.25.31

МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНЫХ СРОКОВ АВТОНОМНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ АСТРОНАВИГАЦИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

**А.Д. ГОЛЯКОВ,
В.В. РОМАНОВ**
(ВИККА им. А.Ф. Можайского)

Описывается метод автономной навигации космического аппарата, основанный на измерении зенитного расстояния одной звезды. Приводятся соотношения для определения потенциальной точности метода и сравнения с точностью традиционного метода астронавигации по двум звездам.

После ввода в строй спутниковых радионавигационных систем НАВСТАР и ГЛОНАСС многие потребители начали активно переходить на радионавигационные методы определения параметров движения. Это объясняется высокой точностью определения координат и скорости при относительной простоте, малом весе и габаритах аппаратуры потребителя. Однако и РНС не лишены недостатков. Это и слабая

помехозащищенность, и невозможность обеспечения навигации космических объектов на высотах более 20 тыс.км.

В целях повышения помехозащищенности наиболее часто используют комплексование РНС с инерциальными навигационными системами. Это частично повышает устойчивость навигационной системы противодействию различного рода помех. Однако такой метод сохраняет свои преимущества при кратковременных сбоях в работе навигационной системы и не позволяет решить задачу навигации космических аппаратов (КА) на высоких орбитах.

С другой стороны астронавигационные системы КА полностью автономны и обладают высокой помехозащищенностью, хотя по точности значительно уступают радионавигационным. Кроме того, существенным их недостатком является низкая надежность измерителей зенитных расстояний звезд, входящих в состав астронавигационных систем КА. Для обеспечения длительных сроков автономного функционирования системы навигации можно воспользоваться несколькими способами. Во-первых, использованием в системе комплектующих деталей, узлов и блоков с более высокой надежностью, что ведет, как правило, к усложнению технологии изготовления и удорожанию бортовой аппаратуры. Во-вторых, исключением наименее надежных узлов из конструкции измерителя, например, карданового подвеса [1]. Это требует применения оптоэлектронных приборов с большим углом зрения, что снижает точность измерений зенитных расстояний звезд. В-третьих, увеличить длительность сроков автономного функционирования можно путем резервирования измерителей, что не только увеличивает массу и габариты системы, но и ведет к ее существенному удорожанию.

Сущность предлагаемого ниже метода заключается в том, что при наличии в системе навигации КА двух идентичных измерителей, при отказе одного из них возможно решение навигационной задачи с одним измерителем. При этом сокращается состав уточняемых параметров движения центра масс КА и снижается точность их определения. Однако, таким образом возможно продлить время активного существования системы навигации для обеспечения выполнения КА целевых задач. Положительной стороной является то, что использование рассматриваемого метода не требует изменений в аппаратном составе системы автономной навигации.

Основная сложность при его реализации заключается в невозможности определения всех параметров орбиты КА. Исследование наблюдаемости движения КА по измерениям одного зенитного расстояния показывает [2], что максимальное количество определяемых параметров движения равно пяти (табл.1).

Таблица 1

Матрица наблюдаемости движения КА на круговой орбите по измерению одного зенитного расстояния

$b_o (1 - \cos \nu)^*$	c_o	0	0	0	0	0
$-b_o (1 - \cos \nu)^{**}$	0	c_o	0	0	0	0
0	0	0	$-a_o$	$-b_o$	0	0
0	0	0	b_o	$-a_o$	0	0
0	0	0	0	0	b_o	$-a_o$

Примечание: * – a_o, b_o, c_o – направляющие косинусы звезды;

** – ν – угол поворота радиуса-вектора КА.

Из табл. 1 видно, что при визировании навигационных звезд, используемых в штатном режиме измерения двух зенитных расстояний, когда звезда находится либо в плоскости орбиты, либо по ее оси, возможно определение соответственно четырех или двух параметров.

Поэтому необходимо произвести выбор звезды, исходя из условия определения пяти параметров движения КА с максимальной точностью. В работе [3] описана методика получения аналитических оценок ковариационных матриц погрешностей навигации КА. Она является универсальной, однако построена на использовании компакт-

ных аналитических выражений, что не всегда возможно при интегрировании сложных функций. В настоящей работе предлагается получать приближенные аналитические выражения, позволяющие с достаточной точностью определить значение погрешности навигации и характер ее изменения при различном орбитальном склонении навигационной звезды. Функции, аппроксимирующие последовательности, которые получены в результате численного расчета дисперсии ошибок параметров движения КА, имеют вид

$$\begin{aligned}
 D_x &= 2\pi \frac{r^2 \sigma^2}{N} \times a_x e^{b_x \delta} ; D_y = 2\pi \frac{r^2 \sigma^2}{N} \times a_y e^{b_y \delta} ; \\
 D_{V_x} &= 2\pi \frac{V^2 \sigma^2}{N} \times a_{V_x} e^{b_{V_x} \delta} ; D_{V_y} = 2\pi \frac{V^2 \sigma^2}{N} \times a_{V_y} e^{b_{V_y} \delta} ; \\
 D_z &= 2\pi \frac{r^2 \sigma^2}{N} \times a_z \delta^{b_z} ; D_{V_z} = 2\pi \frac{V^2 \sigma^2}{N} \times a_{V_z} \delta^{b_{V_z}} ,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где r_o – радиус-вектор опорной орбиты КА;
 V_o – скорость КА на опорной орбите;
 σ – среднее квадратическое отклонение погрешности (СКО) измерителя;
 N – количество измерений за сеанс;
 δ – орбитальное склонение навигационной звезды,
 а значения a_q, b_q приведены в табл.2.

Таблица 2

Значения безразмерных коэффициентов, соответствующих составу уточняемых параметров движения центра масс без уточнения боковой скорости КА (\mathcal{X})

Коэффициент	$q = X$	$q = Y$	$q = \mathcal{X}$	$q = \mathcal{Y}$	$q = Z$
a_q	0,523	2,8895	2,596	0,339	0,792
b_q	2,788	2,9560	2,957	2,767	- 0,4585

В функциях (1) можно выделить коэффициент, выражающий зависимость погрешности навигации от радиуса-вектора и скорости КА, количества измерений, погрешности измерителя, а также безразмерные функции с параметрами a_q и b_q , зависящими от интервала измерения и состава уточняемых параметров. Эти функции удобны для исследования точностных характеристик метода навигации и могут быть использованы при оптимизации выбора навигационной звезды по критерию минимума погрешности навигации. В качестве критерия оптимизации в навигации часто используют обеспечение минимума суммы диагональных элементов ковариационной матрицы (следа ковариационной матрицы), предварительно приведя их к безразмерному виду. В данном случае достаточно минимизировать сумму пяти описанных выше безразмерных функций, соответствующих выбранному составу уточняемых параметров движения центра масс КА. Пример подобного расчета приведен в табл.3.

В табл. 3 представлены средние квадратические отклонения погрешности (σ) определения параметров движения КА без уточнения боковой скорости на высоте круговой орбиты 320 км и СКО погрешности измерителя зенитного расстояния 10', получаемые при орбитальном склонении (δ) навигационной звезды 5,7°, что соответствует минимуму указанного критерия. Во второй строке табл. 3 представлены точностные (σ') характеристики системы автономной навигации, имеющей в своем составе два измерителя углового расстояния.

Таблица 3

Значения σ и σ'

Параметр	X , км	Y , км	$X^{\&}$, км	$Y^{\&}$, км	Z , км	$Z^{\&}$, км
σ	4,47	10,24	11,15	4,19	7,87	—
σ'	3,17	6,36	6,78	3,07	2,76	3,17
σ/σ'	1,41	1,61	1,64	1,36	2,85	—

Выражения для определения относительной величины погрешности предлагаемого метода в сравнении с традиционным методом определения орбит КА по зенитным расстояниям двух звезд выглядят следующим образом

$$\begin{aligned} \tilde{D}_x &= \frac{D_x}{D'_x} = \frac{12\pi(\pi^2 - 6)}{3\pi^2 + 32} \times a_x e^{b_x \delta}; & \tilde{D}_y &= \frac{D_y}{D'_y} = \frac{\pi(\pi^2 - 6)}{3(\pi^2 - 3)} \times a_y e^{b_y \delta}; \\ \tilde{D}_{V_x} &= \frac{D_{V_x}}{D'_{V_x}} = \frac{4\pi(\pi^2 - 6)}{9(\pi^2 - 2)} \times a_{V_x} e^{b_{V_x} \delta}; & \tilde{D}_{V_y} &= \frac{D_{V_y}}{D'_{V_y}} = \frac{12\pi(\pi^2 - 6)}{3\pi^2 + 14} \times a_{V_y} e^{b_{V_y} \delta}; \quad (2) \\ \tilde{D}_z &= \frac{D_z}{D'_z} = \pi a_z \delta^{b_z}; & \tilde{D}_{V_z} &= \frac{D_{V_z}}{D'_{V_z}} = \pi a_{V_z} \delta^{b_{V_z}}. \end{aligned}$$

Таким образом, несмотря на снижение точности определения параметров движения КА рассматриваемый метод сохраняет основные преимущества астронавигации: автономность, помехозащищенность, независимость ошибки навигации от времени. Даже его пониженная точность достаточна для выполнения широкого спектра задач, выполняемых КА. Кроме основного своего назначения – резервного режима работы системы астронавигации – метод определения параметров движения по измерениям одного зенитного расстояния может быть использован на любом КА, имеющем в своем составе оптикоэлектронный прибор и прибор, позволяющий определить направление на центр небесного тела, что может быть полезно при межпланетных перелетах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. David M. Linder, Joseph T. Bolek, John Lombardo. Guidance Navigation and Control subsystem for EOS-AM spacecraft / AIAA Guid and Cont. Conf., 1992, p.1590-1599.
2. Голяков А.Д. Введение в теорию взаимной астронавигации искусственных спутников Земли. -СПб.: ВИККИ, 1992..
3. Порфирьев Л.Ф., Смирнов В.В., Кузнецов В.И. Аналитические оценки точности автономных методов определения орбит. -М.: Машиностроение, 1987

О ВОЗМОЖНОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ АБОНЕНТОВ В МНОГОСПУТНИКОВЫХ НИЗКООРБИТНЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

С.Е.АДАДУРОВ,
М.Г.СТЕПАНОВ,
С.А.ЯСЬКО

(ВИККА им. А.Ф.Можайского)

Дан анализ низкоорбитных систем спутниковой связи. Основное внимание уделено вопросам навигационного обеспечения абонентов таких систем. Рассматриваются возможные варианты эфемеридного обеспечения спутников-узлов системы. Учитывая стандартные протоколы передачи информации в системах с коммутацией пакетов, предлагается алгоритм измерения псевдодальности на интервале длительности пакета.

1. Предпосылки к разработке и общая характеристика многоспутниковых низкоорбитных систем связи. Одним из перспективных направлений развития спутниковой связи с начала 90-х годов является создание подобных систем на базе низкоорбитных космических аппаратов (КА). При предоставлении услуг подвижной спутниковой связи и некоторых других эти системы имеют высокую техническую и экономическую эффективность.

Несмотря на появление среднеорбитных систем, низкоорбитные, по мнению специалистов, имеют большое будущее. Считается, что они обеспечат существенное увеличение ресурсов коммуникационных систем при организации каналов передачи данных, работающих в режимах непосредственной ретрансляции, ретрансляции в реальном масштабе времени (рис.1, 2), и в режиме электронной почты (рис.3); организацию дуплексных телефонных каналов связи между абонентами многоспутниковой низкоорбитной системы связи (МНСС), а также абонентами других систем, включая телефонные сети общего пользования; доставку циркулярных сообщений абонентам, находящимся в различных регионах мира; автоматизированный сбор данных о состоянии различных объектов, в том числе транспортных средств; глобальный персональный вызов абонентов.

В процессе совершенствования и создания систем мобильной спутниковой связи имеет место использование технологий, направленных на обеспечение малогабаритности и многофункциональности терминалов [1]. Энергетический выигрыш в радиолиниях для МНСС с орбитами порядка полутора тысяч километров по отношению к геостационарным и высокоэллиптическим системам связи позволяет создать действительно малогабаритные (типа телефонов наземной сотовой связи) потребительские терминалы, обеспечивающие передачу информации и определение местоположения мобильного пользователя с помощью радиотехнических методов.

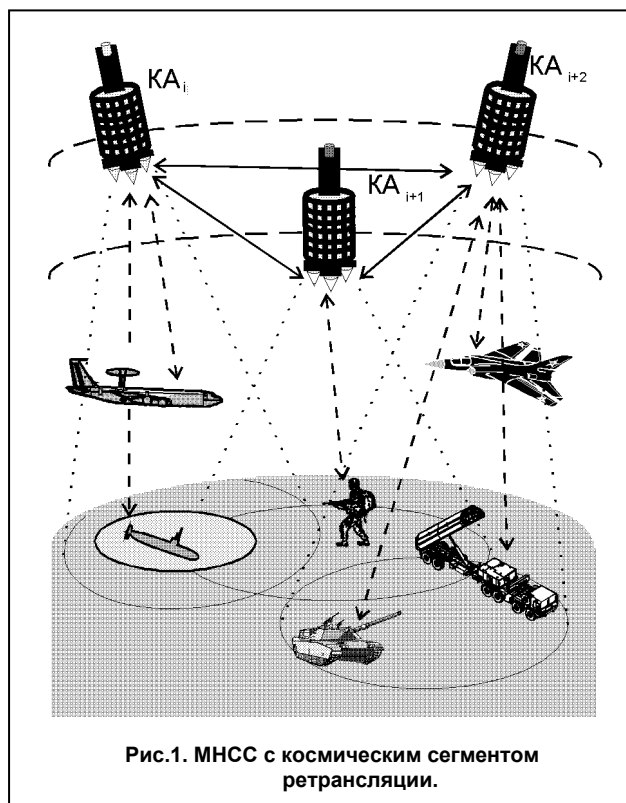


Рис.1. МНСС с космическим сегментом ретрансляции.

Определение местоположения может быть реализовано либо путем вычисления координат непосредственно в абонентском терминале, либо путем определения местоположения на узловой станции. В последнем случае необходима организация канала передачи информации между пользователем и узловой станцией. Для определения координат абонента возможно использовать активный (запросный с активным ответом) метод радионавигации, что в общем случае способствует повышению точности определения местоположения. Вместе с тем, применение этого способа приводит к уменьшению пропускной способности системы, а иногда, при отсутствии определенных априорных сведений о местоположении абонента, делает весьма затруднительным не только сам процесс навигационных измерений, но и организацию информационного обмена.

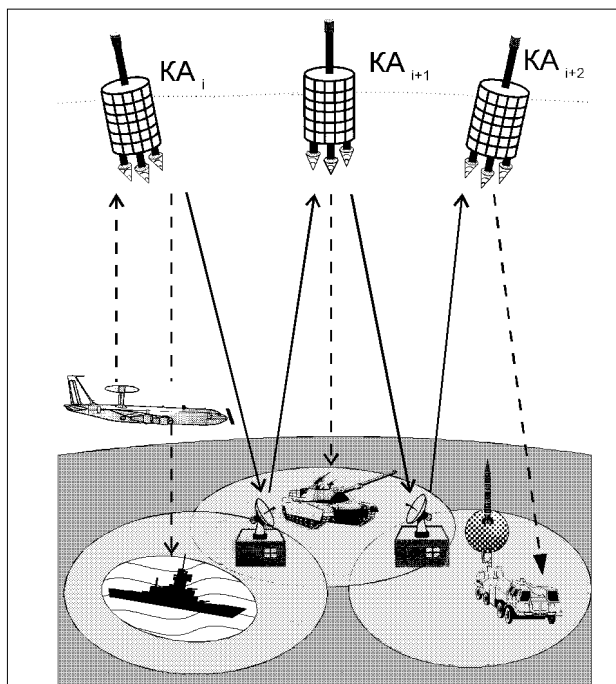


Рис.2. МНСС с наземным сегментом ретрансляции.

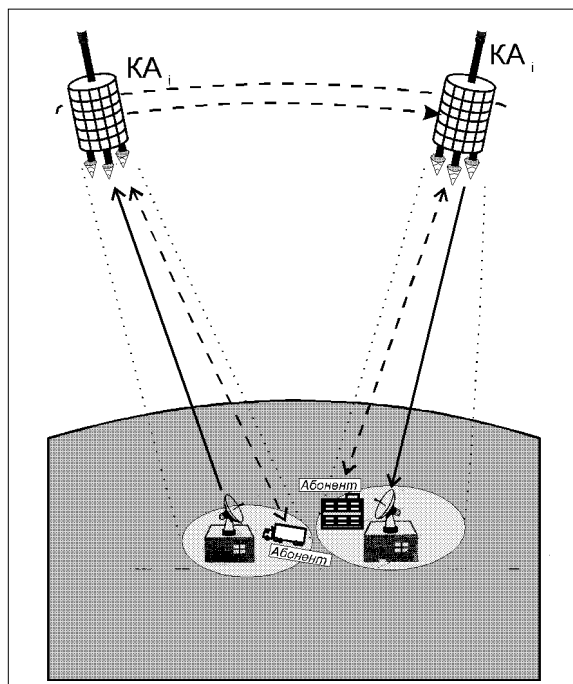


Рис.3. МНСС с переносом информации (электронная почта).

Применение пассивного метода не влияет на пропускную способность системы, однако требует организации процедуры измерений текущих навигационных параметров на интервалах, соизмеримых с длительностью пакетов информационных сообщений [2]. При вычислении координат непосредственно в абонентском терминале может быть использован как активный, так и пассивный метод радионавигации.

2. Сравнительный анализ возможностей спутниковых РНС и многоспутниковых низкоорбитальных систем связи для решения задач навигации. Спутниковые радионавигационные системы (СРНС), впервые появившиеся в начале 60-х годов, зарекомендовали себя как весьма точные и надежные средства определения местоположения потребителей наземного базирования. Опыт использования позволил оценить возможности их применения в аэронавигации, для навигации наземных подвижных объектов и определения параметров движения КА.

В настоящее время успешно эксплуатируются СРНС 1-го и 2-го поколений, которые существенно различаются между собой по баллистической структуре и точностным характеристиками. У каждой из указанных систем имеются свои преимущества и недостатки, что приводит к существенному различию в классах потребителей.

Недостатки СРНС 1-го поколения (типа "Цикада", "Транзит") связаны с уменьшением точности навигации при движении потребителя вследствие влияния погрешностей счисления. В СРНС 1-го поколения возможно проведение только дискретных навигационных сеансов, в которых продолжительность измерений может достигать до 10...16 мин. Кроме того, СРНС 1-го поколения не обладают сетевыми свойствами.

СРНС 2-го поколения являются сетевыми системами непрерывного действия, обеспечивающими глобальное высокоточное определение полного вектора состояния потребителя. Погрешность навигационных определений в них составляет по координатам до 10 м и по скорости до 0.05 м/с [3].

Навигационные определения потребителей МНСС могут быть реализованы как с использованием СРНС, так и без применения аппаратуры потребителя СРНС. В первом случае местоположение абонента МНСС определяется по навигационному полю СРНС 2-го поколения (ГОНЕЦ [4], IRIDIUM [5]), что ведет к доукомплектованию пользовательского терминала МНСС аппаратурой потребителя ГЛОНАСС или GPS. Это, в свою очередь, влечет за собой существенное удорожание аппаратуры пользователя МНСС и ухудшение ее массогабаритных характеристик.

Во-втором случае для определения местоположения абонента МНСС в качестве опорных навигационных точек используются сами КА-узлы сети. Такие системы наиболее предпочтительны с точки зрения существенного упрощения предоставления услуг связи и навигации подвижным абонентам, находящимся в удаленном районе. Рассматриваемый вид услуг уникален при решении целевых задач специальных подразделений, милиции, спасателей, скорой помощи, для альпинистов, геологов, для организации контроля перевозки грузов, в промышленном и экологическом мониторинге, управлении воздушным движением в приполярных и океанских районах и т.д. [6]. Заметим, что упомянутым абонентам МНСС не требуется определять собственное положение с точностью до единиц метров, которая достижима только при работе с СРНС 2-го поколения. Однако, поскольку МНСС не являются специализированными с точки зрения решения задач навигации абонентов, для достижения точностных характеристик, аналогичных СРНС 1-го поколения, необходимо учитывать некоторые особенности, связанные со спецификой решения задач передачи информации в МНСС.

3. Особенности навигационных определений в многоспутниковых низкоорбитных системах связи. Для МНСС, обеспечивающих предоставление широкого спектра услуг, является желательным наличие функции определения местоположения пользователя системы [7]. Данные о положении потребителя, помимо использования самим потребителем, могут применяться для быстрого вхождения в связь, устойчивого ее поддержания и быстрого восстановления при потере.

Однако, решение задач навигации абонентов в МНСС осложняется рядом факторов, к которым относятся:

- необходимость доведения абоненту эфемеридной информации от КА-узлов;
- отсутствие в структуре сообщения радиолинии "борт-Земля" дополнительной информации, характеризующей скорость ухода бортовых шкал генераторов КА МНСС;
- одночастотность, усложняющая борьбу с ионосферной погрешностью измерений текущих навигационных параметров;
- специфика передаваемых сигналов радиолиний, определяемая, в первую очередь требованиями к качественному решению задач передачи информации;
- пакетный режим работы МНСС ;
- высокая скорость перемещения и короткие зоны радиовидимости абонентом каждого КА МНСС;
- трудность периодической синхронизации и сведения бортовых шкал генераторов КА относительно эталона с высокой точностью;
- ограничения, налагаемые на наземный комплекс управления (НКУ), в котором планируется 1–3 станции.

Естественно, что точность решения навигационной задачи для различных групп потребителей будет зависеть от их подвижности и степени знания полного вектора скорости. В связи с этим, для осуществления возможности решения задачи навигации потребителей разных классов в МНСС необходимо оценить состав навигационных измерений, а для достижения требуемой точности – их объем.

Заметим, что важную роль в решении проблемы достижения приемлемой точности навигационных определений абонентов МНСС играет как рациональный выбор способов измерения ТНП, так и качество эфемеридной информации КА МНСС, способы её формирования и поддержания на требуемом уровне точности. В свою очередь, точностные характеристики навигационных определений абонентов сети непосредственно влияют на общий объем навигационных определений, т.е. на частоту проведения навигационных сеансов. Особенно остро эта проблема стоит для высокодинамичных абонентов, таких, как например, КА.

Поскольку выбор способа измерений ТНП и метод решения навигационной задачи в несинхронизированной спутниковой сети подробно рассмотрены в [8], проанализируем возможные варианты эфемеридного обеспечения КА–узла системы.

4. Сравнительный анализ вариантов эфемеридного обеспечения КА много-спутниковой низкоорбитной системы связи. Рассмотрение различных классов потребителей МНСС показывает, что значительную долю потенциальных абонентов составляют объекты, которым для эффективного выполнения целевых задач требуется знать свое местоположение. Использование для этого навигационной аппаратуры потребителей СРНС не является рациональным решением, поскольку она достаточно дорогостояща (1000 дол. и более) и имеет массогабаритные характеристики, превышающие характеристики для абонентской аппаратуры МНСС (особенно для отечественных систем "Цикада" и ГЛОНАСС). Кроме того, значительное число абонентов МНСС не требует определения местоположения и скорости с точностью, характерной для СРНС второго поколения. Точностные же характеристики СРНС первого поколения могут быть, по всей видимости, достигнуты и в рамках МНСС за счет более полного использования особенностей построения и функционирования подобных систем.

Задача навигационного обеспечения (НО) потребителей МНСС в рамках классической схемы спутниковой радионавигации связана с решением двух проблем:

- обеспечения радионавигационных точек, в качестве которых в МНСС выступают КА–узлы, достаточно точной информацией о собственных параметрах движения (эфемеридное обеспечение);

- обеспечения навигационных измерений с помощью абонентской аппаратуры и определения координат и вектора скорости потребителя на основе выбранного метода навигации.

Рассмотрим возможные пути решения первой задачи.

Среди возможных методов эфемеридного обеспечения КА [9], реализуемыми в МНСС, являются:

1. Эфемеридное обеспечение КА МНСС с помощью средств НКУ. Исторически первая и наиболее отработанная на практике технология. Эфемеридное обеспечение включает в себя измерение текущих навигационных параметров КА с помощью радиотехнических средств НКУ, обработку измерений, определение параметров движения КА, прогнозирование орбит и расчет эфемерид, передачу эфемерид средствами НКУ на борт каждого КА. Аналогичная схема используется для эфемеридного обеспечения КА СРНС. В настоящее время погрешность прогноза эфемерид этим методом соответствует нескольким десяткам метров в сутки для КА, находящихся на орбитах с высотами 1000...2000 км.

Несмотря на определенные преимущества данного метода (наличие технических средств, отработанного математического обеспечения, большой практический опыт использования), его применение для эфемеридного обеспечения КА МНСС малоэффективно. Главная причина низкой эффективности метода состоит в частом обновлении эфемерид для обеспечения необходимой точности прогноза в рассматриваемом диапазоне высот орбит и, как следствие, проведение большого объема измерений ТНП

средствами НКУ. С учетом того, что число КА в МНСС составит несколько десятков, реализация данного метода приводит к колоссальной нагрузке средств НКУ сеансами измерений и передачи эфемеридной информации.

Следует заметить, что все-таки не стоит полностью отказываться от данного метода, так как существует необходимость его ограниченного применения при использовании на КА МНСС систем компенсации возмущений типа DISCOS [10]. Их наличие позволяет при сохранении точности эфемерид КА МНСС увеличить период времени между очередными сеансами записи эфемеридной информации с 1 до 7 сут. и продлить срок активного существования КА на орбите.

2. Обеспечение КА МНСС эфемеридной информацией с помощью СРНС ГЛОНАСС.

В этом случае на борт каждого КА сети устанавливается аппаратура потребителя СРНС. Процедура эфемеридного обеспечения сводится к периодическому самоопределению КА по навигационному полю СРНС и краткосрочному прогнозу параметров движения до момента следующего самоопределения. Такая схема эфемеридного обеспечения КА позволяет достичь минимальных погрешностей (на уровне единиц метров по положению и сантиметров в секунду по скорости). МНСС в данном случае играет роль ретранслятора СРНС с некоторой потерей точности навигационного обеспечения абонента, но позволяет избежать необходимости использования аппаратуры СРНС у абонентов низкоорбитной сетевой системы.

3. Самоопределение КА МНСС на основе использования сигналов наземных радиомаяков.

Функционирование МНСС предполагает интенсивный информационный обмен с наземными абонентами. Разумно предположить, что среди множества потребителей МНСС окажется большое число стационарных абонентов с неизменными координатами (пункты управления, региональные узлы связи и т.д.). Координаты таких абонентов могут быть заранее определены с высокой точностью и при необходимости (по запросу) передаваться на борт КА в процессе обмена информационными посылками целевого назначения. Точностные возможности данного метода близки к характеристикам первого метода и зависят от допустимого географического расположения радиомаяков на поверхности Земли, периодичности решения задачи самоопределения и точности измерения ТНП на борту КА.

4. Самоопределение КА МНСС на основе межспутниковых взаимных измерений ТНП.

Поскольку организация межспутниковых каналов передачи информации предусматривается в перспективных МНСС, целесообразно рассмотреть все возможные варианты использования этого канала, в том числе и для решения задач относительной навигации. Данный метод органически вписывается в общую концепцию построения и функционирования МНСС. Его точностные возможности и алгоритмическая реализация исследованы недостаточно (в первую очередь из-за отсутствия до настоящего времени глубоких проработок, посвященных организации межспутникового канала в МНСС).

Сравнительный анализ рассмотренных выше методов обеспечения КА МНСС эфемеридной информацией позволяет сделать вывод о перспективности последних трех из них. При этом применение методов использования наземных радиомаяков и межспутникового канала не требуют установки какого-либо дополнительного оборудования на борт КА и не снижают автономности функционирования МНСС. Совместное использование указанных методов существенно упрощает задачу обеспечения наблюдаемости и достаточной точности определения параметров движения КА.

Эфемеридное обеспечение КА с использованием навигационного поля СРНС ГЛОНАСС, хотя и обладает высокой точностью, но, тем не менее, повышает зависимость МНСС от внешних факторов (качества навигационного поля) и НКУ (через зависимость СРНС от НКУ).

В то же время возможно совместное использование обеих технологий, причем навигационная аппаратура СРНС может устанавливаться только на отдельные КА

МНСС и использоваться в качестве "калибровочной", периодически "добавляя" высокоточную информацию для обеспечения стабильности системы относительной навигации. В этом случае [11] каждый КА в процессе работы сети передает сигналы, несущие командную (связную) информацию, которые КА, находящиеся в зоне радиовидимости, могут использовать для измерения квазидальности. Измеряемый каждым КА параметр включает разность показаний бортового хранителя времени (БХВ) спутников и время распространения сигналов между ними. Кроме того, каждый КА в течение достаточно короткого интервала времени осуществляет прием сигналов с данными о квазидальнономерных измерениях, проводимых другими КА. Полученные данные позволяют определить уходы шкалы времени КА относительно системной шкалы. Имеется и другой вариант решения навигационных задач на борту КА, который [12] также реализуется в процессе функционирования МНСС, однако его использование усложнено созданием условий проведения синхронных измерений.

Таким образом, с помощью рассмотренных методов эфемеридно-временного обеспечения КА можно увеличить время автономной работы КА системы и повысить её точностные характеристики.

5. Согласование методов навигационных определений с методами информационного обмена и управления системой. Анализ принципов построения и функционирования МНСС, а также особенностей работы абонентской аппаратуры в ее составе позволяет считать целесообразным решение задач связи и навигации в процессе информационного обмена. Решение навигационной задачи по местоопределению абонента возможно при одновременном проведении навигационных измерений в процессе информационного обмена абонента с КА–узлом и получение абонентом информации о параметрах движения КА–узла. Очевидно, что решение каждой из этих задач должно органично вписываться в процесс информационного обмена и оказывать минимальное влияние на его качество.

Поскольку МНСС не является специализированной навигационной системой, в ее задачи не входит создание непрерывного навигационного поля. Это означает, что в структуре передаваемого сообщения может отсутствовать информация о параметрах движения КА, поскольку не каждому абоненту и (или) не в каждом сеансе связи требуется решать навигационную задачу. В связи с этим целесообразно передавать эти параметры в сетке меток времени по запросу абонента в радиолинии "Земля–борт". Заметим, что при качественном приеме навигационной информации ее передача может ограничиться одним циклом. В этих условиях краткосрочный прогноз эфемерид на моменты времени измерений ТНП производится вычислительными средствами абонента.

Решение задачи по измерению ТНП, в частности квазидальностей, может быть осуществлено введением "специального дальномерного кода в поток данных цифровой связи". Конкретно, это могут быть *tone-codes*, которые "полностью совместимы с цифровой связью"[13]. Однако это приведет к снижению пропускной способности каналов связи. Учитывая то обстоятельство, что для передачи цифровой информации в МНСС будут использоваться сложные сигналы на базе псевдослучайных последовательностей (ПСП) [6], целесообразно измерять ТНП, используя эти же сигналы. Рассмотрим алгоритм измерения ТНП применительно к системам пакетной передачи данных.

Особенностью систем, работающих в пакетном режиме передачи сообщений, характеризующемся нерегулярными интервалами времени между передачами, является использование метода стартстопной синхронизации [14]. В этом случае в начале каждого информационного пакета длительности T_D передается синхронизирующий сигнал (преамбула пакета) длительности T_C , структура которого определяется выбранным протоколом синхронизации. Поскольку в системах с пакетным режимом передачи требуется достаточно высокая вероятность установления правильной синхронизации, то на передачу сигнала синхронизации приходится тратить значительную часть времени всего цикла передачи (до 30%). Это приводит к уменьшению скорости и увеличению

задержки передачи информации, т. е. к снижению эффективности МНСС. Так, стандартный пакет 1024 бит [15] в случае, когда длина модулирующей ПСП $L = 255$ и тактовая частота 10 МГц, имеет длительность 26,1 мс. Преамбула длительностью $T_C = 5,5 \dots 7$ мс приводит к снижению скорости передачи информации на 18, ... 22%, но она необходима, чтобы определить параметры принимаемого сигнала, войти в синхронизм и измерить псевдодальность на интервале длительности информационной части пакета.

Определение неизвестных синхропараметров сигнала за столь короткое время и установление режима слежения за частотой и задержкой ПСП с требуемой величиной вероятности ошибочного приема бита сообщения ($P_0 < 10^{-4}$) возможно лишь при наличии достаточно полных априорных данных о сигнале или, как показано в [16], при использовании методов стохастической регуляризации. В этом случае возможно не только вхождение в синхронизм за интервал T_C , но и сокращение длительности синхропреамбулы на 18, ... 33%. После установления режима слежения за параметрами сигнала осуществляется выделение символов информации и измерение псевдодальности по запаздыванию принятого сигнала относительно опорного, вырабатываемого в аппаратуре потребителя.

Измерение ТНП сводится к формированию временного интервала между синхроимпульсами, формируемыми из принятого и опорного сигналов, и заполнению его счетными импульсами с дальнейшим их подсчетом и переводом в число N , соответствующее текущей псевдодальности между абонентом и КА. Импульсы начала и конца интервала формируются путем подсчета заранее выбранного количества периодов ПСП опорного и принятого сигнала соответственно. Выбор конкретного количества периодов ПСП для формирования синхроимпульса канала приема (СИКП) и синхроимпульса опорного (СИО) зависит от количества символов в периоде ПСП, тактовой частоты, а также от требований к максимальному значению однозначно измеряемой псевдодальности. В рассматриваемом случае эта величина мала и составляет 7,65 км. Если предположить, что абонент и КА могут находиться на расстоянии до 3500 км, то в каждом пакете должно содержаться не менее 458 периодов ПСП для формирования границ измерительного интервала (СИО и СИКП). Если условия таковы, что возможно получение нескольких отсчетов псевдодальности на интервале T_{II} , то в этом случае целесообразно проведение предварительной обработки полученных измерений с целью повышения точности оценок [2].

В заключение можно отметить, что рассмотренные методы навигационных определений в МНСС хорошо вписываются в общую концепцию функционирования таких систем, что предопределяет их дальнейшее совершенствование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. С.Н.Герашенко. Перспективы развития спутниковых систем связи, навигации, наблюдения. "Проблемы безопасности полетов": М. 1992, N 1.
2. Ясько С.А. О влиянии длительности пакета на точность предварительной обработки навигационных параметров в многоспутниковых низкоорбитальных системах связи. Тезисы доклада на всероссийской научно-технической конференции "Направления развития систем и средств радиосвязи", Воронеж, 1996 г.
3. В.С.Шебшаевич, П.П.Дмитриев, Н.В.Иванцевич. Сетевые спутниковые радионавигационные системы.—М.: Радио и связь, 1993.
4. В.С.Власов. "Гонцы "Смолсата". "Авиация и космонавтика", 1993, N4.
5. Блок определения местоположения пользователя СССР. Пат.5119504 США, МКИ GO1S5/02. Durboraw Isaac N.; Motorola Inc. N554657.

6. В.М. Тамаркин, к.т.н. Л.М.Невдяев, С. И. Сергеев. Низкоорбитальные системы спутниковой связи. М.:ЦНТИ "Информ-связь", 1995 г.
7. A LEO-MSS system for position reporting and data messaging services. Gautier A., Dumont P. World Space Congr.: 43rd Congr. Int. Astronaut. Fed. (IAF) and 29th Plen. Meet. Comm. Space Res. (COSPAR), Washington, D.C., 28 Aug.-5 Sep. 1992: Book Abstr. Washington (D.C.). 1992. 133-134.
8. С.А. Ясько, Д.Ю. Чупин. Проблемы и возможности навигационных определений в многоспутниковых системах связи. "Навигация и гидрография", 1996, N 2. С.46-52.
9. Чуров Е.П. Спутниковые системы радионавигации. – М.:Сов. радио, 1977.
10. Pryor L. Lee. The Transit System: A status report. AIAA Pap. 1992, N 1708.
11. Divine D.I., Francisco Sh.G. Synchronesh, a practical enhancement to GPS serving. Prac. IEEE Position, Location and Navigation Symposium, PLANS'84. – USA, San Diego, 1984. P.169-174.
12. Браславец В.С. Решение навигационной задачи на борту КА по синхронным измерениям положения нескольких КА-ориентиров. "Космические исследования", т.28, выпуск 6. Ноябрь-Декабрь 1990.
13. Myron C. Young.: An Exact Solution to a Problem in Positioning. Navigation, 1973. Vol. 20. N 3-4.
14. Leung V.C., Donaldson R.W. Confidence estimates for acquisition times and hold in times for PN-SSMA synchronizis employing envelope correlation // IEEE Trans. – 1982. –V.COM-30, N 1. – P.230-240.
15. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями: Пер. с англ. /Под ред. Б.С.Цыбакова. – М.: Мир, 1979. – 600 с.
16. Степанов М.Г., Харченко А.В. Синтез регуляризованного алгоритма высокоточной дискретной обработки сигналов вспутниковых сетях передачи информации // Изв. ВУЗов. Приборостроение. – 1995. – Т. 38, N 9-10. – С.35-39.

ГРНТИ 78.21.41.19

В порядке обсуждения

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИЕМОИНДИКАТОРОВ СНС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ СУДНА

В.И.РЕЗНИЧЕНКО
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Рассматривается один из аспектов развития морской навигационной техники в связи с возможностями современных спутниковых навигационных систем.

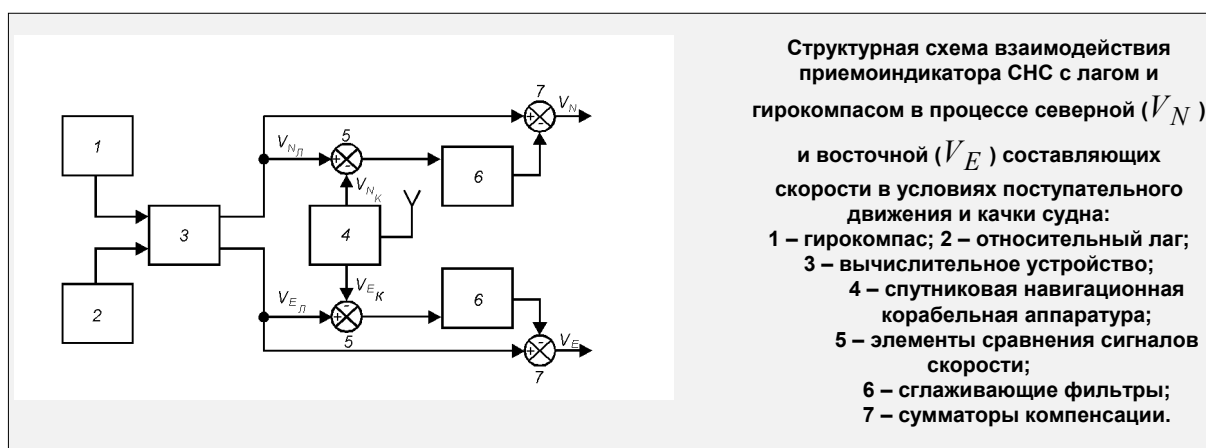
Во втором номере журнала "Навигация и гидрография" за 1996 год опубликована статья А.С.Баскина "Диалектика развития навигации", в которой автор попытался философски осмыслить развитие навигации во времени применительно к деятельности гражданского мореплавания.

В ряду затронутых им проблем существенное место отведено обсуждению повышения эффективности судовождения с помощью СНС второго поколения (NAVSTAR, ГЛОНАСС).

Можно согласиться с автором в том, что использование приемоиндикаторов СНС на судах торгового флота способствует осуществлению "плавания кратчайшими путями и оптимальными скоростями с минимальными затратами времени и топлива". Можно поддержать автора и в стремлении заменить устаревшие навигационные приборы современными техническими средствами, способными решать поставленные задачи с должным техническим и экономическим эффектом. Однако далеко не всегда при выборе новых приборов достаточно руководствоваться техническими характеристиками, заявленными разработчиками этих приборов. Примером тому могут служить характеристики приемоиндикаторов СНС NAVSTAR GPS.

Подробные данные по аппаратуре потребителей GPS ежегодно публикуются в американском журнале GPS World [1]. В его январском номере за 1995 год опубликован обзор 275 моделей навигационной аппаратуры различного назначения. Из них 156 моделей разработаны для навигационного обеспечения морских потребителей, в том числе 150 образцов, в которых наряду с определением координат места. решается задача непрерывного определения скорости объекта. Заявленная погрешность выработки скорости – от 0,01 м/с до 0,1±0,3 м/с.

Если судить по приведенным характеристикам, описанные приемоиндикаторы СНС вполне способны заменить любые судовые измерители скорости. Однако при установке на судне приемоиндикатор работает с антенной, заметно отстоящей от центра масс морского объекта. В результате вырабатываются текущие значения составляющих вектора скорости точки судна, совмещенной с фазовым центром антенны. В условиях качки эта скорость весьма сильно отличается от скорости поступательного движения собственно объекта [2] и при автономном использовании приемоиндикаторов СНС второго поколения при определении скорости судна не позволяет реализовать заявленные точностные характеристики аппаратуры. Для реализации потенциальной точности приемоиндикатору СНС необходима дополнительная информация от автономных навигационных средств, одним из которых, как ни парадоксально, может служить судовой лаг (рисунок).



Однако это не исчерпывает технических решений, обеспечивающих выработку скорости по данным СНС. Широко известны структуры комплексирования приемоиндикаторов СНС с инерциальными навигационными системами [3]. Реализация подобных структур не ведет к замене автономных приборов приемоиндикаторами СНС, но позволяет улучшить характеристики функционирования как спутниковых, так и автономных навигационных средств. Этого недостаточно, если иметь целью оптимизацию состава средств судовождения и достижение существенного экономического эффекта. Достаточным решением поставленной задачи представляется создание относительно недорогого автономного прибора (компенсатор качки) для формирования поправок к выходным сигналам приемоиндикатора СНС, которые учитывали бы влияние качки судна. Это позволит использовать для определения скорости морского объекта приемоиндикаторы СНС, допускающие прием поправок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Receiver Survey. GPS World, January 1995, USA.
2. Зайцев А.В., Резниченко В.И. Особенности функционирования спутниковой навигационной аппаратуры на морском объекте. Навигация и гидрография, 1995, №1. С.
3. P-MIGITS™ Integrated GPS/INS. Проспект фирмы Rockwell International, 1993, USA.



СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГИДРОГРАФИИ, МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ

ГРНТИ 78.21.37.15.17

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ФОТОСНИМКОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ВАЛОВ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ШЕЛЬФА

**В. Д. КОНДЮРИН,
Ю. В. ЮШКОВ**
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Показано, что аэрокосмические фотоснимки могут быть использованы для прогнозирования расположения подводных валов, а также для определения количества и расположения подводных образований в прибрежной зоне шельфа, расчета фотометрических глубин и определения вещественного состава слагающих пород.

Аккумулятивные формы подводного рельефа дна, вытянутые вдоль берега, называются береговыми подводными валами. Они являются характерной формой рельефа внутренней части шельфа, примыкающей непосредственно к берегу. Прогнозирование расположения подводных валов имеет исключительное значение для НГО ВМФ в прибрежной зоне шельфа.

Одним из основных факторов формирования рельефа и осадкоотложения внутренней части шельфа являются гидродинамические процессы - волны и вызванные ими береговые течения, а также дрейфовые, приливные и сгонно-нагонные течения. При этом не существует форм рельефа, созданных только волнами или только течениями. Оба этих фактора проявляются одновременно, поэтому в той или иной степени оказывают влияние на формирование любых форм рельефа и почти всегда можно установить основной процесс, обусловивший образование тех или иных аккумулятивных форм [1].

Возникающие под действием этих процессов формы рельефа дна характеризуются мягкими очертаниями и относительно пологими склонами без резко выраженных перегибов. Среди донных аккумулятивных форм рельефа данного типа выделяются подводные валы и более мелкие их формы – песчаные волны.

Подводные валы как правило сложены песчаными и ракушечно-песчаными отложениями, а также различными сочетаниями этих разновидностей морских осадков. Они формируются в довольно узких пределах механического состава материала и уклонов дна. Средняя крупность песка на валах редко составляет более 0,5 мм и почти никогда не бывают менее 0,1 мм, уклоны дна колеблются в пределах от 0,02 до 0,005. Типичные подводные валы наблюдаются в количестве 2 – 3 и редко до 6 [2].

Песчаные волны образуются только на очень отмелом дне с уклоном менее 0,005. Они представлены, как и подводные валы, песчаными грядами, но отличаются от них одинаковыми и небольшими относительными высотами (до 0,5 м над ложбинами), симметричными пологими склонами, расположением на одинаковых расстояниях друг от друга, а также большим количеством рядов, группирующихся в серии, достигающие 10 и более гряд.

В каждом отдельно взятом приморском районе преобладающий гидродинамический процесс характеризуется равнодействующей, представляющей собой среднее направление и суммарную энергию всех волнений и течений за определенный период, которая мало изменяется от года к году. Это обстоятельство и определяет сравнительно постоянное направление перемещения наносов, а следовательно, расположе-

ние подводных валов и песчаных волн по отношению к урезу воды и глубин над ними. Однако у изрезанных аккумулятивных берегов формируются наносные образования типа кос, положение которых невозможно прогнозировать.

Материалы аэрокосмической фотосъемки позволяют устанавливать количество подводных валов, развитых на том или ином участке морского дна, наличие систем валов разной ориентировки, их очертание в плане и наличие других подводных образований (песчаные валы, косы и др.). Подводные валы на аэрокосмических снимках получают характерное изображение, которое выглядит в виде серии светлых и темных полос, где светлый тон соответствует вершинам валов, а темный - межваловым понижениям.

Подводные валы при продольном перемещении наносов, как правило, принимают прямолинейные очертания. Косвенным признаком таких валов является спрямленная береговая линия без четко выраженных периодически повторяющихся аккумулятивных выступов или мысов. Изрезанная береговая линия в виде следующих один за другим аккумулятивных выступов определяет криволинейные очертания валов, что характерно для участков с поперечным движением наносов. Отклонение от прямолинейного очертания характерно не только для приурезовых, но и для удаленных от берега валов.

Для этих типов подводных валов существуют хорошо выраженные закономерности между распределением глубин и удалением валов от уреза воды. Так, в работе [3] приведены параметры подводных валов (рисунок), средние значения которых представлены в табл. 1.

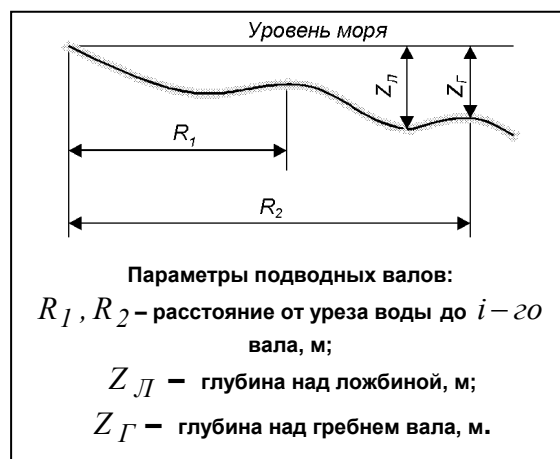


Таблица 1

Средние значения параметров подводных валов

Параметры	Подводные валы				
	Первый и второй	Третий	Четвертый	Пятый	Шестой
Расстояние от уреза воды до $i-го$ вала R , м:					
– <i>min</i>	20	120	200	250	400
– <i>max</i>	120	200	250	400	650
Глубина, м:					
– над ложбиной, $Z_{Л}$	1,5	3,0	4,0	6,0	9,3
– над гребнем вала, $Z_{Г}$	1,0	2,0	2,5	5,0	8,0

Анализ данных табл. 1 показывает, что возможны значительные колебания величины R , глубин над гребнем и ложбиной вала.

Сравнение аэрофотоизображений подводных валов одного и того же участка береговой зоны по материалам повторных съемок дает возможность проследить изменение положения подводных валов и других подводных образований. В табл. 2 приведены данные положения подводных валов и глубин над ними, полученных по аэрофото-снимкам 1974, 1976 и 1978 годов по одному и тому же фотометрическому разрезу в районе СНЗ "Поповка" на Черном море.

Из табл. 2 следует, что положение первого вала является более изменчивым, чем второго.

Таблица 2

Параметры подводных валов, по данным различных лет

Параметры	Подводные валы на съемках различных лет					
	первый			второй		
	1974 г.	1976 г.	1978 г.	1974 г.	1976 г.	1978 г.
R , м	70	40	48	240	220	230
Z_D , м	1.5	1.2	1.4	3.2	3.2	3.3
Z_G , м	1.3	1.1	1.3	2.6	2.7	2.6

Аэрокосмические фотоснимки позволяют успешно дешифрировать подобные образования, определять их положение и форму, а точность отображения рельефа такова, что позволяет использовать снимки в качестве картографической основы для подробного изучения рельефа морского дна в прибрежной зоне, т.к. на них отображаются все объекты в естественном виде.

Применение современных методов фотометрической и фотограмметрической обработки фотоснимков дает достаточно точные сведения о месте расположения подводных валов и песчаных волн и глубинами над ними.

Сравнение расчетных параметров рельефа дна с данными промера дает хорошую сходимость, что свидетельствует об эффективности использования аэрокосмических фотоснимков для прогнозирования расположения подводных валов в прибрежной зоне шельфа. По этим снимкам можно еще определять опасные для плавания участки акватории, наличие и размеры подводных валов, песчаных волн, мелей, камней, а также вещественный состав пород их слагающих. Для выше перечисленных целей могут использоваться аэрокосмические фотоснимки масштабов от 1:200 до 1:1 000 000.

Таким образом, один из основных видов дешифрирования аэрокосмических фотоснимков – микрофотометрический анализ – позволяет получить ряд численных фотометрических характеристик, которые могут быть приняты для прогнозирования расположения подводных валов, а также в качестве объективных дешифровочных признаков при определении количества и расположения подводных образований в прибрежной зоне шельфа, расчета фотометрических глубин и определения вещественного состава слагающих пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов. Изд. АН СССР, М., 1962.
2. Геолого-геоморфологическое изучение морских мелководий и берегов по материалам аэрофотосъемки. Под ред. Здановича В. Г. Л., "Наука". 1968.
3. Применение аэрометодов для исследования моря. Под ред. Здановича В. Г. Л., "Наука". 1963.

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ УЧЕТА НАКЛОНА ДНА
ПРИ ПРОМЕРЕ ШИРОКОЛУЧЕВЫМ ЭХОЛОТОМ**

**Э.С.ЗУБЧЕНКО,
А.А. ЛАКУНИН**
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Проанализирован существующий метод учета угла наклона дна и получены уточненные выражения для его вычисления, предложены формулы для расчета дополнительной поправки в измеренные глубины для компенсации систематической погрешности из-за замены истинной поверхности дна касательной плоскостью в точке отражения эхосигнала. Поправка определяется как отстояние такой плоскости от донной поверхности через кривизну сечения последней по направлению градиента глубины. Приведены результаты моделирования данных погрешностей для подводных гор и седловин между ними, а также съемки с введением поправок за наклон дна традиционным и предлагаемым способами. Показано, что точность съемки рельефа дна с углами наклона более 15° при их учете предлагаемым способом может быть увеличена в 3÷15 раз.

Погрешность съемки рельефа Δz_γ дна вследствие неучета его угла наклона γ приближенно оценивается формулой [1]

$$\Delta z_\gamma = z_{из.м} (1 - \sec \gamma), \quad (1)$$

где $z_{из.м}$ – измеренное эхолотом наклонное расстояние до дна.

При значениях $\gamma > 5^\circ$ величина $\Delta z_\gamma / z_{из.м}$ начинает превышать 0.4%, при реальных углах наклона дна порядка 30° превышая 15%. Следовательно, при промере в районах с углами наклона дна $\gamma > 5^\circ$, необходимо учитывать этот фактор. Требуемую точность определения угла наклона δ_γ можно оценить по формуле

$$\delta_\gamma = \frac{\Delta z_\gamma \cos^2 \gamma}{z_{из.м} \sin \gamma}. \quad (2)$$

Для того чтобы точность определения поправки за наклон дна не превышала 0.3%, δ_γ для рассматриваемого диапазона значений $\gamma = 5 - 30^\circ$ должно быть не более 2 и 0.25° соответственно.

В современной практике гидрографических работ угол наклона дна определяется, используя соотношения [1]

$$tg \gamma = g / \cos \beta; \quad (3)$$

$$g = \Delta z / \Delta S, \quad (4)$$

где g – градиент рельефа дна по направлению галса,

β – угол между направлениями галса и градиента глубины,

Δz – разность глубин, измеренных в двух последовательных точках на галсе.

Поправки в измеренные глубины определяются по формулам [1]

$$\Delta z = z_{из.м} (\sec \gamma - 1); \quad (5)$$

$$\Delta z = z_{из.м} [\cos(\gamma - \alpha) \sec \gamma - 1], \quad (6)$$

где α – угловая полуширина конуса излучения эхолота.

Формула (5) применяется при $\gamma \leq \alpha$, а (6) – при $\gamma > \alpha$. При этом принимаются следующие допущения:

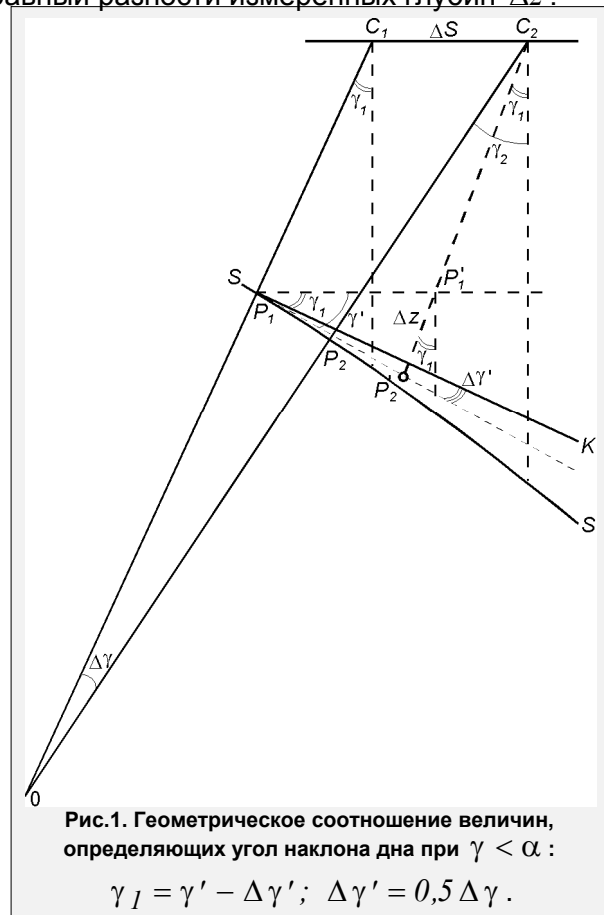
- реальная поверхность дна заменяется касательной плоскостью в точке отражения эхосигнала, для которой и определяется угол наклона дна;
- угол наклона касательной плоскости остается неизменным на отрезке ΔS , на концах которого измеряются глубины для вычисления градиента по формуле (4).

Проанализируем возникающие при этих допущениях систематические погрешности. На рис.1 показано сечение SS поверхности нормальной плоскостью, в которой лежат две последовательные точки P_1, P_2 отражения эхосигнала при измерении глубин из точек C_1, C_2 на галсе. C_1P_1 и C_2, P_2 – глубины по нормали к поверхности дна. K – след касательной плоскости к поверхности в точке P_1 , γ_1 – угол наклона касательной плоскости, равный углу между нормалью к поверхности дна и горизонтальной поверхности моря. Строя отрезок C_2, P_2' , равный C_2, P_2 и параллельный C_1P_1 отрезку, получим отрезок P_1', P_2' , равный разности измеренных глубин Δz .

Из рисунка следует, что угол $P_1' P_1 P_2'$ и является той величиной, которая определяется по значениям Δz и ΔS , а фактический угол наклона касательной плоскости в точке P по направлению сечения SS равен разности двух углов $P_1' P_1 P_2'$ и $\Delta\gamma'$, последний из которых является углом между хордой $P_1 P_2$ и касательной $P_1 K$, который, как известно, равен половине центрального угла (т.е. половине величины изменения угла наклона нормали к поверхности дна в точках P_1 и P_2). Угол $P_1' P_1 P_2'$, равный γ' , приближенно определяется из треугольника $P_1' P_1 P_2'$ по формуле

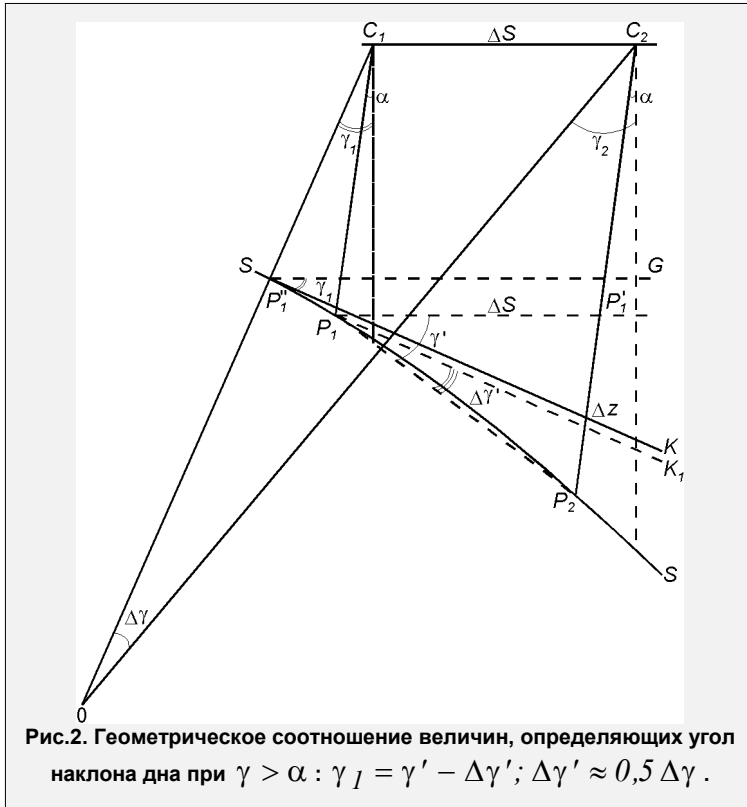
$$\sin \gamma' = \Delta z / \Delta S. \quad (7)$$

Рассмотренный случай соответствует варианту, когда угловая полуширина конуса излучения эхолота $\alpha > \gamma$.



На рис.2 представлен случай, когда $\alpha < \gamma$. Здесь отрезки C_1P_1 и C_2P_2 – измеренные наклонные расстояния до дна по образующей конуса излучения эхолота. Отрезок $P_1' P_2$, полученный построением на отрезке C_2P_2 отрезка $C_2P_1' = C_1P_1$, равен разности измеренных глубин Δz . Угол $P_1' P_1 P_2$ принимается при съемке за угол наклона дна в точке C_1 и определяется по формуле (4). Точка P_1'' – фиктивное положение точки отражения эхосигнала (если бы конус излучения был неограничен).

Угол $GP_1''K$ определяет наклон касательной плоскости в точке P_1'' по направлению сечения SS . Он, как и в первом случае, может быть вычислен как разность углов $P_1'P_1P_2$ и $K_1P_1P_2$, последний из которых определяет изменение угла наклона дна $\Delta\gamma'$ вдоль сечения SS для двух последовательных точек измерения глубин (которое также приближенно равно половине изменения угла наклона дна).



Величина угла $P_1'P_1P_2$ может быть найдена из треугольника $P_1'P_1P_2$ по формуле тангенсов [2]

$$\operatorname{tg} \gamma' = \frac{\Delta z \cos \alpha}{\Delta S - \Delta z \sin \alpha}. \quad (8)$$

Величина $\Delta\gamma$ для обоих рассматриваемых случаев практически может быть определена по значениям углов наклона γ_1 и γ_2 , вычисленным по формулам (7) и (8) в зависимости от соотношения γ и α по измеренным в трех последовательных точках на галсе глубинам.

Выполним оценку величины систематической погрешности от замены реальной поверхности касательной плоскостью. Для этого воспользуемся некоторыми положениями дифференциальной геометрии. Отстояние точки поверхности от касательной плоскости по нормали к ней в окрестности точки касания выражается формулой [2]

$$\Delta z_1 = 0,5(k_1 u^2 + k_2 v^2), \quad (9)$$

где k_1, k_2 – главные кривизны поверхности в точке касания;

u, v – координаты точки на касательной плоскости в системе координат, оси которой совпадают с главными нормальными сечениями, а начало находится в точке касания.

Поскольку измеренная глубина и вертикаль, к которой она приводится, лежат в одной нормальной плоскости, образующей сечение с максимальной кривизной, формулу (9) можно переписать в виде

$$\Delta z_1 = 0,5 k_1 u^2, \quad (10)$$

где k_1 – максимальная из главных кривизн.

Главные кривизны k_1, k_2 являются корнями квадратного уравнения $k - 2Hk + K = 0$, в котором K и H – средняя и полная (гауссова) кривизны поверхности. Эти величины могут быть представлены через частные производные от уравнения поверхности $z = z(x, y)$ по формулам [3]

$$H = \frac{(1 + q^2)r + 2pq s + (1 + p^2)t}{2(1 + p^2 + q^2)^{3/2}}; \quad (11)$$

$$K = (rt - s^2) / (1 + p^2 + q^2)^2, \quad (12)$$

где $p = z_x, q = z_y, r = z_{xx}, s = z_{xy}, t = z_{yy}$ – частные производные от уравнения поверхности $z = z(x, y)$ в общепринятых обозначениях.

Абсцисса u точки пересечения нормали к уровенной поверхности с касательной плоскостью в формуле (10) может быть определена из очевидных соотношений. При $\alpha \geq \gamma$

$$u = z_{uzM} \operatorname{tg} \gamma, \quad (13)$$

а для случая $\alpha < \gamma$

$$u = z_{uzM} \sin(\gamma - \alpha) \operatorname{tg} \gamma. \quad (14)$$

Так как формула (10) определяет отстояние поверхности от касательной плоскости по нормали к поверхности, то для приведения полученной величины Δz на нормаль к уровенной поверхности дна ее необходимо разделить на $\cos \gamma$.

С использованием соотношений (10) – (14) для типовых форм рельефа дна в виде подводных гор и седловин между ними было выполнено моделирование погрешности Δz вследствие замены поверхности дна касательной плоскостью. При этом подводные горы аппроксимировались поверхностью эллиптического, а седловины – гиперболического параболоидов. Уравнения этих поверхностей имеют вид [2]

$$z = \frac{x^2}{a_1^2} + \frac{y^2}{b_1^2} + z_0; \quad (15)$$

$$z = \frac{x^2}{a_2^2} - \frac{y^2}{b_2^2} + z_0, \quad (16)$$

где $a_i, b_i (i = 1, 2)$ – параметры, определяемые по размерам выбранных объектов;

x, y, z – координаты точки отражения эхосигнала от поверхности;

z_0 – глубина соответственно над вершиной подводной горы или седловиной.

Параметры a, b определялись по формулам

$$a_1 = a_2 = \frac{L_x}{2\sqrt{\Delta z}};$$

$$b_1 = \frac{L_y}{2\sqrt{\Delta z}}; \quad (17)$$

$$b_2 = -\frac{L_y}{2\sqrt{\Delta z}},$$

где L_x, L_y – соответственно максимальная и минимальная протяженность объекта по окаймляющей изобате;

Δz – разность глубин на окаймляющей изобате и над вершиной подводной горы или седловиной.

В табл.1 приведены основные характеристики и значения параметров a_i, b_i , вычисленные для выбранных объектов по формулам (17).

Таблица 1

Характеристики форм рельефа дна и вычисленные параметры моделирующих эти формы математических поверхностей

Форма рельефа и объект	Размеры объекта				Вычисленные параметры	
	Изобата, м	$L_x, м$	$L_y, м$	$z_0, м$	$a_i, \frac{м_{расст.}}{м^{1/2}_{элуб.}}$	$b_i, \frac{м_{расст.}}{м^{1/2}_{элуб.}}$
Гора:						
массива Мод в Южной Атлантике	3500	95500	30000	1470	1060	332
г. Ван-Уикхауза хребта Неккер на севере Тихого океана	2500	15550	7000	1025	400	183
г. Т303+А Северо-западного хребта в Тихом океане	1000	4500	1200	772	160	43
Седловина Северо-западного хребта в Тихом океане:						
г. Канму	3000	18500	14400	900	403	-314
г. Нинтоку	3000	9300	11800	1600	249	-315

Используя выражения (11), (12) для уравнений поверхностей (15), (16) были получены формулы, позволяющие вычислить их средние, гауссовы и главные кривизны, а также углы наклона нормалей к поверхности по значениям координат точек регулярной сети, покрывающий фрагмент исследуемого подводного объекта. Для эллиптического параболоида они имеют вид

$$H = \frac{\left[a^2 b^2 (a^2 + b^2) + 4(a^2 y^2 + b^2 x^2) \right] a^2 b^2}{\left(a^4 b^4 + 4x^2 b^4 + 4y^2 a^4 \right)^{3/2}}; \quad (18)$$

$$K = \frac{4a^6 b^6}{\left(a^4 b^4 + 4x^2 b^4 + 4y^2 a^4 \right)}; \quad (19)$$

Для гиперболического параболоида

$$H = \frac{\left[a^2 b^2 (b^2 - a^2) + 4(a^2 y^2 - b^2 x^2) \right] a^2 b^2}{\left(a^4 b^4 + 4x^2 b^4 + 4y^2 a^4 \right)^{3/2}}; \quad (20)$$

$$K = - \frac{4a^6 b^6}{\left(a^4 b^4 + 4x^2 b^4 + 4y^2 a^4 \right)^2}. \quad (21)$$

Угол наклона касательной плоскости для обеих поверхностей вычислялся по формуле

$$\cos \gamma = - \frac{a^2 b^2}{\left(a^4 b^4 + 4x^2 b^4 + 4y^2 a^4 \right)^{1/2}}. \quad (22)$$

В формулах (18)–(22) x, y – координаты точек поверхностей.

Результаты моделирования систематической погрешности z для выбранных объектов приведены в табл. 2.

Из нее следует, что у поверхности с наибольшей кривизной вследствие ее замены плоскостью соответственно наибольшие диапазоны углов наклона и относительных систематических погрешностей. Последние при углах наклона, превышающих 45°, могут достигать 88%, что говорит о необходимости обязательного их учета.

Таблица 2

Сводные данные по результатам моделирования

Наименование подводного объекта	Диапазон значений главной кривизны, рад/м	Диапазон значений угла наклона дна, град	Относительная систематическая погрешность глубины, %
Гора массива Мод	$(1,5 \div 1,8) \times 10^{-5}$	5,3 ÷ 20,5	0,01 ÷ 0,6
Гора Ван-Уикхаус	$(5,46 \div 5,94) \times 10^{-5}$	3,5 ÷ 17,9	0,06 ÷ 0,6
Гора Т303+А	$(0,35 \div 1,0) \times 10^{-3}$	12,2 ÷ 48,4	0,06 ÷ 88
Седловина у горы Канму	$(-2,0 \div 1,14) \times 10^{-5}$	4,1 ÷ 17,0	0,002 ÷ 0,09
Седловина у горы Нинтоку	$(2,9 \div 3,22) \times 10^{-5}$	2,2 ÷ 18,1	0,002 ÷ 0,18

Поправку к измеренной глубине за отстояние поверхности дна от касательной плоскости будем определять суммой поправок, определяемых по формулам (5), (10). При этом знак последней составляющей будет совпадать со знаком главной кривизны k_I . Абсциссу u в формуле (10) найдем из соотношений (13), (14), а угол γ – по формулам (7), (8) с учетом изменения угла наклона $\Delta\gamma$ для двух точек поверхности. Полученное таким образом значение γ должно быть приведено по формуле (3) к направлению градиента глубины.

Кривизна поверхности дна k_{zc} направлению галса может быть определена как отношение

$$k_{zc} = \frac{\Delta\gamma}{\Delta S}, \quad (23)$$

где $\Delta\gamma$ – разность углов наклона, вычисленных для двух точек галса по измеренным глубинам в трех точках галса;

ΔS – расстояние между последовательными точками на галсе.

Для вычисления кривизны нормального сечения, совпадающего с направлением градиента глубины, необходимы данные о градиенте глубины по направлению, перпендикулярному направлению галса. Тогда главная кривизна этого сечения определяется по формуле

$$k_I = \frac{k_{zc}}{\cos\beta}, \quad (24)$$

где β – угол между направлениями галса и градиента глубины.

Для проверки эффективности рассмотренного подхода выполнено моделирование съемки рельефа дна с введением поправки за наклон дна предлагаемым и традиционным методами. В качестве модели поверхности дна была выбрана сферическая поверхность, так как это позволяет для любой точки съемки аналитически вычислять угол наклона поверхности, истинную и измеренную глубину и, следовательно, получить погрешности исправления глубины обоими методами.

Радиус сферической поверхности определялся как радиус сегмента через высоту h и радиус r окаймляющей подводную гору изобаты

$$R = \frac{r^2 + h^2}{2h} \quad (25)$$

Истинный угол наклона дна для каждой точки съемки определялся как угол между радиус-вектором точки и отвесной линией

$$\gamma = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{Z_o} \quad (26)$$

где x, y – координаты точки на галсе;

$Z_o = z_o + R$ – аппликата центра сферы с глубиной z_o над вершиной подводной горы.

Истинная глубина, как отстояние точки сферической поверхности от точки съемки по отвесной линии, вычислялась по формуле

$$z_{ист} = z_o + \sqrt{R^2 - x^2 - y^2} \quad (27)$$

Измеренная глубина, как отстояние точки съемки до поверхности по нормали к ней (для случая $\alpha \geq \gamma$) и по образующей конуса излучения эхолота (при $\alpha < \gamma$), вычислялась соответственно по формулам

$$z_{изм} = \frac{\sqrt{z_o^2 + x^2 + y^2} - R - \left(\text{tg} \alpha \sqrt{x^2 + y^2} - z_o \right) - \sqrt{\left(\text{tg} \alpha \sqrt{x^2 + y^2} - z_o \right)^2 - \left(1 + \text{tg}^2 \alpha \right) \left(z_o^2 + x^2 + y^2 - R^2 \right)}}{1 + \text{tg}^2 \alpha} \quad (28)$$

Значения перечисленных величин подсчитывались для сети точек, моделирующих систему параллельных галсов, покрывающих участок над сферической поверхностью с задаваемыми радиусом кривизны (100, 150, 300 км) и глубиной над вершиной подводной горы (0, 100, 500 м). Измеренные глубины вычислялись также и в точках, отстоящих на 100 и 200 м по галсу до и после упомянутых выше точек. Расчеты выполнялись для двух значений α – 5 и 12°, что соответствует значению этого параметра у серийных эхолотов ГЭЛ-3 и НЭЛ-М2. Углы наклона вычислялись по формулам (7), (8).

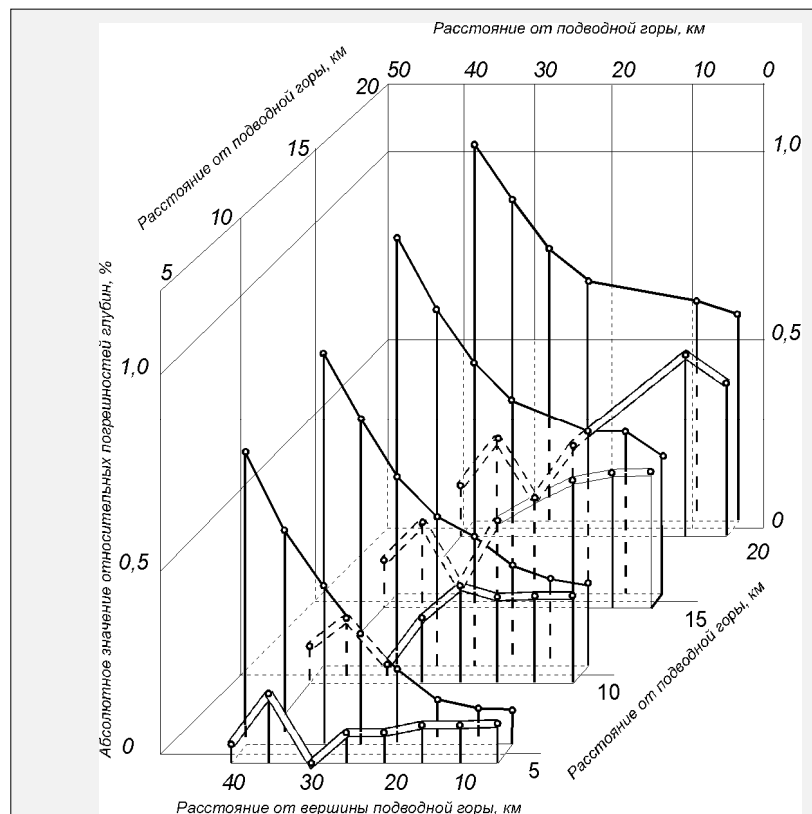


Рис.3. Остаточные абсолютные значения относительных погрешностей глубин при учете поправок за наклон дна традиционным (—) и предлагаемым (---) методами при $R = 100 \text{ км}, \alpha = 12^\circ$.

Угол γ_2 , найденный для центральной точки, исправлялся поправкой $\Delta\gamma' = 0,5(\gamma_2 - \gamma_1)$, а затем приводился к значению угла наклона по градиенту глубин по формулам (3), (4), для чего брались значения измеренной глубины в точках на траверзе от определяемой точки на расстояниях 1,0 ÷ 1,5 км.

На рис. 3 представлены абсолютные значения остаточных относительных погрешностей измеренных глубин, полученные по результатам учета наклона дна традиционным и предлагаемым методами. Не трудно видеть, что новый метод может уменьшить погрешность до 15 раз. Это достигается за счет увеличения точности определения угла наклона и введения поправки за отстояние касательной плоскости от реальной по поверхности дна. Однако вычисленная поправка не полностью компенсирует эту систематическую погрешность. Это происходит из-за того, что точность определения кривизны – параметра, входящего в формулу (10), – предлагаемым способом составляет порядка 5 ÷ 10%.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о возможности повышения точности съемки рельефа дна в районах со значительными углами наклона дна за счет использования предложенного метода вычисления угла наклона и введения дополнительной поправки, учитывающей отстояние касательной плоскости от поверхности дна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коломийчук Н.Д. Гидрография. ГУНиО МО СССР, 1988.
2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. - М.: Наука, 1980.
3. Погорелов А.В. Дифференциальная геометрия. - М.: Наука, 1974.

ГРНТИ 78.25.31.35.29.01

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЛЕДОРАЗРУШАЮЩИХ СРЕДСТВ И ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗИМНЕЙ НАВИГАЦИИ НА ЗАМЕРЗАЮЩИХ АКВАТОРИЯХ

**О.А. ВЕСЕЛОВ,
А.А. ЗОТОВ,
Ю.А. КОРЖОВ**
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Даются некоторые рекомендации по практическому использованию ледоразрушающих систем и технологий. Разрушение ледяного покрова с помощью ледокольных платформ и СВП, а также аэрационных установок. Эти высокоэффективные и экономичные технологии в настоящее время опробованы при опытной эксплуатации на замерзающих акваториях.

При обеспечении навигации в зимнее время на замерзающих акваториях часто возникает необходимость разрушения ледяного покрова как на больших открытых пространствах для обеспечения судоходства, подхода и швартовки судов к причальным сооружениям, так и для создания и сохранения ограниченных по площади полыней для производства погрузо-разгрузочных, аварийно-спасательных и подводных ремонтных работ, а также освобождения подводных частей корпусов кораблей и судов от ледяной чаши.

Анализ особенностей таких работ показывает, что в интересах их обеспечения средства и методы, предназначенные для разрушения ледяного покрова, должны отвечать определенным требованиям, а именно:

- малое время развертывания и простота эксплуатации;
- высокая скорость разрушения или резания льда;
- возможность работы как на глубоководных акваториях, так и на мелководье;
- надежность, невысокие постройочная стоимость и эксплуатационные расходы.

В настоящее время основным средством разрушения ледяного покрова в море и на внутренних акваториях являются ледоколы и портовые ледокольные буксиры. Однако применительно к рассматриваемым задачам для этих судов характерно наличие ряда существенных недостатков, основными из которых являются:

- ограниченные ледокольные возможности (для ледокольных буксиров);
- высокие постройочная стоимость и эксплуатационные расходы;
- трудности маневрирования во льдах предельной толщины на ограниченных по площади акваториях;
- невозможность выполнения ледокольных работ на мелководье;
- высокая сплоченность битого льда в канале за ледоколом (9–10 баллов);
- возможность повреждения корпусов окальзываемых от льда судов и причальных сооружений при навале.

В силу этих обстоятельств, а также свертывания программы строительства ледоколов и ледокольных судов, целесообразно перенести акцент на развитие экономических энергосберегающих ледоразрушающих средств и технологий. Желательно, чтобы по своим тактико-техническим характеристикам они не уступали, а по некоторым параметрам даже превосходили традиционные.

Однако до недавнего времени у нас не существовало ледоразрушающего средства или метода, одновременно отвечающего требованиям высокой эффективности и экономичности. Поэтому Гос.НИНГИ совместно с рядом других научно-исследовательских учреждений страны (Арктическим и Антарктическим НИИ, Нижегородским государственным техническим университетом, Комсомольским-на-Амуре политехническим институтом и др.) в конце 80-х – начале 90-х годов были проведены исследования, направленные на разработку комплекса новых высокоэффективных методов, действующих макетов и опытных образцов технических средств борьбы с ледовыми образованиями на замерзающих акваториях. В результате выполненных НИОКР:

- создан уникальный опытный образец ледокольной платформы на воздушной подушке (ЛПВП);
- опробован резонансный метод разрушения ледяного покрова с помощью средств на воздушной подушке (СВП) и приняты инструкции по его применению;
- обоснована эффективность применения метода аэрации воды для поддержания искусственных полыней на морских прибрежных акваториях и сформулированы рекомендации по определению оптимальных параметров и режимов работы реализующих его пневматических установок (ПУ) в различных условиях использования;
- созданы и успешно прошли испытания действующие макеты радиационно-конвективных экранов (РКЭ) для замедления нарастания льда и гидротерморезаки для оперативного резания ледяного покрова большой толщины.

Опытный образец ЛПВП проекта 107П является принципиально новым ледоразрушающим средством, представляющим собой самоходное амфибийное плавсредство на воздушной подушке, которое может эксплуатироваться в сале с ледоколом, ледовым буксиром или любым другим толкающим судном ледового класса. ЛПВП предназначена для разрушения ледяного покрова толщиной более 1 м и создания судоходных каналов шириной более 21 м со скоростью 8 км/ч в прибрежной морской зоне, на внутренних водоемах, реках, на акваториях портов; для околки корпусов кораблей и гидротехнических сооружений. Результаты выполненных оценок и испытаний, проведенных на Горьковском водохранилище, показали, что использование ЛПВП в сале с любым судном-толкачом позволяет:

- в 2–3 раза увеличить ледопрободимость состава (при использовании в качестве толкача буксира);

- в 5–6 раз увеличить скорость прокладки канала во льду предельной толщины;
- проводить ледокольные работы на мелководье (из-за чрезвычайно малой осадки);
- улучшить маневренные качества ледоразрушающего средства (уменьшить радиус циркуляции во льду в 2–3 раза);
- исключить опасность повреждения корпусов кораблей, причальных и других гидротехнических сооружений при их околке.

Построечная стоимость ЛПВП в 5–100 раз ниже, чем у существующих портовых ледокольных средств (в зависимости от класса), а эксплуатационные затраты в 3–10 раз меньше. При этом экономическая эффективность ЛПВП увеличивается по мере усложнения ледовых условий и роста объемов работ по созданию судоходных каналов.

Как показали результаты выполненных теоретических исследований и экспериментальных работ, для оперативного вскрытия ледяного покрова на подходах к портам, увеличения сроков навигационного использования водоизмещающих судов, оказания им помощи на переходах может быть эффективно применен резонансный метод разрушения льда, реализуемый с помощью СВП существующих и перспективных проектов, которые можно использовать для решения следующих задач:

- прокладки и поддержания судоходных каналов;
- околки судов и причальных сооружений;
- очистки акваторий портов от льда при благоприятных ветровых условиях;
- разрушения льда на мелководье и при заторах на реках;
- производства аварийно-спасательных работ.

Сущность резонансного метода заключается в том, что при движении СВП по поверхности ледяного покрова в системе вода–лед генерируются изгибно-гравитационные волны. При достижении определенного значения скорости (резонансная скорость), зависящего от особенностей ледовой обстановки и глубин акватории, амплитуда этих волн резко возрастает, и под действием возникающих изгибных напряжений лед начинает разрушаться.

Натурные эксперименты, проведенные на р. Амур на базе одного из соединений Тихоокеанского флота, показали высокую эффективность использования этого метода. Так с помощью КВП пр.1206.1 в течение 1.5 ч был взломан и раздроблен лед толщиной 70–90 см на акватории Кировского затона, которая к тому же при наличии благоприятного ветра в течение нескольких часов (3–5 ч) оказалась полностью свободной ото льда.

Известно, что одним из наиболее эффективных методов поддержания искусственных полыней на замерзающих акваториях пресных водоемов, обладающих определенным теплозапасом, в зимний период времени является аэрация воды –подъем более теплых глубинных вод к поверхности путем нагнетания в водную толщу сжатого воздуха [1, 2]. Это приводит к повышению теплосодержания поверхностного слоя водоема, что предотвращает процесс льдообразования. Для реализации метода используются ПУ, основными элементами которых являются компрессорные станции и подводные перфорированные воздухопроводы, размещенные на определенном горизонте. Оптимальные параметры и конструктивные особенности ПУ зависят от требуемых размеров искусственных полыней и гидрометеорологических условий использования.

Комплексные теоретические и экспериментальные исследования, выполненные Гос.НИНГИ совместно с гидрометеорологическими службами флотов, позволили обосновать перспективность использования этого метода и на морских акваториях с отличной от нуля соленостью воды и температурами глубинных вод, как правило, значительно более низкими, чем в пресных водоемах.

Метод был опробован в различных климатических условиях (в целом ряде пунктов базирования Северного, Тихоокеанского и Балтийского флотов) и показал высокую эффективность. Так, в одном из экспериментов использование небольшой передвижной компрессорной станции ПР–10М позволило длительное время (несколько меся-

цев) поддерживать искусственную полынь площадью до 10000 м² даже при достаточно низких (ниже –30°С) температурах воздуха.

Среди основных технико-экономических преимуществ применения ПУ для борьбы с ледообразованием и льдом на морских акваториях и внутренних водных путях следует отметить:

- малые энергетические затраты (так как используются естественные запасы энергии в виде тепла глубинных вод);
- дешевизну оборудования и эксплуатации ПУ;
- простоту конструкции, обслуживания и управления ПУ;
- возможность поддержания полыни большой площади;
- отсутствие препятствий движению кораблей по акватории из-за расположения воздухопроводов на большой глубине;
- возможность работы практически на любом доступном виде энергии (электрическом или тепловом – дизельном, бензином топливе).

Оценки показывают, что ориентировочная потребная мощность ПУ для поддержания полыни площадью 10⁵ м² в зависимости от величины теплозапаса глубинных вод составляет от 80 до 500 кВт. Стоимость ПУ в ценах 1992 г. – от 1 до 5 млн. руб. Максимальные ежемесячные эксплуатационные расходы при условии непрерывной работы такой ПУ (что, как правило, не требуется) – от 15 до 100 тыс. руб. .

В целом следует полагать, что метод аэрации может с успехом применяться для:

- поддержания искусственных полыней у морских и речных причальных сооружений для предотвращения их повреждения или разрушения припаем при колебаниях уровня воды и температуры воздуха, а также облегчения и ускорения швартовки кораблей и судов;
- поддержания незамерзающих акваторий на рейдах и в гаванях маневрирования кораблей и судов без ледокольного сопровождения;
- образования и поддержания в незамерзающем состоянии судоходных каналов и фарватеров для обеспечения зимней навигации;
- поддержания незамерзающих полыней на акваториях при проведении аварийно-спасательных и подводно-технических работ.

Организация производства ПУ не требует финансовых затрат, т.к. все их элементы выпускаются серийно отечественной промышленностью. Подводка элементов, монтаж и наладка ПУ в районе использования может осуществляться небольшой бригадой (5–10 чел.) на базе любых механических мастерских.

Для уменьшения скорости нарастания ледяного покрова на водных акваториях могут применяться радиационно-конвективные экраны (РКЭ). Использование РКЭ основано на тепловом воздействии естественного теплового потока в системе "вода–лед–атмосфера". Радиационный тепловой поток, определяемый температурой воды или образующегося под экраном ледяного покрова, отражается от металлизированного покрытия и тем самым увеличивает теплосодержание экранируемой поверхности воды или льда, уменьшая степень его намерзания. Испытания показали, что применение РКЭ позволяет уменьшать скорость нарастания льда в 2–2,5 раза и может быть успешно использовано для защиты от промерзания полыней ограниченных размеров.

Для резания ледяного покрова большой толщины могут использоваться гидротерморезаки, реализующие тепловой способ резания льда – горячей водой или паром. Скорость резания льда составляет 1 м/мин. Время вырезки и вытаскивания ледяного блока размером 1х1х1 м не превышает 13 мин.

Применение гидротерморезаков и РКЭ может найти широкое применение в аварийно-спасательных и подводных ремонтных работах.

Таким образом, применение комплекса перечисленных ледоразрушающих средств и технологий позволит успешно решать задачи по борьбе с ледовыми затруднениями при обеспечении зимней навигации в ледовых условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баланин В.В., Бородин Б.С., Мелконян Г.И. Использование тепла глубинных вод водоемов.– М.: Транспорт, 1964.– 274 с.
2. Богородский В.В., Гаврилов В.П., Недошивин О.А. Разрушение льда. Методы, технические средства. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 232 с.

ГРНТИ 78.21.36.17.15

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ В ПРЯМОУГОЛЬНЫХ КООРДИНАТАХ МЕРКАТОРСКОЙ ПРОЕКЦИИ НА КАРТЕ И ЭКРАНЕ ЭВМ

А.И.СОРОКИН
(ИНОЗ РАН)

Предлагаются способы определения площади в прямоугольных координатах меркаторской проекции на карте и экране ПЭВМ.

При сложной форме фигуры, площадь которой подлежит определению на меркаторской карте, целесообразно применить способ, основанный на использовании прямоугольных координат карты. В качестве единицы измерений можно принять длину минуты долготы, сантиметры (миллиметры) или линейные размеры пикселя на экране дисплея (если изображение карты дано в меркаторской проекции). Для подсчета числа квадратных ячеек используют в первом случае сетку на прозрачной основе, разбитую по долготной шкале горизонтальной рамки карты, во втором – сантиметровую (или миллиметровую) сетку, а в третьем – прямоугольные координаты экрана дисплея, выраженные в пикселях. При подсчете числа ячеек те из них, которые попадают внутрь границ измеряемой площади лишь частично, обычно отбрасываются, если эта часть меньше половины, или считаются целыми – если она составляет половину и более от величины полной ячейки. Вместо визуального подсчета клеток для измерения площади может быть использован планиметр, либо специальная программа ПЭВМ (типа Paintbrush, Surfer и т.п.).

Рассмотрим вначале площадь сфероидической трапеции, изображаемую в меркаторской проекции в виде прямоугольника координатной сетки

$$S = p_3^2 \text{ РМЧ} \cdot \Delta \lambda' / m^2, \quad (1)$$

где p_3 – длина экваториальной мили;

РМЧ – разность меридиональных частей верхнего и нижнего оснований;

$\Delta \lambda'$ – разность долгот;

$$m^2 = \frac{a^2}{N^2 \cos^2 \varphi} \quad \text{– масштаб площадей в меркаторской проекции (принимая ве-}$$

личину m на экваторе равной единице).

Меридиональные части для эллипсоида Красовского, выраженные в экваториальных минутах, вычисляются по формуле

$$MЧ = 7915,7044 \lg U,$$

$$\text{где } U = \frac{\operatorname{tg}\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right)}{\operatorname{tg}^e\left(45^\circ + \frac{\psi}{2}\right)}; \quad \sin \psi = e \sin \varphi$$

e – первый эксцентриситет земного эллипсоида.

Численные значения меридиональных частей приведены в Картографических таблицах (табл.1 [1]).

Для узкой широтной полосы достаточно точные результаты можно получить, приняв вместо средневзвешенной среднюю широту φ_m [2]. Произведя в формуле (1) необходимые подстановки, получим

$$S = 1,855356^2 \text{ РМЧ} \cdot \Delta\lambda' \cdot \cos^2 \varphi_m / (1 - e^2 \sin^2 \varphi_m) \text{ км}^2. \quad (2)$$

Погрешность вычисления площади по формуле (2) при разности широт 1° и любой разности долгот в диапазоне широт от 0° до 70° не превышает $0,02\%$, а при разности широт $0,1^\circ$ – $0,002\%$.

Более подробно погрешности вычисления площади по формуле (2) для различных значений величин φ_m и $\varphi_2 - \varphi_1$ приведены в таблице.

Погрешности вычисления площади

φ_m	Погрешности при различных значениях $\varphi_2 - \varphi_1$			
	$0,1^\circ$	1°	10°	20°
0°	0.001	0.014	0.25	1,02
20°	0.001	0.004	0.29	1.16
40°	0.001	0.004	0.44	1.78
60°	0.001	0.010	1.04	4.98
80°	0.002	0.090	9.37	–

Если фигура имеет произвольные размеры и форму, то ее площадь определяют по широтным поясам, имеющим высоту, не превышающую 1° широты, а полученные результаты складывают

$$S = \sum_{i=1}^n S_i, \quad (3)$$

где S_i – площадь в i –ом поясе, определяемая по формуле (2);

n – число широтных поясов.

Фигура, имеющая форму многоугольника, образованного отрезками локсодромий, может быть задана географическими координатами вершин ее углов. Этот случай является достаточно общим, поскольку любая фигура, заданная в цифровом виде и изображенная в векторной форме, по существу представляет собой многоугольник.

Вычисление площади в этом случае также может производиться по широтным поясам, каждый из которых здесь представляет собой трапецию с боковыми сторонами, имеющими в общем случае различный наклон. Если многоугольник выпуклый, то один верхний и один нижний пояс представляют собой треугольники (рисунок).



Предположим, что координаты вершин заданы в целых значениях градусов. Тогда, разбив фигуру на градусные пояса, вычислим площадь по формуле (3).

Площадь каждой трапеции определяем в прямоугольных координатах карты, например, в меридиональных частях. Введя для упрощения записей обозначения: $MЧ = x$, $\lambda = y$, получим формулу для вычисления этой площади.

Известно, что уравнение прямой, проходящей через точки 1 и 2, может быть записано в виде

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1},$$

откуда

$$y = y_I + (x - x_I) \frac{y_2 - y_I}{x_2 - x_I}. \quad (4)$$

Задаваясь широтой основания каждого пояса, будем получать долготу левого конца основания трапеции. Получив аналогичным способом долготу правого края, длину основания трапеции найдем как разность долгот обоих концов

$$y_E - y_W = \Delta y = \Delta \lambda.$$

Вычисление площади каждой трапеции в квадратных минутах долготы производится по формуле

$$S_{MЧ} = PMЧ \frac{\Delta \lambda'_N + \Delta \lambda'_S}{2}, \quad (5)$$

где $PMЧ$ – разность меридиональных частей, соответствующих широтам верхнего и нижнего оснований трапеции,

$\Delta \lambda'_N, \Delta \lambda'_S$ – размеры верхнего и нижнего оснований трапеции, выраженные в минутах долготы.

Величина $S_{MЧ}$ подставляется в формулу (2) вместо произведения $PMЧ \cdot \Delta \lambda'$.

При составлении компьютерной программы для вычисления площади целесообразно предусмотреть повторное решение задачи с уменьшенной высотой трапеций. Можно считать, что площадь вычислена достаточно точно, если разница между ее значениями, найденными при последовательном уменьшении высоты трапеции, не превышает заданной погрешности (разумеется, в том случае, если составленная программа не содержит в себе систематических ошибок).

Рассмотрим теперь случаи измерения площади в квадратных сантиметрах или пикселях на экране дисплея.

Как известно, длина одной минуты параллели карты называется единицей карты. Значение этой величины может быть выбрано по широте главной параллели и масштабу карты из табл.4 [1], вычисленной по формуле

$$e_k = \frac{p_o}{C_o},$$

где e_k – единица карты, в мм,

p_o – длина 1' главной параллели карты, в мм – в натуре,

C_o – знаменатель главного масштаба карты.

Зная величину единицы карты, определим, сколько квадратных минут долготы содержится в 1 см² карты

$$\vartheta = \frac{100}{e_k^2}.$$

Таким образом, если измеряемая площадь равна $S_{c.m^2}$, то в ней содержится $\vartheta S_{c.m^2}$ квадратных минут долготы. Иными словами,

$$\vartheta S_{c.m^2} = PMЧ \cdot \Delta \lambda'. \quad (6)$$

Учитывая равенство (6), формулу (2) запишем в виде

$$S = 1,855356^2 \frac{100}{e_k^2} S_{c.m^2} \cos^2 \varphi_m / \left(1 - e^2 \sin^2 \varphi_m \right), \quad (7)$$

где S – искомая площадь, выраженная в км².

В случае определения площади в пикселях экрана дисплея, на котором изображена карта в меркаторской проекции, последняя формула примет вид

$$S_{к.м^2} = 1,855356^2 \frac{\mu}{\varepsilon^2} \cos^2 \varphi_m / \left(1 - e^2 \sin^2 \varphi_m \right), \quad (8)$$

где μ – число пикселей в пределах фигуры, площадь которой измеряется,

ε – длина одной минуты долготы, выраженная в пикселях экрана дисплея.

Величину ε можно определить как отношение расстояния между меридианами, выраженного в пикселях экрана, к разности долгот между ними (в минутах долготы). При определении величины ε и подсчете числа пикселей μ необходимо учитывать толщину линий, изображающих границы фигуры, площадь которой измеряется. Поскольку граничная линия может проходить фактически в любом месте пикселя, в наихудшем случае искажение расстояния между двумя границами толщиной в 1 пиксель может достигать величины, равной 2 пикселям.

Измеренная площадь квадрата, в связи с этим, может отличаться от фактической на величину

$$\Delta S = \frac{(\sqrt{\mu} + 2)^2 - \mu}{\mu}, \quad (9)$$

где $\sqrt{\mu}$ – длина стороны квадрата в пикселях экрана.

При достаточно большом μ можно считать, что

$$\Delta S \cong \frac{4}{\sqrt{\mu}} = \frac{400}{\sqrt{\mu}} \%. \quad (10)$$

Решая последнее равенство относительно μ и задаваясь точностью измерения площади в пикселях в 1% ($\Delta S = 1\%$), получим $\mu = 400^2$ пикселей. Из последней формулы также следует, что при недостаточно большой величине μ ошибки измерения площади в пикселях становятся совершенно неприемлемыми, достигая десятков процентов.

Пример. На экране дисплея расстояние между делениями долготной шкалы, равное $180'$, составляет 288 пикселей. Следовательно, $\varepsilon = \frac{288}{180} = 1,6$. С помощью специальной программы на ПЭВМ определено число пикселей, покрывающих площадь между береговой линией Ладожского озера и изобатой 20 м в южной части озера $\mu = 15070$. Средняя широта района $\varphi_m = 60^\circ$; $e^2 = 0,0066934$. Искомую площадь определим по формуле (8)

$$S = 1,855356^2 \frac{1,005}{(1,6)^2} \cdot 15070 \cdot 0,25 = 5,1 \text{ тыс. км}^2.$$

Примерную оценку предельной погрешности нашего определения произведем по формуле (10)

$$\Delta S = \frac{400}{\sqrt{15070}} = 3\%.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Картографические таблицы. Л., УНГС ВМФ, 1957, 314 с.
2. Сорокин А.И. Об измерении площадей на морских картах. Навигация и гидрография, 1996, №2. С.133–135.

**МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ МНОГОЛУЧЕВОГО ЭХОЛОТА
НА МОРСКОМ ПОЛИГОНЕ С ПЛОСКИМ ДНОМ**

Ю.Г.ФИРСОВ
(ВНИИ "Океангеология")

С целью уменьшения систематических ошибок многолучевой эхолот может быть откалиброван с помощью своих собственных измерений. Принцип калибровки заключается в усреднении глубин и отстояний, полученных при пробеге по сравнительно длинному калибровочному галсу желательно в прямом и обратном направлении. Рассматривается методика определения систематической ошибки датчика крена и положения приемной антенны.

Гидрографические исследования до самого последнего времени проводились только с использованием прецизионных однолучевых эхолотов и эхотралов. Однако в современных условиях изучение рельефа глубоководных районов Мирового океана без применения многолучевых эхолотов становится малоэффективным.

Вместе с тем, вопросы оценки точности многолучевой батиметрической съемки до настоящего времени являются дискуссионными, сертификация многолучевых эхолотов до сих пор не налажена и не производится. Фирмы-изготовители многолучевых эхолотов зачастую приводят чисто рекламные данные об их точности, полученные на основе единичных испытаний, проведенных, как правило, в благоприятных условиях и с использованием малообоснованных методик [1 – 3].

Для анализа точности съемки глубин, определяемых многолучевыми эхолотами (ЭМЛ), первоначально выполним сравнение с точностью измерения глубин, обеспечиваемой однолучевыми эхолотами.

Полагая, что излучающая антенна однолучевого эхолота является вертикально стабилизированной, первый акустический сигнал, отраженный от дна, фиксируется, и половина времени между излучением и приемом, умноженная на принятую скорость звука в воде, рассматривается в качестве измеренного значения глубины. Время распространения акустического сигнала в водной среде может быть измерено с точностью 0.1- 0.3 % от глубины, в зависимости от частоты сигнала и отражающих свойств донного грунта. Далее необходимо выполнить "исправление" измеренной глубины необходимыми поправками.

Практика показывает, что именно возможная точность определения поправки за скорость звука оказывает решающее воздействие на точность исправленной глубины. Реально в современной гидрографической практике при расчете поправки за скорость звука используется модель вертикального распределения скорости звука (ВРСЗ), основанная на кусочно-линейной аппроксимации функции зависимости скорости звука от глубины (кривая ВРСЗ) несколькими (обычно 5–10) прямолинейными отрезками.

Таким образом водная толща разбивается на $n = i - 1$ количество слоев. Отметим, что выбор горизонтов с измеренной скоростью звука (C_i) на глубине (Z_i) (точек "излома" данной кусочно-линейной функции) имеет принципиальное значение.

Далее производится последовательный расчет средней скорости звука (C_{cp_i}) в слое, ограниченном первым и каждым из последующих горизонтов, а также поправки за скорость звука (dZ_{V_i}) к измеренной эхолотом глубине ($Z_{Э_i}$). Расчет производится по известным формулам

$$C_{cp_i} = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i + C_{i-1}) \cdot (Z_i + Z_{i-1})}{2 \cdot (Z_i - Z_1)}, \quad (1)$$

где C_i, Z_i – значение скорости звука и глубины, измеренные с помощью измерителя скорости звука (или выбранные из таблиц) на i -ом горизонте;

Z_1 – первое измеренное аппаратурой значение глубины (первый горизонт измерения скорости звука).

$$dZ_{V_i} = Z_i - \frac{C_H}{C_{cp_i}} Z_i, \quad (2)$$

где C_H – номинальное значение скорости звука на которое рассчитан эхолот (для отечественных эхолотов: $C_H = 1500 \text{ м/с}$), при использовании которой получена измеренная глубина $Z_{\mathcal{E}_i}$

Тогда исправленная за скорость звука глубина $Z_{И_i}$ получается в виде

$$Z_{И_i} = Z_{\mathcal{E}_i} + dZ_{V_i}. \quad (3)$$

В отличие от однолучевых, многолучевые эхолоты измеряют в первом приближении времена распространения эхосигналов, принятых под определенным углом к вертикали в узкой полосе диаграммы направленности приемной антенны, перпендикулярной диаметральной плоскости (ДП) судна. Для пересчета времени распространения эхосигналов с учетом углов их приема в глубины и горизонтальные отстояния глубин от ДП приходится учитывать многочисленные дополнительные данные и использовать гораздо более сложные алгоритмы.

Для получения исправленных глубин по всей полосе обзора ЭМЛ необходимо учитывать следующие обстоятельства:

- использование средней скорости звука не обеспечивает возможность достаточно точного пересчета наклонных дальностей и углов лучей в глубины и отстояния, с учетом принятой модели ВРСЗ; необходимо учитывать рефракцию эхосигналов в водной толще и скорость звука на горизонте излучающей антенны ЭМЛ;

- пространственные перемещения судна по угловым координатам (крен, дифферент) в момент излучения и приема эхосигналов по каждому из лучей ЭМЛ должны измеряться и регистрироваться, поскольку в ЭМЛ необходимо производить исправления углов приема лучей;

- мгновенный курс судна на момент излучения эхосигналов по лучам должен быть известен с максимально возможной точностью, т.к. его значение используется для пересчета положения глубин из судовой системы в общегеографическую;

- акустические свойства морского дна на тех частотах, на которых работают ЭМЛ, оказывают значительное воздействие на энергию отраженного эхосигнала; таким образом ЭМЛ должны иметь эффективные алгоритмы первичной обработки для выделения полезного эхосигнала;

- определение географических координат приемной антенны ЭМЛ и наклонных дальностей по каждому из лучей ЭМЛ должны быть точно увязаны между собой по времени, в противном случае необходимо определять поправку за синхронизацию;

- монтаж поверхности приемной антенны на корпусе судна должен выполняться с максимальной точностью параллельно плоскости главной палубы (или перпендикулярно оси судовой гировертикали, определяющей крен и дифферент) ввиду того, что ЭМЛ обеспечивает угломерные измерения; необходимо учитывать возможную угловую поправку за отклонение плоскости приемной антенны от плоскости главной палубы.

Одно перечисление источников возможных систематических ошибок, подлежащих устранению в обеспечение возможности использования ЭМЛ для точного определения глубин в полосе обзора, может привести к заключению, что подобные системы не в состоянии конкурировать по точности с однолучевыми эхолотами. Однако такое мнение ошибочно. Следует иметь в виду, что ЭМЛ обеспечивает получение практически непрерывной информации. При этом положение каждой вычисленной глубины в полосе обзора сильно коррелировано с соседними в силу частичного перекрытия соседних лучей и практически непрерывного распределения промерных точек. Благодаря этому ЭМЛ может быть откалиброван с помощью своих собственных измерений для определения соответствующих систематических ошибок и их учета в виде поправок при последующих расчетах оценок глубин в полосе обзора.

Как видно из предыдущих рассуждений, в многолучевой батиметрии плохо откалиброванные датчики ЭМЛ являются основными источниками систематических ошибок. Причем по своему характеру последние можно подразделить на систематические ошибки:

- влияния среды (адекватность принятой модели слоистости среды, точность измерения параметров ВРСЗ и качество алгоритма расчета глубин);
- определяемых угловых координат (гировертакаль и приемная антенна);
- используемых навигационных данных (систематические ошибки курса судна и географических координат приемной антенны).

Изучение особенностей и определение свойственных ЭМЛ величин систематических ошибок (для устранения их из результатов измерений, выполняемых комплексом датчиков ЭМЛ) представляет собой достаточно сложную задачу, требующую специальной организации и методики выполнения испытаний, которые в совокупности будем называть калибровкой.

Следует отметить, что систематические ошибки навигационных данных не влияют на величину самой глубины, а только на ее плановое положение, и их влияние следует оценивать после калибровки угловых измерений.

С целью определения правильности учета влияния среды и угловых координат необходимо организовать специальные испытания (калибровку) на акватории с выровненным рельефом (районы абиссальных равнин). Район калибровки многолучевого эхолота – "морской полигон" – должен отвечать следующим требованиям:

- иметь длину 4–5 миль и ширину более ширины полосы обзора ЭМЛ;
- высота отдельных форм его микрорельефа не должна превышать удвоенную СКО измерения глубины вертикальным лучом;
- располагаться в районе открытого моря с минимальными величинами колебаний уровня за счет прилива/отлива (в противном случае необходима установка мореографа);
- не иметь сильных нерегулярных поверхностных течений (в противном случае направление калибровочного галса должно по возможности совпадать с направлением имеющегося течения);
- суточная изменчивость гидрологических параметров его водной толщи должна быть минимальной, а район достаточно хорошо изучен в части гидрологии (распределения скорости звука).

По осевой линии прямоугольника, образующего полигон, выбирается линия калибровочного галса (длина 4–5 миль). Судно должно проследовать по нему в прямом и обратном направлении со скоростью 5–6 уз. Погодные условия в начале проведения калибровки должны быть наиболее благоприятными: ветер не более 5 м/с, море 1–2 балла. При наличии в навигационном комплексе судна системы автоматического управления движением, последняя должна использоваться для автоматического вождения судна по линии калибровочного галса с целью обеспечения минимальных уклонов от линии галса при прохождении в прямом и обратном направлениях.

Основная цель проведения калибровки на плоском дне заключается в определении и устранении систематических ошибок в угловых измерениях ЭМЛ, а также систематических ошибок в вычисленных значениях глубин и отстояний за счет возможного

наличия систематических ошибок в определении вертикального распределения скорости звука в воде.

Основная идея калибровки заключается в последовательной регистрации батиметрической информации каждой посылки, рассчитанной с учетом принятых значений ВРСЗ, и последующих расчетах всего двух параметров (за весь период пробега на данном галсе): средней глубины по каждому i -му лучу – Z_{cp_i} и среднего отстояния по каждому i -му лучу (Y_{cp_i}).

Очевидно, что в случае "идеально" откалиброванного ЭМЛ (когда систематические ошибки стабилизации углов лучей и установки приемной антенны, а также систематические ошибки определения ВРСЗ отсутствуют), точки усредненных глубин на графике поперечного профиля глубин должны после их линейной аппроксимации составить прямую линию, сливающуюся с осью абсцисс (рис.1).

При оцифровке осей графика на рис.1 принято, что

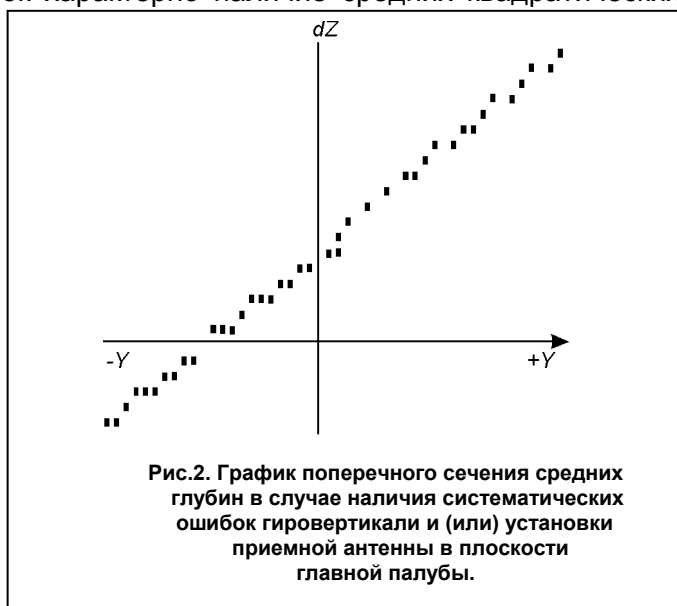
$$dZ = Z'_o - Z_{cp_i},$$

где Z'_o – известная глубина полигона с "идеально" ровным дном.



"Идеальная" калибровка предполагает безошибочность определения соответствующих поправок, компенсирующих указанные систематические ошибки, что на практике невозможно. Для любых поправок характерно наличие средних квадратических ошибок (СКО).

В случае ЭМЛ с V – образным расположением излучающих антенн типичные графики усредненных глубин в полосе обзора для неоткалиброванного ЭМЛ представлены на рис.2 – 4. На первом из них (см.рис.2) приведен типичный пример графика поперечного сечения средних глубин при наличии систематических ошибок гировертикали и (или) установки приемной антенны в плоскости главной палубы (при этом предполагается отсутствие систематических ошибок в измерениях ВРСЗ).



Последующие два рисунка иллюстрируют случай, когда систематические ошибки угловых измерений определены и скомпенсированы, но остались неустранимыми систематические ошибки ВРСЗ (см.рис.3, 4).

На практике в первую очередь необходимо обеспечить калибровку угловых параметров ЭМЛ и только затем приступить к калибровке линейных параметров (глубин и отстояний), после которой можно перейти к калибровке навигационных датчиков на ровном дне с пологим склоном. При этом рекомендуется следующая последовательность калибровочных мероприятий, носящая итерационный характер:

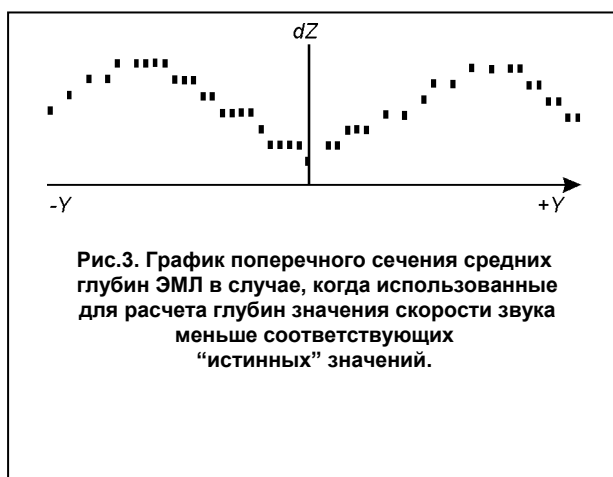
– калибровка положения приемной антенны при прохождении калибровочного галса в прямом и обратном направлениях;

– вычисление угловой поправки положения приемной антенны (угла между плоскостью приемной антенны и плоскостью главной палубы в плоскости мидельшпангоута, которая в плоскости ДП должна быть перпендикулярна вертикали, выдаваемой судовой гировертикалью) при проходе калибровочного галса в прямом и обратном направлении;

– введение усредненной (прямой и обратный галсы) угловой поправки в программное обеспечение ЭМЛ для исправления измеренных углов лучей и повторное прохождение калибровочного галса в прямом и обратном направлении с целью подтверждения устранения данной систематической ошибки;

– расчет средней квадратической ошибки определения поправки угла наклона приемной антенны;

– расчет средней квадратической ошибки выработки крена судовой гировертикалью.



С целью практического расчета угла наклона приемной антенны на основе калибровочных измерений предлагается следующая методика.

В результате калибровочного пробега по галсу на полигоне со средней глубиной Z_o должны быть измерены и зарегистрированы следующие параметры:

- номинальные наклонные дальности D_i по каждому i – му лучу;
- номинальные углы наклона a_i (отклонения от вертикали) каждого i – го луча ЭМЛ;
- массив узлов кусочно-линейной функции распределения скоростей звука C_i на соответствующих глубинах Z_{c_i} (на i – ом горизонте).

В результате калибровочных вычислений с учетом ВРСЗ по алгоритмам [4] на основе указанных параметров для каждого i – го луча производится расчет усредненной глубины Z_{cp_i} , разности глубин $dZ_i = Z_o - Z_{cp_i}$ и усредненного отстояния глубины Y_{cp_i} .

Результаты данных вычислений в графическом виде аналогичны графику рис.2., Точки, представляющие график функции вида $dZ = F(Y)$, в связи с наличием случайных погрешностей выполненных измерений, не лежат на прямой линии. Необходима аппроксимация полученного осредненного профиля глубин прямой линией, с помощью которой можно было бы просто получить угол наклона плоскости антенны.

Данная задача решается аналитически. Для проведения прямой линии по точкам воспользуемся методом наименьших квадратов. Составим систему линейных уравнений вида

$$\begin{aligned}
 B_o + Y_{cp1} \times B_l - dZ_{cp1} &= m_1; \\
 B_o + Y_{cp2} \times B_l - dZ_{cp2} &= m_2; \\
 B_o + Y_{cp3} \times B_l - dZ_{cp3} &= m_3; \\
 \text{К} \quad \text{К} \quad \text{К} \quad \text{К} \quad \text{К} \\
 B_o + Y_{cpn} \times B_l - dZ_{cpn} &= m_n,
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

где m_i – отклонение вычисленной усредненной глубины по i -му лучу от средней глубины полигона, полученной с помощью независимых измерений (например, путем исправления номинальных глубин однолучевого эхолота поправкой за скорость звука, полученной согласно (1) – (3) с аналогичными данными ВРСЗ.

Далее перейдем к системе нормальных уравнений вида

$$\begin{aligned}
 B_o + (Y_1 + Y_2 + Y_3 + \text{К} + Y_n) \times B_l &= (dZ_1 + dZ_2 + dZ_3 + \text{К} \text{ К} dZ_n); \\
 (Y_1 + Y_2 + Y_3 + \text{К} + Y_n) \times B_o + (Y_1^2 + Y_2^2 + Y_3^2 + \text{К} + Y_n^2) \times B_l &= \\
 = (dZ_1 \times Y_1 + dZ_2 \times Y_2 + dZ_3 \times Y_3 + \text{К} + dZ_n \times Y_n)
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

В результате алгебраического решения системы (5) найдем оценки коэффициентов B_o и B_l .

Геометрический смысл полученных коэффициентов очевиден: B_o – ордината точки пересечения аппроксимирующей прямой с вертикальной осью – это разность усредненной глубины по нормальным лучам (лучей с углами близкими к нулю) и принятой средней глубины полигона по линии галса. Заметим, что когда в качестве последней используются результаты промера однолучевым эхолотом по линии калибровочного галса, с исправлением глубин по методике (1) – (3) с данными ВРСЗ, аналогичным ЭМЛ, величина B_o , характеризующая корректность алгоритма расчета глубин по наклонным дальностям ЭМЛ, должна являться предметом отдельного анализа.

$B_l = \text{tg} q$, где q – угол наклона аппроксимирующей прямой к горизонтальной оси абсцисс (ось плоскости приемной антенны) – искомая оценка угла наклона антенны, величина которой может быть использована в качестве поправки при дальнейших расчетах для получения исправленных за счет наклона антенны глубин и отстояний.

Аналогичные вычисления, выполненные по результатам обратного калибровочного галса, должны дать величину q' такого же порядка, но с противоположным знаком, а также значение B'_o , соизмеримое с величиной B_o , полученной на прямом галсе.

В качестве итоговой оценки поправки за наклон приемной антенны может быть принята ее средняя (из прямого и обратного галсов) величина q_{cp} .

После ввода величины q_{cp} в программу расчета глубин и отстояний по измеренным номинальным наклонным дальностям и углам лучей можно приступить к калибровочным пробегам для оценки точности работы гировертикали.

Калибровку угла наклона приемной антенны с целью исключения влияния на результаты измерений неточностей работы самой гировертикали рекомендуется выполнять в наиболее благоприятных погодных условиях. После завершения работ по определению поправки положения приемной антенны и ввода усредненной поправки в программу обработки данных ЭМЛ последующие калибровочные пробеги, связанные с выяснением качества работы самой гировертикали, рекомендуется выполнять в различных погодных условиях (в тихую и свежую погоду).

Необходимо отметить, что все вычисления, связанные с определением угла наклона приемной антенны и исследованием работы гировертикали, необходимо производить при неизменных параметрах ВРСЗ.

С целью проверки разработанной методики калибровки положения приемной антенны ЭМЛ было выполнено моделирование описанного алгоритма и разработано ПО для ПЭВМ, включающее программу, имитирующую работу ЭМЛ с 64 двухградусными лучами, а также программу калибровки ЭМЛ на ровном дне.

С помощью программы, имитирующей работу ЭМЛ с вводом случайных погрешностей измерения наклонных дальностей и с искусственно введенным углом наклона приемной антенны, создавался файл, в который записывались данные посылок ЭМЛ на ровном дне. Затем данный файл обрабатывался калибровочной программой с вычислением угла наклона приемной антенны. Совпадение вычисленного угла установки приемной антенны с искусственно введенным с учетом возможной точности вычислений свидетельствует о работоспособности методики.

Только после проведения калибровки угловых измерений и определения наличия систематических ошибок в измеренном профиле ВРСЗ можно приступить к экспериментальным работам по выявлению систематических ошибок навигационных датчиков, а также оценке точности батиметрической съемки с помощью различных методик [1 – 3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Timo-Pekka J. Trials and Experimental Results of the ECHOS XD Multibeam Echo Sounder. IEEE Journal of Oceanic Engineering, V.14, N 4, 1989, p.306–313.
2. H.Tonchia. Evaluation of deep water wide swath echo sounder for hydrographic surveys. IEEE Journal of Oceanic Engineering, V.31, N 1, 1994, p.225–230.
3. E.Hammerstad, F.Pohner, F.Parthiot, J.Bennett. Field testing of a deep water multibeam echo sounder. SIMRAD Subsea A/S Special Publication, 1994.
4. Robert J. Urick. Principles of Underwater Sound. 3d edition. McGraw-Hill Book Company, 1983.

ГРНТИ 78.21.39.17.17.17

ТАРИРОВАНИЕ МНОГОЛУЧЕВОГО ЭХОЛОТА

В.Г.БАХМУТСКИЙ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Предложен метод тарирования лучей наклонного зондирования многолучевого эхолота по данным измерения глубин вертикальным лучом.

В практике изучения рельефа морского дна широкое распространение получают эхолоты, в которых зондирующие сигналы излучаются под определенными углами к вертикали. Такие эхолоты, называемые многолучевыми, имеют несколько каналов, каждым из которых измеряется наклонная дальность от центра масс акустической антенны до точки отражения эхосигнала от морского дна. К ним, в частности, относится отечественный трехлучевой промерный эхолот ГЭЛ–4. Глубина в точке отражения эхосигнала и плановое положение самой точки отражения относительно судна вычисляются по формулам

$$Z_j = D_j \cdot \cos \gamma_j; \quad (1)$$

$$S_j = D_j \cdot \sin \gamma_j, \quad (2)$$

где Z_j – значение глубины по данным j -го канала (луча) многолучевого эхолота ;

S_j – отстояние точки отражения зондирующего сигнала от диаметральной плоскости судна;

D_j – наклонная дальность, измеренная по j – му каналу;

γ_j – угол наклона j – го зондирующего луча.

При известных координатах места судна в момент зондирования, координаты точки измерения глубины Z_j могут быть вычислены по формулам

$$\begin{aligned} \varphi_j &= \varphi_c + \frac{D_j}{1852} \sin \gamma_j \sin IK; \\ \lambda_j &= \lambda_c + \frac{D_j}{1852} \sin \gamma_j \cos IK \sec \varphi_m, \end{aligned} \quad (3)$$

где φ_c и λ_c – широта и долгота места судна в момент зондирования;

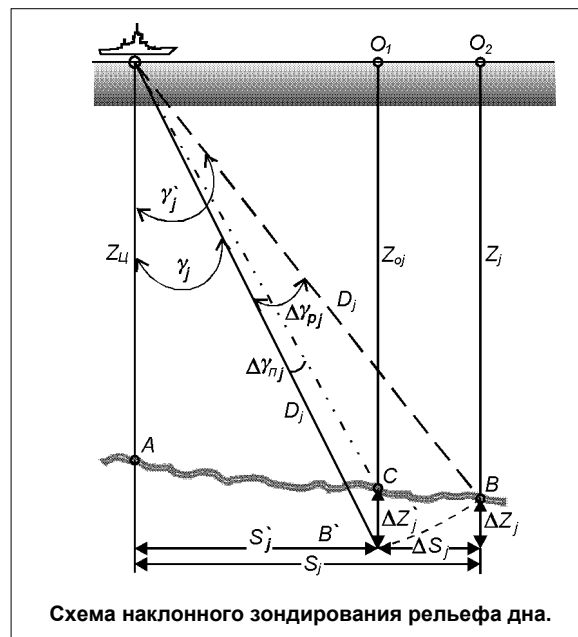
IK – мгновенное значение истинного курса судна в момент отражения эхосигнала от морского дна;

φ_m – значение средней широты.

Важным обстоятельством является то, что угол излучения зондирующего сигнала по центральному каналу многолучевого эхолота, как правило, равен нулю, т.е. по этому каналу фактически измеряется не наклонная дальность, а глубина под килем судна – так же, как это осуществляется при измерении глубин однолучевым эхолотом.

Из содержания формул (1) и (2) следует, что при производстве съемки многолучевым эхолотом к типичным погрешностям эхолота с вертикальным зондированием добавляются еще и погрешности, связанные с точностью определения фактической траектории распространения сигнала, излученного под углом γ_j . При этом, из-за недостаточного точного знания или определения величины γ_j погрешность в значениях глубин, вычисленных по измеренным наклонным дальностям, может достигать больших величин. Так, исследования эхолота ГЭЛ-4, проведенные в ходе экспериментальной съемки рельефа дна в 1989 г., показали, что фактические углы зондирования могут отличаться от паспортных значений на величину до 2–3°.

Подобное рассогласование приводит к погрешностям в значениях глубин до трех и более процентов от глубины. Причинами могут быть неточная выставка акустических антенн эхолота, неучитываемая (и неизвестная) систематическая погрешность гиросtabilизирующего устройства, неточное знание распределения по горизонтам скорости распространения звука в воде и т.п. Ясно, что для выполнения качественной съемки рельефа дна многолучевыми эхолотами необходимо найти способ полной или частичной компенсации погрешностей, обусловленных указанными факторами. С этой целью рассмотрим схему наклонного зондирования (рисунок).



Предположим, что в результате воздействия различных факторов наклонная дальность D_j по j – му каналу эхолота измерена не под углом γ_j , записанным в

паспорте на эхолот, а под углом γ'_j , отличающимся от паспортного на величину угла рассогласования $\Delta\gamma_{pj} = \gamma'_j - \gamma_j$.

В этом случае точкой отражения эхосигнала от морского дна является точка B , глубина в которой

$$Z_j = D_j \cdot \cos(\gamma_j + \Delta\gamma_{pj}). \quad (4)$$

Положение точки отражения относительно судна определяется отстоянием

$$S_j = D_j \cdot \sin(\gamma_j + \Delta\gamma_{pj}). \quad (5)$$

Но поскольку величина $\Delta\gamma_{pj}$ во время съемки неизвестна, то значения глубины и отстояния точки отражения в обрабатываемом комплексе будут вычислены по фактически измеренной наклонной дальности D_j и паспортному γ_j , а не действительному γ'_j углу зондирования. При этом мнимая точка отражения B' окажется заглубленной (или приподнятой) относительно действительной точки B на величину погрешности ΔZ_j и смещенной в горизонтальном направлении на погрешность отстояния ΔS_j . Таким образом влияние угла рассогласования $\Delta\gamma_{pj}$ проявится в виде двух погрешностей

$$\Delta Z_j = -D_j \left[\cos(\gamma_j + \Delta\gamma_{pj}) - \cos\gamma_j \right]; \quad (6)$$

$$\Delta S_j = -D_j \left[\sin(\gamma_j + \Delta\gamma_{pj}) - \sin\gamma_j \right]. \quad (7)$$

Как следует из этих выражений, погрешности ΔZ_j и ΔS_j при постоянном значении угла $\Delta\gamma_{pj}$ являются для j -го луча систематическими, но переменными соответственно по косинусоиде и синусоиде в зависимости от глубины.

В практике гидрографических измерений, как известно, суммарная систематическая погрешность эхолота компенсируется вводом поправок, определяемых одним из двух способов: вычислением и суммированием частных поправок или тарированием эхолота [1]. В рассматриваемом случае воспользоваться первым способом нет возможности из-за того, что неизвестна величина $\Delta\gamma_{pj}$. Классический способ тарирования эхолота требует использования специальных тарирующих устройств, позволяющих получать эталонные значения глубин. Но возможность применения таких устройств для тарирования наклонных зондирующих лучей с фактически неизвестной точкой отражения эхосигнала, расположенной в стороне от судна, в плане практической реализации также является проблематичной.

Вместе с тем, как было сказано выше, по центральному каналу многолучевого эхолота измеряется не наклонная дальность, а глубина под килем гидрографического судна. Причем точность измерения глубины по этому каналу в современных эхолотах достаточно высока. Так например, средняя квадратическая инструментальная погрешность измерения глубин по центральному каналу трехлучевого промерного эхолота ГЭЛ-4 не превышает величины $\pm 0,05\%$ от верхнего предела диапазона измерений. В то же время влияние угла рассогласования $\Delta\gamma_{pj}$ на точность глубин, измеренных по центральному каналу, незначительно. Относительная погрешность, вычисляемая по формуле

$$\Delta Z = (1 - \sec \Delta\gamma_{pj}) \cdot 100\%$$

составляет десятые доли процента от измеряемой глубины. Другими словами, если компенсировать влияние на результаты измерений по центральному каналу систематических погрешностей, обусловленных всеми прочими факторами, то точностные характеристики этого канала вполне позволяют использовать его измерения в качестве

эталонных для тарирования каналов наклонного зондирования. При этом естественным было бы процесс тарирования построить на базе сличения глубин в точках пересечения основных и контрольных галсов, используя данные, полученные непосредственно в ходе съемки. Тем более, что в случае съемки рельефа дна многолучевым эхолотом, при каждой точке пересечения галсов образуется две точки пересечения $j - zo$ профиля наклонного зондирования с центральным. Таким образом, при общем числе точек пересечения основных и контрольных галсов, равном N_{mn} , число точек сличения $j - zo$ канала с центральным

$$N_{сл} = 2N_{mn}.$$

В результате имеем достаточно представительный ряд наблюдений для надежного выявления и оценки величины систематической погрешности.

Обратимся вновь к схеме наклонного зондирования. Ранее было установлено, что из-за незнания величины $\Delta\gamma_{pj}$, не B а B' принята точкой отражения эхосигнала от морского дна. Поэтому именно точку B' , с отстоянием S'_j (а не S_j) от диаметральной плоскости судна, будем считать точкой пересечения профилей $j - zo$ и центрального каналов. В результате (см. рисунок) сравниться будет глубина Z'_j канала наклонного зондирования (отрезок $B'O_I$) с глубиной Z_{oj} (отрезок CO_I), измеренной по центральному каналу. Но полученная при этом разность глубин $\Delta Z'_j$ не будет равна погрешности, определяемой формулой (6). Следовательно, и разность глубин не будет соответствовать углу рассогласования. Отсюда следует, что при расчлененном рельефе дна, когда неравномерно принимать глубины в точках C и B равными между собой, определить действительное значение $\Delta\gamma_{pj}$ по результатам сличения данных наклонного и вертикального зондирования невозможно. Тем не менее задача тарирования решается, если выразить поправку $\Delta Z'_j$ через $\Delta\gamma_{pj}$.

Угол $\Delta\gamma_{pj}$ назовем углом приведения, так как он позволяет по уровню систематической погрешности привести данные наклонного зондирования к точности вертикального зондирования. Значение $\Delta\gamma_{pj}$ найдем из условия сличения глубин в точке B' , при котором, с одной стороны

$$S'_j = Z'_j \cdot \operatorname{tg} \gamma_j, \quad (8)$$

а с другой

$$S'_j = Z_{oj} \cdot \operatorname{tg}(\gamma_j + \Delta\gamma_{pj}). \quad (9)$$

Отсюда нетрудно получить

$$\Delta\gamma_{pj} = \operatorname{arctg} \left(\frac{D_j}{Z_{oj}} \sin \gamma_j \right) - \gamma_j. \quad (10)$$

Так как сличение глубин осуществляется в $N_{сл}$ точках пересечения профилей, то окончательное значение угла приведения получим как среднее арифметическое

$$\Delta\bar{\gamma}_{pj} = \frac{1}{N_{сл}} \sum_{i=1}^{N_{сл}} \Delta\gamma_{pji}, \quad (11)$$

где $\Delta\gamma_{pji}$ – частное значение угла приведения, вычисленное по данным $i - ой$ точки пересечения профиля $j - zo$ канала с центральным ($i = 1, 2, K, N_{сл}$; $N_{сл} = 2N_{тп}$).

Однако, прежде чем использовать вычисленное значение $\Delta\gamma_{\text{п}ji}$ в качестве поправки к паспортному углу зондирования γ_j , необходимо убедиться, что величина этой поправки значима и действительно является систематической составляющей общей погрешности измерений, для чего можно воспользоваться t – распределением Стьюдента [2]. При этом проверяется справедливость нулевой гипотезы

$$H_0 : \Delta\bar{\gamma}_{\text{п}j} \neq 0.$$

Критериальная статистика t_j вычисляется по формуле

$$t_j = \frac{|\Delta\bar{\gamma}_{\text{п}j}|}{\sigma_{\Delta\gamma}} \sqrt{N_{\text{сл}}}, \quad (12)$$

где

$$\sigma_{\Delta\gamma} = \sqrt{\frac{1}{N_{\text{сл}} - 1} \sum_{i=1}^{N_{\text{сл}}} (\Delta\gamma_{\text{п}ji} - \Delta\bar{\gamma}_{\text{п}j})^2}. \quad (13)$$

Величина $\Delta\bar{\gamma}_{\text{п}j}$ признается значимой, если вычисленное значение $|t_j|$ больше табличного t_0 , которое выбирается из соответствующих таблиц процентных точек распределения Стьюдента по доверительной вероятности $P = 0,95$ и числу степеней свободы $k = N_{\text{сл}} - 1$.

Подтвердив систематический характер и значимость угла приведения $\Delta\bar{\gamma}_{\text{п}j}$, скорректированные значения глубин по j – му каналу $Z_{\text{T}j}$ находятся как

$$Z_{\text{T}j} = \frac{D_j \sin\gamma_j}{\text{tg}(\gamma_j + \Delta\bar{\gamma}_{\text{п}j})}. \quad (14)$$

При этом положение скорректированной глубины относительно судна остается неизменным, т.е. определяется величиной отстояния S'_j , вычисленной по формуле (2), и значениями координат φ_j, λ_j , согласно формуле (3).

При выводе формул (10), (11) и (14) предполагалось, что фактический угол зондирования γ'_j отличается от паспортного γ_j на некоторую величину $\Delta\gamma_{\text{п}j}$.

Предположим, что такого рассогласования нет, но зато наклонные дальности D_j измеряются с систематической погрешностью, равной ΔD процентов от дальности. Погрешность в измерении наклонной дальности вызовет появление погрешности ΔZ_j в значении глубины, вычисленной по измеренной наклонной дальности D_j и углу зондирования γ_j . Однако и в этом случае (см. рисунок) величине расхождения глубин в точке пересечения профилей также будет соответствовать некоторый эквивалентный угол $\Delta\gamma_j$. Нетрудно убедиться, что для вычисления его величины верны те же формулы, что и для угла приведения.

Отсюда следует, что вычисляемый угол приведения $\Delta\gamma_{\text{п}j}$, являясь результирующим, позволяет компенсировать влияние суммарной систематической погрешности, обусловленной не только наличием угла рассогласования $\Delta\gamma_{\text{п}j}$, но и частными систематическими погрешностями измерения наклонных дальностей. Таким образом, поставленная ранее цель тарирования наклонных лучей многолучевого эхолота по принимаемым эталонными данными вертикального луча достигается в полной мере.

Дифференцируя выражение (10) и (14), выведем формулы для априорной оценки точности определения значений $\Delta\bar{\gamma}_{пj}$ и скорректированных глубин. Формула для оценки точности угла приведения имеет вид

$$m_{\Delta\bar{\gamma}}^o = \frac{57,3 \operatorname{tg} \gamma_j}{Z_{cp} (1 + \operatorname{tg}^2 \gamma_j)} \sqrt{\frac{1}{N_{сл}} (m_{Z_o}^2 + m_D^2 \cos^2 \gamma_j)}, \quad (15)$$

где Z_{cp} – средняя глубина моря в районе съемки;

m_{Z_o} – средняя квадратическая погрешность измерения глубин по центральному каналу эхолота;

m_D – средняя квадратическая погрешность измерения наклонных дальностей.

Формула для оценки точности скорректированных глубин выглядит следующим образом

$$m_{Z_T} = \frac{\sin \gamma_j}{\sin(\gamma_j + \Delta\bar{\gamma}_{пj})} \sqrt{m_D^2 \cos^2(\gamma_j + \Delta\bar{\gamma}_{пj}) + \frac{3,05 \cdot 10^{-4} D_{cp}^2 m_{\Delta\bar{\gamma}}^2}{\sin^2(\gamma_j + \Delta\bar{\gamma}_{пj})}}, \quad (16)$$

где D_{cp} – среднее значение из наклонных дальностей, измеренных по j – му каналу эхолота.

Проверка корректности предложенного метода тарирования наклонных лучей многолучевого эхолота была проведена по результатам экспериментальной съемки дна эхолотом ГЭЛ–4. Использовались данные наклонного зондирования, полученные по каналу правого борта при $\gamma = 35^\circ$. Сличение производилось в 39 точках пересечения профилей вертикального и наклонного зондирования. В результате получено:

$$\begin{aligned} t_j &= 8,27; \quad \Delta\bar{\gamma}_{Гj} = 0,486^\circ; \\ \bar{\Delta}_{сл} &= 82,3 \text{ м}; \quad \bar{\Delta}_{сл,Г} = 0,6 \text{ м}; \\ \sigma'_Z &= \pm 57,5 \text{ м}; \quad \sigma_{Z_T} = \pm 57,0 \text{ м}; \\ m_{Z_{сл}} &= \pm 70,7 \text{ м}; \quad m_{Z_T_{сл}} = \pm 39,8 \text{ м}. \end{aligned}$$

Проанализируем полученные данные. Во-первых, из табл.3.2 “Таблиц математической статистики” [2] для 2,5-процентной точки t – распределения Стьюдента (что соответствует вероятности $P = 0,95$) и $N_{сл} = 39$ находим табличное значение $t_o = 2,023$ и убеждаемся (т.к. $t_j > t_o$), что вычисленное значение угла приведения $\Delta\bar{\gamma}_{пj} = 0,486^\circ$ является значимым и неслучайным. Это заключение является достаточным основанием для использования угла $\Delta\bar{\gamma}_{пj}$ в качестве поправки к углу зондирования $\gamma_j = 35^\circ$ и вычисления уточненных значений глубин Z_{Tj} . Во-вторых, для оценки эффективности тарирования сопоставим статистические характеристики, вычисленные по данным сличения глубин в точках пересечения профилей, до и после тарирования. Имеем следующее:

* Остаточная систематическая погрешность, первоначально равная $\bar{\Delta}'_{сл} = 82,3 \text{ м}$, в результате тарирования приведена к величине $\bar{\Delta}_{сл,Г} = 0,6 \text{ м}$, т.е. получено распределение погрешностей с практически нулевым математическим ожиданием.

* Примерное равенство средних квадратических отклонений величин расхождений глубин в точках пересечения профилей до и после тарирования ($\sigma'_Z \approx \sigma_{Z_T}$) сви-

детельствует о том, что при тарировании закон распределения случайных погрешностей не нарушен. Это означает, что на эффективность тарирования (при условии $t_j > t_0$) случайные погрешности, вызванные различными факторами (в том числе и погрешностями определения места судна на галсе), существенного влияния не оказывают.

* Средняя квадратическая погрешность измерения глубин эхолотом, вычисленная по формуле (10) приложения 45 ПГС №4, ч.2 [1], до операции тарирования составила $m_{Z_{сл}} = \pm 70,7 \text{ м}$ (1,6% от $Z_{сп}$), а после тарирования – $m_{Z_T_{сл}} = \pm 39,8 \text{ м}$ (0,9% от $Z_{сп}$).

Приведенные характеристики убедительно показывают, что предлагаемая операция тарирования позволяет существенно повысить качество съемки рельефа дна многолучевым эхолотом.

Выводы

1. Погрешность в значении глубины, обусловленная неточным знанием направления зондирования дна наклонным акустическим лучом, по своему характеру является систематической, но переменной по величине в зависимости от измеряемой глубины. В связи с этим в районе съемки с существенным перепадом глубин вычисление систематической погрешности измерения глубин по каналу наклонного зондирования, как среднего арифметического из разностей глубин в точках пересечения профилей наклонного и вертикального зондирований, неправомерно.

2. В условиях расчлененного рельефа дна сличение глубин в точках пересечения профилей наклонного и вертикального зондирований не позволяет определить действительную величину рассогласования между паспортным и фактическим углами зондирования дна наклонным акустическим лучом.

3. Угол приведения, вычисляемый по формулам (10) и (11), является эквивалентом суммарной систематической погрешности измерения глубин по каналу наклонного зондирования многолучевого эхолота. Это обстоятельство позволяет проводить тарирование наклонных лучей многолучевого эхолота путем вычисления угла приведения (как систематического сдвига угла зондирования) по расхождениям глубин в точках пересечения профилей вертикального и наклонного зондирований и последующего пересчета глубин по формуле (14) с учетом величины этого угла.

4. Предлагаемый метод тарирования многолучевого эхолота ориентирован на использование измерений, выполненных непосредственно в процессе съемки рельефа дна, и в связи с этим не требует для своей реализации дополнительного времени для проведения работ на специальном полигоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила гидрографической службы №4, часть 2 (ПГС №4, ч.2), 1984, ГУНиО МО. – С.264.
2. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. – М., ВЦ АН СССР, 1968, 474 с.
3. Коломийчук Н.Д. Гидрография. – ГУНиО МО, 1988. – 366 с.

ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА ПРИХОДА ЭХОСИГНАЛОВ ГИДРОЛОКАЦИОННЫМ КОМПЛЕКСОМ БОКОВОГО ОБЗОРА

С.А. ДОЛотов,
В.И. КАЕВИЦЕР,
И.В. СМОЛЬЯНИНОВ
(ИРЭ РАН)

Проведен анализ точности вычисления глубин при площадной съемке рельефа дна гидролокационным комплексом бокового обзора АГКПС-200. Рассматриваются результаты сопоставления теоретических оценок точности определения углов прихода с помощью метода фазовых приращений при многоэлементной приемной антенне с вертикальной базой и данных экспериментальных измерений, полученных с помощью аппаратуры АГКПС-200 для тонального и линейно-частотно модулированного зондирующих импульсов.

Метод вычисления глубин в полосе съемки в гидролокационном комплексе бокового обзора (ГКБО) при наличии нескольких разнесенных по вертикали приемных антенн основан на вычислении разности фаз сигналов, принятых антеннами, в зависимости от времени прихода. Расстояние между антеннами L , выраженное в длинах волн λ , называется базой интерферометра. Флуктуации принимаемого сигнала обусловлены как случайным характером донной реверберации, так и наличием акустических шумов самого разного происхождения. В предположении линейности среды распространения сигнал на входе приемника представляет линейную комбинацию отраженных зондирующих сигналов с различными весами и разнесенными по запаздыванию на интервалы, кратные разрешению $1/(2F)$ и помеховой компоненте $n(t)$

$$S(t) = \operatorname{Re} \left[\sum_i A_i \times \exp(j\varphi_i) \times s \left(t - \frac{i}{F} \right) \right] + n(t), \quad (1)$$

где A_i – случайная комплексная амплитуда;

φ_i – случайная начальная фаза парциального эхосигнала;

F – полоса частот сигнала.

Наличие двух приемных антенн позволяет найти разность фаз сигналов Φ через функцию $\operatorname{Arctg}(lm/Re)$, где Re , lm вычисляются по квадратурным составляющим сигналов на двух антеннах (при условии узкополосности зондирующего сигнала), получаемым при дискретизации комплексной огибающей

$$Re = Re1 \times Re2 + lm1 \times lm2, \quad lm = lm1 \times Re2 - Re1 \times lm2.$$

При $L > l$ в вычисленной таким образом разности фаз возникает неоднозначность в $2\pi n$, где $n = 0, K, L$, и для восстановления однозначной функции Φ применяются специальные алгоритмы. Зная Φ , вычисляют угол θ прихода эхосигнала относительно вертикали

$$\theta = \arccos \left(\frac{\Phi}{2\pi L} \right) - \theta_o, \quad (2)$$

где θ_o – угол между плоскостью, в которой расположены приемные антенны и вертикальной плоскостью,

а по углу и известному времени прихода с учетом гидрологических условий вычисляется точка выхода луча.

Флуктуации углов прихода эхосигнала θ для случая двухантенной системы в зависимости от соотношения сигнал/шум (S/N) могут быть оценены по приближенной формуле

$$\Delta \bar{\theta}^2 \approx \frac{N/S}{2[2\pi L \sin(\theta + \theta_0)]^2}. \quad (3)$$

Как видно из этого соотношения, точность определения угла непостоянна и может существенно ухудшаться около критического нулевого угла (относительно плоскости приемных антенн). Наклон этой плоскости на некоторый угол θ_0 позволяет отодвинуть критический участок в область отрицательных углов.

Практические измерения глубин на участках дна с выровненным рельефом проводились с помощью ГКБО АГКПС-200 сигналом с ЛЧМ при двух базах интерферометра размером в 2 и 20 длин волн на глубинах порядка 100 м и тональным импульсом при базах в 2 и 4 волны на глубинах около 30 м. На рис. 1 показаны усредненные по 100 реализациям результаты измерения разности фаз эхосигналов для ЛЧМ посылки при большой и малой базах. Разности фаз для обеих баз приведены к диапазону от 0 до 2π (т.е. поделены на размер базы L) и представлены в градусах.

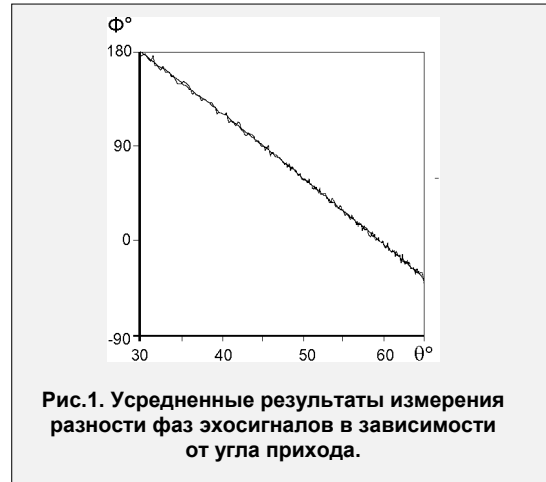


Рис.1. Усредненные результаты измерения разности фаз эхосигналов в зависимости от угла прихода.

Угол наклона антенн θ_0 был равен 30° . Результаты измерений в обоих случаях хорошо совпадают между собой и с теоретической зависимостью (2), что позволяет сделать вывод о несмещенности оценки вычисления разности фаз как по малой, так и по большой базе.

На рис. 2 показано среднеквадратическое отклонение угла прихода эхосигнала (в градусах), вычисленное по этому же набору реализаций, и результаты теоретического расчета по формуле (3). Расчет проводился с учетом угловой зависимости $K(\theta)$ отношения сигнал/шум в ГКБО

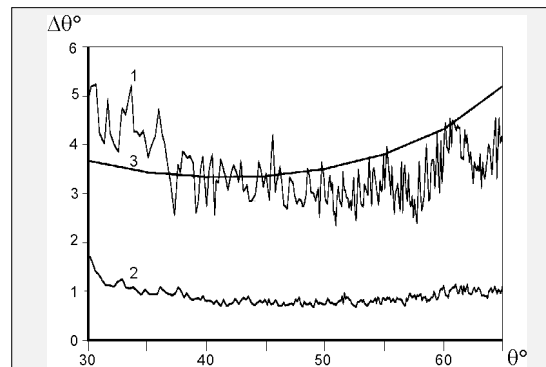


Рис.2. Среднеквадратическое отклонение угла прихода эхосигнала:
1 – эксперимент, $L = 2\lambda$;
2 – эксперимент, $L = 20\lambda$;
3 – расчет, $L = 2\lambda$.

$$S/N = (S_o/N_o) \times K(\theta), \quad (4)$$

где S_o/N_o – отношение сигнал/шум, соответствующее сигналу, отраженному от участка поверхности при $\theta = 0$ (для данного расчета взятое принято $S_o/N_o = 4$).

На рис. 3 (аналогичном рис.2) представлены экспериментальные и теоретические зависимости для тонального сигнала. Теоретическая зависимость рассчитана для $S_o/N_o = 16$. Сопоставление графиков 1 и 2 подтверждает характер зависимости ошибки измерения угла прихода от размера базы интерферометра, приближенно определяемой формулой (3).

Сравнение теоретического расчета с данными экспериментальных исследований (см.рис. 2, 3) показывает хорошее соответствие экспериментальных и теоретических результатов и позволяет определить реальное отношение сигнал/шум для проведенных экспериментов.

Для случая ЛЧМ сигнала отношение сигнал/шум равно 4, для тонального сигнала – 16. Полученные оценки характеризуют особенности гидролокационной съемки дна, являющегося протяженной целью, как по запаздыванию, так и по доплеровскому смещению частоты. При этом в эхосигнал от разрешаемого участка дна вносится вклад от соседних участков из-за боковых лепестков диаграммы направленности антенны и боковых лепестков функции неопределенности зондирующего сигнала, определяемый как собственный

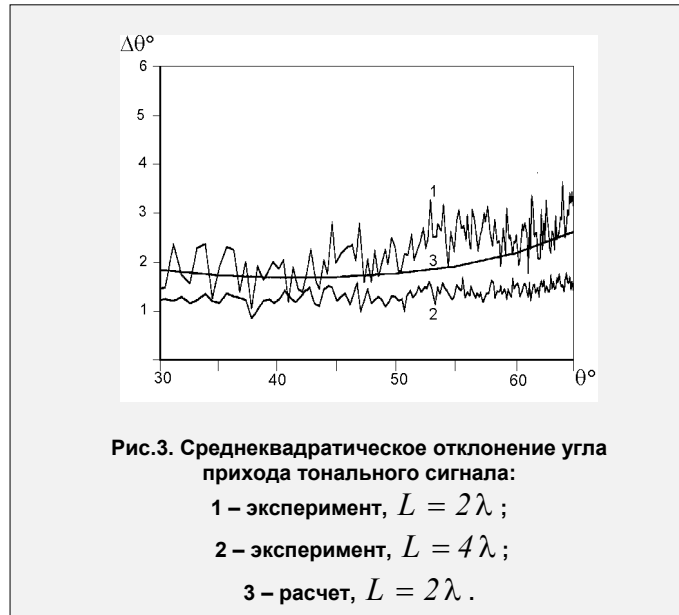


Рис.3. Среднеквадратическое отклонение угла прихода тонального сигнала:
 1 – эксперимент, $L = 2\lambda$;
 2 – эксперимент, $L = 4\lambda$;
 3 – расчет, $L = 2\lambda$.

шум [1], и не позволяющий увеличением мощности зондирующей посылки увеличить отношение S/N .

Уменьшение S/N для ЛЧМ зондирующей посылки связано с наличием боковых лепестков АКФ по оси запаздывания t .

Приведенные на рис. 2 и 3 графики 1, 2 показывают, что среднеквадратическая погрешность определения угла прихода эхосигнала при измерениях комплексом АГКПС–200 составляет $1^\circ - 5^\circ$. Зная СКП определения угла прихода отраженного сигнала, относительную погрешность вычисления глубин приблизительно можно определить по формуле

$$\Delta H / H = \Delta \theta \times \operatorname{tg}(\theta). \quad (5)$$

Для уменьшения СКП могут быть использованы следующие методы:

1. Применение весовой обработки, позволяющей понизить уровень боковых лепестков и снизить собственный шум сигнала.

2. Увеличение числа приемных антенн и статистическое усреднение результатов (вышеупомянутая несмещенность оценки разности фаз по разным базам позволяет делать это).

3. Статистическое усреднение результатов измерения по соседним участкам дна.

Для оценки поведения среднеквадратической ошибки вычисления угла прихода эхосигнала, отраженного от распределенной цели, использовалось математическое моделирование. При моделировании предполагался прием отраженных эхосигналов 22-х элементной линейной антенной решеткой с шагом, равным половине длины волны. Обработка моделировалась по алгоритму, описанному в [2]. Согласно этому алгоритму, база обработки была принята равной 11 половинам длины волны. Результаты моделирования ошибки определения угла прихода приведены в табл. 1 для ЛЧМ зондирующей посылки. Сравнение данных табл.1 с результатами практических измерений (см.рис.2) показывает, что увеличение числа антенн в антенной системе уменьшает ошибку вычисления угла прихода. При этом увеличение отношения S/N более 4 не дает пропорционального увеличения точности измерений.

В табл.2 приведены результаты моделирования при весовой обработке эхосигналов с использованием спектрального окна Парзена шириной, равной ширине спектра зондирующего сигнала. Такое спектральное окно было выбрано по критерию минимума СКП измерения угла прихода при условии постоянной мощности зондирующего сигнала и неухудшении площадного разрешения дна. Сравнение данных табл. 2 с результатами практических измерений (см.рис.2) и данными табл. 1 показывает, что применение спектральных окон при обработке ЛЧМ сигналов позволяет уменьшить ошибку измерения угла прихода в 1.5 – 2 раза. Увеличение точности измерений при применении спектрального окна объясняется снижением уровня боковых лепестков АКФ ЛЧМ сигнала по оси t , что эквивалентно снижению уровня собственных шумов сигнала.

В целом результаты выполненных экспериментальных исследований, теоретиче-

Таблица 1
Результаты моделирования ошибки определения угла прихода эхосигнала от распределенной цели для различных отношений сигнал/шум

θ°	Ошибка определения угла прихода, град.			
	$\sqrt{\frac{S}{N}} = 2$	$\sqrt{\frac{S}{N}} = 4$	$\sqrt{\frac{S}{N}} = 8$	$\sqrt{\frac{S}{N}} = 16$
30	0.356	0.190	0.174	0.160
35	0.310	0.166	0.152	0.139
40	0.277	0.148	0.135	0.124
45	0.252	0.134	0.123	0.113
50	0.233	0.124	0.114	0.104
55	0.218	0.116	0.106	0.098
60	0.206	0.110	0.101	0.092
65	0.197	0.105	0.096	0.088

Таблица 2
Результаты моделирования ошибки определения угла прихода эхосигнала от распределенной цели (при весовой обработке эхосигналов) для различных отношений сигнал/шум

θ°	Ошибка определения угла прихода, град.			
	$\sqrt{\frac{S}{N}} = 2$	$\sqrt{\frac{S}{N}} = 4$	$\sqrt{\frac{S}{N}} = 8$	$\sqrt{\frac{S}{N}} = 16$
30	0.316	0.133	0.103	0.096
35	0.276	0.116	0.090	0.084
40	0.246	0.103	0.080	0.075
45	0.224	0.094	0.073	0.068
50	0.207	0.087	0.067	0.063
55	0.194	0.081	0.063	0.059
60	0.183	0.077	0.059	0.056
65	0.175	0.073	0.057	0.053

ских расчетов и моделирования позволяют оценить точность вычисления глубин при площадной съемке рельефа дна с помощью ГКБО, имеющего многоэлементную приемную антенну и сделать следующие выводы:

1. Относительная точность измерения глубин комплексом АГКПС–200 с двумя приемными антеннами при $\Delta\theta = 1^\circ$ изменяется от 0.8% до 2.5% в диапазоне углов прихода 30 – 65°.

2. Применение многоэлементной антенной решетки и алгоритма обработки, изложенного в [2], с использованием спектрального окна позволяет улучшить точность измерения глубин до 0.5% и выше (см. табл. 2, $S/N = 4$, $\theta = 30^\circ$).

3. Дальнейшее увеличение точности может быть достигнуто статистическим усреднением результатов измерения θ , однако при этом увеличивается элемент разрешения дна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы. – М.: Сов. Радио. 1971.
 2. Каевицер В.И., Назаров Л.Е., Смольянинов В.М., Смольянинов И.В. Алгоритм оценивания фазовых приращений. // Радиотехника и электроника. – 1995. Т.30. С. 6 – 11.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ СТРОЕНИЯ МОРСКОГО ДНА В ЗАДАЧАХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ И ПОРТОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В.Н.РЫБАКИН
(НИИ физики СПб.ГУ)

Описывается аппаратура "Шельф-2" морских геофизических исследований, предназначенная для изучения геоэлектрического строения донных пород при глубинах от 0,5 до 30 м.

Размагничивание судов является одной из важных задач обеспечения безопасности их плавания. Определение параметров систем магнитной компенсации на специальных испытательных стендах (полигонах) без знания вертикального распределения удельного электрического сопротивления пород дна невозможно, т.к. отсутствие этих данных не позволяет определить соответствующие поправки при изменении глубин и литологического состава морского дна. Поэтому изучение геоэлектрического строения морского дна на полигонах и акваториях мелководных морей с помощью частотного электромагнитного зондирования способствует повышению степени надежности системы компенсации магнитного и электрического полей судов, что в свою очередь повышает безопасность плавания судов.

Изучение геоэлектрического разреза на мелководных акваториях, предназначенных для строительства портовых сооружений, является второй важной задачей, которая успешно решается методом частотного электромагнитного зондирования и которая в данном случае (из-за малых глубин акваторий) с помощью сейсмоакустических зондирований решена быть не может.

С целью создания специальной аппаратуры для изучения геоэлектрического строения морских и озерно-речных геоэлектрических разрезов при глубинах воды от 0,5 до 30 м НИИ физики на базе выполненных в конце 80-х годов исследований была разработана аппаратура "Шельф-2" для морских частотных электромагнитных зондирований [1, 2]. Режим ее работы – непрерывные частотные электромагнитные зондирования с борта движущегося судна.

По сравнению с аппаратурой, построенной на использовании методов постоянного тока, широко практикуемых в морских геофизических исследованиях, станция "Шельф-2" работает на переменном токе, что дает следующие преимущества:

- * уменьшение разносов между источником и приемниками поля и, как следствие:
 - повышение разрешающей способности метода к слоям разреза;
 - высокую точность измерений;
 - снижение потребления энергии;
- * одновременное использование при зондировании вариации двух параметров – частоты и разноса, что обеспечивает большую информативность каждого зондирования;
- * возможность подобрать оптимальный режим проведения работ для каждой конкретной геоэлектрической задачи – частотные, частотно-дистанционные, дистанционные зондирования или профилирование.

В состав аппаратуры "Шельф-2" входят:

- установленные на борту судна блоки приемо-генераторного устройства, управляюще-вычислительного комплекса и источники питания;
- заборные косы с генераторными и измерительными электродами (рис.1).

Основные характеристики аппаратуры:

- *
потребляемая мощность, Вт 500;
- *
масса аппаратуры:
 - приборного комплекса, кг 25;
 - заборной (только электродов), кг 40;

*	6;
база генераторных электродов, м	6;
*	
момент источника, А · м	25;
*	
количество частот	25;
*	
диапазон частот, Гц	2,5 – 2500;
*	
количество измерительных каналов	4;
*	
база приемных электродов, м	3.

Измеряются квадратурные составляющие горизонтальной электрической компоненты поля электрического диполя. Запись информации производится на магнитный носитель и выводится на принтер. Обработка измерений осуществляется ПЭВМ с помощью специальных пакетов программ Shelf или "ERA.FDE". В состав судовой аппаратуры "Шельф-2" включены также встроенный отметчик времени и канал связи с эхолотом. Источником электромагнитного поля служит горизонтальный электрический диполь.

Положение заборных устройств – генераторной и измерительной кос, электродов и поплавков, удерживающих косу на плаву – показано на рис.1. Измерительная коса имеет секционное строение, что позволяет наращивать разности от 25 до 300 м.

Для каждой конкретной задачи, в зависимости от исходных геолого-геофизических данных, можно рассчитать оптимальные, с точки зрения получения

максимальной информации о разрезе, величины разностей и наборы частот зондирования. Максимальный разнос и количество частот зондирования выбираются таким образом, чтобы за время полного зондирования судно проходило путь, не превышающий протяженность измерительной косы. Скорость судна на рабочем режиме зондирования можно вырывать от 2 до 5 уз.

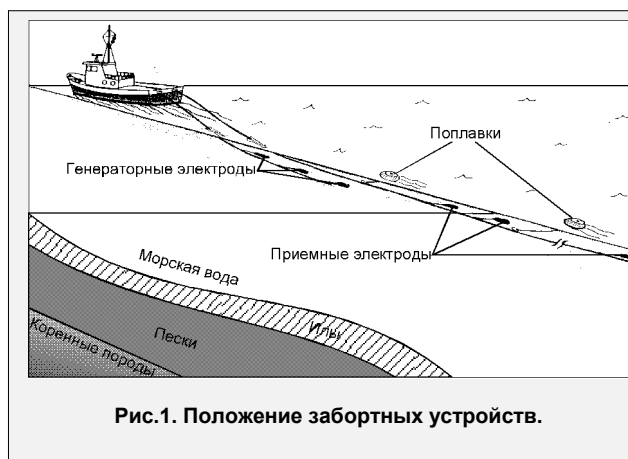


Рис.1. Положение заборных устройств.

Натурные испытания (с 1988 г.) опытных образцов, предшествующих станции "Шельф-2" (1994 г.) проводились в ходе работ практически на всех морях России [3]. Большой объем исследований, в частности, был выполнен в обеспечении строительства портовых сооружений и морских каналов в Финском заливе – в бухте Батарейная, у Золотых ворот Морского порта, на акватории бухты и Транзундском рейде у

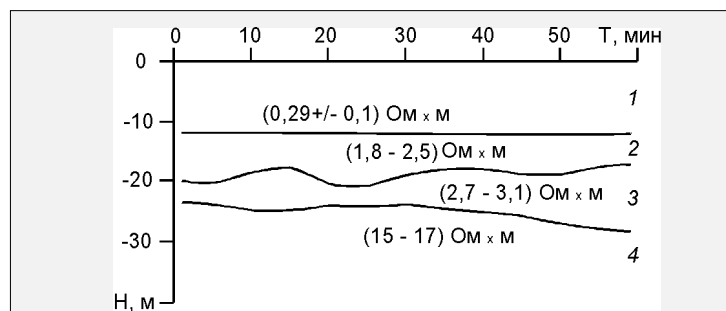


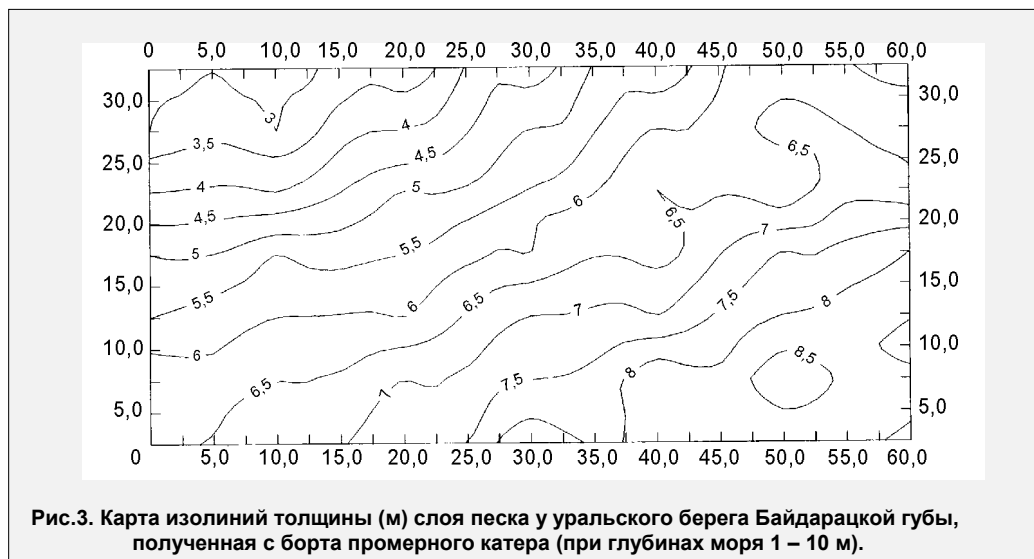
Рис.2. Геоэлектрический разрез по профилю зондирования 94/21 с борта НИС, полученный в ходе работ в Байдарацкой губе (длина профиля 4,7 мили):

T – время движения судна на рабочем галсе;
H – глубина;

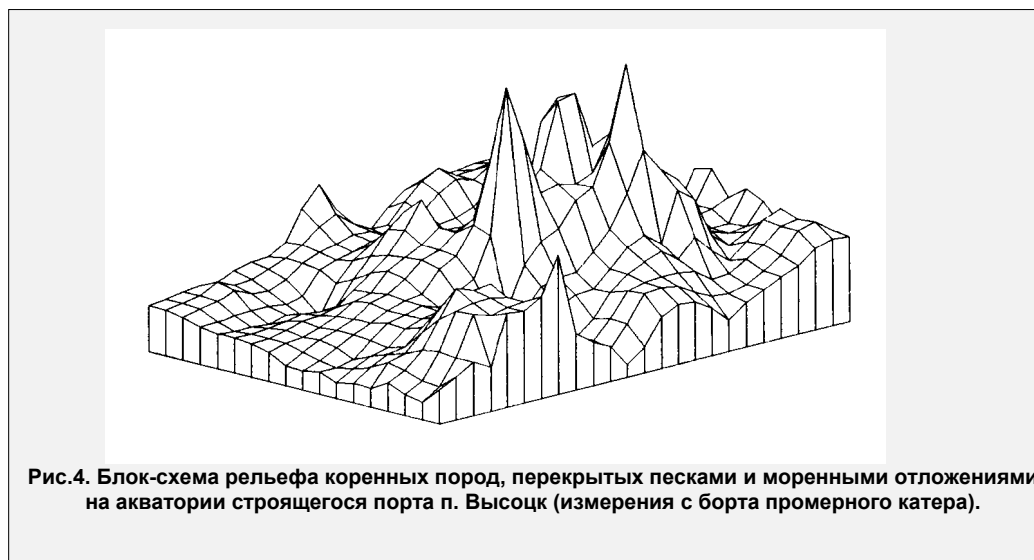
1 – слой морской воды (измерения промерным эхолотом);
2 – рыхлые отложения; 3, 4 – талые и мерзлые коренные породы.

п.Высоцк., а также в Байдарацкой губе при изучении состояния пород дна на трассе проектируемого газопровода (рис.2, 3, 4). Данные зондирований (см.рис.2) были подтверждены бурением нескольких скважин.

При поисках песка у уральского берега Байдарацкой губы работы выполнялись на площади 1,5х3,0 км по 64 профилям. Результаты картографирования оказались достаточно успешными.



В ходе работ на акватории порта п.Высоцк выполнялись измерения на площади 0,8х1,5 км по 35 профилям (см. рис.4). Глубина воды изменялась от 0,8 до 11 м. Максимальная глубина залегания коренных скальных пород, по данным зондирований, составляла 32 м. (Вершины отдельных гранитных пиков поднимаются над поверхностью воды). Результаты зондирований подтверждены бурением.



Таким образом, имеющиеся экспериментальные данные подтверждают эффективность работ “Шельф-2”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Молочнов Г.В., Рыбакин В.Н. Изопараметрические зондирования морского дна. // Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений. Свердловск, 1987. С.32-37.

2. Молочнов Г.В., Рыбакин В.Н., Бахиров А.Г., Козак Ю.С., Степанов Б.В. О выборе оптимального параметра для изопараметрических зондирований. // Геофизические методы поисков и разведки рудных и нерудных месторождений. Свердловск, 1989. С.49-54.
3. Молочнов Г.В., Рыбакин В.Н., Крылов С.С. Классификация геоэлектрических разрезов в прибрежно-морской зоне по результатам частотных зондирований. // Вопросы геофизики. Интерпретация геофизических наблюдений. / Под ред. В.Н.Трояна, Л.Н.Пороховой. Вып.34. СПб, 1994. С.119-126.

О ДИСКРЕТНОСТИ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ОКЕАНЕ

Б.Е.ИВАНОВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Получены зависимости для определения расстояния между гравиметрическими пунктами на галсах при условии минимума средней квадратической погрешности интерполяции и фиксированном расстоянии между галсами.

Качество морской гравиметрической съемки зависит от характера изменчивости гравитационного поля в заданном районе, точности гравиметрических и навигационных измерений, расстояния между галсами и расстояния между гравиметрическими пунктами на галсах. В работе [1] предложено при проектировании съемки определять расстояние между галсами по допустимой средней квадратической погрешности интерполяции, используя зависимость между этими величинами. Выбор расстояния между гравиметрическими пунктами на галсах не имеет достаточного обоснования. В данной статье делается попытка восполнить этот пробел и получить зависимость для определения расстояния между гравиметрическими пунктами при условии минимума средней квадратической погрешности интерполяции и фиксированном расстоянии между галсами. При этом будет учитываться только характер изменчивости гравитационного поля. Такая задача не возникает в случае непрерывных измерений на галсе.

Пусть на галсах Г-1 и Г-2, расстояние между которыми y , измерены значения ускорения силы тяжести g_1 g_8 на восьми гравиметрических пунктах (рис.1).

Расстояния между гравиметрическими пунктами одинаковы и равны x . Случайная погрешность δ интерполяции ускорения силы тяжести в точке 0, находящейся посередине между галсами и на одинаковом расстоянии от ближайших гравиметрических пунктов, равна

$$\delta = a(g_1 + g_2 + g_3 + g_4) + b(g_5 + g_6 + g_7 + g_8) - g_0, \quad (1)$$

где a и b – интерполяционные коэффициенты;
 g_0 – значение ускорения силы тяжести в точке 0.

Применяя к формуле (1) операцию определения дисперсии из работы [2], получим среднюю квадратическую погрешность интерполяции

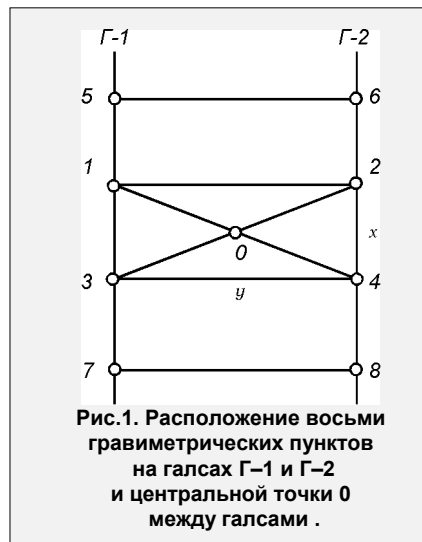
$$m = \sqrt{K(0) + 4Aa^2 + 4Bb^2 + 8Cab - 8aK\left(\frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2}\right) - 8bK\left(\frac{1}{2}\sqrt{9x^2 + y^2}\right)} \quad (2)$$

где $K(r)$ – значение корреляционной функции аномалии ускорения силы тяжести при соответствующем аргументе r . Коэффициенты A , B и C в формуле (2) равны

$$A = K(0) + K(y) + K(x) + K\left(\sqrt{x^2 + y^2}\right);$$

$$B = K(0) + K(y) + K(3x) + K\left(\sqrt{9x^2 + y^2}\right);$$

$$C = K(x) + K(2x) + K\left(\sqrt{x^2 + y^2}\right) + K\left(\sqrt{4x^2 + y^2}\right).$$



Рассмотрим четыре варианта решения задачи.

В 1-ом варианте выполняется линейная интерполяция по четырем ближайшим гравиметрическим пунктам. Тогда $a = 1/4$ и $b = 0$. Подставим значения интерполяционных коэффициентов в формулу (2). Взяв производную полученного выражения по x и приравняв ее нулю, найдем условие минимума погрешности m

$$P(x) + P\left(\sqrt{x^2 + y^2}\right) - 2P\left(\frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2}\right) = 0. \quad (3)$$

Функция $P(r)$ из формулы (3) при соответствующем аргументе r равна

$$P(r) = \frac{1}{r} \frac{d}{dx} K(r).$$

Во 2-ом варианте выполняется параболическая интерполяция по восьми гравиметрическим пунктам. Тогда на основании интерполяционной формулы Бесселя из работы [3] получим $a = 9/32$ и $b = -1/32$. Поступая также, как при выводе равенства (3), найдем условие минимума погрешности m

$$\begin{aligned} & \frac{7}{16} \left[P(x) + P\left(\sqrt{x^2 + y^2}\right) \right] - \frac{1}{2} \left[P(2x) + P\left(\sqrt{4x^2 + y^2}\right) \right] + \\ & + \frac{1}{16} \left[P(3x) + P\left(\sqrt{9x^2 + y^2}\right) \right] - P\left(\frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2}\right) + P\left(\frac{1}{2}\sqrt{9x^2 + y^2}\right) = 0. \end{aligned}$$

В 3-ем варианте выполняется оптимальная интерполяция по четырем ближайшим гравиметрическим пунктам. Взяв производную выражения (2) по a при $b = 0$ и приравняв ее нулю, получим

$$a = K\left(\frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2}\right) / A. \quad (4)$$

Подставим формулу (4) в равенство (2). Взяв производную полученного выражения по x и приравняв ее нулю, найдем условие минимума погрешности m

$$2K\left(\frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2}\right) \left[P(x) + P\left(\sqrt{x^2 + y^2}\right) \right] - AP\left(\frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2}\right) = 0.$$

В 4-ом варианте выполняется оптимальная интерполяция по восьми гравиметрическим пунктам. Взяв производные выражения (2) по a и b и приравняв их нулю, получим систему двух линейных уравнений. Решив эту систему, найдем интерполяционные коэффициенты

$$\begin{aligned} a &= \left[BK\left(\frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2}\right) - CK\left(\frac{1}{2}\sqrt{9x^2 + y^2}\right) \right] / D; \\ b &= \left[AK\left(\frac{1}{2}\sqrt{9x^2 + y^2}\right) - CK\left(\frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2}\right) \right] / D. \end{aligned} \quad (5)$$

Определитель D в формулах (5) находится из равенства $D = AB - C^2$. Подставим формулы (5) в равенство (2). Взяв производную полученного выражения по x и приравняв ее нулю, найдем условие минимума погрешности m

$$\begin{aligned} & \left[Aa + Cb - K\left(\frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2}\right) \right] a' + \left[Bb + Ca - K\left(\frac{1}{2}\sqrt{9x^2 + y^2}\right) \right] b' + \\ & + D \left[\frac{1}{2}(A'a^2 + B'b^2) + C'ab - \frac{1}{4}aP\left(\frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2}\right) - \frac{9}{4}bP\left(\frac{1}{2}\sqrt{9x^2 + y^2}\right) \right] = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Производные a', b', A', B', C' из уравнения (6) равны

$$a' = B'K\left(\frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2}\right) + \frac{1}{4}BP\left(\frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2}\right) - C'K\left(\frac{1}{2}\sqrt{9x^2 + y^2}\right) - \frac{9}{4}CP\left(\frac{1}{2}\sqrt{9x^2 + y^2}\right) - D'a;$$

$$b' = A'K\left(\frac{1}{2}\sqrt{9x^2 + y^2}\right) + \frac{9}{4}AP\left(\frac{1}{2}\sqrt{9x^2 + y^2}\right) - C'K\left(\frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2}\right) - \frac{1}{4}CP\left(\frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2}\right) - D'b;$$

$$D' = A'B + AB' - 2CC';$$

$$A' = P(x) + P\left(\sqrt{x^2 + y^2}\right);$$

$$B' = 9\left[P(3x) + P\left(\sqrt{9x^2 + y^2}\right)\right];$$

$$C' = P(x) + 4P(2x) + P\left(\sqrt{x^2 + y^2}\right) + 4P\left(\sqrt{4x^2 + y^2}\right).$$

По полученным зависимостям была составлена программа на языке Turbo-BASIC для ПЭВМ IBM PC. При этом в качестве корреляционной функции аномалии ускорения силы тяжести использовалась формула из работы [4]

$$K(r) = \sigma^2 \left[1 + r/D - r^2/(2D^2) \right] \exp(-r/D),$$

где σ – среднее квадратическое значение аномалии ускорения силы тяжести.

Параметр корреляционной функции

$$D = r_o/1,361,$$

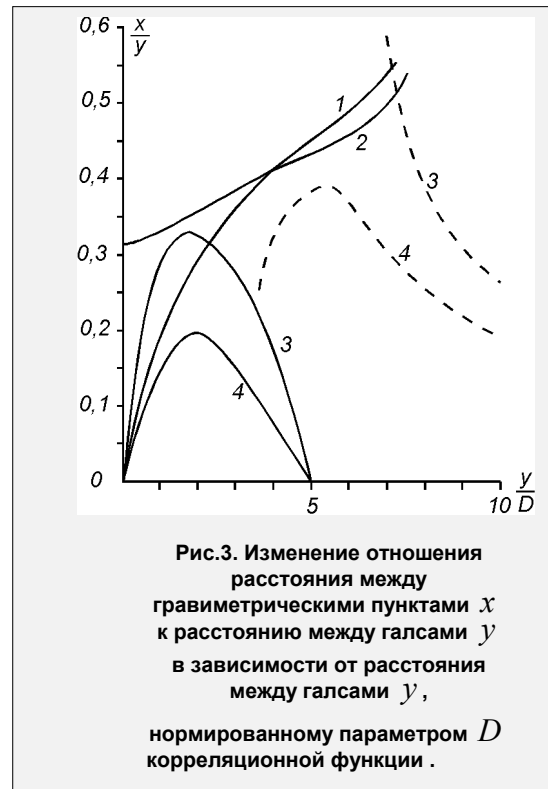
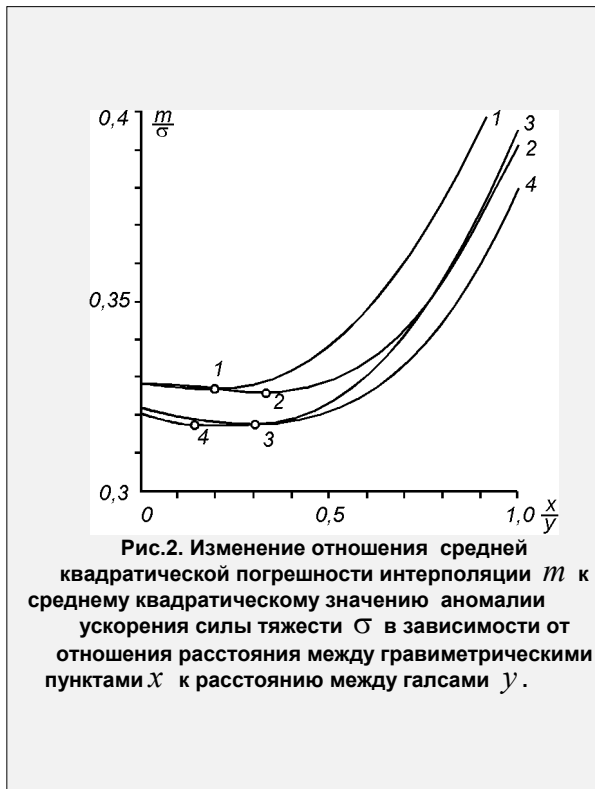
где r_o – радиус корреляции, при котором корреляционная функция равна σ^2/e .

Используя составленную программу, были вычислены значения m при различных значениях x . Для случая $y = D$ на рис.2 показано изменение отношения m/σ в зависимости от отношения x/y . На этом и последующих рисунках цифры обозначают номера вариантов, а кружки на рис.2 соответствуют минимуму погрешности m . Из рис.2 видно, что при увеличении x погрешность m сначала уменьшается, достигает минимума и затем значительно увеличивается.

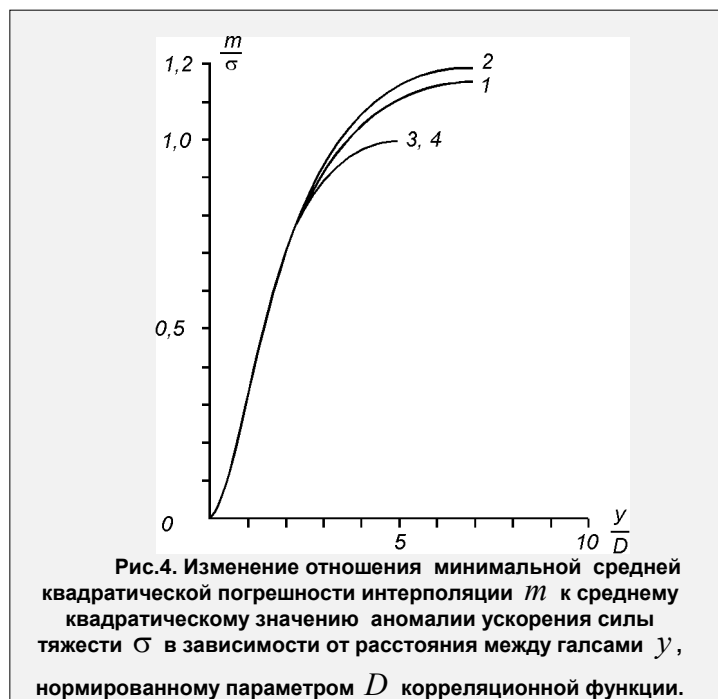
Кроме того были вычислены значения x , соответствующие минимуму средней квадратической погрешности интерполяции при различных значениях y . Изменение отношения x/y в зависимости от отношения y/D показано на рис.3.

Из этого рисунка видно, что при увеличении y/D в 1-ом варианте отношение x/y увеличивается монотонно от нуля до наибольшего значения, которого достигает при $y/D = 7,0$. Во 2-ом варианте отношение x/y увеличивается от 0,318 и достигает наибольшего значения при $y/D = 7,4$. Свыше указанных значений y/D погрешность m в 1-ом и 2-ом вариантах не имеет минимума. В 3-ем и 4-ом вариантах наблюдается несколько минимумов. При первом минимуме (обозначен сплошной линией) отношение x/y увеличивается от нуля, достигает максимального значения при $y/D = 1,7$ и $y/D = 1,9$ соответственно для 3-го и 4-го вариантов, затем уменьшается и приближается к нулю при $y/D = 5,0$. При втором минимуме (обозначен штриховой линией) отношение x/y в 3-ем варианте уменьшается, а в 4-ом варианте сначала воз-

растает (при $y/D > 3,5$), достигает максимального значения (при $y/D = 5,7$) и затем уменьшается.



Также вычислены минимальные значения погрешности m при различных значениях y . Изменение отношения m/σ в зависимости от отношения y/D показано на рис.4. Во всех вариантах погрешность m увеличивается с увеличением y . Наибольшее значение погрешности наблюдается во 2-ом варианте, а наименьшее – в 4-ом варианте.



Изложенный подход оптимизации выбора расстояния между гравиметрическими пунктами может быть предложен для использования при планировании донной и ледовой гравиметрических съемок. При этом гравиметрические пункты целесообразно размещать в узлах прямоугольной сетки, имеющей разные шаги по осям координат. Большой шаг следует определять как расстояние между галсами по формуле из работы [1] и устанавливать по направлению, перпендикулярному направлению общего градиента гравитационного поля или рельефа дна в заданном районе. Малый шаг

следует определять в соответствии с предложенными в данной статье зависимостями и устанавливать по направлению указанного градиента.

Кроме того можно рассмотреть возможность использования предложенного подхода при выборе расстояния между гравиметрическими пунктами на галсах морской съемки и выборе шага цифровой гравиметрической карты с целью сокращения объема информации, а также при планировании морских съемок других физических полей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сорокин А.И. Теоретические основы гидрографических исследований.–Л.: ГУНиО, 1972.–196 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. 3–е изд., испр.– М.: Наука, 1964.– 576 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы. Пер. с англ.– М.: Наука, 1968.– 720 с.
4. Jordan S.K. Self-consistent statistical models for the gravity anomaly, vertical deflections and undulation of the geoid. // Journal of geophysical research.– 1972.– Vol.77 .– №20.–P.3660–3670.



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРЕПЛАВАНИЯ

ГРНТИ 78.25.31.35.29.31

АВТОМАТИЗАЦИЯ СРЕДСТВ ОСВЕЩЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Л.М.ВОЛЬФСОН

(ГНЦ – ЦНИИ "Гидроприбор")

Рассматривается возможность автоматизации средств освещения гидрометеорологической обстановки экологического мониторинга водной среды в течение года на глубинах от 1,5 до 4000 м с помощью автономных позиционных станций (АПС–ЭКО), которые могут быть поставлены с корабля, имеющего подъемные средства 3 – 5 т. Сообщается о проработке станции с замером параметров как воды, так и воздуха над поверхностью моря. АПС–ЭКО по заданной программе сканирует толщу воды до 100 м с остановками на заданных горизонтах. Единый измерительный комплекс может регистрировать до 50 значений ингредиентов и параметров воды на каждом горизонте. За год может быть передано по радиоканалу на береговой пост до 12000 измерений.

Важнейшим элементом любого этапа защиты Мирового океана от антропогенного загрязнения является экологический мониторинг, направленный на наблюдение, оценку и прогноз состояния гидробиосферы [1]. Такой мониторинг призван оперативно обеспечивать природоохранные органы достоверной, и репрезентативной экологической информацией – при разумных экономических затратах, расходуемых на ее получение. Знание гидрометеорологических условий при проведении экологического мониторинга существенно увеличивает возможность определения обстановки в районе наблюдения [2].

Определение гидрометеорологической обстановки (ГМО) в точке наблюдения проводятся с корабля или с помощью буйковых станций.

Американские океанографические буи типа EB–10, например, рассчитаны на работу в исключительно суровых эксплуатационных условиях (скорость ветра до 75 м/с и высота волны до 18 м). Однако эти буи имеют массу 100 т и измеряют параметры воды только у поверхности. В то же время в США, Финляндии и Норвегии есть буи, измеряющие исключительно аэрометеорологические параметры; имеются также заглубленные или притопленные буи, которые измеряют только небольшое количество параметров воды (температуру, соленость, скорость и направление течения) [3]. Автоматизация комплекса подобных средств в обеспечение эффективного экомониторинга представляется достаточно сложной и малооправданной с экономической точки зрения задачей.

Значительно более эффективна задача автоматизации средств освещения ГМО может быть решена путем создания автономных станций, которые могли бы проводить регулярные наблюдения в течение длительного периода (не менее года) на разных горизонтах в слое толщиной до 100 м и при глубинах океана до 6000 м (98,8% всей акватории океана [4]) с регулярной передачей информации на берег. Массогабаритные параметры подобных станций должны быть такими, чтобы их можно было ставить и выбирать обычными судовыми подъемными средствами (грузоподъемностью 3 – 5 т).

При этом желательно иметь станции, которые были бы способны измерять как параметры водной среды, так и воздуха над поверхностью океана. Причем требования к измерению воздуха должны соответствовать "Наставлению гидрометеостанциям и постам", а требования к измерению водной среды – ГОСТ 17.1.3.07–82 "Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков". Послед-

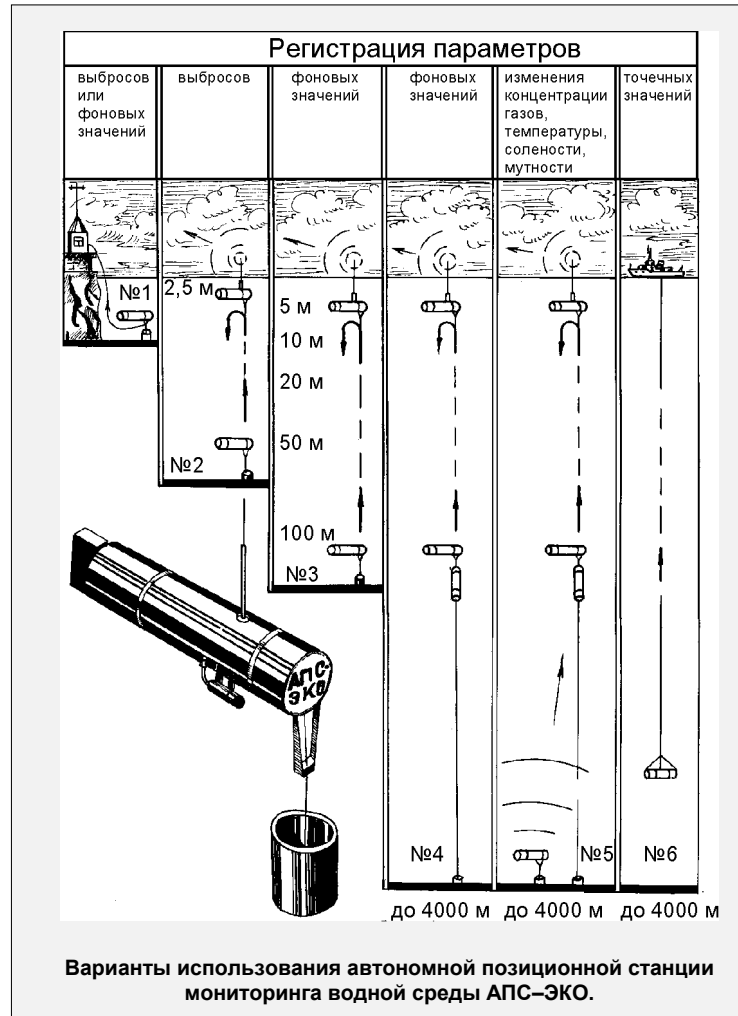
ний документ регламентирует глубины, на которых необходимо производить измерения, частоту измерений, а также перечни параметров, которые необходимо измерять по обязательной программе и желательно – по дополнительной.

В последние годы ГНЦ – ЦНИИ "Гидроприбор" в порядке конверсии разработал семейство подобного рода автономных позиционных станций мониторинга водной среды (АПС–ЭКО).

При их создании было поставлено условие, что АПС–ЭКО должна отвечать требованиям ГОСТ на станцию первой категории. Предусмотрена возможность измерения ингредиентов и параметров воды на разных горизонтах обследуемой акватории одним измерительным комплексом в течение года. Пробоподготовка отсутствует, что дает возможность метрологически аттестовать станцию.

Замеры осуществляются по заданной программе, начиная с определенного горизонта. Полученные значения запоминаются и станция переходит для замера на следующий горизонт. Затем все повторяется снова, при этом станция поступенчато продвигается к поверхности, где по радиоканалу и производится передача накопленной информации на береговой пост. После этого станция вновь заглубляется на предусмотренный программой горизонт. (По командам берегового поста первоначальная программа может быть изменена).

В зависимости от глубины места и назначения имеется шесть модификаций станций (рисунки).



Станция N1 (для малых глубин) измеряет ингредиенты и параметры воды на одном горизонте и может передавать информацию на береговой пост по кабелю либо по радиоканалу. (Такую станцию предполагалось изготовить для Ленинградской АЭС).

Станция N2 (для обнаружения выбросов, т.е. превышения ПДК) может применяться для локализации района поиска, где произошел выброс: по течению реки ставятся несколько станций, район выброса расположен между станцией, не зафиксировавшей выброс и станцией, обнаружившей выброс. Эти станции производят анализ воды каждый час на горизонте 2,5 м, каждые 6 ч анализируется вода у поверхности и раз в сутки – в придонном слое. Передача информации по радиоканалу производится каждые 6 ч, а в случае превышения ПДК – немедленно.

Станция N3 (шельфовая) отвечает требованиям ГОСТ 17.1.3.07–82 на станцию 1-ой категории по горизонтам измерения (100, 50, 20, 10, 5 м, поверхность) и частоте измерения (1 раз в 10 суток в течение года). Она может использоваться в интересах экологов, гидрометеорологов и рыбаков. При определении вносимых предприятием загрязнений одна станция ставится на заборе воды, а другая – на сбросе, что особенно важно для АЭС, где расход воды очень большой. Станции этого типа были заказаны, в частности, Калининской АЭС. На каждом горизонте замеряется до 50 значений параметров водной среды. За год станция может передать до 12000 результатов измерений. По требованию заказчика количество всплываний и горизонты измерений могут изменяться в достаточно широких пределах.

Станция N4 (глубоководная) рассчитана на постановку на глубинах до 4000 (6000) м. В этом случае в ее составе используется промежуточный буй, имеющий систему установки на заданное углубление и шельфовая станция N3.

Станция N5 (для предсказания подводного землетрясения) состоит из станции N4 и дополнительной придонной станции. Она построена на использовании давно известного явления увеличения перед землетрясением концентрации инертных газов за счет выхода газов из грунта, изменения температуры, солености и мутности воды. При их фиксации информация по гидроакустическому каналу передается на всплывающий буй станции N4, которая передает принятые данные по радиоканалу (передатчик устанавливается на всплывающем бую). Всплывающий буй может быть также использован для мониторинга водной среды. Используя эту станцию, вероятно, удастся предсказать землетрясения (цунами) за несколько часов до их начала при вероятности ложной тревоги не хуже 10^{-2} . Станции могут быть расположены далеко от берега. В обеспечение всепогодной передачи информации радиопередатчик выводится в воздух на достаточную высоту с помощью размещаемых на бую ракет, которые стартуют с него же.

Ракеты выходят из воды при любом волнении моря. В верхней точке траектории раскрывается радиоантенна и во время ее спуска на парашюте производится передача сигнала. Предусмотрен вариант связи и через ИСЗ.

Станция N6 (зондовая) опускается с корабля на кабель-тросе, автономность – 1 год. Измерительные модули находятся у нее в корпусе, прием и обработка информации – на корабле. Останавливая станцию на любой заданной глубине, можно получить информацию о составе и параметрах водной среды до глубины 4000 м.

Для обеспечения надежности системы всплытие станции происходит при волнении не более 5 баллов. При большем волнении станция не всплывает, замеренная информация остается в памяти и передается на очередном сеансе по снижению волнения. За год с глубины 100 м станция может всплывать 40 раз.

Если температура воды не превышает $+1^{\circ}\text{C}$, то станция не всплывает (есть опасность повреждения антенны льдом). В этом случае информация по гидроакустическому каналу транслируется на буй, который по радиоканалу передает ее на береговой пост. Живучесть буя зависит от толщины льда и его подвижки. Прочность буя и его якорь-цепь рассчитаны на средний лед Финского залива.

Все названные станции снабжены аварийными датчиками (на случай попадания воды или обрыва буйрепа), срабатывание этих датчиков вызывает сигнал тревоги.

В качестве измерительных модулей используются:

* Модуль физико-химических измерений (малогабаритный масс-спектрометр) – определяет и измеряет ингредиенты водной среды (растворенный кислород, азот аммонийный, нитратный, нитритный, хлориды, сульфаты, фосфаты, тяжелые металлы: железо, медь, ртуть, марганец, кадмий и т.д.).

* Гидрометеорологический модуль – измеряет скорость и направление течения, температуру и соленость воды, заглубление станции, параметры волнения.

* Модуль контроля органических примесей воды (фотофлуориметрический анализатор) – измеряет содержание хлорофилла А (фитопланктон), растворенной органики, нефтепродуктов, фенола; специальными приборами замеряет водородный показатель и мутность воды.

* Модуль радиационных измерений – анализирует радиационную обстановку в точке постановки станции (максимальная экспозиционная доза γ -излучений до – 100 мкР/ч). Может быть поставлен в варианте, предусматривающем возможность измерять и анализировать излучение радионуклидов при уровне активности 10^{-11} – 10^{-14} Кюри/л в зависимости от типа радионуклидов, глубины погружения станции, состава воды. Его использование позволяет различать радионуклиды или группы радионуклидов.

* Модуль гидроакустических измерений – фиксирует шумы в диапазонах, задаваемых заказчиком (от 0,1 Гц до 300 кГц).

Модуль передачи информации обеспечивает связь по УКВ-радиоканалу. Может быть осуществлена связь через искусственный спутник земли или по КВ-радиоканалам, либо через гидроакустический канал.

Состав измерительных модулей и способ передачи информации определяет заказчик.

Габариты станции: диаметр – 534 мм, длина – до 5 м, масса – до 3 т.

Имеется проработка станции, которая может ставиться на глубинах места до 4000 м, сканировать 100-метровую толщу воды и определять еще и состояние воздушной среды на расстоянии до 3 м от водной поверхности.

Перечень определяемых параметров тот же, что и у АПС–ЭКО N3. В воздухе предусматривается измерение направления и скорости ветра, температуры, барометрического давления и высоты облаков до 1000 м.

Проведенные технико–экономические расчеты изготовления и использования АПС–ЭКО N3 для мониторинга водной среды показали, что, если сравнить их результаты с затратами на традиционный метод, применяемый Центром по изучению и контролю загрязнений природной среды г. С.–Петербурга, заключающийся в отборе пробы в контрольной точке с помощью корабля и дальнейшем ее исследовании в лабораторных условиях, то срок окупаемости АПС–ЭКО – 9 мес. (в расчете принят анализ 20 ингредиентов на 4–х горизонтах через каждые 10 сут.). Так как АПС рассчитана на 5-летний срок службы, то переход на наблюдение за водной средой с использованием АПС экономически целесообразен.

Модули физико–химических измерений, органических примесей воды, мутномер могут поставляться самостоятельно для обеспечения лабораторного контроля проб водной среды.

На основе измерительных модулей АПС может быть разработана и станция для анализа воздушной среды как в стационарном, так и передвижном вариантах (с передачей информации по радиоканалу или с записью на ПЭВМ непосредственно на месте).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана. Л.: Гидрометеиздат, 1989 г.
2. Алешин И.В., Семенов Ю.Н., Яковлев В.А. Проблемы защиты Мирового океана от антропогенного загрязнения. Мониторинг, N3, 1995 г.
3. Берто Г.О. Океанографические буи. "Судостроение", Ленинград. 1979 г.
4. Океанографическая энциклопедия. Гидрометеиздат, Ленинград. 1974 г. .

**ОПЫТ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СЛУЖБ ВОЕННЫХ И ГРАЖДАНСКИХ ВЕДОМСТВ США****И.В. КОЗЫРЬ**
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Анализируются правовые, организационные и научно-технические аспекты государственного управления деятельностью гидрометеорологических служб вооруженных сил и гражданских ведомств США.

Отказ от политики конфронтации в международных отношениях и гонки вооружений вызвал «переоценку ценностей» в различных сферах деятельности государственного аппарата недавних идеологических противников как в России, так и в странах НАТО. Особой сложностью, в силу известных причин, отличаются процессы государственного реформирования в нашей стране. Поэтому закономерным является интерес администрации федеральных исполнительных и законодательных органов, а также представителей научного сообщества России к мировому опыту и попытки его практического применения для решения многочисленных национальных проблем. Все это в полной мере можно отнести и к проблемам организации гидрометеорологического обеспечения (ГМО) народного хозяйства и обороны. Наличие разных подходов к реформированию этой важной, наукоемкой и потенциально высокорентабельной сферы производственно-информационной деятельности ярко подтверждается примером рассмотрения проекта Федерального закона «О метеорологической службе», подготовленного в инициативном порядке в аппарате Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Попытка юридического закрепления традиционного ведомственного подхода к решению такой сложной комплексной задачи, без учета опыта программно-целевого планирования и объективных тенденций системной интеграции всех элементов инфраструктуры системы ГМО, независимо от их ведомственной принадлежности, вызвала однозначную отрицательную оценку как законодателей, так и многих авторитетных специалистов. Предполагается, что изложенные ниже материалы окажутся полезными для уточнения позиций оппонентов продолжающейся дискуссии по данной проблеме и непосредственно при подготовке новой редакции проекта Федерального закона «О метеорологической службе».

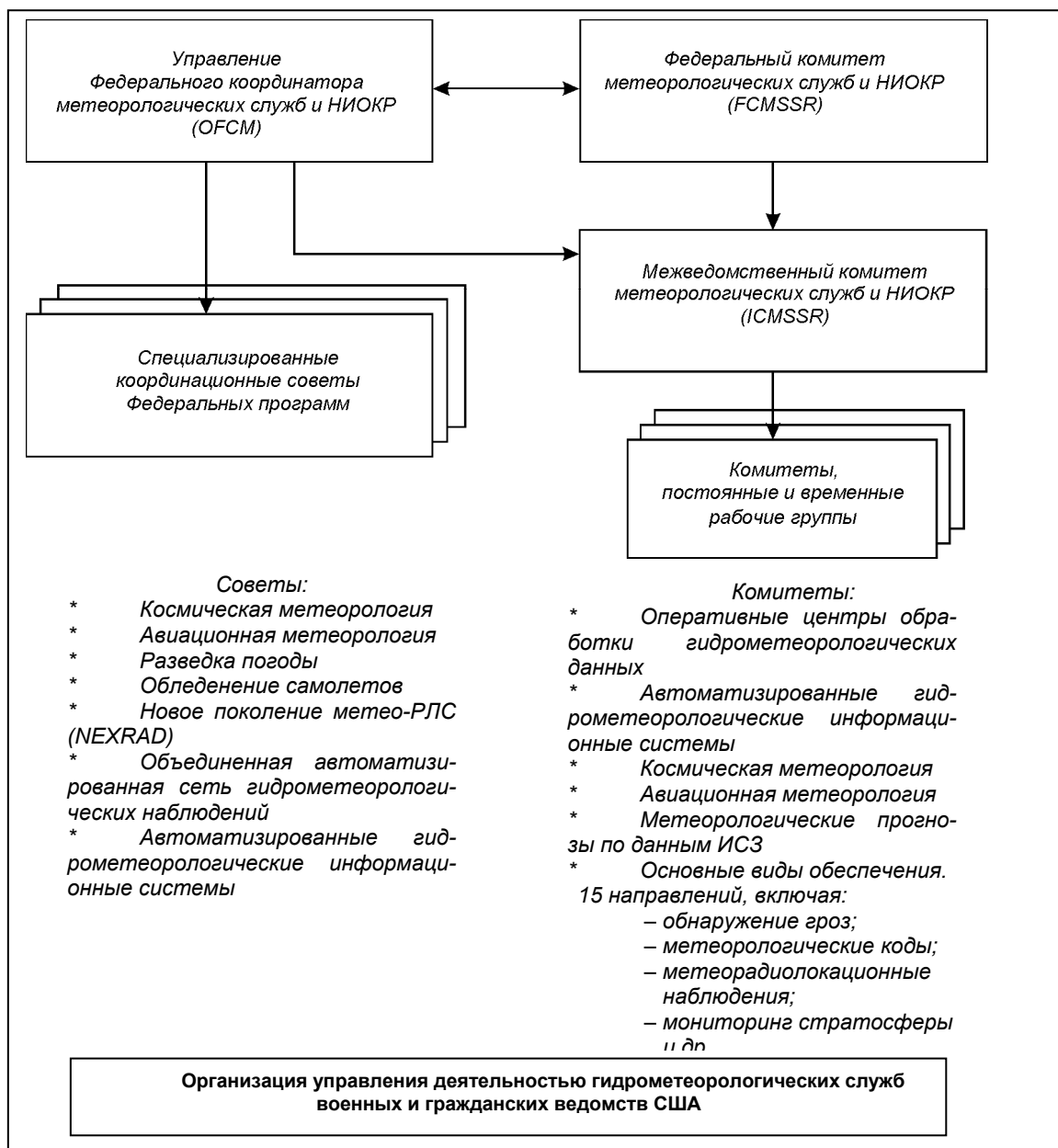
Как известно, государственное управление деятельностью в области ГМО осуществляется по следующим направлениям:

- нормативно-правовое регулирование;
- финансовое планирование;
- экономическое стимулирование.

Как правило, все эти направления конкретизируются в рамках комплексных целевых программ. Их дополняют также мероприятия по проведению единой научно-технической политики, включая вопросы стандартизации и унификации средств, методов, системотехники, информационного обеспечения и управления качеством ГМО.

Для США отправной точкой в переходе к принципам централизованного управления ГМО является принятие в 1963 г. закона, запрещающего дублирование программ в области гидрометеорологии, проводимых в различных ведомствах, и возлагающего функции федерального координатора, ответственного за контроль над деятельностью гидрометеорологических служб военных и гражданских ведомств, на Национальное управление по исследованию океана и атмосферы (NOAA) при Министерстве торговли США. NOAA является основной, но не монопольной организацией в системе государственного управления ГМО. Основным исполнительным органом в NOAA (рисунок) является Управление федерального координатора гидрометеорологических служб и выполняемых по их заказам НИОКР. В состав Управления входят федеральный координатор; первый заместитель федерального координатора; четыре заместителя, пред-

ставляющие интересы Министерства торговли, Министерства транспорта, Военно-морских сил (ВМС) и Военно-воздушных сил (ВВС); 17 специалистов и лиц обслуживающего персонала. В той или иной степени к деятельности Управления привлекаются около 450 сотрудников метеорологических служб и других организаций, участвующих в работе комитетов, постоянных и временных рабочих групп, деятельность которых координируется Управлением [1].



Управление федерального координатора проводит в жизнь научно-техническую политику, важнейшие положения которой разрабатываются Федеральным комитетом метеорологических служб и НИОКР, основным рабочим органом которого является межведомственный координационный совет, в деятельности которого принимают участие руководители метеорологических служб и высшей администрации 14-ти гражданских и военных ведомств, включая ВМС, ВВС, Сухопутные силы, NASA, NOAA, Министерство транспорта, Министерство энергетики и др.

Основным документом, регламентирующим деятельность гидрометеорологических служб, включая определение приоритетов научно-технической политики и объемов финансирования, является Федеральный план деятельности метеорологических служб и НИОКР. В подготовке и обосновании плана принимают непосредственное участие 7 специализированных советов под руководством Федерального координатора, но подотчетных Федеральному комитету (см. рисунок).

Оперативное взаимодействие ведомственных гидрометеорологических служб по различным организационным и научно-техническим вопросам осуществляется в рамках деятельности многочисленных постоянных и временных рабочих групп и комитетов, подчиненных Межведомственному комитету метеорологических служб и НИОКР. К задачам последнего относятся:

- обобщение информации различных ведомств о достижениях и проблемах в области гидрометеорологии;
- разработка предложений по координации совместной деятельности при решении проблем ГМО;
- сбор, обобщение, анализ и регламентация требований к ГМО; обоснование и подготовка межведомственных и федеральных протоколов, стандартов и предложений в программы НИОКР и Федеральный план деятельности метеорологических служб и НИОКР.

Начало 90-х годов в США ознаменовалось принятием целого ряда политических решений в области гидрометеорологии и экологии, в которых нашли отражение следующие аспекты. Во-первых, существенно изменились подходы к оценке вклада гидрометеорологии и экологии в национальную экономику, которые рассматриваются сейчас как один из важнейших ее секторов и перспективных инвестиционных направлений. По оценкам [2], в этом секторе осваивается ежегодно 134 млрд. дол. и насчитывается около 1 млн. рабочих мест. К 2000-му году эти показатели должны увеличиться до 200 млрд. дол. в год и 1,3 млн. рабочих мест, соответственно. С этим направлением непосредственно связана деятельность вице-президента США Э.Гора и специальной рабочей группы из представителей высшей администрации, направленная на укрепление международных позиций США в различных областях природопользования, а также быструю индустриализацию и коммерциализацию информационного производства в гидрометеорологии и экологии с последующим захватом лидерства в этом секторе мирового рынка товаров, услуг и технологий.

Во-вторых, на основании многолетних исследований по изучению влияния окружающей среды на эффективность применения сил и средств в вооруженных конфликтах различного уровня интенсивности прикладные разработки в области гидрометеорологии в интересах вооруженных сил были отнесены к «критическим», а затем (с учетом изменений бюджетной классификации НИОКР, выполняющихся по заказу МО), – к «ключевым» технологиям под условным наименованием «окружающая среда боевых действий»[3].

В-третьих, правительственный курс на сокращение государственного долга отошел к переходу к режиму строгой экономии по всем направлениям, включая финансирование деятельности гидрометеорологических служб и НИОКР, выполняющихся по их заказам. В частности, объем финансирования NOAA в 1996 фин.г. был определен в 1,705 млрд. дол. [4], т.е. на 15 % меньше по сравнению с 1995 фин.г. (2,0 млрд. дол.)^{*}. Одновременно на 38,5 % (то есть на 196 млн. дол.) сокращены расходы на выполнение космических программ в интересах оперативного ГМО. Логическим звеном такой политики является издание специальной директивы президента США о создании нового административного подразделения – Управления объединенных программ (Integrated Program Office) для координации деятельности Министерства обороны, NOAA, и NASA при выполнении космических программ в области метеорологии и изучения природных ресурсов, а также начало работ по созданию Национальной системы полярно-орбитальных метеорологических ИСЗ - NPOOSES (National Polar Orbit Operational Satellite

^{*} При общем объеме федеральных расходов 1539 млрд.дол., т.е. на уровне 1,3% от последних.

Environmental System) на основе объединения военной программы DMSP и программы NOAA [5]. Предполагается, что в состав орбитальной группировки новой системы войдут 3 ИСЗ на солнечно-синхронных орбитах (вместо 4-х космических аппаратов в составе систем DMSP и NOAA). Это позволит, с учетом проводимых организационных мероприятий, сэкономить около 300 млн. дол. до 2000-го года и 1,3 млрд. дол. в последующий период.

Кроме того, под руководством Бюро научно-технической политики при правительстве США начата разработка плана объединения национальных систем военных и гражданских метеорологических спутников с элементами международной системы EOS (Earth Observation System)[6].

Еще одним направлением деятельности правительства США является создание специальной межведомственной оперативной рабочей группы - MEDEA для оценки состояния, научного и экономического значения охраняемых гидрометеорологических и гидрографических данных, накопленных ВМС США за долгие годы холодной войны. Уже на начальных этапах работы этой группы командованием Управления океанографии и метеорологии ВМС было принято решение о рассекречивании значительных объемов океанографических данных и открытии к ним доступа американских научно-исследовательских организаций.

На эту рабочую группу возложено также решение задач по определению рациональных процедур регламентированного доступа к информационным ресурсам ВМС для различных категорий потребителей с учетом научных, прикладных и экономических аспектов и интересов национальной безопасности.

Актуальность данной проблемы связана с высоким уровнем автоматизации американских оперативно-прогностических центров гидрометеорологических служб гражданских и военных ведомств, функционирующих в составе высокоскоростных вычислительных сетей и систем обмена данными. Эффективность сетевого взаимодействия обеспечивается жесткой технической политикой по стандартизации и унификации средств системотехники и информационного обеспечения с ориентацией на широкое использование объектно-ориентированных программных сред с возможностями организации распределенной и параллельной обработки, а также удаленного телекоммуникационного доступа в реальном масштабе времени. Приведем несколько примеров достижений в этой области.

В 1995 г. в соответствии с решением Управления НИОКР МО США в рамках специальной программы по внедрению ЭВМ высокой производительности в Центре численных гидрометеорологических прогнозов (ЦЧГМП) ВМС США (Монтерей, шт. Калифорния) была установлена новейшая супер-ЭВМ CRAY-Y-MP90. При этом по соглашению между командованием ВМС и руководством Национальной метеорологической службы ЦЧГМП был определен в качестве единственного центра МО по моделированию глобальных процессов в океане и атмосфере, а также в качестве резервного центра Национальной метеорологической службы. К настоящему времени решены технические проблемы доступа пользователей гражданских ведомств к информационным ресурсам ЦЧГМП на основе выделения специальных портов в системе распространения океанографических данных ВМС - NODDS (Navy Oceanographic Data Distribution System) и свободно распространяемой (в том числе по каналам вычислительной сети INTERNET) специальной «гражданской» версии пакета прикладных программ абонентского комплекса этой системы [7]. Таким образом, обеспечивается регламентированный доступ различных категорий пользователей с сохранением привилегированного статуса военных абонентов.

ЦЧГМП совместно с Национальным гидрометеорологическим центром участвует в программе разработки информационной технологии распределенной обработки гидрометеорологических данных и комплексирования прогнозов, подготовленных этими центрами. Это обеспечивает существенное повышение общей производительности вычислительной сети, устойчивости ее функционирования и достоверности гидрометеорологических прогнозов [5].

Одним из важнейших рычагов государственного управления системы ГМО является Федеральный план деятельности гидрометеорологических служб и обеспечивающих НИОКР, определяющий порядок и объемы их финансирования, приоритеты научно-технической политики и основные организационные вопросы. Структурные характеристики бюджета Федерального плана до недавнего времени отличались относительной стабильностью. Объемы финансирования в относительных показателях для гидрометеорологических служб различных ведомств составляли, %:

- Министерство торговли (NOAA)25-30;
- Министерство обороны40-45;
- В том числе:
 - * ВВС30-35;
 - * ВМС8 -10;
 - * Сухопутные войска2 - 3;
- Федеральное авиационное агентство18-20;
- NASA.....10-12;
- остальные ведомства.....< 2.

Восемьдесят процентов бюджета приходится на эксплуатационные расходы, а остальное на НИОКР. При этом большая часть средств предназначена для обеспечения функционирования и развития наблюдательной сети (таблица).

Распределение бюджетных средств по различным направлениям деятельности

Направления деятельности	Усредненные составляющие расходов, %	
	эксплуатационных	на НИОКР
Наблюдения	40	70
Анализ и прогноз	20 – 25	15
Распространение гидрометеорологической информации	1 – 13	2 – 5
Связь	6 – 8	–
Планирование, инженерно-техническое обеспечение, обучение персонала	12 – 15	10 – 12

Установка на достижения максимальных экономических показателей производственной деятельности военных и гражданских гидрометеорологических служб обуславливает появление таких форм взаимодействия с потребителями как выполнение специальных расчетов на коммерческой основе. В частности, такие услуги по обоснованию оптимальных маршрутов движения судов и полетов самолетов гражданской авиации выполняют прогностические центры ВМС и ВВС в Монтерее и Оффуте.

Кроме того, метеорологическими службами вооруженных сил предоставляются услуги по аренде машинного времени высокопроизводительных вычислительных комплексов и гидрометеорологической техники. Подразделения авиационной метеорологической разведки ВВС являются к тому же одним из элементов федеральной системы слежения за тайфунами.

Таким образом создаются все необходимые предпосылки для эффективного научно-технического сотрудничества и интеграции информационных ресурсов гидрометеорологических служб различных ведомств. Характерными примерами подобной кооперации является Межведомственная программа арктических буев (с участием Национальной океанографической службы, Океанографической службы ВМС и Национального научного фонда), Программа создания доплеровских метео-РЛС нового поколения-NEXRAD (с участием Национальной метеорологической службы, Федерального авиационного агентства, ВМС и ВВС), Международная программа по созданию Глобальной системы океанографических наблюдений - GOOS (с участием NOAA, NASA, Океанографического управления ВМС, Национального научного фонда) и другие программы.

Среди них следует выделить Программу создания мобильных метеорологических средств [8]. По сути дела в данной программе реализованы основные выводы из анализа опыта ГМО боевых действий в Персидском заливе. Речь идет о тенденции быстрой эволюции и стирании принципиальных отличий между военными и гражданскими разработками аппаратуры общего назначения. В частности, последние разработки метеорологических приборов нового класса «наручного исполнения» (объемом менее 5 см³) на основе внедрения достижений в области микроэлектромеханики (MEMS-технологий), выполняющиеся по заказу Управления программ перспективных исследований (DARPA) МО США непосредственно ориентированы на возможности реализации требований других потенциальных потребителей, принадлежащих к гражданским ведомствам, и передачу в коммерческое производство. Такая адаптация достигается благодаря использованию архитектуры и системотехники открытых вычислительных систем и широкому использованию коммерческих разработок микропроцессорной техники, средств телекоммуникаций и датчиков гидрометеорологических параметров.

Все это позволяет дать высокую оценку эффективности государственного управления в области гидрометеорологии и высказать предположение о сохранении США лидирующего положения на мировом рынке данных услуг и технологий в ближайшие 5-10 лет, а также сделать следующие выводы:

* в ходе эволюции форм и методов государственного управления деятельностью национальных гидрометеорологических служб к концу 80-годов в США оказался возможным переход к полномасштабному внедрению в этой области механизмов программно-целевого планирования;

* уровень развития вычислительных сетей и средств телекоммуникаций в сочетании с эффектом программно-целевого планирования к настоящему времени позволяет приступить к решению задачи интеграции информационных ресурсов национальных гидрометеорологических служб с использованием методов и процедур распределенной и параллельной обработки при существенном улучшении экономических показателей и функциональных возможностей объединенных систем ГМО;

* государственное управление технической политикой, включая вопросы унификации и стандартизации парка технических средств и информационных технологий ГМО, обеспечивает эффективное решение как экономических проблем, так и проблем национальной безопасности (в части формирования мобилизационных ресурсов на базе гидрометеорологических служб гражданских ведомств);

* отличительной чертой современной политики правительства США в области ГМО является стимулирование коммерциализации этого сектора национальной экономики в целях уменьшения федеральных расходов и повышения его конкурентоспособности на мировом рынке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World wide web - адрес в системе Internet: <http://www.cominfo.nws.noaa.gov/oso/ofcm.htm>.
2. Sea Technology, January, 1995, p.8-13.
3. International Defense Review, 1994, N10, p.13.
4. Aviation Week and Space Technology, May 1, 1995, p.27.
5. Sea Technology, January, 1995, p.13-17.
6. Scientific Utility of Naval Environmental Data// A MEDEA Special Task Force Report, June 1995.
7. World wide web - адрес в системе Internet: <http://www.cominfo.nws.noaa.gov/meteo/nodsmain.htm>.
8. World wide web -адрес в системе Internet: http://www.cominfo.nws.noaa.gov/oso/mmet_m.htm.



МОРСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

ГРНТИ 78.21.39.17:78.21.37

ПРИНЦИПЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСА СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ГИДРОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ В ЦЕЛЯХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МОРСКОЙ СРЕДЫ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ЕЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

К.Г.СТАВРОВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Обоснована актуальность разработки методологии комплексных гидрографических и геофизических исследований для контроля состояния морской среды и выявления источников ее загрязнений в целях предотвращения чрезвычайных экологических ситуаций. Изложена концепция формирования аппаратно-методического эколого-геофизического комплекса на базе средств и методов "двойного применения. Среди основных принципов создания такого комплекса указаны необходимость использования геоинформационных систем (ГИС), а также обеспечение методического и информационного сопряжения с территориальными и ведомственными автоматизированными системами управления экологической безопасностью.

В соответствии с Постановлением Совета Министров – Правительства Российской Федерации от 24 ноября 1993г. N 1229 "О создании Единой государственной системы экологического мониторинга (ЕГСЭМ)" МО РФ поручена разработка мероприятий по применению средств и систем военной техники (ВТ) для наблюдения за состоянием окружающей природной среды. Помимо обеспечения ЕГСЭМ образцами ВТ двойного применения на МО возложена организация мониторинга окружающей природной среды и источников воздействия на нее на военных объектах. Однако методическое обеспечение таких работ и, в частности, единая концепция использования комплекса средств и методов военной гидрографии и геофизики в интересах контроля загрязнений морской природной среды, в настоящее время недостаточно разработаны. Необходимость формирования аппаратно-методического эколого-гидрографического комплекса диктуется также собственными интересами ВМФ, связанными в первую очередь с задачами проведения обследования и экомониторинга новых районов базирования.

Кроме того в ближайшее время ожидается значительное увеличение объема перевозок нефте- и газопродуктов через акватории Балтийского (включая Финский залив) и Баренцева морей как трубопроводным, так и надводным транспортом – при ужесточении требований к допустимым уровням загрязнения водной среды, определенным Международной морской конвенцией (МАРПОЛ 73/78), и требованиями к эксплуатации судов Морского регистра РФ. В частности, развертывание морских нефтегазодобывающих комплексов на российском шельфе (в том числе в непосредственной близости от зон ответственности ВМФ) ставит задачу предотвращения и ликвидации последствий возможных чрезвычайных ситуаций и аварий на море с участием как гражданских, так и военных судов.

Таким образом, можно сделать вывод об актуальности разработки методологии использования комплекса средств и методов военной гидрографии и геофизики для контроля загрязнений природной среды, предотвращения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и аварий с экологическими последствиями, предусматривающей:

- исследование принципов и разработку концепции применения средств и методов гидрографических и геофизических исследований в интересах экомониторинга;
- обоснование требований по структуре и составу аппаратно-методического эколого-геофизического комплекса;
- исследование методов и разработку технологии проведения комплексных гидрографических и геофизических съемок в целях выявления акваторий с напряжен-

ной экологической ситуацией, оценки динамики и прогноза техногенных изменений морской среды, в том числе в зонах ответственности ВМФ;

- обоснование рекомендаций по оптимальной организации экомониторинга акваторий в интересах информационной поддержки управленческих решений, включая требования по управлению техногенным риском и его минимизации при размещении и передислокации объектов ВМФ;

- разработку методов оценки эффективности использования плавучего эколого-геофизического комплекса в интересах экомониторинга.

В качестве первого этапа этих исследований целесообразно проведение анализа:

- основных ТТХ и возможности "двойного применения" существующих технических средств военной гидрографии и геофизики;

- применяемых в ГС ВМФ методик съемок геофизических полей и рельефа дна, выполняемых с различных носителей;

- методов автоматизированной обработки материалов съемок и формирования банков данных и информационных фондов.

На основе результатов этого анализа с учетом возможностей комплексирования отдельных видов работ при проведении морских геоэкологических исследований может быть сформирован перечень параметров природной среды и загрязнителей, контролируемых с помощью комплекса указанных технических средств.

Необходимо исследовать особенности использования геофизической аппаратуры, средств площадного обследования акваторий и аэрокосмического мониторинга на различных стадиях контроля природной среды в зонах ответственности ВМФ, включая этапы:

- выбора и подготовки района базирования (анализ данных государственных кадастров природных ресурсов, оценка экологической емкости среды, учет наличия особо охраняемых природных территорий, водоохранных и других зон с ограниченным или особым режимами природопользования);

- эксплуатации кораблей, судов, отдельных образцов ВТ и береговых сооружений ВМФ (контроль лимитированных сбросов и выбросов в ОПС, выявление несанкционированных сбросов, проведение экомониторинга);

- восстановления природно-ресурсного потенциала среды, нарушенного вследствие деятельности сил и средств флота (оценка реального состояния морской среды, необходимости проведения мероприятий по искусственному восстановлению/воспроизводству утраченных ею качеств с целью повышения ассимиляционной емкости локальной экосистемы).

При разработке технологии планирования и использования данных гидрографических и геофизических съемок, включая наблюдения с подводных и аэрокосмических аппаратов, в интересах контроля экологической обстановки на акваториях целесообразно исходить из следующих принципов организации системы регионального экомониторинга [1]:

- проблемной организации мониторинга;
- открытости системы для развития;
- единства системной триады "управление–мониторинг–экологическая экспертиза";

- приоритета управления (организационной иерархии системы);

- информационной открытости мониторинга;

- оперативности (ориентации на принятие решений).

В связи с этим возникают требования методического и программного сопряжения создаваемого аппаратно-методического комплекса с территориальными и ведомственными автоматизированными системами экомониторинга и управления экологической безопасностью, что приводит к необходимости разработки методов оценки и прогнозирования уровня экологической безопасности и оценки риска для каждого опасного объекта и для отдельных районов акваторий с прилегающими территориями в целом. Особо должны рассматриваться эти вопросы для закрытых административно-

территориальных образований [2], расположенных в береговой зоне. Например, для акваторий Финского залива вблизи ЛАЭС, в районе 30-километровой зоны которой функционируют как территориальная система экологической безопасности г. Сосновый Бор, так и ведомственные автоматизированные системы экомониторинга.

При обосновании концепции применения эколого-геофизического комплекса целесообразно предусмотреть возможность использования материалов подсистемы аэрокосмического мониторинга в интересах экомониторинга акваторий и ее информационное сопряжение с комплексом.

В качестве важной составной части концепции следует предусмотреть обоснование путей использования создаваемого комплекса для поиска и обследования районов затопления контейнеров с отходами военных (вредных) производств, например, с отработанным радиоактивным топливом, с трофейными химическими боеприпасами, обычными боеприпасами с вышедшими сроками хранения и другим военным и гражданским снаряжением, а также при необходимости для обеспечения работ по ликвидации подобных свалок [3].

На следующем этапе исследований необходимо разработать основные тактико-технические требования к созданию плавучего автоматизированного эколого-геофизического комплекса. Он может быть создан на базе судна-носителя (СН) типа гису ледового класса [4]. Комплекс должен иметь модульную структуру, помимо штатных судовых навигационных, геофизических, гидрографических и океанографических средств в него должны войти специально разрабатываемая аппаратура и измерительные датчики, размещаемые как непосредственно на судне, так и на подводных аппаратах (ПА), входящих в состав комплекса [5].

При разработке методического обеспечения комплекса целесообразно детально исследовать вопросы применения геофизических методов для исследования наличия и распространения загрязнений в морской среде, анализа структуры водного слоя и донных осадков [6]. Должны быть исследованы возможности использования плавучего эколого-геофизического комплекса для контроля параметров среды, непосредственно влияющих на состояние живых организмов и здоровье человека (например, мощных электрических полей, магнитных бурь), выявления и локализации геопатогенных зон.

Существующие способы исследования геофизических аномалий (магнитометрических, гравиметрических, гидроакустических, электромагнитных и др.) необходимо адаптировать применительно к выявлению мест несанкционированных сбросов и затоплений веществ и предметов с различными физико-химическими (магнитной проницаемостью, проводимостью, плотностью, радиоактивностью, отражательной способностью и др.) свойствами, локализации и контроля целостности проводящих структур техногенного происхождения (электрических кабелей, трубопроводов и т.п.).

В частности, в интересах экологической безопасности при строительстве и эксплуатации морских газо- и нефтепроводов рассматриваемый судовой комплекс должен обеспечивать решение следующих задач [4]:

- обследования рельефа дна, выявления предметов техногенного происхождения, распределения поля скоростей течений и других гидрофизических параметров в полосе проектируемого трубопровода;
- координирования покладки труб на дно и контроля их положения на грунте и в нем;
- контроля заносимости (заиливания) трубопровода и вымывания грунта;
- контроля текущего состояния целостности трубопровода, оперативного обнаружения утечек на трассе и мест разрывов труб.

Для решения задач поиска и экомониторинга мест затоплений контейнеров с радиоактивными, взрывчатыми, отравляющими веществами, боеприпасов и других опасных донных объектов, обладающих собственным магнитным полем, структура аппаратно-программного обеспечения комплекса должна строиться на базе использования методов пассивной геофизической навигации для определения места и параметров движения ПА и их СН относительно естественных и искусственных аномалий физических полей [7,8]. Применение активных методов, связанных, например, с расстановкой донных маяков-ответчиков в районах затоплений опасных веществ, может быть связано с повышенной опасностью.

В программное обеспечение комплекса помимо задач сбора данных о параметрах морской среды необходимо включить специализированные модули, обеспечивающие:

- анализ экологического состояния акватории и, в частности, расчет интегральных показателей допустимых антропогенных воздействий и нагрузок;
- моделирование и прогноз экологической обстановки на отдельных объектах ВМФ и акватории в целом; а также экспертную систему, обеспечивающую контроль выполнения требований экологической безопасности с учетом природных особенностей конкретной акватории и информационную поддержку принятия управленческих решений по предотвращению чрезвычайных экологических ситуаций.

В требованиях к базовому программно-методическому обеспечению комплекса следует также предусмотреть использование современных геоинформационных технологий, обеспечивающих создание цифровых экологических карт, автоматизированное графическое отображение информации о природной среде, привязку систем моделирования и прогноза экологической обстановки к картографической основе.

Составной частью методического обеспечения комплекса должны стать рекомендации по использованию материалов аэрокосмических съемок (МАКС) для оценки общего состояния и изменений экологической обстановки на акваториях, включая выявление источников загрязнений и других объектов, воздействующих на природную среду, характера и зон их влияния.

Эти рекомендации должны предусматривать выбор рационального комплекса аэрокосмических исследований для конкретных акваторий, определения требований к МАКС (по виду – многозональные, радиолокационные и т.д.; наиболее информативным зонам спектра; уровню генерализации; разрешающей способности; другим параметрам съемок) и их дешифрированию. Рекомендации должны содержать методику проведения тестовых натурных исследований с помощью эколого-геофизического комплекса, включая как площадное обследование акватории, так и отбор проб, проведение геофизических зондирований, гидрохимических исследований и т.д. на сети станций, формируемой с учетом анализа МАКС.

Заключительным этапом исследований и разработок по рассматриваемой проблеме должна стать практическая проверка созданного аппаратно-методического комплекса и его алгоритмического и программного обеспечения. Для этого целесообразно проанализировать экологическую ситуацию на одной из акваторий, достаточно обеспеченной данными гидрографических, геофизических и аэрокосмических съемок с привлечением при необходимости материалов экологического мониторинга на прилегающих территориях. На основе натурных данных и типовых моделей морских экосистем, адаптированных к реальным физико-географическим условиям акваторий, составить для этого района схемы техногенной нарушенности природной среды, источников загрязнений воздушного и водного бассейнов, динамики природных явлений и т.п. При необходимости разработать предложения и рекомендации по первоочередным природоохранным мероприятиям.

В дальнейшем с учетом результатов опытной эксплуатации комплекса разрабатывается методика оценки эффективности его применения для контроля состояния морских экосистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экоинформатика. Теория. Практика. Методы и системы. / Под ред. Савранского В.А.-СПб.: Гидрометеиздат, 1992. - 520 с.
2. Петров В.В. Экологическое право России.- М.: Издательство БЕК, 1995.-557с.
3. Ставров К.Г. Особенности применения геофизических методов для обследования и экомониторинга районов затоплений опасных веществ. //Тезисы докладов Второй Всероссийской научно-технической конференции "Современное состояние, проблемы навигации и океанографии". СПб.: "Судостроение", 1995. С.109.
4. Горшков В.Н., Демин Б.Н., Ставров К.Г. Гидрографо-геофизический комплекс обеспечения поиска и обследования донных объектов при строительстве и эксплуатации подводных трубопроводов и ликвидации аварий с экологическими последствиями на море. //Материалы Второй Международной конференции "Освоение шельфа арктических морей России" (РАО'95), С.-Петербург, 18-22 сентября 1995.-СПб.,1995.
5. Горшков В.Н., Демин Б.Н., Ставров К.Г. Использование необитаемых подводных аппаратов при обследовании затонувших объектов. //Материалы Первой Международной конференции по морским интеллектуальным технологиям (МОРИНТЕХ-95). СПб., 1995. С.58.
6. Артамонов Л.В., Ставров К.Г. Использование геофизических модификаций электромагнитного зондирования для исследования слоистых структур океана с движущегося судна. //Тезисы докладов Первой Всероссийской конференции "Современное состояние, проблемы морской и воздушной навигации". СПб.: "Судостроение", 1992. С.133-134.
7. Демин Б.Н., Ставров К.Г., Егоров М.Ю. Экспериментальная оценка погрешности определения места судна по геофизическим полям. //Тезисы докладов Первой Всероссийской конференции "Современное состояние, проблемы морской и воздушной навигации". СПб.: "Судостроение", 1992. С.145-146.
8. Гузевич С.Н., Ставров К.Г., Филабок Н.Н. Об использовании магнитных измерений с необитаемых подводных аппаратов для повышения точности магнитной съемки в ограниченных районах акватории в интересах навигации //Тезисы докладов Первой Всероссийской конференции "Современное состояние, проблемы морской и воздушной навигации". СПб.: "Судостроение", 1992. С.134-135.



КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ, СЕМИНАРЫ

ГРНТИ 78.21.41.19;78.21.37.15;78.21.36.17.15

“МОРСКАЯ ИСТОРИЯ КАЗАЧЕСТВА” – НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, ПОСВЯЩЕННАЯ 300-ЛЕТИЮ РОССИЙСКОГО ФЛОТА

Конференция “Морская история казачества”, посвященная 300-летию Российского флота, состоялась 25–26.09.96 г. в Санкт-Петербурге. Она была организована на базе ГУНиО МО РФ Гидрографическим обществом, Северо-Западным филиалом Российского НИИ культурного и природного наследия, Центром изучения истории и культуры казачества.

Конференцию открыл заместитель начальника ГУНиО МО контр-адмирал В.А.Солодов. Об идее и программе конференции сделал сообщение президент Гидрографического общества, профессор, д.т.н. Н.Н.Неронов.

Рабочая программа конференции включала 19 докладов, посвященных различным аспектам деятельности казачества на море. Наибольший интерес у присутствующих вызвали выступления Б.Г.Попова – “Вклад казачества в исследование рек и океанов”; Б.А.Алмазова (атаман Северо-Западного казачьего округа) – “Казачество как хранитель традиций мореходства Севера и Юга России”, а также доклады ряда специалистов о роли казачества в истории исследований морей и рек Российского Севера, Сибири и Дальнего Востока (В.Г.Смирнов, Д.Т.Тимофеев и др.).

При подведении итогов конференции за круглым столом участники обменялись мнениями по вопросу: “Флот и казачество: перспективы сотрудничества”.

“РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО И ФЛОТ” – 6-я КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ГЕОГРАФИИ И КАРТОГРАФИРОВАНИЮ ОКЕАНА РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА, ПОСВЯЩЕННАЯ 300-ЛЕТИЮ РОССИЙСКОГО ФЛОТА

Конференция состоялась 8–10.10 96 г. в г.Санкт-Петербурге. В ходе ее работы значилось заслушивание 36 докладов. Девять из них были включены в программу пленарного заседания, которое своим обзором «К истории связей и сотрудничества Русского географического общества и флота» открыл председатель Географического общества, д.т.н. А.П.Алхименко. За ним последовали доклады председателя Гидрографического общества, профессора, д.т.н. Н.Н.Неронова – «Русское географическое общество и Гидрографическая служба Военно-Морского Флота» и Начальника ГУНиО МО РФ, вице-адмирала А.А.Комарицына «Международная деятельность Гидрографической службы ВМФ России».

На состоявшихся круглых столах и в дискуссиях обсуждались различные аспекты деятельности Географического общества во взаимосвязи с интересами отечественного флота. В принятом по итогам проведения конференции решении была особо подчеркнута роль русской географии как науки в становлении и развитии флота, обеспечении его выхода в океан и необходимость уделения самого серьезного внимания проблемам финансирования проводящихся исследований, укрепления и развития международных связей на базе широкой кооперации.

В выпущенный по решению Географического общества специальный сборник научных трудов «Русское географическое общество и флот» вошли все научные труды и тезисы докладов, представленные на конференции.

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕМИНАР
«ПРОБЛЕМЫ НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО
И ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТ
ПО ОСВОЕНИЮ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В АРКТИКЕ»**

В период 29-30 октября 1996 г. в Государственном научно-исследовательском навигационно-гидрографическом институте МО РФ проведен научно-технический семинар «Проблемы навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения работ по освоению нефтегазовых месторождений в Арктике», в котором приняли участие представители 30 организаций РФ и Украины.

На семинаре было представлено 30 докладов по отдельным аспектам навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения (НГГМО) работ по освоению нефтегазовых месторождений на шельфе арктических морей России. Центральной темой стало обсуждение результатов выполненного под руководством Института технического проектирования системы навигационного обеспечения морских и воздушных перевозок в составе проекта «Обустройство Приразломного нефтяного месторождения».

Участники семинара одобрили практику использования Гос.НИНГИ, - головного института России по вопросам технической политики в области навигации, гидрографии, морской картографии и океанографического обеспечения, - в качестве организации, имеющей возможность сформировать работоспособный конгломерат исполнителей и на высоком уровне решить поставленную перед ними задачу комплексного НГГМО.

Отмечен комплексный подход, использованный в ходе технического проектирования системы навигационного обеспечения морских и воздушных перевозок для Приразломного нефтяного месторождения (ПНМ), обеспечивающий использование одних и тех же технических средств для решения различных задач - управления движением судов, воздушным движением, мониторинга ледяного покрова, а также при обеспечении разных этапов буксировки морской ледостойкой платформы (МЛСП), ее установки и эксплуатации.

По общему мнению участников семинара крайне важным при проектировании комплексной системы НГГМО является:

- совмещение инвестиционных, материальных и людских ресурсов организаций-участников работ и различных ведомств;
- строгое соблюдение на всех этапах проектирования и эксплуатации требований международных и отечественных руководящих и нормативно-технических документов.

Для ликвидации наметившегося от плановых сроков реализации проекта обустройства ПНМ отставания, способного привести к задержкам в проведении работ по освоению месторождений на арктическом шельфе, необходимы:

- развитие высокоточной навигационной сети в районах добычи и транспортировки морских углеводородов – станций передачи дифпоправок системы ГЛОНАСС-НАВСТАР в радиомаячном диапазоне (300 кГц), а также радиогеодезического комплекса «Крабик»;
- конкретизация и развитие инфраструктуры промыслов – аэродромов, мест стоянок и укрытий судов существующей навигационной сети (с проведением предварительных рекогносцировок для определения необходимого объема ее доразвития);
- определение иерархической структуры управления промыслами и взаимосвязи ее отдельных систем;
- проведение морских изыскательских работ – прежде всего в местах установки и буксировки МЛСП – площадной съемки рельефа дна, уточнение гидрологических, ледовых, гидрометеорологических характеристик, которые непосредственно влияют на выбор технических решений по средствам НГГМО.

По результатам обсуждения результатов технического проектирования системы навигационного обеспечения морских и воздушных перевозок для Приразломного нефтяного месторождения участники семинара пришли к следующим выводам:

1. Считать, что техническое проектирование системы навигационного обеспечения морских и воздушных перевозок выполнено в соответствии с техническим заданием и в полном объеме. Результаты технического проектирования целесообразно положить в основу при проведении дальнейших работ.

2. Рекомендовать к рассмотрению для включения в «Локальные технические условия» результаты расчетов экстремальных характеристик ветрового волнения по усовершенствованию принятой спектрально-параметрической модели.

3. Считать целесообразным:

- выполнить моделирование ледового шторма и его воздействия на МЛСП;
- подготовить авиационное климатическое описание района ПНМ и предложения по категорированию аэродромов и мест базирования авиации (в том числе на МЛСП и терминале), исходя из условий необходимости обеспечения заданной регулярности полетов воздушных судов;
- осуществить согласование и представить Заказчику документ «Общие технические требования по навигационному и гидрометеорологическому оборудованию объектов нефтегазовых промыслов на арктическом шельфе России»;
- продолжить формирование баз данных по гидрометеорологическому режиму Баренцева моря в рамках единой согласованной программы;
- адаптировать существующие технологии анализа и прогноза гидрометеорологической обстановки, в том числе ледовых условий, к решению задач специализированного обеспечения ПНМ;
- провести комплексную экспертизу МЛСП на электромагнитную совместимость.

4. Сформировать рабочую группу, – с участием ведущих специалистов участвующих в проектировании ПНМ организаций, – для координации дальнейших работ и согласования их текущих результатов. Предложения по составу рабочей группы направить в Гос.НИНГИ МО РФ к 15.12.96 г.

Доклады, представленные на семинаре, было рекомендовано опубликовать в специальном выпуске журнала «Навигация и гидрография» (1997 г., № 4).

ОЧЕРЕДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ РОССИЙСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ИНСТИТУТА НАВИГАЦИИ

Проведение очередной конференции Северо-западного (Санкт-Петербургского регионального отделения Российского общественного института навигации) организовал Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт.

На конференции был заслушан доклад вице-президента РОИН В.С.Макоды. "Навигация XXI века" и сообщения Р.Н.Черняева (ЦНИИ МФ) и Ю.Н.Сарайского (Академия гражданской авиации) о работе международных организаций ИМО и ИКВО по разработке требований к навигационному обеспечению подвижных объектов.

О работе регионального отделения РОИН за период с 1992 г. по настоящее время отчитался его председатель С.П.Алексеев.

Было подчеркнуто, что Российский общественный институт навигации широко открыт для приема как коллективных, так и индивидуальных членов, поддерживающих его цели и задачи. Главная цель РОИН – объединение творческого потенциала его членов для развития средств и методов навигации в интересах эффективного управления движением подвижных объектов, обеспечения их навигационной безопасности.

Работа регионального отделения института базировалась и продолжает базироваться на функционировании двух постоянно действующих семинаров:

- д.т.н. Н.М. Кузнецова (при ВВМУ ПП им. Ленинского Комсомола);
- д.т.н. Б.Е. Иванова (при Гос.НИНГИ МО РФ).

Отмечены следующие мероприятия, проведенные с участием или организованные региональным отделением РОИН:

- * Первая и Вторая российские научно-технические конференции по современному состоянию проблем развития морской и воздушной навигации;
- * обсуждение проекта Российского радионавигационного плана и предложений по навигационно-гидрографическому обеспечению воздушных, морских и сухопутных подвижных объектов;
- * рассмотрение проблем развития морской электронной картографии;
- * заседание научной школы «Астронавигация-94» и др.

Каждый участник проведенных мероприятий имел возможность изложить свои взгляды по широкому кругу актуальных проблем развития навигации.

Наиболее масштабными и емкими мероприятиями по числу и глубине затрагиваемых проблем были научно-технические конференции, основным организатором которых был Гос.НИНГИ. На него легли и основные финансовые расходы на проведение конференций.

В ближайших планах работы регионального отделения РОИН:

- * проведение второй научной школы «Астронавигация-97» (АН-97) на базе Гос.НИНГИ;
- * обсуждение предложений по корректировке Радионавигационного плана РФ;
- * участие в конференции «Планирование глобальной радионавигации 1997»;
- * подготовка к проведению Третьей российской научно-технической конференции «Современное состояние, проблемы навигации и океанографии» (НО-98).

Высказано мнение о целесообразности уже в настоящее время объединять работу членов РОИН на базе журнала «Навигация и гидрография», публикуя в нем взгляды и предложения членов института по проблемам развития средств и методов воздушной, морской и наземной навигации.

Конференция одобрила работу отделения РОИН за отчетный период и рекомендовала продолжать ее в направлении широкого привлечения к участию коллективных и индивидуальных членов института.

Решением конференции установлены следующие годовые членские взносы на 1997 г.:

- * для работающих индивидуальных членов – 10 тыс.руб.;
- * для неработающих индивидуальных членов, пенсионеров и студентов – 5 тыс.руб.;
- * для корпоративных членов (от коллективов) – 100 тыс.руб.

Членство в РОИН на текущий год будет подтверждаться при уплате взноса на счет регионального отделения до 1 марта 1997 г.

Реквизиты организации:

ИНН 7801020940 в/ч 62728 ПУ ЦБ РФ Набережная БИК 044080002 р/с 000340856 Санкт-Петербург.

НАУЧНАЯ ШКОЛА «АСТРОНАВИГАЦИЯ – 97»

Гос.НИНГИ МО РФ совместно с Ленинградским областным правлением научно-технического общества им.акад.А.Н.Крылова, Институтом теоретической астрономии РАН и Главной астрономической обсерваторией РАН и с участием РОИН 20 мая 1997 г. проводит Вторую научную школу по астронавигации – «Астронавигация-97». Тематика школы – развитие средств и методов астронавигации морских, воздушных и косми-

ческих объектов; астрономическое, астрофизическое и метрологическое обеспечение астронавигации. Планируется издание тезисов докладов.

Школа проводится в Санкт-Петербурге, на базе Гос.НИНГИ. Регистрационный сбор для каждого участника – 100 тыс.руб. Перечисление средств должно быть произведено до 01.05.97 г. Оплата производится по безналичному расчету (в порядке исключения она может быть произведена на месте с выдачей квитанции об оплате).

Наши реквизиты:

ИНН 7801020940 войсковая часть 62728 ПУ ЦБ РФ набережное БИК 044080002 р/с 000340856 Санкт-Петербург.

Дополнительную информацию о порядке проведения школы можно получить по телефонам: (812) 217-21-13; 217-21-14; 217-33-22; 217-97-07; 217-97-76; 217-97-09. Факс: (812) 217-33-19.



**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

ПРЕДЛАГАЕТ
успешно применяемый на практи-
ке

ПАКЕТ ПРОГРАММ
ПРИКЛАДНЫХ ШТУРМАНСКИХ ЗАДАЧ

пакет обеспечивает
НАКОПЛЕНИЕ, ПОДГОТОВКУ И ОБРАБОТКУ
ТИПОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИТУАЦИЙ

и ориентирован
НА IBM- СОВМЕСТИМЫЕ ПЭВМ
С ПРОЦЕССОРОМ 286 И ВЫШЕ

ВСЕ СПРАВКИ ПО ТЕЛЕФОНАМ
(812) 217-97-63; 217-97-97

Навигация и гидрография, 1996, №3

факс (812) 217-33-19

E-mail: editor@nhi.spb.ru

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

ГРНТИ 78.21.41.19.99

РАЗВИТИЕ МОРСКОЙ НАВИГАЦИИ В XX ВЕКЕ

А.В. ФЕДОТОВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Систематизированы сведения о развитии морской навигации в 20 веке: от первых гирокомпасов и радиомаяков до появления радиолокации, радионавигации, инерциальной и спутниковой навигации.

Подходит к концу 20 век, век в который произошло бурное развитие навигационной науки и технических средств навигации. Еще столетие назад казалось, что все крупные проблемы навигации решены. Основным средством курсоуказания в море оставался все тот же прибор эпохи Великих географических открытий – магнитный компас, а основными методами определения координат – астрономические, с помощью морского секстана и хронометра, что не требовало затрат энергии.

Замена традиционного магнитного компаса гирокомпасом стала ключевым моментом, изменившим ход военно-морской истории. В конечном счете именно это обстоятельство определило возможность создания и применения высокоточных систем управления артиллерийским оружием и обеспечило экономию топлива на переходе морем.

Становлению гирокомпасной техники способствовали теоретические исследования и практические работы А.Феппле, О.Мартинсена, Соммерфельда, Н.Е.Жуковского, А.Я.Ляпунова и др. Благодаря их усилиям, а также значительным достижениям в области электромеханики и разработке шарикоподшипников (которые нашли применение в осях подвеса гироскопа), к началу 20 века были подготовлены условия для создания корабельного гироскопического курсоуказателя. Заслуга в его создании принадлежит немецкому ученому Герману Аншютц-Кемпфе.

Гирокомпас Аншютца в 1903 г. успешно прошел ходовые испытания. Одновременно с Аншютцом работы над гирокомпасом велись в США талантливым инженером Эльмером А.Сперри. Первая самостоятельная модель морского гирокомпаса “Марка-1” была изготовлена его фирмой в 1911 г.

Открытие радио в начале 20 века позволило связываться с мореплавателями в море и расширить базу навигации. Кроме астрономии в практике навигации стали использовать радиопеленгование, а позднее – радиоизмерения.

В 1904 г. была введена передача радиосигналов времени, что дало возможность, находясь в море, проверять хронометры.

В 1906 г. Беллини и Този (Италия) осуществили радиопеленгование.

В 1907 г. Гидрографическим управлением ВМС США были введены радиопередачи навигационных предупреждений, что позволило оперативно доводить информацию об изменениях навигационной обстановки до находящихся в море кораблей и судов и тем самым в определенной мере повысить безопасность плавания.

В 1913–1915 гг. в США были впервые испытаны радиомаяки, а в 1921 г. установлен первый радиомаяк – началась новая эра в навигации. Радиопеленг, как линия положения, обладает важным свойством, его точность возрастает с уменьшением дистанции. Пеленгация стационарного объекта возможна с любого движущегося объекта, обеспечивая надежный привод последнего, что сделало безопасной и надежной аэро-радионавигацию.

Луч радиоантенны может быть направленным. Одним из наиболее ранних применений этого принципа стал вращающийся радиомаяк (Оксфордский радиомаяк, например, действовал с 1926 г. до окончания Второй Мировой войны). Для получения пеленга требовалось измерить интервал времени от начала цикла до нуля.

Используя радиомаяки, стало возможным определяться по береговым ориентирам в любых условиях видимости на расстояниях до 50 миль от берега. Появились радиопеленгаторы берегового типа. В России такой радиопеленгатор был изобретен в 1912 г. И.И.Ренгартеном. К 1926 г. в мире действовало уже 98 береговых радиопеленгаторных станций.

В 1897 г. А.С.Попов, проводя опыты по радиосвязи между крейсером “Африка” и судном “Европа”, обнаружил, что, когда между ними вставал крейсер “Лейтенант Ильин”, связь нарушалась. Так была выявлена способность высокочастотных волн отражаться от препятствий. Этот эффект лег в основу радиолокации. В 1904 г. немецкий инженер Кристиан Хюльсмейер провел эксперимент по подтверждению этого явления и получил в нескольких странах патенты на предложенный им метод использования отражения радиоволн для обнаружения препятствий и морской навигации. Это было первое практическое подтверждение принципа радиолокации.

Работы по радиолокации велись независимо в США, Великобритании и Советском Союзе и были строго засекречены. В СССР они проводились еще в 30-е годы под руководством П.К.Ощепкова и М.М.Лобанова. С помощью их радиоустройства 3 января 1934 г. был обнаружен гидросамолет на расстоянии 600–700 м при высоте 100–150 м. В 1936 г. было испытано первое заводского изготовления радиоустройство обнаружения самолетов.

Впервые радиолокационные системы практического применения появились как средства обнаружения самолетов в США в 1934 г, Великобритании – в 1938 г., в СССР – в 1940 г. Первый судовой радиолокатор был испытан в 1937 г. на американском судне “Лири”. В 1940 г. ученые Великобритании и США объединили свои усилия в этой области, что привело к более скорому прогрессу в создании корабельной радиолокации. К концу Второй Мировой войны на боевых кораблях ВМС США и Великобритании РЛС входили в состав штатного РЭВ. В 1945 г. по завершении военных действий радиолокация стала доступной и для гражданского применения. После войны радиолокатор, в частности, немедленно нашел применение в обеспечении прибрежной навигации и для предотвращения столкновения судов [2].

Радиолокационная технология быстро дала толчок таким начинаниям, как радионавигация, дальномерные устройства и др.

Еще в 1930 г. известные советские ученые Л.И.Мандельштам и Н.Д.Папалекси, взяв за основу свойства радиоволн распространяться с конечной скоростью и по кратчайшему расстоянию, показали, что, измеряя разности фаз двух электромагнитных колебаний, т.е. двух радиоволн, можно определять разность пройденных ими путей.

В 1933–1934 гг. Л.И.Мандельштам, Н.Д.Папалекси и Е.Я.Щеголев разработали устройство (“МПЩ”) для определения местоположения судна путем измерения расстояния с помощью радиоволн.

На основе этих работ, а также собственных исследований фирмой “Декка-Навигатор” по заказу Британского адмиралтейства в 1935–1944 гг. была создана фазовая радионавигационная система (РНС) “Декка”. Впервые она была использована во время высадки союзных войск в Нормандии в 1944 г. В 1946 г. была создана коммерческая радионавигационная система “Декка”. В настоящее время фазовая РНС “Декка” позволяет определять местоположение судна с точностью 0,3–0,5 миль на расстоянии до 600 миль днем и 0,5–1,5 мили на расстоянии до 300 миль ночью. Площадь рабочей зоны РНС “Декка” в мире составляет 6–7 млн.кв.км. В различных регионах мира работает около 45 цепочек этой РНС.

В 1938 г. советский инженер Э.М.Рубчинский предложил идею импульсной разно-отно-дальномерной системы [1]. Внедрение в начале 40-х годов коротко-импульсной техники позволило разработать ряд вариантов подобных систем. В 1941 г. появилась американская авиационная система “Шоран”, а на ее основе в 1948 г. отечественная морская система “Рым”, с помощью которой в Советском Союзе был проведен большой объем работ по послевоенному тралению.

В США в 1940–1946 гг. разрабатывалась, испытывалась и внедрялась импульсно-фазовая радионавигационная система, получившая впоследствии название “Лоран–А”. Ее развитие – созданная в 1958 г. система “Лоран–С”, служащая для обеспечения высокоточного определения координат ракетными атомными подводными лодками США. При этом для приближенного определения места пользуются импульсным методом, а для точного – фазовым. Точность определения при использовании поверхностной волны – 60–500 м. В настоящее время действует более 18 цепочек этой системы, насчитывающих около 76 передающих станций, которые охватывают северный, западный и центральные районы Тихого океана, северную часть побережья США, Канады, районы Средиземного моря и обеспечивают надежное определение координат в любое время суток [3].

Аналогичная система “Чайка” была создана в Советском Союзе и принята в эксплуатацию в 1963 г. В 1960-х годах на атомных подводных лодках стали применять радионавигационную систему “Омега”, работающую на частотах 10,2; 11,3; 16,6 кГц. Такие частоты позволяют принимать радиосигналы на антенну, находящуюся на глубинах до 15 м. Предельная дальность действия системы достигает 5000 миль.

В 1966 г. сигналы РНС “Омега” стали транслироваться на регулярной основе. В 1972 г. в эксплуатации находилось четыре станции этой системы. В 1976 г. была введена система “Омега” с семью станциями. В настоящее время используют восемь станций, что позволяет определять место кораблей, судов и подводных лодок в любой точке Мирового океана со средней квадратической ошибкой, не превышающей двух миль.

Среди других разработок следует отметить создание в годы войны всенаправленного (секторного) радиомаяка в Германии – “Зонне”, впоследствии значительно усовершенствованного англичанами и известного под названием “Консол” (1946 г.), а также разработанных в СССР ВРМ–5 (1954 г.) и в США “Консолан” (1955 г.). Эти радиомаяки успешно используются до сих пор судами и самолетами, когда не требуется высокой точности определения места.

Так к середине 20 века применение в навигации радио вытеснило на второй план использование астрономических методов. Между тем перед морской навигацией к этому времени возник ряд новых задач, которые уже нельзя было решить ни с помощью астрономии, ни с помощью радионавигации, что было связано с качественным скачком в развитии подводного флота.

В 1955 г. вступила в строй первая в мире апл “Наутилус” (США), в 1958 г. – первая советская апл “Ленинский комсомол”. Произошел качественный скачок в развитии подводного флота. В этот же период получило развитие ракетное оружие. В 1955 г. в СССР был осуществлен первый старт ракет с подводной лодки. Началось строительство подводных лодок–ракетоносцев.

Необходимо было обеспечить длительное скрытное плавание этих подводных лодок в любых районах Мирового океана, а также эффективное использование ракетного оружия, в том числе и из под воды. Это потребовало создание принципиально новых технических средств навигации, в первую очередь корабельной инерциальной навигационной системы (ИНС).

Теоретические основы инерциальной навигации были разработаны в нашей стране еще в 1930-е годы, раньше, чем в других странах, но реализовать их долгое время не позволял уровень развития техники.

Первая ИНС была создана под руководством Вернера фон-Брауна в 1942 г. в Германии для использования на ракетах ФАУ–2. В системе для определения скорости ракеты применялись два гироскопа с двумя степенями свободы и интегрирующий акселерометр. К концу Второй Мировой войны немцами была разработана стабилизированная платформа с тремя гироскопами с одной степенью свободы с интегрирующим акселерометром.

После Второй Мировой войны первая корабельная инерциальная навигационная система типа МК–1 (№6А) была разработана в США на базе уже созданной к тому времени по линии ВВС инерциальной системы наведения ракеты “Навахо” [1]. При этом пришлось решать ряд проблем применительно к морским объектам, связанных с необходимостью значительного повышения требований к чувствительным элементам, которые длительное время в условиях динамических возмущений носителя (пл) должны обеспечивать высокую точность выдачи данных.

В ИНС МК–1 высокие точности удалось получить благодаря применению новых двухступенных поплавковых гироскопов вместо гироскопов на шарикоподшипниках. (Поплавковые гироскопы были предложены еще в 1945 г. Л.И.Ткачевым (СССР) и в 1946 г. Ч.Дрейпером (США) [1]).

Было разработано также новое математическое обеспечение входящей в систему ЭВМ, за счет улучшения конструкции удалось значительно увеличить время работы.

Морские испытания ИНС МК-1 проводились в 1957 г. на борту опытового судна “Компас–Айленд”, а уже в 1958 г. она была установлена на апл “Наутилус” и обеспечила ее трансарктический переход из Тихого океана в Атлантический через Северный полюс.

В 1959–1960 гг. на американских апл-ракетоносцах началась установка новой ИНС SINS (СИНС) МК-2 mod 0. Это была одна из первых электронных систем, в которой широкое применение нашли полупроводники и цифровая вычислительная техника.

Несколько позднее высокоточные инерциальные навигационные системы для пл были созданы в Советском Союзе (1973 г.) и Франции (1980 г.).

В середине 80-х годов в США для ракетных апл была разработана высокоточная инерциальная навигационная система ESGN (Electrostatically Suspended Gyro Navigator) с электростатическим подвесом гироскопа. Ее применение позволило повысить точность выдачи навигационных параметров и в 5–6 раз увеличить длительность подводного плавания без коррекции по внешним ориентирам, тем самым существенно повысить скрытность действий пл.

В 1987 г. американской фирмой Sperry Marine была разработана морская бесплатформенная ИНС MARLIN (Marine Ring Laser Inertional Navigator – морская лазерная ИНС) на недорогих, по сравнению с механическими, лазерных гироскопах. Под обозначением МК-49 она стала первой морской навигационной инерциальной системой многоцелевых подводных лодок и надводных кораблей, принятой также в качестве стандартной для ВМС ряда стран НАТО.

С появлением апл, имеющих на борту ракетное оружие, возникла проблема измерения абсолютной скорости, необходимой для его высокоточного применения. Патенты на первые измерительные приборы для этого – гидроакустические абсолютные лаги были заявлены в конце 30-х годов в Германии [1]. Созданные в конце 40-х – середине 50-х годов первые их образцы использовали высокочастотное излучение и были рассчитаны на работу при глубинах, как правило, не превышающих 60 м.

В Советском Союзе первый этап работ по исследованию вопросов, связанных с созданием абсолютного лага, был успешно завершён к началу 60-х годов, а первый отечественный гидроакустический доплеровский лаг поступил на вооружение в 1966 г. Следует отметить, что он не имел зарубежных аналогов и стал первым образцом принципиально нового класса навигационных приборов – низкочастотных гидроакустических доплеровских лагов.

Показания корабельного навигационного комплекса даже с инерциальной системой и абсолютным лагом требуют периодической коррекции. Вот почему поиском высокоточных глобальных средств коррекции с конца 50-х годов глубоко и серьезно занимались многие научные учреждения передовых стран мира.

В 1956 г. сотрудниками Гос.НИНГИ В.А.Фуфаевым и Л.И.Гордеевым была высказана идея использования для навигации ИСЗ, снабженных радиопередатчиками необходимой мощности.

Проведенные в 1958–1959 гг. в этом направлении исследования подтвердили возможность и целесообразность создания спутниковой РНС.

Между тем, после запуска в 1957 г. в СССР первого в мире ИСЗ лаборатория прикладной физики университета Дж. Гопкинса (США) наблюдала радиосигналы, транслируемые проходящим спутником. При этом была обнаружена доплеровская кривая изменения сигнала, которая в принципе может быть применена для описания орбиты спутника. В результате был сделан вывод о том, что, если орбита спутника известна, то измерения доплеровского сдвига могут быть использованы для определения места наблюдения на Земле.

Это послужило основой для заказа в 1958 г. ВМС США на разработку высокоточной спутниковой навигационной системы “Транзит” для апл, вооруженных МБР “Полалис”.

Современная спутниковая навигационная система (СНС) создавалась усилиями многих стран, однако решающий вклад был внесен советскими и американскими специалистами, разработавшими ныне действующие СНС – низкоорбитные (“Цикада-М”, “Цикада” и “Транзит”) и среднеорбитные (ГЛОНАСС и НАВСТАР/GPS). Советские и американские СНС создавались параллельно, независимо друг от друга, практически в одни и те же сроки. Каждая из сторон вела разработку на собственной научно-технической базе. При этом различия в научных традициях и подходах приводили к неодинаковости технических решений.

В отличие от американской наша система имеет две модификации: “Цикада” – только с доплеровским каналом и “Цикада-М”, где имеется еще угломерно-дальномерный канал.

Создание спутниковой навигационной системы стало настоящей революцией в навигации и гидрографии. Для надводных кораблей, вооруженных приемоиндикатором среднеорбитных навигационных систем, нет необходимости тратить время на скрупулезное счисление пути, могут быть снижены требования по точности к курсоуказателям и лагам.

Среднеорбитные СНС позволяют более эффективно использовать оружие и повышают надежность взаимодействия разнородных сил как в морских, так и в сухопутных операциях.

Впервые в боевых действиях средства радионавигации наземного и спутникового базирования использовались в зоне Персидского залива в 1990–1991 гг. По мнению американских специалистов, эта первая война, в которой спутниковые системы играли решающую роль – информация, поступающая от спутников, в том числе и радионавигационных, увеличила потенциал вооруженных сил в несколько раз [5].

В 1980–1990 гг. были созданы системы, способные хранить, обрабатывать и отображать информацию, содержащуюся на морских навигационных картах. В ряде стран появилась аппаратура, позволяющая выводить картографическую информация на экран дисплея. Это позволяет отображать на фоне карты:

- предварительную прокладку;
- основные текущие и прогнозируемые навигационные параметры;
- фигуру погрешности, характеризующую точность места корабля;
- навигационные ориентиры и опасности;
- дополнительную справочную информацию.

Такие системы позволяют штурману оперативно, без каких-либо специальных расчетов, надежно оценивать навигационную безопасность плавания и прогнозировать развитие ситуации. Началась новая эпоха в картографии – широкое развитие и внедрение морских электронных карт.

Появились комплексные системы управления подвижными объектами, одним из компонентов которых становится навигационная аппаратура. Примером может служить комплекс управления судном “Datamation News”, с помощью которого один опе-

ратор-судоводитель может управлять всеми судовыми операциями с одного комплексного пульта.

В заключение необходимо подчеркнуть, что определяющим событием 20 века было развитие и внедрение электроники, которая стала основой всех технических средств навигации. Одновременно повышение эффективности действия практически всех видов оружия за счет новейших навигационных систем усилила роль военной навигации.

Среди многих организаций, занятых в этой сфере деятельности, заметная роль принадлежит и нашему Институту, целый ряд сотрудников которого хорошо известен как у нас в стране, так и за рубежом.

ГЛАВНЫЕ СОБЫТИЯ В РАЗВИТИИ МОРСКОЙ НАВИГАЦИИ 20 ВЕКА

1904 г.	– Введена передача сигналов времени по радио.
1906 г.	– Беллини и Този (Италия) осуществили радиопеленгование.
1907 г.	– Введена передача навигационных предупреждений по радио.
1908–1911 гг.	– Созданы первые гироскопические компасы.
1921 г.	– Установлен первый радиомаяк (впервые испытан ВМС США в 1913–1914 гг.).
1933–1934 гг.	– Л.И.Мандельштам, Н.Д.Папалекси, Е.Я.Щеголев (СССР) разработали устройство для определения места судна путем измерения расстояния с помощью радиоволн.
1937 г.	– Создана первая судовая РЛС.
1940–1946 гг.	– Разработана и внедрена РНС “Лоран–А”.
1944 г.	– РНС “Декка” использована во время морской операции по высадке союзных войск на французском побережье.
1945 г.	– Создана первая коммерческая навигационная РЛС.
1946 г.	– Создана первая коммерческая РНС “Декка”.
1958 г.	– Создана высокоточная радионавигационная система “Лоран–С”.
1958 г.	– Первое подледное плавание к Северному полюсу апл “Наутилус”, первое практическое применение корабельной ИНС МК–1 (№6А).
1958–1959 гг.	– Проведенные независимо друг от друга в Советском Союзе и США исследования подтвердили возможность и целесообразность создания спутниковых радионавигационных систем.
1959–1960 гг.	– Для американских апл–ракетносцев разработана новая ИНС SYNS МК–2 mod.0. Начало разработки относится к 1951–1954 гг.
1965 г.	– Введена в действие спутниковая навигационная система “Транзит”.
1966 г.	– Сигналы РНС “Омега” стали транслировать на регулярной основе.
1966 г.	– Принят на вооружении ВМФ Советского Союза первый абсолютный гидроакустический низкочастотный лаг для апл.
1972 г.	– Началась опытная эксплуатация спутниковой навигационной системы в Советском Союзе.
1973 г.	– Принят на вооружение ВМФ Советского Союза первый навигационный комплекс с ИНС.
1988 г.	– СНС НАВСТАР и СНС ГЛОНАСС вступили в предэксплуатационную фазу.
1990 г.	– Завершены морские испытания навигационных морских электронных карт.
1990 г.	– Создан комплекс автоматизированного управления судном.
1990–1991 г.	– Впервые в боевых действиях в Персидском заливе использовались средства радионавигации наземного и космического базирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корякин В.И., Хребтов А.А. От астрологии к навигационным комплексам // СПб.; Судостроение, 1994. – С.240.
2. The Journal of Navigation. Vol 41, #1988. P.1-19. Presidential Address. I.I.D Williams. The Provenance of Navigation Science.
3. American Practical Navigation, 1977. Vol.1. P.45-55.
4. Каталог фирмы Sperry Marine Inc. IA 60-17-5644. 1995, 6 p.
5. Заколюдяжный В.П., Пантелеев В.М. Радионавигационные средства определения места и тенденции их развития // Морской сборник. 1995. С.66-69.

"СОВЕРШЕННЫЕ ПРАВИТЕЛИ МОРЕПЛАВАНИЯ"
(к "Дню Штурмана")

В.С.КРАСОВСКИЙ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Приведены малоизвестные факты о развитии штурманского дела в России в период правления Петра I.

В целях возрождения исторических традиций и повышения уровня воспитательной работы в 1996 г. на флоте учрежден "День штурмана", отмечаемый ежегодно с 1997 г. в связи с созданием в Москве 25 января (14 января по старому стилю) 1701 г. Школы математических и навигацких наук.

Неоценима роль штурманской профессии в деле изучения и освоения Мирового океана. При этом российская история развития судовождения, а следовательно и навигации, непосредственным образом связана со становлением национальной государственности и шла параллельно с освоением прибрежных морей, а в дальнейшем и океанских просторов. Так на Балтике купцы Великого Новгорода еще в 1130 г. совершали плавания на остров Гогланд. В том же XII в. жители Русского Севера – поморы – уже были известны как искусные мореплаватели, на своих ладьях ходившие к берегам Груманта (арх. Шпицберген) и Новой Земли. Они пользовались солнечными часами и компасом в костяной оправе, имели рукописные лоции и глазомерные карты [1]. В 1648 г. Алексей Филиппов создал первую лоцию Охотского моря. К этому периоду относятся и карты России, на которых обозначены восточные и северные берега Сибири. По исследованиям Дежнева в 1667-1676 гг. в Тобольске были напечатаны карты, на которых был нанесен пролив между Азией и Америкой, указан путь из устья Лены в Амур, нанесены очертания Камчатки [2]. Таким образом, задолго до царствования Петра I российские мореплаватели достигли значительных успехов в искусстве судовождения. Но подлинный расцвет российской науки судовождения, зарождение ее именно как науки, организация на государственной основе соответствующих морских учреждений – все это неразрывно связано с именем Петра Великого. Колыбелью российского штурманского дела следует считать школу математических и навигационных наук, созданную по указу царя, как уже упоминалось, 25(14).01.1701 г.

Русский военный флот создавался Петром I по образцу английского и голландского флотов, что и предопределило его организацию и состав судовых команд. При этом звание штурмана в нашем флоте сразу же вошло в качестве штатной должности в составе экипажа каждого военного корабля.

В целом историю развития штурманского дела в России можно условно разделить на следующие этапы, характеризующие фактическое состояние штурманского дела на флоте и социальное положение штурманов [3]:

- 1). Период создания основ штурманского дела (1696-1752 гг.).
- 2). Период кризиса штурманского образования (1752-1798 гг.).
- 3). Период совершенствования штурманского образования (1798-1885 гг.).

Ниже рассматриваются вопросы, относящиеся к начальному периоду, когда закладывались основы организации подготовки отечественных специалистов – "Совершенных правителей мореплавания", как именовались они в одном из документов этой эпохи.

Первыми штурманами в России были иностранцы, нанятые в Голландии, Англии и Венеции в числе других специалистов для зарождающегося отечественного флота. Впервые упоминание о русских штурманах, по-видимому, относящихся к первому выпуску Навигацкой школы, встречается в 1705 г. в письме вице-адмирала К.Крюйса к генерал-адмиралу Ф.А.Головину, в котором он рекомендует их "как хороших и исполнительных людей" и ходатайствует о прибавке им жалования [4, 5].

Количество штурманов на флоте определялось числом находящихся в строю кораблей. Штатное число должностей в 1718 г., в частности, составляло: штурманов - 66, подштурманов - 72. При этом вплоть до 1721 г. имела место фактическая недоукомплектованность. Поскольку подготовка национальных кадров еще не обеспечивала нужды флота, продолжался найм специалистов за границей. Наиболее значительные приемы на службу штурманов-иностранцев имели место в период 1713 – 1720 гг. Процесс замены иностранцев на отечественных специалистов, в связи с еще недостаточной подготовленностью последних и отсутствием необходимого практического опыта, осуществлялся довольно медленно. Поэтому преобладающим элементом в штурманских чинах в царствование Петра оставались иностранцы (таблица) [4].

Изменения комплектации штурманского контингента Российского флота в 1715–1732 гг.

Должность	Количество специалистов, чел.					
	1715 г.		1721 г.		1732 г.	
	иностранцы	русские	иностранцы	русские	иностранцы	русские
Штурман	16	–	79	4	24	33
Подштурман	6	17	14	58	–	57

В 1724 г. ядро российского флота на Балтике составляли 32 линейных корабля, 16 фрегатов, 8 шняв и 85 галер. К этому времени штаты штурманов в целом уже были укомплектованы [6, 7]. Поэтому набор штурманов-иностранцев стал производиться более тщательно – отбирались только такие, кто служил на военных судах, знал "подлинный путь в Ост-зее и в шведских берегах". Указывалось брать на службу "бывших в вояжах в Испании, Франции и Португалии, а неизвестных принимать не велено". Поэтому, например, в 1725 г. было нанято только 2, а в 1726 г. - 10 чел.

К концу царствования Петра I существовали четыре должности специалистов штурманской службы, а именно: капитан над штурманами, штурман, подштурман и штурманский ученик (последняя отменялась в 1732 г. и восстанавливалась в 1748 г.).

Служебные обязанности и положение штурманов определялись Морским Уставом и Адмиралтейским регламентом, изданными в 1720г. и 1722 г., соответственно.

Штурман подчинялся только командиру корабля, который должен был "свидетельствовать всякого штурмана в смечании хода корабельного, выслушать их доводы и выбрать лучшее". При этом при подходе к опасности штурман "повинен о том капитану заранее объявить и смело о том говорить".

Подштурман обязан был помогать штурману и заменять его в случае отсутствия.

Подготовка штурманов в петровские времена проводилась в тех же учебных заведениях, которые готовили флотских офицеров, т.е. Морской академии (с 1715 г.) и Навигацкой школе. По окончании этих заведений часть выпускников назначалась подштурманами или штурманскими учениками. Кроме того в штурманские ученики с 1721 г. принимались лучшие учащиеся портовых школ и волонтеры, проходившие дальнейшую подготовку в штурманской роте. Для получения практического опыта с 1723 г. было определено "штурманских учеников, хотя по регламенту и не положено, содержать на каждом корабле по два человека".

Кроме того, как подштурманов, так и учеников Навигацкой школы для приобретения плавательной практики отправляли в Голландию и Англию, где им предписывалось "учиться со тщанием хождению морскому и знанию карт, чтобы могли быть совершенными правителями мореплавания" [4]. В частности, из заграничного обучения в 1711 г. возвратилось 12 чел. Все они по возвращении на родину подвергались экзамену и в соответствии с аттестацией получали звание подштурмана, штурмана и даже флотского лейтенанта.

В дальнейшем, когда русские суда стали совершать дальние плавания, штурманская практика проходила, в основном, на кораблях отечественного флота. В морской чиновной иерархии штурмана и подштурмана состояли в ранге унтер-офицеров и занимали место: первые – между шкиперами и боцманами, вторые – между боцманами и боцманматами. Штурманов-офицеров на флоте до 1757 г. не существовало. Это объяснялось тем, что в то время на обучение штурманскому делу принимались для

обучения в основном лица низших ("не из шляхетства") сословий. Хотя при этом необходимо отметить, что в царствование Петра I было произведено из штурманов во флотские офицеры: иностранцев - 32, русских - 28 чел.

С 1722 г. Адмиралтейским регламентом установлено, что все "штурмана с их матами (помощниками) имеют быть в одну роту определены, над которыми капитан и лейтенант и два унтер-лейтенанта". Это было первое соединение всех штурманов в единое объединение, получившее название штурманской роты, куда они откомандировывались после окончания кампании для совершенствования теоретических и практических навыков под руководством опытных штурманов. При этом штурманам по завершении плавания вменялось "журнал своего курса", который они вели в походе, представлять капитану над штурманами "для освидетельствования в консилие главных офицеров и профессора математического". Кроме того, с целью повышения теоретического и практического уровня, учитывая, что "штурманская должность на корабле в немалой важности состоит", с 1726 г. ученики в подштурмана производились только после "исполнения" подштурманской должности на корабле в течении одной кампании и "не иначе, как по строгому экзамену". Следует отметить, что независимо от штурманов "путесчисление" по уставу обязаны были вести и флотские офицеры (лейтенанты и унтер-лейтенанты), которым предписывалось также иметь все навигационные инструменты, "брать обсервации и самим держать журналы пути корабельного". Однако, видимо сомневаясь в точности выполнения этих предписаний, капитан корабля был обязан "заказывать штурманам давать им (флотским офицерам) свои журналы списывать".

До 1748 г. штурмана, как и прочие флотские унтер-офицеры, не имели определенного мундира, а носили обыкновенное платье "разных цветов и манером не равное". Кроме того, несмотря на важность исполняемых обязанностей, они не пользовались никакими преимуществами перед другими чинами унтер-офицерского звания и даже наоборот: получали пониженную (полуторную) порцию морской провизии, питались из одного котла с командою, не были освобождены от телесных наказаний. Русские к тому же получали жалование меньше штурманов-иноземцев. Так, в частности, штурманским чинам полагалось следующее жалование: отечественным штурману и подштурману, соответственно, 10 и 7 руб. в месяц (такой же оклад получали иноземцам, произведенные в штурманские звания из матросов), а штурманам и подштурманам-иноземцам, соответственно, по 12 и 8 руб. в месяц.

Учитывая настоятельную необходимость в дальнейшем совершенствования подготовки специалистов, в последние годы царствования Петра Великого вышло около десяти специальных царских распоряжений и постановлений, направленных на развитие штурманского дела в России.

В заключение автор выражает признательность доценту кафедры кораблевождения ВВМУ ПП С.В. Козику за возможность использования ряда любезно предоставленных ему материалов для подготовки статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Дыгало. "Откуда и что на флоте пошло". М.: Изд."Прогресс". 1993. - 349 с.
2. А.И.Мизерницкий. "Навигация". М.: Изд. "Морской транспорт". 1963. - 527 с.
3. С.В.Козик. История развития профессии "штурман". СПб.: ВВМУ ПП.1995. - 76 с.
4. Н.Коргуев. Штурмана русского военного флота. СПб.: Морской сборник. N2. 1886. - 271 с.
5. Г.М.Гельфонд, А.Ф.Жаров, А.Б.Стрелов, В.А.Хренов. Там за Невой моря и океаны. М.: Воениздат, 1976. - 363 с.
6. Дважды Краснознаменный Балтийский флот. Под ред.А.М.Косова.- М.: Воениздат,1978. - 335 с.
7. М.А.Михайлов, М.А.Баскаков. Фрегаты, крейсера, линейные корабли.-М.: Издательство ДОСААФ СССР, 1986. - 190 с.
8. "Устав морской. СПб. 1720". М.: Изд. "Новатор", 1993.

В ОКЕАНСКОМ ПОХОДЕ**А.Н.ЯКОВЛЕВ**
(ЗАО “ЦНИИМФ”)

**Посвящается памяти
контр-адмирала Владимира
Владимировича Владимирова,
флагманского штурмана флотилии
атомных подводных лодок
СФ, Главного штурмана ТОФ.**

Анализируется навигационное обеспечение трех походов атомных подводных лодок в экваториальную часть Атлантического океана в 1964, 1971 и 1972 годах. Подводные лодки были оснащены соответственно навигационными комплексами первого, второго и третьего поколений. На примере В.В.Владимирова характеризуется роль флагманского штурмана на походе.

Почти 15 лет мне довелось служить совместно с контр-адмиралом В.В.Владимировым на СФ. Сначала на одной флотилии атомных подводных лодок. Затем В.В. Владимирова возглавил ее штурманскую службу, а я стал помощником флагманского штурмана СФ. Между нами всегда сохранялись дружеские, деловые отношения, что помогало успешно решать сложные задачи штурманской подготовки быстро обновляющегося корабельного состава флотилии и флота в целом. За время совместной службы на СФ пришлось осваивать навигационные комплексы трех поколений. Береговая учебная база не успевала за техническим перевооружением. Поэтому необходимо было больше уделять внимания подготовке личного состава в море. Опыт каждого похода, каждой ракетной стрельбы детально изучался со штурманами. Исходным материалом служили не только записи в навигационном и техническом журналах, но и рабочие записки – дневники выходивших в море флагманских штурманов. Такие дневники сохранились и у меня. Один из них мы вели совместно с В.В. Владимиром на походе на Северный полюс в 1972 г.

С 1960 г. начался новый период в навигации, когда с появлением на флоте апл, были поставлены совершенно новые задачи по обеспечению длительного подледного подводного плавания в различных широтах (включая арктический бассейн и околополюсный район), а также эффективного использования нового ракетного оружия подводных ракетноносцев.

Штурманам необходимо было в сжатые сроки осваивать новые навигационные комплексы, которые на первых порах не могли с требуемой точностью и надежностью обеспечить решение названных задач. Поэтому штурманам 60–70-х годов требовалось не только осваивать новую технику, но и разрабатывать новые методы ее использования, с помощью которых можно было бы обеспечить выполнение возросших требований к навигации.

Одним из таких штурманов, раньше других освоивших новые навигационные комплексы и активно участвующих как в разработке новых методов навигации, так и в обучении ими штурманов пл, был В.В.Владимиров. К тому времени, когда он стал флагманским штурманом дивизии ракетных апл, у него уже был многолетний практический опыт офицера штурманской службы пл, дополненный хорошей теоретической подготовкой, полученной в годы преподавательской деятельности на кафедре технических средств кораблевождения ВВМУ им.М.В.Фрунзе. Он оказался на одном из самых важных соединений нашего флота именно в тот период, когда пришлось осваивать новые навигационные комплексы сначала второго, а затем и третьего поколений.

Особых успехов В.В.Владимиров добился в освоении методики кораблевождения в околополюсном районе Арктического бассейна и навигационном обеспечении стрельб баллистическими ракетами с подводных лодок.

К несомненным заслугам В.В.Владимирова следует также отнести его вклад в навигационное обеспечение первого похода атомного ледохода "Арктика" к Северному полюсу в 1977 г. В этом историческом походе он фактически руководил навигационной прокладкой на картах и использованием технических средств навигации, за что был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

Вообще за время службы на СФ он сделал заявку на своеобразный арктический рекорд, как единственный из военных моряков, кто трижды прокладывал путь на Северный полюс – дважды на подводных лодках и один раз на "Арктике".

Для совместного периода нашей службы особый интерес представляют три похода, анализ которых с методической точки зрения актуален и сегодня.

Поход апл К-27, вооруженной навигационным комплексом первого поколения "Плутон-2", выполнялся в район Центральной Атлантики в 1964 г. Подводная лодка совершила непрерывное 51 - суточное подводное плавание. Для советских атомных подводных лодок это был рекорд, положивший начало их боевой службы в Атлантике.

На походе пл К-408, вооруженной всеширотным навигационным комплексом "Сигма", боевая служба в Атлантическом и Тихом океане завершилась в 1971 г. перебазированием пл с СФ на ТОФ. Поход продолжался 70 суток. Помощь командиру пл и штурманам в решении задач штурманской службы на таком сложном походе оказывал флагманский штурман флотилии В.В. Владимирова.

Поход пл К-245, вооруженной принципиально новым инерциальным навигационным комплексом 3-го поколения, выполнялся в район Центральной Атлантики в 1972 г. На походе в течение первого месяца проводились испытания навигационного комплекса, второй месяц пл несла боевую службу. Мне довелось участвовать в этом походе в роли заместителя председателя Госкомиссии по приемке навигационного комплекса.

Материалы этих походов дают уникальную возможность сравнить эффективность навигационных комплексов первого, второго и третьего поколений, охарактеризовать роль штурманской службы флота в их освоении.

Надежность и точность работы штурманской техники на пл К-27 и К-408 находились, в основном, в пределах ТУ. Между тем были отдельные технологические погрешности и сбои.

На походе пл К-245 инерциальный навигационный комплекс находился в стадии государственных испытаний на соответствие ТТЗ. Возникающие погрешности и сбои в работе систем и приборов устранялись по ходу испытаний представителями промышленности и с ведома Госкомиссии вносились соответствующие изменения в техническую документацию.

Характерно, что на всех пл неполадки техники отмечались, в основном, на первых днях похода, затем все отлаживалось.

Подготовленность штурманов и личного состава к походу во многом определялась тем, насколько детально был изучен ими опыт предшествующих походов. Штурмана пл К-27 ознакомились с навигационным обеспечением первого 75-суточного похода в Атлантику в 1957 г. дизельной пл Б-77 под командованием капитана 3 ранга А.П.Михайловского (ныне адмирал в отставке). Южная точка маршрута пл находилась в 100 милях от экватора. Штурмана пл К-408 прокладывали свой путь по маршруту, которым прошла в 1966 г. группа атомных подводных лодок под командованием контр-адмирала А.И.Сорокина с СФ на ТОФ через Атлантический и Тихий океаны. Пл К-245 шла в свой поход, когда боевая служба наших апл в Атлантике стала уже регулярной.

Но для корабельных штурманов, которые шли с нами, эти походы были первыми. Оказались недостаточными их навыки в определении места по РНС "Лоран" (в частности, не было опыта в опознании на корабельном приемоиндикаторе сигналов поверхностных и пространственных радиоволн, а также в выборе оптимальных пар береговых станций), что сказывалось на точности обсерваций. На пл К-408 и К-245 проявилась неудовлетворительность организации работы расчетов астронавигационных систем,

что затягивало процесс определения места и, как следствие, приводило к длительному нахождению пл на перископной глубине. Операторы измерительного канала АНС на первых порах допускали ошибки в измерении высот светил.

Опыт приобретался напряженным трудом. Недавние выпускники военно-морских училищ – командиры ЭНГ сдавали в походе контрольный экзамен на допуск к самостоятельному несению штурманской вахты. Уже тогда у лейтенантов определялась перспектива их дальнейшей службы. Одни, как например командир ЭНГ пл К-245 лейтенант О.Н.Лазарев (ныне контр-адмирал), пошли по командной линии, другие стали хорошими специалистами.

Роль флагманского штурмана на походе определялась целями походов. Показательной в этом отношении была работа флагманского штурмана флотилии В.В. Владимирова. Он обладал глубокими теоретическими знаниями и практическими навыками в исполнении навигационных обязанностей тех лиц, кого предстояло учить на походе. И всегда руководствовался принципом обучения "Делай как я". На первых днях похода в сложной тактической и навигационной обстановке на сеансах связи, когда для определения места отводились считанные минуты, только показ штурманам и операторам правильных действий при измерении навигационных параметров гарантировал надежность обсервации. По мере того как штурмана и операторы АНС овладевали нормативными навыками, в центре внимания В.В. Владимирова становился контроль за оптимальным использованием ТСН, организацией штурманской вахты и ведением прокладки с использованием навигационных данных минимум в двух дублирующих режимах. Руководствуясь уставными положениями и требованиями ПОШП, он стремился организовать штурманскую службу на кораблях так, чтобы она была слаженной работой командира, его помощников, вахтенных офицеров и четким взаимодействием БЧ-1 с другими подразделениями и постами в целях обеспечения навигационной безопасности. В этих вопросах он проявлял исключительную требовательность и в то же время готовность, если была необходимость, в любое время оказать необходимую помощь командирам и штурманам.

Рекомендации по результатам навигационного обеспечения походов представлялись в виде информации и предложений вышестоящим начальникам по совершенствованию организации штурманской службы, по корректуре действующих или разработке новых методик, инструкций.

Например, опыт навигационного обеспечения похода пл К-27 был опубликован в 1964 г. в одном из бюллетеней СФ, а также в газете "Красная Звезда" в статье "На океанском меридиане".

По результатам плавания пл К-408 были уточнены технические инструкции и регламентные проверки ГАЛ и АНС, определены нормативы для операторов АНС, отработана организация службы времени.

Итоги государственных испытаний инерциального навигационного комплекса на пл К-245 были объявлены по Северному флоту директивой Начальника штаба флота. Этой директивой, до приказа по ВМФ о принятии инерциального навигационного комплекса на вооружение, определялись нормативы по точности выработки инерциальной широты и курса, допустимые погрешности хранения инерциальных координат места и режимы выходной навигационной информации в зависимости от периодичности обсерваций и включения ГАЛ. Роль В.В.Владимирова в подготовке названной документации была едва ли не решающей.



ЗА РУБЕЖОМ

ГРНТИ 78.25.25.85.31.29.29.37.31

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОТИВОМИННЫМИ ДЕЙСТВИЯМИ И НАВИГАЦИОННОЕ ВООРУЖЕНИЕ КОРАБЛЕЙ ПРОТИВОМИННОЙ ОБОРОНЫ ИНОСТРАННЫХ ГОСУДАРСТВ

А.В.МАЙГОВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Рассмотрено развитие АСУ ПМД иностранных государств в период с 70-х до 80-х годов. Показана структура построения АСУ ПМД современных кораблей, их навигационное вооружение. Дан анализ общих базовых функций АСУ ПМД с точки зрения навигации и управления движением, состава комплексного навигационного вооружения для обеспечения траления.

Развитие минного оружия (МО) и появление противоминных устройств и многоконтальных взрывателей, реагирующих на различные физические поля корабля с высокой избирательностью и кратностью, делает борьбу с ними путем применения традиционных методов недостаточно эффективной. Наиболее перспективным направлением борьбы с минами в 70-х годах становится комплексная система противоминной обороны (ПМО), обеспечивающая обнаружение и уничтожение мин впереди по курсу тральщика (независимо от характера их неконтактного взрывателя). Обнаружение и предварительная классификация миноподобных предметов в указанных системах возлагается на гидроакустическую станцию миноискания (ГАСМ) с высокой разрешающей способностью, а идентификация этих предметов и уничтожение мин — на самоходный телеуправляемый подводный аппарат (СТПА) или легководолазов. В указанный период за рубежом начинается интенсивное строительство ПМК нового поколения, которые представляют собой интегрированные системы борьбы с минами, где оборудование и основные радиоэлектронные средства объединены в корабельную автоматизированную систему боевого управления противоминными действиями (АСУ ПМД).

Современные АСУ ПМД обеспечивают все этапы выполнения операций ПМО:

- планирование боевой задачи;
- комплексирование информации надводных и подводных датчиков;
- управление кораблем и его средствами наблюдения для обеспечения наибольшей эффективности проводимых операций в различных условиях;
- уничтожение мин;
- оперативные донесения.

Структурно АСУ ПМД можно рассматривать как комплексную систему, состоящую из 3-х основных элементов:

- 1) системы обнаружения и классификации мин;
- 2) системы уничтожения (нейтрализации) обнаруженных мин;
- 3) комплексной системы точной навигации и управления. При этом наличие последней из них обеспечивает:
 - сравнение результатов текущей операции (гидроакустических контактов) с данными предыдущих съемок;
 - фиксацию и передачу точных координат цели для ее последующего уничтожения другими выделенными силами;
 - определение безопасных маршрутов движения;
 - повышение эффективности и снижение времени проведения ПМД.

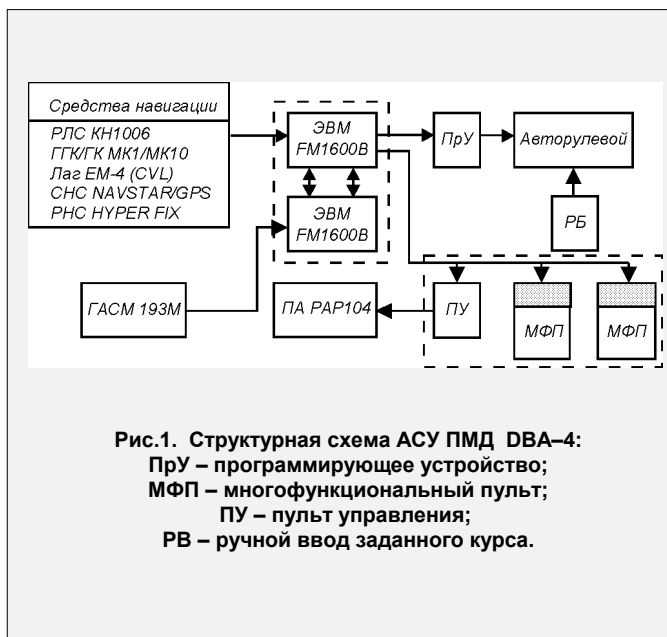
Современные зарубежные комплексные системы точной навигации и управления. В их перечень входят.

- Прецизионная интеграционная командно-навигационная система AN/SSN-2(v) для морских ТЩ (США);
- Автоматизированная навигационно-тактическая система EVEC 20 с прокладочным столом для ТЩ проекта Tripartite (Франция, Бельгия, Нидерланды);
- Интегрированная навигационная система CAAIS DBA-4 с общей шиной обмена данными (AIO) для ТЩ проекта Hunt (Великобритания);
- Командно-контрольная система NAUTIS-M в комбинации с навигационным оборудованием для ТЩИМ Sandown (Великобритания, Саудовская Аравия);
- Система наблюдения и навигации MM/SSN-75 с автопрокладчиком и микропроцессорами для ТЩ типа "Lerici" (Италия).

С точки зрения навигации и управления движением ПМК для этих систем можно выделить следующий ряд общих базовых функций:

- * оптимальная оценка местоположения, скорости и курса;
- * точная навигация по данным СНС, РНС;
- * обеспечение оптимального выбора навигационных средств с учетом поставленных задач и района поиска;
- * обеспечение в автоматическом режиме удержания ПМК на галсе (выход в точку начала поиска), позиционирование;
- * непрерывный прием навигационных данных обстановки с отображением в реальном масштабе времени, документирование;
- * выявление ошибочных навигационных данных в процессе их обработки;
- * встроенный контроль и диагностика всех модулей и технических средств, входящих в состав интегрированной навигационной системы.

Первой зарубежной цифровой системой управления ПМК стала DBA-4, вошедшая в эксплуатацию на головном ТЩ проекта HUNT в конце 70-х годов, представляющая собой вариант автоматизированной БИУС CAAIS (компании Ferranti International). Введение цифровых систем в помощь операторам произвело революцию в способах борьбы с минами на море, и в настоящее время позволяет хранить в БД информацию по 5000 непрерывно корректируемым контактам. Система DBA-4 построена на базе центрального процессора, пульта которого сопряжены с навигационной РЛС типа 1006 (фирмы Kelvin Hughes) и ГАСМ типа 193 поиска мин (рис.1).



Основные задачи, решаемые АСУ ПМД DBA-4:

- обеспечение точного кораблевождения, включая определение отклонения ПМК от заданного курса по данным СНС, РНС, РЛС;
- воспроизведение окружающей обстановки;
- выдача целеуказания на ГАСМ;
- регистрация информации, полученной в результате ПМД и передача ее на другие корабли или береговые объекты.

В 80–е годы на кораблях ПМО появились АСУ нового поколения, имеющие оперативные преимущества для решения своей основной боевой задачи ПМО: снижение минной угрозы мореплаванию в кратчайший срок.

Примером одной из таких систем является АСУ ПМД NAUTIS–M (рис.2) фирмы Marconi Underwater System Ltd. (MUSL). Она построена на базе программно-управляемых рабочих станций NAUTIS, которые объединяются с различными датчиками. Рабочие станции (до трех), включая одну на мостике, объединяются в сеть через шину данных с двойной избыточностью.

Система может создавать базу данных для площади 4 тыс.кв.миль, а растровый дисплей способен работать в полиэкранном режиме. Система выбрана для ТЦИМ типа "Sandown", а также для кораблей ПМО типа "Avenger".



От предыдущего поколения новые системы отличаются следующими особенностями:

1. Постоянный доступ к расширенной базе данных съемки маршрута, включая в себя информацию о минах, навигации и условиях окружающей среды;
2. Более широкое комплексирование данных надводного и подводного наблюдения, необходимых на всех этапах операций ПМО;
3. Полное комплексирование системы командования и ГАСМ для оптимизации управления работой гидролокатора в ходе выполнения боевой задачи;
4. Легко воспринимаемые тактические дисплеи, отображающие информацию в реальном масштабе времени, наложенные на базу данных для быстрой оценки и классификации контактов;
5. Комплексирование с системой управления кораблем для получения более эффективных форматов документирования и трансляции цифровой информации;
6. Усовершенствованный диалог "человек–машина" и встроенная система диагностики;
7. Общее повышение эффективности работы боевой системы.

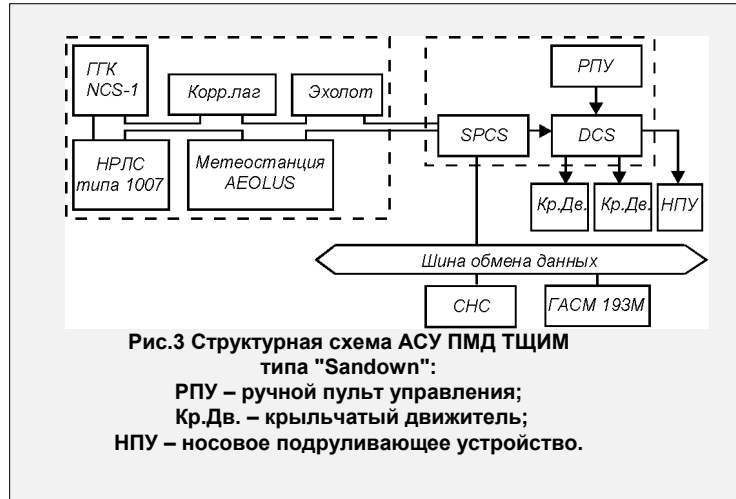
В большинстве систем процессы обработки и управления сконцентрированы обычно на одной мощной многофункциональной ЭВМ. Такая машина решает все задачи с заданной точностью в режиме разделения времени, имеет большой объем оперативной и постоянной памяти и позволяет обеспечить в интересах ПМД:

- высокоточную и непрерывную индикацию положения корабля;
- планирование поиска мин и прокладку курса;
- контроль и регистрацию схемы поиска мин в зоне действия ГАСМ;
- преобразование относительных координат объекта в географические, хранение полученных данных в машинной памяти;
- объективную и непрерывную информацию надводной и подводной обстановки;
- удержание корабля относительно объекта во время обследования и уничтожения мин;
- передачу данных о контактах другим ТЦИМ;

– подробную и точную регистрацию информации об очищенных от мин участках.

Однако сосредоточение решения всех задач на одной ЭВМ потребовало усложнения структуры системы и программного обеспечения, что снижает надежность системы в целом. Только благодаря быстрому удешевлению средств цифровой обработки, в частности микропроцессоров во второй половине 80-х годов, появилась возможность построения корабельных систем на базе распределенных вычислительных средств.

Полная распределенность предполагает распределенность пространственную, функциональную и по управлению, реализация чего в полном объеме представляет собой сложную задачу. Отдельные элементы этого распределения, в частности построение системы в виде многокомпьютерной структуры, нашли применение на ТЦИМ "Sandown" (рис.3).



Здесь все навигационное оборудование, за исключением средств коррекции, объединено в единую систему передачи данных АЮ. Элементы системы в линии АЮ являются промежуточными пунктами со встроенными микропроцессорами. Архитектура системы выбрана таким образом, что обработка данных производится в индивидуальных процессорах, а затем транслируется в общую шину.

Это дает возможность каждой системе эффективно выполнять полный локальный контроль, и в то же время проводить более эффективный контроль всей командной системы.

Такой подход позволяет:

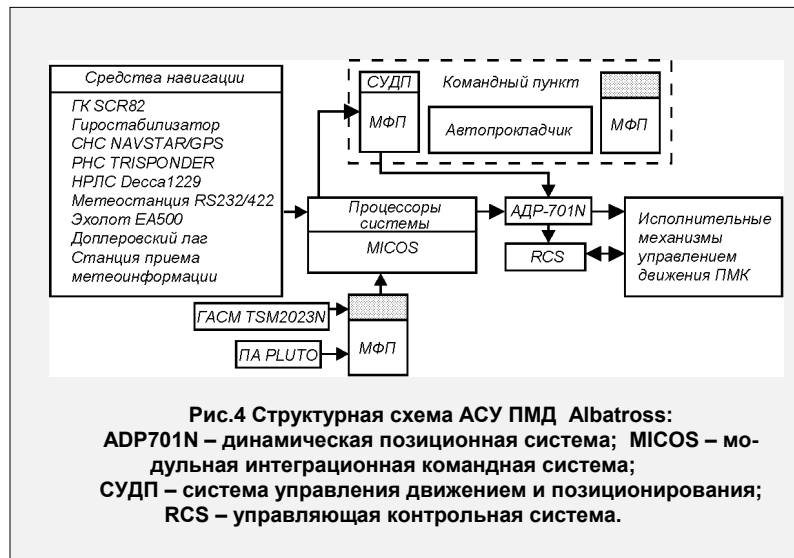
- повысить отказоустойчивость системы;
- сократить время реакции на входные воздействия за счет параллельной обработки информации;

– реализовать принцип модульности, дающий возможность проектировать, модернизировать и заменять каждую составную часть системы в отдельности;

– достичь высокой гибкости, заключающейся в потенциальной возможности наращивания системы и применения ее составных частей в других системах.

Для ПМК на воздушной подушке типа "Oksoy" BMC Норвегии фирма Simrad разработала систему командного управления Albatross (рис.4), в которой используется рабочая станция ТС900 и система навигации и координирования ADP701N.

Интегрированная навигационная система включает:



- * 5 канальный приемник Р-кода CHC NAVSTAR/GPS с дифференциальным режимом коррекции;
- * приемник RHC Trisponder;
- * инерциальную навигационную систему с навигационным процессором: гироскопас совмещенный с гиросtabilизатором;
- * доплеровский лаг фирмы Simrad Subsea;
- * эхолот EA500 фирмы Simrad Subsea;
- * метеодатчики для измерения направления и скорости ветра RS232/422 фирмы Lambrecht;
- * приемники для приема метеоинформации;
- * РЛС фирмы Деcca.

Использование принципа маршрутной съемки при поиске мин предъявляет высокие требования к точности навигации, ограничивая возможную ошибку в знании места порядка 10–15 м. При этом должно выполняться требование удержания корабля, в установленных пределах, на предварительно проложенной маршрутной траектории или в заданной точке с учетом влияния ветра, течения, волн одновременно с параметрами характеризующими статику и динамику корабля. Состав навигационного вооружения современных ПМК иностранных государств представлен в таблице.

Корабельные системы обеспечения координирования ПМД современных ПМК иностранных государств

№№ п/п	ПМК, страна, количество (стр), год ввода	АСУ ПМД	КНС	Навигационное вооружение	Примечание
1. 2.	Эвенжер, США, 14, 1987–1994 Оспрей, США, 10(2), 1992– •	NAUTIS–M	PINS: AN/SSN2(v)	ГГК–AN/WSN–2(ГК–МК37) КГАЛ–MX810 эхолот–AN/BQN17 НРЛС–AN/SPS55(64) ПИ: AN/SRN–25(v) AN/SRN–17	
3. 4.	Сэндаун , Великобритания, 5(12), 1989– • Саудовская Аравия, 6, 1994 Испания, (8), 1996 Хант , Великобритания, 13, 1980–1989	NAUTIS–M CAAIS, DVA–4	SNAPS	ГГК–МК1(ГК–МК10) КГАЛ–CVL (ИЛ–EM4 Хант) НРЛС–КН(т1007(1006)) эхолот–КН ПИ: NAVSTAR/GPS HYPER–FIX	
5.	Нарвик, Франция, 1, 1994	EVEC–20		ГГК–MICROCIN ГАДЛ–TSM–5722 НРЛС–RM1229 ПИ: SNNS90 SYLEDIS	
6.	Оксей, Норвегия, 1(8), 1993– •	ALBATROSS	ADP701N	ГК–SCR82 ДЛ эхолот–EA–500; НРЛС DECCA1229 ПИ: NAVSTAR/GPS TRISPONDER	КВП
7. 8.	Гаэта, Италия, 6(2), 1992– • Лериче, Италия, 4, 1985	SSN714(v)2	MM/SSN75	ГГК–PL41.mk3 КГАЛ (ИЛ) НРЛС–SPN–728(3) ПИ: NAVSTAR/GPS SNNS90	(3RM20R Лериче)
9.	Яэяма, Япония, 3, 1993–1994 Хацусима, Япония, 27(3), 1979– •	S–7		НРЛС– OPS–19B НРЛС– OPS–9	

В целом анализ состава комплексного навигационного вооружения современных зарубежных кораблей ПМО показывает, что для обеспечения координирования траления используются:

- приемоиндикаторы СНС NAVSTAR/GPS и высокоточных РНС HYPER-FIX, MINI-RANGER;
- малогабаритные ГГК(ИНС), комплексированные с СНС;
- измерители абсолютной скорости;
- метеостанции.

Измерители абсолютной скорости представлены корреляционными лагами, скомплексированными с индукционными, что позволяет выдавать в систему SPCS данные о направлении течения и движении корабля для управления ПМК между обсервациями. В режиме позиционирования это позволяет измерять близкую к нулю абсолютную скорость ПМК и не терять возможности чувствовать изменение координат для повторного выхода его в ту же точку обследования.

Выдача динамических характеристик корабля в систему SPCS обеспечивается за счет использования ГГК (ИНС), скомплексированного с СНС NAVSTAR.

Заключение. На основе приведенных выше требований можно сделать следующие выводы:

1. АСУ ПМД современных иностранных кораблей ПМО строятся в виде интегрированных систем, обеспечивающих решение задач навигации, автоматического управления движением, поиска и уничтожения мин.

2. Применение комплексных навигационных систем и объединение их на различных уровнях с системами управления движением, контроля и диагностики обеспечивает минимальные ошибки навигации при ПМД в любых условиях окружающей среды.

3. Наличие АСУ ПМД на ПМК позволяет:

- обрабатывать и выдавать навигационные данные и целеуказания местоположения миноподобных объектов с требуемой точностью;
- удерживать корабль на предварительно проложенной маршрутной траектории и в заданной точке с учетом влияния ветра, течения, волн одновременно с параметрами характеризующими статику и динамику данного ПМК;
- непрерывно отображать район поиска с очертаниями отдельных зон;
- подробно и точно регистрировать информацию об очищенных от мин участках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Naval forces, 1989, v.10, n1, 1990, v.11, n5.
2. Defence, 1992, v.23, n5, 1993, v.24, n2.
3. Naval International, 1989, v.10, n4.
4. Naval Engineers Journal, 1992, v.104, n3.
5. The Journal of Navigation, 1989, v.42, n3.
6. Maritime Defence, 1989, v.14, n12.
7. Sea Technology, 1987, n4.

**ГИДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ДОПЛЕРОВСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛИ СКОРОСТИ
ФИРМЫ RD INSTRUMENTS**

К.А.ВИНОГРАДОВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Рассматриваются принципы действия и основные характеристики широкополосных измерителей абсолютной скорости и профилографов течения серии BroadBand фирмы RD Instruments (США). Приводятся сравнительные оценки параметров широкополосных и тональных измерителей.

Фирма RD Instruments (США) к 1992 г. разработала и приступила к выпуску нового семейства гидроакустических доплеровских измерителей (ГДИ) абсолютной скорости и профилографов течения под общим названием BroadBand (технические характеристики этих измерителей приведены в табл.1, а параметры питающего их тока – в табл.2).

Таблица 1

Технические характеристики измерителей скорости BroadBand

Характеристика	Рабочая частота измерителя, f_0 , кГц					
	2400	1200	600	300	150	75
Диапазон измеряемых скоростей, м/с	± 10					
Количество акустических лучей	2, 4 или 5 ¹⁾					
Ширина луча (на уровне 0,7 по давлению), град.	1,5				3	
Наклон лучей (от вертикали), град.	20–30					
Режим измерения профиля скорости течения и обратного рассеяния						
Максимальная глубина зондирования h_{max} ³⁾ , м:						
– модификация с повышенной мощностью излучения;	–	–	–	160 ⁴⁾	300	500
– модификация с пониженной мощностью излучения	5	20	60 ⁴⁾	130 ⁴⁾	230	410
Минимальная глубина зондирования h_{min} , м	0,3	0,5	1	2	4	8
Число исследуемых слоев воды	от 1 до 128					
Случайная составляющая погрешности измерения скорости течения, см/с – при толщине исследуемого слоя Δh (м) ⁵⁾ :						
0,12	4	–	–	–	–	–
0,25	3	10	–	–	–	–
0,5	2	4	10	–	–	–
1,0	1	2	4	10	–	–
2,0	–	1	2	4	10	–
4,0	–	–	1	2	4	15
8,0	–	–	–	1	2	5
16,0	–	–	–	–	1	3
Суммарная погрешность измерения скорости течения	$0,2\% \pm 0,2$ см/с					
Максимальная глубина измерения обратного рассеивания, % h	85					
Динамический диапазон, дБ	80					
Погрешность измерения обратного рассеивания, дБ	2					
Максимальная частота зондирования, c^{-1}	$1 / (3 \cdot 10^{-1} h + 2) \cdot 10^{-2}$					

Характеристика	Рабочая частота измерителя, f_o , кГц					
	2400	1200	600	300	150	75
Режим измерения абсолютной скорости						
Максимальная глубина под килем H_{max} , м: – модификация с повышенной мощностью излучения – модификация с пониженной мощностью излучения	– 10	– 35	– 110 ⁴⁾	290 ⁴⁾ 260 ⁴⁾	525 450	950 850
Минимальная глубина под килем H_{min} , м Случайная составляющая погрешности ³⁾ , см/с	0,3	0,8	1,4	2	3	5
Суммарная погрешность Погрешность измерения глубины, м	$3 \cdot 10^{-4} V + (1 + 3 \cdot 10^{-3} V) / (1 + 10^{-4} H f_o),$ где V – скорость, см/с 0,2% ± 0,02 см/с 1% ± 120/ f_o					
Максимальная частота зондирования, с ⁻¹	$1 / (4 \cdot 10^{-1} H + 2) \cdot 10^{-2} \text{ } ^6)$					
Условия эксплуатации: – рабочая температура, °С; – температура хранения, °С; – вибропрочность; – ударопрочность, g	от –5 до +60 от –10 до +80 по стандарту MIL-STD-167-1 (тип 1) 20					

Примечания: 1. Пятый луч – вертикальный. Предназначен для измерения глубины под антенной.
 2. Поставляются с шириной луча 1,5°.
 3. При нормальных гидрологоакустических характеристиках воды.
 4. Для измерителей с шириной луча 1,5° максимальная глубина увеличивается на 20% при измерении скорости течения и на 15% при измерении абсолютной скорости.
 5. Средняя квадратическая погрешность измерения за один цикл зондирования при нормальных условиях работы. При осреднении информации по N циклам уменьшается пропорционально $N^{1/2}$.
 6. Глубина H не менее половины максимальной глубины H_{max} .

Так же как и ранее выпускавшиеся фирмой тональные ГДИ, они имеют два основных класса:

- стационарные:
 - * SC – полностью автономные на один год эксплуатации;
 - * DR – автоматические, предусматривающие периодический съем информации со встроенных накопителей;
- судовые, VM, предусматривающие сопряжение с ПЭВМ типа IBM PC.

Таблица 2

Параметры тока, питающего измерители скорости BroadBand

Параметры	Режим измерителя	
	готовность	работа
Напряжение тока, В: – постоянного – переменного (частотой 50–60 Гц)	20 – 60 95 – 240	
Потребляемая мощность: по постоянному току, Вт: – модификация с повышенной мощностью излучения; – модификация с пониженной мощностью излучения;	10 ⁻² 2 · 10 ⁻³	60 5
по переменному току, В · А: – модификация с повышенной мощностью излучения; – модификация с пониженной мощностью излучения	3 3	80 10

В зависимости от модификации ГДИ могут устанавливаться на грунте, буях, стационарных платформах, судах и т.п.

Глубоководный электронный блок ГДИ модификаций SC и DR размещается в корпусе из пластика, алюминия, бронзы или титана. Его длина в зависимости от рабочей частоты может быть от 40 до 120 см. При этом обеспечивается максимальная глубина погружения 200, 1000, 3000 или 6000 м. Регистрация данных производится в формате EPROM.

Для повышения точности измерения скорости эти ГДИ могут комплектовываться дополнительными датчиками, основные характеристики которых приведены в табл.3.

В модификации VM ГДИ комплектуются антенной, ваемой в прорези днища судна помощью клинкета, навесным тронным блоком и репитером роста.

Название BroadBand ГДИ лучили из-за использования в широкополосных сигналов, переход на которые позволил уменьшить (по сравнению с традиционными ГДИ, использующими тональные сигналы) погрешность измерения скорости и длительность излучаемых импульсов. Последнее при создании профилографов течения обеспечило повышение разрешающей способности по глубине.

Улучшение указанных характеристик ГДИ объясняется тем, что при излучении импульсов, заполненных не тональными, а изменяющимися по двоичному псевдослучайному коду (в рассматриваемых измерителях) сигналами, удается по одной посылке повысить количество независимых измерений доплеровского сдвига частоты и снизить тем самым величину случайной компоненты погрешности измерения скорости.

Таблица 3

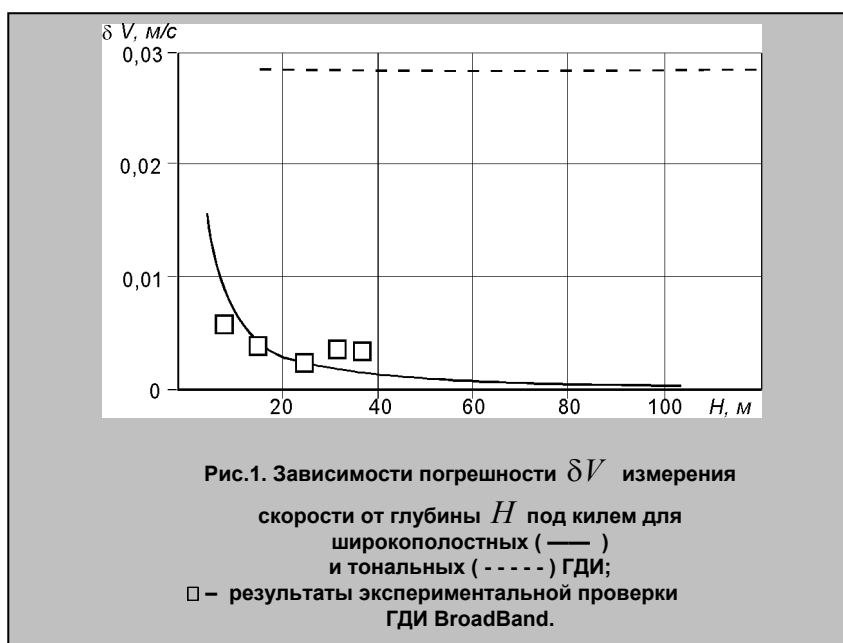
Технические характеристики дополнительных датчиков, встраиваемых в измерители скорости BroadBand

Вырабатываемый параметр	Погрешность	Разрешающая способность
Курс, град.	2	0,2
Наклон, град.	1	0,01
Температура, °С	0,5	0,01
Глубина погружения, % от максимальной глубины погружения	1	0,03

из-
тель-
рак-

ком-
ли-
или с
элек-
ско-

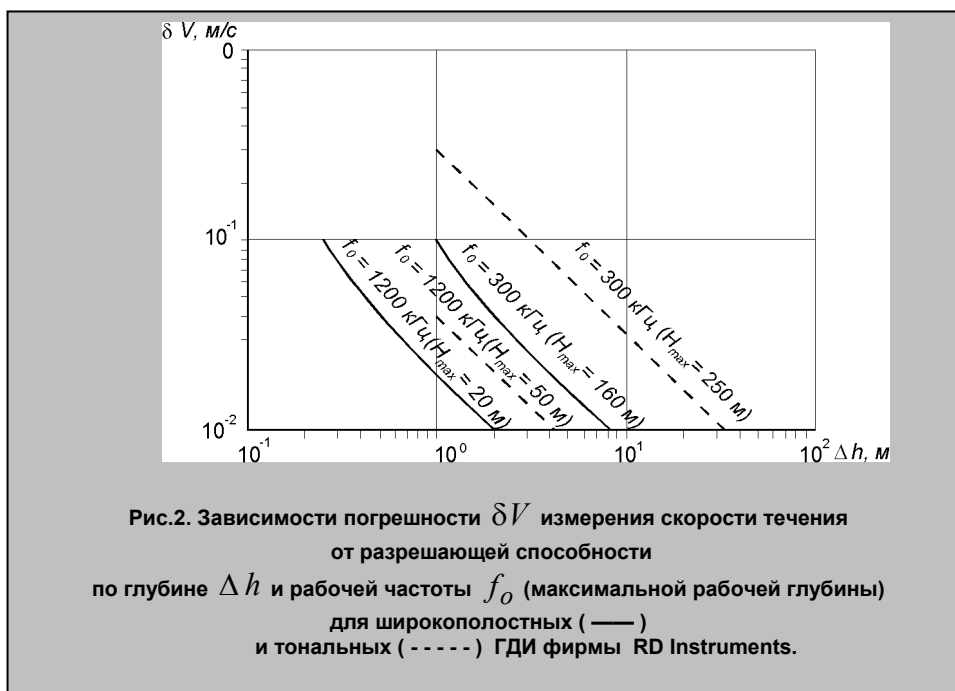
по-
них



Полученные специалистами фирмы оценки возможного выигрыша по точности измерения скорости иллюстрируются зависимостями, приведенными на рис.1.

Вместе с тем уменьшение длительности зондирующего импульса приводит к соответствующему снижению энергии сигнала, что ограничивает максимальные рабочие глубины ГДИ. На рис.2 показаны зависимости основных параметров тональных и широкополосных ГДИ, выпускаемых фирмой, построенные по приведенным в ее проспек-

тах данным. Анализ этих зависимостей показывает, что при одной и той же разрешающей способности по глубине реальный выигрыш в точности измерения скорости для широкополосных ГДИ составляет 200–400% при уменьшении максимальной рабочей глубины на 35–60%.



По мнению специалистов фирмы новые ГДИ должны найти самое широкое применение в различных областях научной и практической деятельности (океанография, навигация, экология, рыболовство, гидротехнические работы и т.п.). Кроме того, на их основе могут создаваться новые типы приборов. Так, например, в 1993 г. фирма стала выпускать измеритель стока рек, для работы которого используется получаемая от ГДИ BroadBand информация (о скорости течения и глубине) за один галс поперек реки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sea Technology, 1992. v.33. N 2, pp.59,60,63; N 8, pp.55–58; N 11, pp.55, 57; 1993. v.34. N 1, pp.71,73,75.
2. BroadBand Acoustic Doppler Current Profilers – проспект фирмы RD Instruments, 1992.
3. Acoustic Doppler Current Profilers – проспект фирмы RD Instruments, 1989.



ABSTRACTS OF PUBLISHED ARTICLES

Strategy of Gos.NINGI development and its trends of activities. Makoda V.S. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.9–12.

The article contents qualitative evaluation with Gos.NINGI situation and describes Institute's activities. There are some views upon its strategy of development, main trends of scientific investigation and works for average term period.

Coastal processes and its possible influence upon navigation conditions. Sydolsky A.S. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.13–17.

Common considerations about coastal processes complexity and diversity are illustrated by quantitative features of coast moving the alluviums at concrete parts Black and Azov seas beaches. There is the information about coastal accumulative forms parameters which can impede or favor to conditions of sea coastal zone practical using.

Mobile navigational system accuracy evaluation during the time interval. Tikhonov A.Yu. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.18–28.

Estimation order for probability calculation of linear ship's position error disexceeding the allowance level during some time interval is expound. The method depends on the dead reckoning is corrected or not corrected by observations. Error equation accurate ship's reckoning duration based on stochastic processes excursions theory and time discretization method is described. General estimation formulas for this duration's distribution function, probability density and mean value are given. Identification method for these formulas specifically values varies is proposed.

The method of the ship relative speed on the changeable current when quantity of tacks is decreased. Dadashev A.A. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.29–35.

The method of relative speed determining when the rans quantity is reduced. Result measurements are processing by CM is substantiated..

Substantiation of navigational data accuracy requirements. Tikhonov A.Yu. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.35–42.

Substantiation the method for navigational data accuracy requirements by direct or indirect approaches is proposed. Specifically variants and examples of the approaches are given. These approaches basically depending on the installed way of navigational parameters digital performances influence on navigational data users problems solutions efficiency.

About using Laplace distribution in navigation. Belyaev B.N., Ivanov B.E. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.43–44.

The idea normal distributive law superiority before Laplace model errors in navigation is criticized.

Research dynamic of windwaves fields with shipboard intelligence systems helping. Nechaev Yu.I. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.45–50.

The practice for creating and using intelligence system (IS) for analysis and prediction of wind-waves field dynamic is discussed. The such system concept is formulated. The concept for IS development, requirements to information, computer and measuring technology have been stated. An approach to construction the basis of knowledge upon wind and wave parameters measurements is considered. Decision of formulated task provides with help of algorithms, which are using of mathematical modeling methods, statistical and spectral analysis procedures. The subject interpretation of proposed solutions and their efficiency evaluation on the basis of imitation modeling data and the full-scale experiment is represented. Show prototype is described. Novelty of this development protects by RF patents on method for control ship's dynamics characteristics and marine waves' parameters in the real-time IS.

International Standards for Marine User Receiver Equipment of Global Navigation Satellite System (GLONASS). Makoda V.S., Bazarov Yu.I. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.51–56.

The paper characterizes the degree of GLONASS and NAVSTAR recognition by World Community, status of recommendations and standards development in international organizations (IMO, ICAO, IEC, ITU, IALA) for GLONASS, NAVSTAR, GPS/GLONASS maritime user receiver equipment,

receiver of differential corrections for GLONASS and GPS signals, recommendations for broadcasting GLONASS and GPS differential corrections via radiobeacon data link and interface document for this equipment (NMEA, IEC). The degree of Gos.NINGI participation in development of these documents is shown.

Long terms maintenance method of a space vehicle astronavigation system autonomous functioning. Golyakov A. D., Romanov V. V. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.56–59.

Autonomous navigation method of a space vehicle, based on one star measurement zenith distance is described. Ratio for definition of this method potential accuracy of a and comparison with accuracy traditional the two stars astronavigation method are resulted.

About possibilities of navigation users definitions by the multisatellite low orbit communication systems. Adadurov S.E., Stepanov M.G., Yasko S.A. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.60–67.

The low orbit satellite communication systems are analyzing. Main attention is given to consideration of problems about navigation provision for such system users. Possible variations of ephemeris support for system are regarded. The algorithm of random range measurements in packet time interval is suggested, considering standard transmission information records in systems with packet commutation.

About NSS indicator receiver using for vessel velocity determining. Reznichenko V.I. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.67–68.

One of marine navigation equipment development aspect in connection with possibilities of modern navigation satellite systems is described.

The aerospace photographs using for location prognostication of the submarine banks on coastal shelf area. Kondurin V.D., Yushkov Yu.V. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.69–71.

There is shown that aerospace photographs may be used for location prognostication of submarine banks, for quantity and location determination of submarine formation in coastal shelf zone, the photometrical depths calculation and for substantial structure determination of the assembling dirties.

The increase of bottom/slope inventory accuracy by widebeam echosounder sounding. Zoubtchenko E.S., Luckunin A.A. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.72–79.

Existing method of bottom slope angle determination is analyzed. The formula for this angle determination is made more precise and formula for computation of the error correction due to the substitution bottom surface by tangent plane is suggested. The correction is determined by the distance between the plane and bottom surface and curvature of surface section coincided with depth gradient. This error with the survey of seamounts and error correction with surveying spherical surface is simulated. Suggested technique to increase surveying accuracy by 3÷15 times with bottom slope angle more 15° is shown.

Perspectives of icebreaking equipment and technologies development for winter navigation providing in freezing waters. Veselov O.A., Zotov A.A., Korzhov Yu.A. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.79–83.

Some recommendations for practical using icebreaking systems and technologies are given. Ice destruction by icebreaking platforms, air cushion icebreakers and air bubbler systems is analyzing. These height effective and economical technologies were tested now during exploitation on freezing water areas.

Arbitrary form area determination in cartesian coordinate system of mercator projection on the chart and PC display. Sorokin A.I. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.83–86.

Methods of determining the areas with the help of Cartesian coordinate system of Mercator projection on the chart and PC display are considered.

The method for calibration of multibeam echosounder on a flat sea floor. Firsov Yu.G. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.87–93.

Multibeam echosounder can be calibrated with its own measurement results for elimination of systematic errors. The principle of calibration is in swath data averaging for each sound beam at comparatively long survey line, or better two lines sailed in opposite directions. The algorithm to determine systematic error of roll inclination and installation offsets is discussed.

Multibeam sounder taring. Bakhmutsky V.G. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.93–99.

The method for taring incline sounder beams of multibeam sounder by using depths vertical beam measurements is suggested.

The precision of arrival echosignal angle measurement in the interferometric sidescan sonar. Dolotov S.A. , Kaevitser V.I. , Smolyaninov I.V. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.100–103.

Precision analysis of depth measurements in bathymetric sidescan surveying by AGKPS-200 sonar is carried out. It based on theoretical precision estimation of arrival angle measurements calculated by means of phase increment method in the system with vertically separated receiving antennas and experimental data obtained by interferometric sidescan sonar AGKPS–200 for tone and chirp (linear–frequency modulated) transmitting pulses.

Sea bottom structure investigations using electromagnetic methods for navigation and harbour construction safety. Rybakin V.N. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.104–106.

“Shelf-2” maritime geophysical exploration set for geoelectrical investigation of bottom structure varieties in shallow sea waters with depth from 0,5 to 30 m is specified.

On discrete of gravimeter in the ocean. Ivanov B.E. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.107–111.

The formula for determination of a distance between gravimetry points in profile is received. The condition of rootmean-square interpolated error minimum and constantly of distance between profiles was used.

Automatization of means to light up meteorological situation for ecological monitoring. Volfson L.M. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.112–115.

Subject to consideration is the possibility to automatize means of lighting up hydrometeorological situation during a year at 1,5 to 4000 m depths with the help of autonomous position stations (APS-EKO) which can be deployed from vessels having 3–5 t lifting devices. Information on station design for water and air over sea surface of parameters measurements is given. APS-EKO works according to a set programm and scans water depth up to 100 m stopping at present levels. One measuring complex can record up to 50 values of ingredients and water parameters at each depth level. During a year, up to 12000 measurements can be transmitted over radio channel to shore station.

The State (USA) Managment experience in the field of civilian and military meteorological services activity. Kozir I.V. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.116–121.

This paper describes the legislative, management and technological aspects of the US federal authorities activity in the field of civilian and military meteorological services activity are analyzed management.

Principles of hydrography and geophysics aids and means complex using for sea medium ecological control and pollution prevention. Stavrov K.G. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.122–126.

The activity of complex hydrographical and geophysics exploration methodology for a control of sea water conditions and its pollution sources revealing for extraordinary ecology situation preventing is grounded. The conception of ecology-geophysics methodological/equipment complex on the base of “two-way” sources and methods is stated. Among fundamental principles such complex creation there are necessity Geoinformation Systems (GIS) using and providing methodical and information conjugation with regional and departmental systems of ecology safety monitoring there.

The development of marine navigation in the XX-th century. Fedotov A.V. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.132–137.

Information on marine navigation developments in the 20-th century is systematized from the first gyrocompasses and beacons to radars, radionavigation, inertial and satellite navigation.

“The Perfect Rulers of Navigation” (to “The Navigator Day”). Krasovsky V.S. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.138–140.

Little known facts about navigator’s affair in Russia during the governing of Peter the First are adduced.

In Ocean Cruise. To the memory of real-admiral V.V.Vladimirov, Chief Navigator, Soviet Pacific Navy. Yakovlev A.N. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.141–143.

The analysis of three NSS’s cruises navigation support in Equatorial part of Atlantic Ocean in 1964, 1971 and 1972 years are given. These submarines were equipped with navigation complexes of the first, second and third generations accordingly. On example of V.V.Vladimirov work, the flag-navigator role on cruises is presented.

Automated mine countermeasure systems and navigation aids for mine warfare ships of foreign states. Maigov A.V. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.144–149.

Foreign states approach to mine countermeasure using perspective mine warfare ships is considered. A structure of automated mine countermeasure systems (MCMS) for these ships and its navigation aids is shown. An analysis MCMS common base functions from navigation complex point of view for mine hunting securing is given.

RD Instruments’s Doppler velocity measurers. Vinogradov K.A. Navigation and Hydrography. – 1996, №3. P.150–153.

RD Instruments’s (US) BroadBand absolute velocity measuring instruments and BroadBand Current Profilers principles of action and main characteristics are considered. Comparative estimations of BroadBand and tonal measuring instruments parameters are presented.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

АДАДУРОВ Сергей Евгеньевич, доцент ВИККА им. А.Ф.Можайского, к.т.н. Специализация - управление информационными потоками в космических системах передачи данных. Автор двух печатных трудов.

БАЗАРОВ Юрий Иванович, старший научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан 1 ранга (в отставке), к.т.н. Специализация - радионавигация. Автор около 50 печатных трудов.

БАХМУТСКИЙ Владимир Григорьевич, старший научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан 1 ранга (в отставке), к.т.н. Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе (1966) и ВСОК ВМФ (1973). Специализация - военный гидрограф. Автор более 20 печатных трудов.

БЕЛЯЕВ Борис Николаевич, главный научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан 2 ранга (в отставке), д.т.н., профессор. Окончил Каспийское ВВМУ (1950), ВСОК ВМФ (1953), ВМА (1962). Специализация - гидрометеорология. Автор около 90 печатных трудов.

ВЕСЕЛОВ Олег Анатольевич, начальник отдела Гос. НИНГИ, капитан 1 ранга. Окончил ВВМУ ПП (1970).

ВИНОГРАДОВ Константин Анатольевич, начальник отдела Гос.НИНГИ, капитан 1 ранга, к.т.н. Окончил ЛЭТИ (1973 г.). Специализация - навигационные гидроакустические системы и средства. Автор 3 монографий (в соавторстве), около 30 статей и 20 изобретений.

ВОЛЬФСОН Леон Мордухович, главный конструктор ГНЦ - ЦНИИ "Гидроприбор". Окончил Московский авиационный институт (1948 г.). Специализация - подводная спецтехника. Автор 15 изобретений и одного патента РФ.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Sergey E. Adadurov, Mozhaysky's Military Engineering Space Academy (MM ESA) assistant professor, PhD. Specialty - satellite communication. He has two publications.

Yury I. Bazarov, Gos.NINGI senior scientist, 1-st rank captain (res.), PhD. Specialty - radionavigation. Author about 50 publications.

Vladimir G. Bakhmutsky, Gos.NINGI senior scientist, 1-st rank captain (res.), PhD. Graduated from Frunze's High Naval School (FHNS, 1996) as a military hydrographer and Naval High Officer Courses (NHOС, 1973). Author more than 20 publications.

Boris N. Belyaev, Gos.NINGI chief scientist, II-d rank captain (ret.), ScD, professor. Graduated from Caspian High Naval School (1950), NHOС (1953), Naval Academy (NA, 1962). Specialty-hydrometeorology. Author about 90 publications.

Oleg A. Veselov, Gos.NINGI chief of section, 1-st rank captain. Graduated from High Naval School of Submarine Navigation (1970). Specialty - hydro-meteorology.

Konstantin A. Vinogradov, Gos.NINGI chief of section, PhD. Graduated from Leningrad electro-technical Institute (1973). Specialty - navigational acoustic means and systems. Author of 3 monographs (in co-authorship), about 30 publications and 20 inventions.

Leon M. Volfson, State Scientific Centre - CRI "Gidropribor" chief designer. Graduated from Moscow Institute of Aviation (1948). Specialty - underwater special equipment. Author of 15 inventions and 1 RF patent.

ГОЛЯКОВ Алексей Дмитриевич, начальник кафедры ВИККА им. А.Ф.Можайского, д.т.н., профессор. Окончил ВИККА (1972 г.). Специализация - автономные системы навигации. Автор более 120 печатных трудов.

ДАДАШЕВ Анатолий Аганасирович, ведущий научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан 1 ранга (в отставка), к-в-м.н., профессор. Окончил гидрографический факультет ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1947 г.), ВСОК (1952), адъюнктуру ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1967). Специализация - гидрографические исследования и их автоматизация. Автор более 40 печатных трудов (в том числе 2 монографий).

ДОЛОТОВ Сергей Александрович, мл. научный сотрудник ИРЭ РАН.

ЗОТОВ Алексей Алексеевич, зам. начальника отдела Гос.НИНГИ, полковник, к.т.н. Специализация - гидрометеорология. Автор 3 печатных трудов.

ЗУБЧЕНКО Эдуард Семенович, старший научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан 1 ранга (в отставка), к.т.н. Окончил ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1961 г.). Специализация - гидрография, аэрокосмические методы картографирования Мирового океана. Автор 15 печатных трудов.

ИВАНОВ Борис Евгеньевич, главный научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан 1 ранга (в отставка), д.т.н., профессор, лауреат Государственной премии РФ, заслуженный деятель науки и техники. Окончил Балтийское ВВМУ (1957 г.) и ВМА (1969 г.). Специализация - морская геодезия, гравиметрия, гидрография, навигация. Автор более 180 печатных трудов.

КАЕВИЦЕР Владилен Иосифович, зав. лабораторией ИРЭ РАН, д.т.н.

Alexey D. Goljakov, MMESA chair chief, ScD, professor. Graduated from MMESA (1972). Specialty - independent systems of navigation. Author more than 120 publications.

Anatoly A. Dadashev, Gos. NINGi leading scientist, 1-st rank captain (ret.), PhD, professor. Graduated from FHNS (1947), NHOC (1952), post-graduated from FHNS (1967). Specialty - hydrographic researches and its automatization. Author more than 40 publications (including 2 monographs).

Sergey A. Dolotov, IRE RAN junior scientist.

Alexey A. Zotov. Gos. NINGI deputy chief of section, colonel, PhD. Specialty - hydrometeorology. He has three publications.

Eduard S. Zoubtchenko, Gos. NINGI senior scientist, 1-st rank captain (ret.), PhD. Graduated from FHNS (1961). Specialty - hydrography, methods of world ocean cartography from satellite. He has 15 publications.

Boris E. Ivanov, Gos. NINGI chief scientist, 1-st rank captain (ret.), ScD, professor, RF State Prize Winner, RF Honored Science and Technical Worker. Graduated from Baltic High Naval School (1957), NA (1969). Specialty - marine geodesy, gravimetry, hydrography, navigation. Author more than 180 publications.

Vladilen I. Kaevitser, IRE RAN laboratory chief, ScD.

КОЗЫРЬ Игорь Витальевич, ведущий научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан 1-го ранга, к.т.н., член Российской ассоциации искусственного интеллекта. Окончил ВВМУРЭ им. А. С. Попова (1974) и ВМА (1984). Специализация - методы прикладной семиотики при обосновании разработок и применения систем гидрометеорологического обеспечения ВМФ. Автор более 60 печатных трудов.

КОНДЮРИН Виктор Дмитриевич, научный сотрудник Гос.НИНГИ. Окончил ВИККА им. Можайского (1955). Специализация - аэрофотосъемка. Автор более 10 печатных трудов.

КОРЖОВ Юрий Алексеевич, старший научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан 11 ранга. Окончил ВВМУ им. М.В. Фрунзе (1981 г.). Специализация - гидрометеорология.

КРАСОВСКИЙ Владимир Сергеевич, зам.начальника отдела Гос.НИНГИ, капитан 11 ранга, к.т.н. Окончил ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1977 г.). Специализация - навигация. Автор около 20 печатных трудов.

ЛАКУНИН Андрей Альбертович, зам. начальника отдела Гос.НИНГИ, капитан 11 ранга. Окончил ВВМУ им. М.В. Фрунзе (1981 г.), ВСОК (1987 г.). Специализация - гидрография. Автор около 10 печатных трудов.

МАКОДА Виталий Сергеевич, начальник Гос. НИНГИ, контр-адмирал, к.т.н. Окончил ВВМУ им. М.В. Фрунзе (1967 г.), ВСОК (1972), ВМА (1979). Специализация - военно-морская навигация. Автор более 70 печатных трудов.

МАЙГОВ Алексей Владимирович, научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан II ранга. Окончил ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1981 г.), ВМА (1992 г.). Специализация - навигация.

Igor V. Kozyr, Gos.NINGI leading scientist, 1-st rank captain, PhD, Russian Association of Artificial Intelligence member. Graduated from Popov's HNRES (1974), NA (1984). Specialty - applied Semiotics Implementation in Environmental Naval Support Systems. Author more than 60 publications.

Victor D. Kondurin, Gos. NINGI scientist. Graduated from MMESA (1955). Specialty - aerophotography. Author more than 10 publications.

Yury A. Korzhov, Gos.NINGI senior scientist, 1-st rank captain. Graduated from FHNS (1981). Specialty - hydro-meteorology.

Vladimir S. Krasovsky, Gos.NINGI deputy chief of section, II-d rank captain, PhD. Graduated from FHNS (1977). Specialty - navigation. Author about 20 publications.

Andrey A. Luckunin, Gos.NINGI deputy chief of section, II-d rank captain. Graduated from FHNS (1981), NHOC (1987). Specialty - hydrography. Author about 10 publications.

Vitaly S. Makoda, Gos.NINGI Chief, rear-admiral, Ph.D. Graduated from FHNS (1967), NHOC (1972), NA (1979). Specialty - naval navigation. Author more than 70 publications.

Alexey V. Maigov, Gos.NINGI scientist, II-d rank captain. Graduated from FHNS (1981), NA (1992). Specialty - navigation.

НЕЧАЕВ Юрий Иванович, заведующий кафедрой СПб. ГМТУ, д.т.н., профессор. Научное направление: исследование взаимодействия динамического объекта с внешней средой и разработка интеллектуальных систем безопасности мореплавания и посадки летательных аппаратов корабельного базирования. Автор более 300 печатных трудов. в том числе 9 книг (монографии, учебники, справочники).

РЕЗНИЧЕНКО Владимир Иванович, ведущий научный сотрудник Гос.НИНГИ, д.т.н. Окончил ЛИТМО (1960). Специализация - военная навигация. Автор около 40 печатных трудов, в т.ч. монографии (в соавторстве), и 10 свидетельств на изобретения

РОМАНОВ Владимир Викторович, адъюнкт ВИККА им.А.Ф.Можайского, капитан. Окончил ВИККА (1989). Специализация - астронавигация космических аппаратов. Автор около 10 печатных трудов.

РЫБАКИН Владимир Николаевич, старший научный сотрудник НИИ физики СПб. Гос. Университета, к.ф.-м.н. Окончил ЛГУ (1972). Специальность - геофизик- геозлектрик. Автор более 40 печатных трудов.

СМОЛЬЯНИНОВ Илья Вячеславович, инженер ИРЭ РАН.

СОРОКИН Александр Иванович, Институт Озероведения РАН, советник РАН, член-корреспондент РАН, контр-адмирал (в отставке), д.т.н., заслуженный деятель науки и техники, лауреат Государственной премии СССР. Окончил гидрографический факультет ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1946), ВМА (1955). Специализация - гидрография, картография, навигация. Автор более 200 печатных трудов.

СТАВРОВ Константин Георгиевич, начальник лаборатории Гос.НИНГИ, к.ф.-м.н. Окончил ЛГУ (1973 г.). Область научных интересов - геофизические исследования, экологический мониторинг. Автор более 50 печатных трудов.

Yuri I. Nechaev, SPb. State Marine Technical University Head of Department, ScD, professor. Author more than 300 scientific works and inventions, including 9 books (monographs, textbooks, guides). Scientific direction: investigation on dynamic objects interaction with the environment and designing intelligence system for providing safe navigation and landing flying vehicles on ships.

Vladimir I. Reznichenko, Gos.NINGI leading scientist, ScD. Graduated from LITMO (1960). Specialty - military navigation. Author about 40 publications, including one monograph (as co-author) and 10 inventions.

Vladimir V. Romanov, MMESA post-graduate student. Specialty - astronavigation of space vehicles. Author about 10 publications.

Vladimir N. Rybakin, SPb.State University Physical Research Institute senior scientist, PhD. Graduated from LGU (1972) as a geophysical- geoelectrical specialist. Author more than 40 publications.

Ilya V. Smolyaninov, IRE RAN engineer.

Alexander I. Sorokin, RAN Institute of Lake-study, Counselor of RAN, Corresponding Member of RAN, real-admiral (ret), RF Honored Science and Technical Worker, USSR State Prize Winner. Graduated from FHNS (1946), NA (1955). Specialty - hydrography, cartography, navigation. Author more than 200 publications.

Konstantin G. Stavrov, Gos.NINGI laboratory chief, PhD. Graduated from LGU (1973). Sphere of Scientific interests - geophysical investigations, ecology monitoring. Author more than 50 publications.

СТЕПАНОВ Михаил Георгиевич, начальник кафедры ВИККА им. А.Ф.Можайского, д.т.н., профессор. Специализация - космическая радионавигация. Автор около 10 печатных трудов.

СУДОЛЬСКИЙ Александр Степанович, ведущий научный сотрудник ГГИ, д.т.н. Окончил Одесский ГМИ (1955). Специализация - инженерная гидрология. Автор около 100 печатных трудов, в т.ч. четырех монографий.

ТИХОНОВ Александр Юрьевич, старший преподаватель кафедры кораблевождения ВМД, капитан 1 ранга, к.в.н. Специализация - военно-морская навигация.

ФЕДОТОВ Анатолий Васильевич, старший научный сотрудник Гос. Н ИНГИ, контр-адмирал (в отставке), к.в.-м.н. Окончил Каспийское ВВМУ (1946), ВСОК (1949), ВМА (1955). Специализация - навигация. Автор более 40 печатных трудов.

ФИРСОВ Юрий Георгиевич, ведущий научный сотрудник ВНИИ Океан-геология, К.Т.Н. Окончил ГМА им. адм. С.О.Макарова (1974 г.). Специализация - автоматизация навигационно-гидрографического обеспечения морских геологоразведочных работ. Автор более 30 печатных трудов.

ЮШКОВ Юрий Владимирович, научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан III ранга. Окончил ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1984), ВСОК (1993). Специализация - гидрография.

ЯКОВЛЕВ Анатолий Николаевич, старший научный сотрудник ЦНИИ МФ, контр-адмирал в отставке, К.Т.Н. Окончил ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1948 г.) и ВМА (1958 г.). Служил на штурманских должностях на ТОФ и СФ (последний пост - Главный штурман флота). Автор более 50 печатных трудов.

ЯСЬКО Станислав Александрович, адъюнкт ВИККА им.А.Ф.Можайского, капитан. Специализация - навигационное обеспечение многофункциональных сетевых спутниковых систем. Автор двух печатных трудов.

Mikhail G. Stepanov, MMESA chair chief, ScD, professor. Specialty - satellite radionavigation. Author of about 10 publications.

Alexander S. Sudolsky, State Hidrology Institute leading scientist, ScD. Graduated from Odessa's GMI (1955). Specialty- engineering hydrology. Author about 100 publications, including four monographs.

Alexander Yu. Tukhonov, NA senior lecturer, 1-st rank captain, PhD. Specialty - naval navigation.

Anatoly V. Fedotov, Gos.NINGI senior scientist, rear-admiral (ret.), PhD. Graduated CHNS (1946), HNOС (1949), NA (1955). Specialty - navigation. Author more than 40 publications.

Yuri G. Firsov. VNIИ Okeangeologiya leading scientist, PhD. Graduated from Makarov's State Marine Academy (1974). Specialty - automatization of navigational hydrographic data processing systems for geological survey. Author more than 30 publications.

Yury V.Yuahkov, Gos.NINGI scientist, III-d rank captain. Graduated from FHNS (1984), HNOС (1993). Specialty - hydrography.

Anatoly N.Yakovlev, Central Marine Research and Design Institute senior scientist, rear-admiral (ret.). PhD. Graduated from FHNS (1948) and NA (1958). Served as a naval officer-navigator, Pacific and Northern Fleets (his last post - Chief Navigator of the Soviet Northern Fleet). Author more than 50 publications.

Stanislav A. Yasko, MMESA post-graduate student. Specialty - navigational support of multifunctional satellite systems. He has two publications.

ПАМЯТКА АВТОРУ

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ, НАПРАВЛЯЕМЫХ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ «Навигация и гидрография»

1. Объем статьи не должен превышать 8 стр., для статьи обзорно-аналитического характера - до 15 стр. Количество рисунков и таблиц - не более 5 (по каждой позиции).

2. Статья должна иметь индекс ГРНТИ, сопровождаться аннотацией (помещается после названия), рефератом, списком использованной литературы и актом экспертизы.

3. К статье следует приложить название статьи, аннотацию и реферат на английском языке.

4. Все рисунки или фотографии должны иметь порядковый номер, размер - не более формата **A4 (297x210 мм)** и черно-белое исполнение. Не рекомендуется использование мелких штриховок и заливок (не читаемых сканером с разрешением 300 точек на дюйм).

5. Все числовые значения в тексте, на рисунках и в таблицах должны соответствовать единицам, принятым в системе СИ.

6. Список использованной литературы должен быть составлен на языке оригинала (исключение — языки с иероглифическим написанием слов, например, японский) в порядке ссылок на источники по тексту.

7. Материалы должны быть подготовлены в формате текстового редактора **MS Word 6.0 for Windows**, а также других систем, для которых имеются стандартные конвертеры Word 6.0. При оформлении использовать только стандартные шрифты, поставляемые с системой Windows.

8. Для диаграмм и графиков предпочтительно использование **векторных** форматов, импортируемых в MS Word 6.0 for Windows и одновременное представление оригинал-макета. Растровая графика (только черно-белая) может быть представлена в формате **TIFF** или **PCX** с разрешением **300 DPI**.

9. В редакцию представляются дискета 3,5" с текстом статьи, аннотации и рефератом и их распечатки в 1 экз. (дискета возвращается автору).

10. Материалы, отправляемые посредством электронной почты, направлять на адрес **E-mail: editor@nhi.spb.ru** в виде предварительно сжатых архиваторами **ARJ**, или **PKZIP**, присоединенных к письму файлов, закодированных **UUENCODE**.

Адрес редакции: Россия, 199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41.

Телефон: (812) 217-97-60, Факс: (812) 217-33-19 (в рабочее время)

E-mail: editor@nhi.spb.ru

Условия подписки на журнал

"Навигация и гидрография" на 1998 г.

Для оформления годовой подписки на 2 выпуска журнала необходимо перевести до 1 февраля 1998 г. **40 000 руб. + НДС.**

Наши реквизиты: ИНН 7801020940, войсковая часть 62728, ПУ ЦБ РФ Набережное, БИК 044080002, расчетный счет 000340856 Санкт-Петербург, указав в квитанции об оплате – "За подписку на журнал".

Навигация и гидрография, 1996, №3

Редакторы: А.И.Баранов, С.А.Рудас

Компьютерное оформление: В.И.Скалон

Подписано в печать 18.03.97.

Заказ № 263

Рег. №013267 от 26.01.95

Комитет РФ по печати

©Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт

Министерства обороны РФ