

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

---

---



# НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

ИЗДАЕТСЯ С 1995 ГОДА

**2**  
**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.Емельянцев,  
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 Н.П.Кутузов**

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

**1996**

**THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC INSTITUTE**

---

---

**NAVIGATION AND  
HYDROGRAPHY**

**PUBLISHED SINCE 1995**

**2  
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.Peresyphkin, 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 N.P.Kutuzov**

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

**1996**

## СОДЕРЖАНИЕ

### К 300-летию РОССИЙСКОГО ФЛОТА

<i>Макода В.С., Федотов А.В.</i> Научные исследования в области морской навигации в России .....	9
--	---

#### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

<i>Макода В.С.</i> Перспективы развития средств и методов морской навигации, гидрографии и океанографии .....	14
<i>Антаков А.В.</i> Современное состояние, проблемы и перспективы развития системы навигационного оборудования морей в Российской Федерации .....	19
<i>Абалакин В.К., Богданов В.И., Буланже Ю.Д., Медведев М.Ю., Неронов Н.Н., Солодов В.А., Трошков Г.А.</i> Возрождение морских обсерваторий - стратегическая задача фундаментальной науки и практики .....	22
<i>Баскин А.С.</i> Диалектика развития навигации .....	26
<i>Малеев П.И.</i> Одно из возможных направлений в создании средств навигации морских объектов по физическим полям Земли .....	31
<i>Леонова О.О., Щенников Д.Л.</i> К вопросу о сертификации дипломов по специальности "Гидрография" и "Метеорология" .....	35

#### МЕТОДЫ, ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВИГАЦИИ. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШТУРМАНА

<i>Гузевич С.Н.</i> Основные положения навигации по геомагнитному полю .....	37
<i>Дзюба В.Г., Панов А.Г.</i> Опыт создания, испытаний и использования ЭНИС для ВМФ.....	44
<i>Ясько С.А., Чупин Д.Ю.</i> Проблемы и возможности навигационных определений в многоспутниковых системах связи .....	46
<i>Кокорин В.И., Проценко Л.М.</i> Способ дистанционного определения координат необслуживаемых объектов.....	52
<i>Беляев Б.Н., Сорокин А.И.</i> О некоторых свойствах оценок средних квадратических погрешностей места корабля.....	56
<i>Груздев Н.М.</i> Об использовании Лапласовской модели погрешностей в навигации.....	59
<i>Иванов Б.Е.</i> Оценка точности определения места при использовании распределения Лапласа .....	66

#### НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

<i>Алексеев С.П., Емельянец Г.И.</i> Об интеграции информационного обеспечения задач навигации, стабилизации и управления движением морских подвижных объектов. ....	73
<i>Емельянец Г.И., Моисеев Э.С., Солнцев А.Н.</i> Методы расчета показателей эффективности навигационных комплексов надводных кораблей .....	77
<i>Виноградов К.А.</i> О предварительной оценке некоторых параметров разрабатываемых эхолотов.....	84
<i>Красовский В.С.</i> К вопросу учета множественных неисправностей при определении состава одиночного ЗИП навигационных комплексов .....	86
<i>Бродский П.Г., Леденев Н.И., Флорова Т.Н.</i> Об оценке качества проектируемого навигационного комплекса.....	91

#### СПУТНИКОВЫЕ И НАЗЕМНЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

<i>Зурабов Ю.Г., Мищенко И.Н.</i> Требования морского флота к радионавигационному обеспечению .....	95
<i>Бутенко В.В., Куропятников А.Д.</i> Проблема точности моделирования радиационного давления на корпус космических аппаратов в эфемеридном обеспечении ЕКНС ГЛОНАСС.....	104
<i>Комин В.Я., Косульников А.Р.</i> Априорная оценка доступности структурно-сложных радионавигационных систем .....	108
<i>Резниченко В.И., Шашков А.А.</i> Фазовый метод определения ориентации по сигналам спутниковой навигационной системы .....	115

<b>СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГИДРОГРАФИИ, МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИРОВОГО ОКЕАНА</b>	
<i>Зубченко Э.С.</i> Использование спутниковых данных о высотах геоида для оценки рельефа дна.....	120
<i>Кушнир В.М.</i> Приборно-методическое обеспечение измерений параметров придонного слоя.....	123
<i>Краснов В.И.</i> Подводный аппарат проницаемого типа СМП-07 .....	129
<i>Сорокин А.И.</i> Об измерении площадей на морских картах .....	133

#### **ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРСКОЙ И ВОЗДУШНОЙ НАВИГАЦИИ**

<i>Галахов В.Л., Дмитриев В.Г.</i> О законе распределения погрешностей гидрометеорологических прогнозов .....	136
<i>Дмитриев В.Г.</i> Принципы формирования базы прогностических данных в автоматизированном прогностическом центре.....	141

#### **МОРСКАЯ ЭКОЛОГИЯ**

<i>Блинов И.А.</i> Гидрография и экология.....	146
<i>Гребинский А.С., Осадчий В.Ю.</i> Учет шероховатости морской поверхности при дистанционном зондировании нефтяных пленок на море .....	149
<i>Мастрюков С.И.</i> Моделирование циркуляции воды и переноса примеси в мелководных бассейнах .....	152

#### **КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ, СЕМИНАРЫ**

Выставка "300 лет Российскому флоту: традиции, современность, перспективы" .....	160
Вторая российская научно-техническая конференция "Современное состояние, проблемы навигации и океанографии" (НО - 95).....	160
Третья международная конференция по интегрированным навигационным системам .....	163
Пятая международная конференция и выставка "Дифференциальные спутниковые навигационные системы.....	163
Научно-практическая конференция "Стандартизация, метрология и флот", посвященная 300-летию Российского Флота .....	163
"Русское географическое общество и флот" - 6-я конференция по географии и картографированию океана Русского географического общества, посвященная 300-летию Российского Флота.....	164
XX -ая юбилейная конференция, посвященная памяти Н.Н.Острякова.....	165
"Навигационная техника 3-го тысячелетия" - 52-я ежегодная конференция Института навигации США.....	165
Новая секция в Научно-техническом обществе судостроителей.....	166

#### **СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ**

Черноморский флот при М.П.Лазареве (отрывки из воспоминаний адмирала И.А.Шестакова "Полвека обыкновенной жизни").....	167
---	-----

#### **ЗА РУБЕЖОМ**

<i>Макода В.С., Трегубов В.С., Захаров Ю.И.</i> Состояние и тенденции развития наземных радионавигационных систем за рубежом .....	175
<i>Волосов П.С., Рудас С.А.</i> Организация и средства навигационно-гидрографического обеспечения Японии.....	180

#### **ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ**

<i>Булавчик В.Г.</i> 295 лет ВВМУ им. М.В.Фрунзе .....	191
<i>Блинов И.А.</i> 120 лет Государственной Морской Академии им. адм. С.О.Макарова.....	193
<b>Аннотации статей на английском языке</b> .....	196

## CONTENTS

### TO THE 300-th RUSSIAN FLEET ANNIVERSARY

<b>Makoda V.S., Fedotov A.V.</b> Scientific investigations in the field of marine navigation in Rlissia.....	9
--	---

#### GENERAL MATTERS

<b>Makoda V.S.</b> Perspective development of navigation, hydrography and oceanography methods and aids .....	14
<b>Antakov A.V.</b> Marine aids to navigation contemporary situation, problems and perspectives in Russian Federation .....	19
<b>Abalakin V.K., Bogdanov V.I., Bulanzhe Yu.D., Medvedev M.Yu., Neronov N.N., Solodov V.A., Troshkov G.A.</b> Marine observation revival is a strategic problem of fundamental science and practice .....	22
<b>Baskin A.S.</b> Navigation genesis dialectics .....	26
<b>Maleev P.I.</b> One possible way for marine navigation means creation using the Earth physical fields .....	31
<b>Leonova O.O., Shchennikov D.L.</b> About diploma certification for "Hydrography" and "Meteorology" profession .....	35

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

<b>Guzevich S.N.</b> Basic proposal for navigation by the geomagnetic field .....	37
<b>Dzyuba V.G., Panov A.G.</b> Creation, testing and drawing on experience with ECDIS for the Navy.....	44
<b>Yasko S.A., Chupin D.Yu.</b> Problems and opportunities of navigation positioning in multysatelhte communication systems.....	46
<b>Kokorin V.I., Protzenko L.M.</b> One method for distance estimation of unmanned objects positions .....	52
<b>Belyaev B.N., Sorokin A.I.</b> About some characteristics of evaluations for ship's positioning root mean square errors .....	56
<b>Gruzdev N.M.</b> About using Laplace model errors in navigation .....	59
<b>Ivanov B.E.</b> Accuracy evaluation for positioning using Laplace distribution .....	66

#### NAVIGATION AND INTEGRATED SYSTEMS

<b>Alekseev S.P., Emelyantsev G.I.</b> About information support integration of navigation, stabilization and control tasks for marine mobile objects .....	73
<b>Emelyantsev G.I., Moiseev E.S., Solntsev A.N.</b> Methods for calculating of surface vessel integrated navigation systems efficiency.....	77
<b>Vinogradov K.A.</b> About preliminary evaluation of some echosounders parameters.....	84
<b>Krasovskiy V.S.</b> Taking into account the plural faultiness for determination of single repair kit structure for integrated navigation systems .....	86
<b>Brodsky P.G., Ledenev N.L., Florova T.N.</b> About quality evaluation of projected integrated navigation system .....	91

#### SATELLITE AND LAND-BASED RADIONAVIGATION SYSTEMS

<b>Zurabov Yu.G., Mishchenko I.N.</b> Marine Fleet requirements to radionavigation support .....	95
<b>Butenko V. V., Kuropyatnikov A.D.</b> Modelling accuracy problem of radiation pressure on cosmic vehicles hulls in ephemeristical maintenance SCNS GLONASS .....	104
<b>Komin V.Ya., Kosulnikov A.R.</b> The a priori estimation of complex radionavigation systems availability .....	108
<b>Reznichenko V.I., Shashkov A.A.</b> Phase method of Satellite Navigation System's signals .....	115

## MEANS AND METHODS OF HYDROGRAPHY, MARINE CARTOGRAPHY AND GEOPHYSICS FOR THE WORLD OCEAN RESEARCH AND USING

<b>Zubchenko E.S.</b> The use of satellite data about geoid heights for estimation of submarine relief.....	120
<b>Kushnir V.M.</b> Instrumental and methodical provision of near-bottom boundary layer parameters measurments.....	123
<b>Krasnov V.N.</b> Undenvater permeable vehicle type SMP-07 .....	129
<b>Sorokin A.I.</b> About determinating the areas on Mercator charts .....	133

### HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT OF MARINE AND AIR NAVIGATION

<b>Galakhov V.L., Dmitriev V.G.</b> About the distribution law hydrometeorological forecasts errors.....	136
<b>Dmitriev V.G.</b> Forming principles for prognostic data base in automated forecasted centre.....	141

### MARINE ECOLOGY

<b>Blinov I.A.</b> Hydrography and ecology .....	146
<b>Grebinsky A.S., Osadchy V.Yu.</b> Consideration of the sea surface roughness for remote seising of oil films on the sea surface.....	149
<b>Mastryukov S.I.</b> ModeUing circulation of water and admixture carrying in shallow water basins.....	152

### CONFERENCES, SYMPOSIA, SEMINARS

The exhibition "300 years of the Russian Fleet: traditions, contemporaneity, perspectives".....	160
The Second Russian scientific conference "Contemporary state, problems of navigation and oceanography" (NO-95).....	160
The Third International conference on integrated navigation systems.....	163
The Fifth International conference and exhibition "GPS navigation systems".....	163
Scientific-practical conference "Standaitization, Metrology and the Fleet" devoted to the 300-th anniversary of the Russian Fleet .....	163
"Russian Geographic Society and the Fleet" - the Sixth conference on geography and ocean cartography of the Russian Geographic Society, devoted to the 300-th anniversary of the Russian Fleet.....	164
The XX-th jubilee conference, devoted to N.N.Ostryakov's memory.....	165
"Navigation technics for the Third thousand" - 52-th annual conference of US Institute of Navigation.....	165
New section of Shipbuiders Scientific Society .....	166

### HISTORY PAGES

Black Sea Fleet in M.P. Lazarev's period (fragments from admiral N.A.Shestakov's memoirs "Half century of ordinary life" ).....	167
---	-----

### ABROAD

<b>Makoda V.S., Tregubov V.S., Zakharov Yu.I.</b> State and growth trend of land-based radionavigationsystems abroad .....	175
<b>Volosov P.S., Rudas S.A.</b> Organization and means for navigation-hydrographical support in Japan.....	180

### JUBILEE DATA

<b>Bulavchik V.G.</b> 295 years of M.V.Frunze Navy High School.....	191
<b>Blinov I.A.</b> 120 years adm.S.O.Makarov State Marine Academy .....	193
<b>Abstracts of published articles</b> .....	196



## К 300-летию РОССИЙСКОГО ФЛОТА

ГРНТИ 78.25.25.01.09

### НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ МОРСКОЙ НАВИГАЦИИ В РОССИИ

**В.С.МАКОДА,  
А.В.ФЕДОТОВ**  
(Гос.НИНГИ МО РФ)

*Описывается история российских исследований в области морской навигации. Отмечаются наиболее выдающиеся научные достижения.*

Столетие тому назад казалось, что все крупные проблемы навигации решены.

К началу XX века, как и в предыдущем столетии, единственным средством курсоуказания в море оставался магнитный компас, а основными методами определения координат были астрономические с помощью морского секстана и хронометра.

Навигационная наука по сравнению с другими отраслями знаний находилась в серьезном застое, исследования велись только в области морской астрономии и использовании магнитного компаса на железных кораблях.

Так в 1844 г. были опубликованы работы штурмана М.А.Акимова по практическим приемам определения координат места корабля по измерениям высот светил. В 1874 г. профессор Н.Я.Цингер разработал способ определения поправок хронометра по измерениям соответствующих высот светил, им же был создан двухтомный труд по астрономии, на котором воспитывалось несколько поколений геодезистов, гидрографов и штурманов. Теперь, чтобы плавать по звездам, необходимо было иметь астрономический ежегодник, секстан и часы, показывающие часовой угол точки Овна (звездное время).

Первым русским морским астрономическим ежегодником можно считать издававшийся Адмиралтейским департаментом с 1814 по 1855 гг. "Морской месяцеслов". Составителем его был академик-астроном Ф.Ш.Шуберт. С 1856 г. в русском флоте стал использоваться английский ежегодник "Наутикл альманах". К нему составлялись специальные подробные руководства, причем автором первого тома такого руководства был директор Пулковской обсерватории В.Я.Струве.

Так российские мореплаватели попали в зависимость от иностранных пособий. После революции в советскую Россию практически прекратилось поступление научной литературы из-за рубежа, в том числе и специальных астрономических эфемерид. Перед отечественными учеными была поставлена задача – в короткие сроки разработать и приступить к изданию специального ежегодника, предназначенного для нужд нашего флота.

В 1930 г. Астрономическим институтом специально для мореплавателей было выпущено первое издание астрономического ежегодника. В разработке, выпуске и дальнейшем совершенствовании его большую роль сыграли такие крупные ученые, как И.Д.Жонголович, Н.И.Идельсон, В.В.Каврайский, Н.Н.Матусевич. Так, заслуженный деятель науки РСФСР профессор И.Д.Жонголович был ответственным редактором Морского астрономического ежегодника более сорока лет [1].

В России длительное время проводились теоретические исследования, связанные с использованием магнитных компасов на кораблях флота. В частности, М.В.Ломоносов занимался работами, связанными с определениями магнитного склонения и учета его влияния в показаниях магнитного компаса; Л.Эйлер исследовал законы изменения магнитного поля Земли для разработки строгих математических методов расчета магнитного склонения в любой точке земной поверхности.

Академик Петербургской Академии наук Ф.У.Т.Эпинус (1724-1802 гг.) написал работу о способах "поправления морского компаса и магнитных стрелок", а также ряд трудов по математической теории электричества и магнетизма [2]. Наиболее значительные работы по магнитно-компасному делу были выполнены офицерами русского флота И.П.Белавенцем (1829-1878 гг.) и И.П.Колонгом (1839-1901 гг.). О высокой оценке работ И.П.Белавенца свидетельствует тот факт, что его статья "О магнитном состоянии железного броненосца "Первенец" была переведена на английский язык и зачитана А.Смитом на заседании Лондонского королевского общества. В 1864 году он впервые в истории компасного дела обосновал возможность установки магнитного компаса внутри стального корпуса подводной лодки, обеспечив при этом снижение девиации до уровня не выше, чем на обычных судах [2]. Однако наиболее важной заслугой И.П.Белавенца является организация в 1865 г. Кронштадтской компасной обсерватории, в которой были выполнены серьезные исследования и практические работы по совершенствованию магнитных компасов, воспитана плеяда замечательных ученых, среди которых наиболее яркой личностью был И.П.Колонг.

С образованием компасной лаборатории центр научных исследований магнитных компасов переместился в Россию. После смерти в 1878 г. И.П.Белавенца, И.П.Колонг возглавил все компасное дело в России, он усовершенствовал способы определения полукруговой и четвертной девиации. Совместно с С.Г.Добровым им впервые в мире были предложены и в 1887 г. практически проверены приемы уничтожения электромагнитной девиации. Особая заслуга И.П.Колонга состоит в воспитании плеяды замечательных учеников и последователей, первый среди которых академик А.Н.Крылов. Ученики И.П.Колонга Ф.Ф.Ридигер и Н.Н.Оглоблинский под его руководством подготовили "Руководство по девиации компаса". Об этой работе И.П.Колонг писал: "В иностранной литературе не существует руководства, которое могло бы по полноте и изяществу сравниться с описываемым". Отмечая заслуги И.П.Колонга в магнитно-компасном деле, академик А.Н.Крылов писал: "Необходимо заметить, что учение о девиации компасов благодаря трудам И.П.Колонга, охватывающим промежуток времени около 40 лет, стояло в нашем флоте гораздо выше, нежели в любом из иностранных флотов. Наряду с Пуассоном, А.Смитом и В.Томсоном Иван Петрович является истинным творцом этой области знаний, столь важной для мореплавания" [2].

В советский период вопросами теории и практики магнитных компасов занимались А.Н.Крылов, В.Я.Павлинов, Н.Ю.Рыбалтовский, П.А.Домогаев. А.Н.Крылов разработал в 1938 г. динамическую теорию картушки компаса. В.Я.Павлинов предложил новый способ определения индукции стрелок на мягкое железо нактоуза, а также выполнил исследования в области математической теории стрелок картушки и методов ее проверки. Н.Ю.Рыбалтовский углубил теорию креновой девиации и написал большой труд "Магнитно-компасное дело", являвшийся хорошим учебным пособием для многих советских штурманов. П.А.Домогаев выполнил ряд интересных исследований в области математической теории стрелочного чувствительного элемента, теории дефлектора и теории электромагнитной девиации.

Начало двадцатого века ознаменовалось открытием радио, которое не только позволило связываться с мореплавателями, но и расширило базу навигации, когда кроме астрономии стали использоваться в практике радиопеленгование, а позже и радиоизмерения. Адмирал С.О.Макаров заинтересовался предложением А.С.Попова о расширении возможностей радио и рекомендовал командирам кораблей определять направления на неприятельские корабли, используя их радиопередачи. Первые опыты по радиопеленгованию были проведены во время русско-японской войны (1905-1906 гг.). В ходе ее, а также первой мировой войны корабли в море целиком полагались на автономное навигационное обеспечение.

В период между двумя мировыми войнами научные исследования в области навигации были направлены на совершенствование компасов, лагов, радиомаяков, радиопеленгаторов, эхолотов. Замена традиционного магнитного компаса гирокомпасом обеспечила возможность создания и применения высокоточных систем управле-

ния артиллерийским оружием и позволила добиться экономии топлива на переходах в море. В разработке первых отечественных гирокомпасов активную роль играли Б.И.Кудревич, Н.Н.Остряков, Н.И.Сигачев, М.А.Шиф, Д.Н.Иконников, С.П.Ростовцев, В.И.Орловский и др.

Появление на русском флоте гироскопических средств курсоуказания способствовало активизации в стране исследовательских работ по теоретическим основам построения этих приборов и приемам их использования. В 1918 г. инженер Н.Ф.Минорский опубликовал книгу "Гироскопический компас", ставшую первым учебником для профильных специалистов. В этом труде были широко использованы работы русских ученых А.Н.Крылова, Н.Е.Жуковского, П.А.Некрасова, А.Я.Ляпунова, П.А.Домогарова. Так как в этот период ни автономные средства навигации, ни средства, позволяющие производить обсервации в море, не давали высоких точностей, усилия ученых, штурманов и гидрографов были направлены главным образом на разработку методов навигации, позволяющих повысить точность кораблевождения.

Содержательные статьи по методам навигации опубликовали в журнале "Записки по гидрографии" такие видные штурмана и гидрографы как А.А.Ахматов, А.П.Белобров, В.В.Каврайский, Н.Н.Матусевич, Н.Ю.Рыбалтовский, Н.А.Сакеллари, И.Н.Терехов, К.С.Ухов, Б.П.Хлюстин [3]. В 1960-е годы был разработан и издан в 6-ти томах "Курс кораблевождения" с приложениями по всем вопросам штурманского дела – всего 19 книг, выпущенные Управлением гидрографической службы ВМФ (начальник редакции и главный редактор Я.Я.Лапушкин). В состав авторского коллектива входили известные навигаторы: Е.П.Глебов, А.К.Загурьянов, Г.П.Попеко, Н.И.Сигачев, П.П.Скородумов, И.Н.Терехов.

С началом создания ракетно-ядерного флота (1955-1964 гг.) стране необходимо было решить ряд сложнейших проблем навигационного обеспечения. Характерно, что аналогичная проблема возникла и у американцев при разработке системы "Поларис–Посейдон". Руководитель программы адмирал Х.Риквер так сформулировал основные национальные задачи, которые предстояло решить флоту: – создание атомного реактора для подводных лодок, создание ракеты для подводных лодок, создание средств навигации для подводных лодок. Так впервые разработка высокоэффективной аппаратуры навигации получила статус одной из трех основных национальных программ, решение которых обеспечило возможность развертывания системы "Поларис–Посейдон".

Решение сложнейших проблем навигации было возможно только на основе фундаментальных исследований в области гироскопии, электроники и вычислительной техники. В связи с созданием перспективных средств навигации перед отечественной наукой были поставлены следующие задачи:

- исследовать возможности построения компактных, высокоточных, надежных быстродействующих вычислительных систем;
- исследовать возможности разработки гироскопов и гироскопических систем на основе различных принципов, пригодных по точностным, надежностным параметрам к использованию в корабельных инерциальных системах;
- исследовать вопросы математического и программного обеспечения навигационных систем;
- проанализировать возможности создания новых источников питания;
- изучить возможности использования лазеров в навигационных системах;
- проанализировать пути прецизионного измерения времени;
- исследовать методы математического обеспечения навигационных систем;
- разработать методику изучения геофизических полей и учет их влияния на прецизионные навигационные системы.

Для решения перечисленных задач были привлечены лучшие силы ведущих научных учреждений страны, работающих в области радиоэлектроники, гироскопии, вычислительной техники, спутниковых систем, гидроакустики, оптики и в других областях. В результате предпринятых усилий, начиная с пятидесятых годов, начала расширяться база навигации. Теперь в ее интересах стали использоваться не только астроно-

мия и радио, которые можно рассматривать как традиционные навигационные науки. Основной упор научных исследований переместился в научные учреждения ВМФ и связанные с морским приборостроением НИИ и НПО. Вокруг институтов и предприятий, создававших морские навигационные системы, постепенно сформировался устойчивый творческий коллектив видных ученых, конструкторов и военных моряков – инженеров-исследователей и инженеров-испытателей, ведущих научно-техническое сопровождение разработок. Его усилиями были успешно решены многие научно-технические проблемы, продвинувшие навигационное приборостроение на передовые рубежи научно-технического прогресса.

В итоге проведения широкого фронта фундаментальных научных исследований в институтах АН СССР и союзных республик, прикладных институтах промышленности и ВМФ удалось в короткие исторические сроки существенно повысить характеристики технических средств и дать толчок для развития новых методов навигации. Важной составляющей совершенствования навигационной техники стало математическое обеспечение. Развитие его существенно продвинулось под влиянием совершенствования обработки данных, повышении быстродействия и емкости памяти ЭВМ. От работавших здесь специалистов потребовалось глубокое знание предмета навигации, свободное владение математическим аппаратом, а также разносторонняя инженерная подготовка. Большую роль сыграло также наличие теоретического задела для разработки соответствующего математического обеспечения, реализовать который оказалось возможным с появлением цифровой вычислительной техники. Благодаря многочисленным трудам наших штурманов и гидрографов такие наработки в области навигации, астрономии, гидрографии и картографии у нас были. Прогресс в математическом обеспечении был достигнут в результате хорошо организованного взаимодействия офицеров-штурманов с большим практическим опытом плавания и молодых специалистов-программистов высокого уровня. В этом также заслуга инженеров-математиков Е.Д.Боданского, С.П.Дмитриева, Б.С.Ривкина, А.В.Осипова, А.А.Ирклея, В.В.Поддубного и многих других.

Использование современной электронно-вычислительной техники для обработки первичной информации позволило существенно расширить возможности навигационной науки. В результате военная навигация все больше стала вторгаться в область управления. Применение статистических методов явилось вторым аспектом новых реалий в навигации. Сначала для отыскания наиболее вероятного места нашла применение теория вероятностей. В дальнейшем ее использование совместно с методами математической статистики стало главным инструментом анализа плавания кораблей, а также при обосновании навигационных систем и оценке эффективности навигационного обеспечения в различных условиях плавания.

Таким образом главным событием в навигации во второй половине двадцатого века стало внедрение электроники, которая теперь является основой корабельных навигационных комплексов и их сердцем. Новые качества навигационной науке дало появление инерциальных систем, впитавших в себя четырехсотлетние достижения теории и самые передовые инженерно-технические решения. В нашей стране наибольший научный и организационный вклад в создание навигационных комплексов подводных лодок внесли В.И.Маслевский, О.В.Кищенко, Э.М.Эллер, В.Г.Пешехонов, В.Д.Теплов, Ю.Д.Рихтерман, Л.К.Овчинников, А.П.Князев, В.А.Монтелли, И.И.Тузov. Большинство из них за эти работы удостоены Ленинских и Государственных премий.

Настоящую революцию в навигации произвели созданные и внедренные в эксплуатацию низкоорбитные и среднеорбитные спутниковые системы. Впервые это позволило нашим кораблям и судам определяться по отечественным системам в любой точке Мирового океана с точностями, о которых мореплаватели могли только мечтать. Спутниковая навигационная система, совершившая революцию в навигационных возможностях не только флота, но и многих других потребителей страны – одна из достойных страниц развития технических средств ВМФ. Особенно приятно отметить, что идея эта зародилась в недрах нашего Института, института флота и для флота она впервые была развернута. В научном обосновании и технической реализации спутни-

ковой навигационной системы наиболее существенный вклад внесли Л.И.Гордеев, В.А.Фуфаев, В.П.Заколюдяжный, Е.Ф.Суворов, Е.П.Чуров, Ю.И.Максюта, А.Ф.Смирновский, В.С.Шебшаевич, Н.Е.Иванов, Д.А.Пономарев, В.А.Салищев, Ю.С.Дубинко. Из работ посвященных методам обоснования системы навигационно-гидрографического обеспечения следует отметить труды В.С.Болдырева.

В последнее время большое развитие получили сервисные системы, которые существенно облегчают работу штурманов в море и при подготовке к походу. Так уже созданы системы, способные хранить, обрабатывать и отображать информацию, содержащуюся на морских картах. Развитие морских электронных карт позволит на экране дисплея навигационной обстановки 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 позволят штурману без каких-либо специальных расчетов, надежно оценивать навигационную безопасность плавания и прогнозировать развитие ситуации. Внедрение новых технических средств навигации стимулировало разработку новых методов навигационного обеспечения. Их разработка и создание соответствующих пособий проводилось под руководством В.А.Масленникова, А.А.Сорокина, В.Н.Фрадкина, Е.Н.Коренева, Ю.А.Стецуна, В.К.Гаранина и др. При подготовке этих документов активное участие принимали флагманские штурмана соединений подводных лодок А.П.Бурсевич, В.В.Владимиров, М.П.Лузин, Л.В.Скляр, В.П.Деменцов и др., а также флагманские штурманы флотов Д.Э.Эрдман, А.Н.Яковлев, Э.А.Бородин, Ю.И.Жеглов, главные штурманы ВМФ А.Н.Мотрохов, Р.А.Зубков, В.И.Алексин. Большую роль в деле освоения новых технических средств навигации, новых методов навигации, оценки точности и анализа навигационной информации сыграли учебники, учебные пособия и труды преподавателей Военно-Морской академии и Военно-Морских училищ Н.М.Груздева, Р.С.Кабилова, А.В.Лаврентьева, С.С.Матвеева, М.И.Скворцова и Р.А.Скубко.

В целом в разработке научных вопросов навигации в 60-80-е годы приняли участие сотни ученых, инженеров, штурманов и гидрографов нашего ВМФ. Назвать всех очень сложно. Важно то, что они стояли на той научной базе, которая была создана многими предшествующими поколениями российских штурманов и гидрографов.

Отмечая 300-летие Российского флота, следует подчеркнуть, что стараниями отечественных ученых развитие навигационной науки и практики позволило эффективно удовлетворить все требования ВМФ к повседневному обеспечению его деятельности (в т.ч. и в боевых условиях), а также способствовало успешному решению народнохозяйственных задач. Научный задел в области навигации и гидрографии позволяет надеяться на дальнейшее успешное совершенствование навигационно-гидрографического обеспечения Российского флота.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амелин В.М., Терентьев В.В. Космос и навигация. Л., Знание, 1986 г. – 32 с.
2. Корякин В.И., Хребтов А.А. От астролябии к навигационным комплексам. СПб., Судостроение, 1994 г. – 240 с.
3. Сборнику "Записки по гидрографии" 150 лет. СПб., Записки по гидрографии, N 228. С.5–13.

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ГРНТИ 78.21.41;78.21.39.17;78.21.37.15

### **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ МОРСКОЙ НАВИГАЦИИ, ГИДРОГРАФИИ И ОКЕАНОГРАФИИ**

**В.С.МАКОДА**  
(Гос.НИНГИ МО РФ)

*Анализируется направленность развития методов и средств морской навигации, гидрографии и океанографии. Характеризуются основные положения "Комплексных программ навигационного обеспечения ..." (на периоды до 1990 и 2000 гг.) и Госпрограммы "Российский радионавигационный план".*

*Подчеркивается приоритет развития инерциальных навигационных систем, создания системы Единого радионавигационного поля. Перечисляются новейшие технические разработки по созданию перспективных технических средств навигации, гидрографии и океанографии.*

Анализ существующего положения дел и генеральных направлений развития средств и методов навигации, гидрографии и океанографии в мире указывает на следующие тенденции:

1. Стремление к глобальному навигационно-гидрографическому обеспечению основных групп подвижных объектов на суше, в околоземном космическом и воздушном пространстве, на воде и под водой с обязательным учетом требований международных договоров, соглашений и других документов в данной области.

2. Унификация минимально необходимого количества навигационно-гидрографического оборудования, достаточного для надежного удовлетворения требований пользователей.

3. Стремление к минимально возможной стоимости оборудования и, в первую очередь, бортовой аппаратуры.

4. Автоматизация, обеспечивающая простоту получения, отображения и использования навигационной информации; интеграция навигационных систем с системами связи, управления и прочего как в военной, так и в гражданской сферах, и другие.

Основные направления технической политики в области средств и методов морской навигации разрабатываются в Гос.НИНГИ с учетом перечисленных тенденций. Это нашло свое отражение в разработанных дважды за последние 15 лет по инициативе МО (Гос.НИНГИ) "Комплексных программах навигационного обеспечения..." (на периоды до 1990 и 2000 гг.) с участием десятков организаций различных министерств и ведомств страны.

Задача формирования обоснованного и согласованного перечня перспективных систем навигации, удовлетворяющих требованиям различных пользователей, по-прежнему остается актуальной, особенно в современных экономических условиях.

Учитывая изложенное, перспективы развития средств и методов морской навигации представляются следующим образом.

Приоритетное значение мы продолжаем придавать развитию инерциальных навигационных систем (ИНС) как информационной основе автономных средств навигации. Перспективу развития ИНС не только корабельных, но и практически для всех видов подвижных объектов мы видим в унифицированных малогабаритных бескарданных ИНС (БИНС) на лазерных и электростатических гироскопах. Их отличительная особенность - большая надежность и малые эксплуатационные расходы. Несмотря на трудности осуществляется разработка БИНС на подобных и других типах гироскопов.

Следует заметить, что аналогичные работы сейчас проводятся и в других отраслях оборонной промышленности, в частности по заказам ВВС и других видов ВС. По-

этому их постановка целесообразна на конкурсной основе. Вместе с тем значительное внимание мы уделяем дальнейшему совершенствованию традиционных средств курсоуказания, которое, по нашему мнению, будет идти в направлении повышения уровня надежности, автоматизации запуска и контроля работоспособности, уменьшения массогабаритных характеристик и энергопотребления, упрощения технического обслуживания и расширения, при необходимости, номенклатуры вырабатываемых и транслируемых параметров. Это станет возможным с внедрением в перспективные курсоуказатели новейших технологий и электронно-вычислительной техники.

Потери в связи с распадом СССР приборостроительной базы в бывших союзных республиках, в том числе основного разработчика-изготовителя лагов и эхолотов (ПО "Реут" в Молдавии) существенно осложнили задачи оснащения кораблей и судов России данными средствами. В этой обстановке инициативно нашим Институтом совместно с предприятием "Промэлектроника" разработан первый российский эхолот НЭЛ-20К. Тем не менее, наиболее полно задача измерения скорости и глубины под килем должна решаться путем создания объединенных на функциональном уровне единых систем. Концептуально такие проработки Гос.НИНГИ уже выполнены. На основании имеющегося задела целесообразна ускоренная разработка таких систем для различных классов кораблей и судов силами предприятий Санкт-Петербурга при определяющем участии Института.

Большое внимание мы уделяем вопросам создания навигационных информационных систем с отображением электронной карты, решение которых следует рассматривать как реальное повышение точности и безопасности кораблевождения. Названная работа важна с точки зрения конверсии, так как подобные системы получают широкое распространение на коммерческих, рыболовецких и других гражданских судах. В этой области имеется положительный опыт первых морских испытаний систем, использующих наборы данных электронных навигационных карт, разработанных в соответствии с международным стандартом.

Интегрирование навигационных информационных систем с системами управления судном откроет более широкие возможности по обеспечению безопасности плавания, автоматизации процесса судовождения, снятия с судоводителя значительной части физической и психологической нагрузки. По нашему мнению, внедрение таких интегрированных систем является важным средством снижения аварийности флота по вине личного состава.

В современных условиях актуальной является разработка более совершенной системы навигационного оборудования (СНО) прибрежной зоны, включающей в себя комплекс зрительных и радионавигационных средств, а также систему регулирования движения судов. Ее развитие должно идти по пути оптимизации состава, создания и развертывания универсальных СНО, разработки и внедрения унифицированной бортовой аппаратуры, включая потребителей систем управления движением.

Изменение морских границ и экономической политики России привели к необходимости внесения корректур и в план развития СНО прибрежной зоны морей. Определенное влияние оказывает на эту область деятельности Института и появление таких новых направлений, как освоение арктических морских нефтегазовых месторождений. С каждым годом все более острыми становятся вопросы навигационной безопасности мореплавания и экологических последствий морских катастроф. В этих условиях государство развертывает строительство новых портов взамен утраченных. Все это учитывается в разрабатываемом сейчас Институтом совместно с другими ведомствами проекте Федерального плана развития СНО прибрежной зоны России.

Важнейшее место в системе средств навигационного оборудования занимают радионавигационные системы. Предлагаемая нами техническая политика в области развития РНС предусматривает создание системы Единого радионавигационного поля (ЕРНП), представляющего собой совокупность радионавигационных полей РНС космического и наземного базирования, имеющих единую координатно-временную основу и согласованную структуру сигналов. В состав системы ЕРНП должны входить:

— СНС ГЛОНАСС (ядро системы);

- СНС Цикада-М (резервная);
- мобильные наземные РНС СВ- и ДВ-диапазонов, передающие дифференциальные поправки системы ГЛОНАСС;
- единый приемоиндикатор модульного типа, обеспечивающий возможность выбора потребителем необходимого комплекта, исходя из состава используемых РНС.

Совместная обработка навигационных параметров от различных систем значительно повысит надежность навигационных определений и целостность системы.

Прорабатываются вопросы интегрирования СНС ГЛОНАСС и НАВСТАР (США) в целях повышения точности и надежности координатно-временного обеспечения в интересах экономики, науки, безопасности страны и международного сотрудничества. Работы по решению возникающих организационно-технических проблем ведутся в США и России. Основные положения концепции ЕРНП нашли отражение в Госпрограмме "Российский радионавигационный план" (Постановление Правительства РФ от 19.08.94 г.) и принятом приложении к Межгосударственной радионавигационной программе государств-участников СНГ.

В настоящее время СНС "ГЛОНАСС", принятая на вооружение, успешно работает в составе 16 – 18 действующих спутников.

Обоснованы и согласованы с пользователями дальнейшие направления совершенствования этой системы и дифференциального варианта ее использования.

Разработаны и прошли согласование в международных комиссиях и рабочих органах (МЭК, МСЭ, RTCM-104) проекты стандартов на приемную аппаратуру систем ГЛОНАСС и ГЛОНАСС – НАВСТАР, передачи дифференциальных поправок к сигналам этих систем.

Обеспечение безопасности мореплавания, задачи использования биологических и минеральных ресурсов океана постоянно предъявляют все возрастающие требования к знанию параметров морского дна, физических полей океана и атмосферы. На сегодняшний день оснащенность гидрографического флота позволяет производить съемки океана в основном в интересах создания морских навигационных карт и пособий для обеспечения судоходства. Другие задачи традиционные методы съемки однолучевыми эхолотами обеспечивают не в полной мере. Гос. НИНГИ проводит интенсивные исследования в части развития средств и методов морской гидрографии. Наиболее перспективным направлением представляется создание автоматизированных гидрографических комплексов на базе 3-х координатных гидролокаторов бокового обзора (ГБО) с большой базой. Указанные средства не уступают по точности измерения глубин многолучевым эхолотам, но значительно дешевле последних, обладают более высокой производительностью и разрешающей способностью. Опыт использования 3-х подобных комплексов показал, что они обеспечивают съемку рельефа и грунта дна в полосе до 6-ти глубин с точностью, удовлетворяющей требованиям картосоставления. Программно-технические средства комплексов обеспечивают полный цикл цифровой обработки результатов съемки и создание баз данных для последующего использования при картосоставлении. Использование сложных сигналов позволило увеличить дальность действия ГБО в 2,5-3 раза по сравнению с аналогичными системами, работающими на тональных сигналах. Можно с уверенностью сказать, что перспективные отечественные средства площадной съемки ни в чем не уступают лучшим зарубежным образцам, таким как Си Бим, Хайдросвип, ЕМ-12 и СИ МАРК-II. Однако наши средства значительно дешевле и могут работать с отечественными датчиками вспомогательной информации.

Для обеспечения промера в приливных морях создан автоматический мареограф открытого моря, позволяющий получить информацию о колебаниях уровня в течение полугода на глубинах от 10 до 200 м с передачей информации по кабелю, радиоканалу и по гидроакустической линии связи.

Для полноценной гидрографической съемки морского дна крайне актуальна информация о параметрах грунта. Получение этой информации с помощью пробоотбора – очень дорогая и малопроизводительная работа. На сегодняшний день уже разработан морской грунтограф-стратификатор (МГГ-1), позволяющий произвести стратифика-



цию мягких осадков и получить основные типы донных грунтов, а также разработана приставка к гидрографическим эхолотам для определения основных типов грунтов. В сочетании с гидрографическими комплексами, дающими границы однородных грунтов, средства дистанционного зондирования позволяют реализовать технологию площадной съемки грунта, что значительно экономичнее пробоотбора.

Под технические средства съемки XXI века ведутся работы по исследованию путей создания многофункциональных океанографических комплексов на двухмерных акустических фазированных решетках. Такие комплексы кроме получения стандартной гидрографической информации позволят получить данные о вертикальном распределении скорости звука в воде, течениях, рассеивающих слоях, а также определить вектор абсолютной скорости судна с высокой точностью.

Представляют интерес также наши новые работы в области морской геофизики. Сейчас проходит испытания малогабаритный гравиметр с датчиком на газодинамической опоре "Силомер". Разработчик — ЦНИИ "Дельфин". Отличительной особенностью этого гравиметра являются малые габариты, высокая точность, а также отсутствие возмущений при изменении курса носителя. Полагаем, что "Силомер" по своим характеристикам не уступит гравиметру американской фирмы Bell, используемому ВМС США.

В части совершенствования средств съемки магнитного поля Земли в океане создается новый магнитометр-градиентометр "Порыв-1" с тремя разнесенными датчиками и ПЭВМ. ПЭВМ позволяет строить карту магнитного поля практически в реальном масштабе времени. В целом ТТХ нового комплекса обеспечивают повышение точности съемок в 3-5 раз, а производительности в 2 раза.

Завершена работа по созданию действующего макета магнитометра, определяющего линейные и угловые составляющие полного вектора геомагнитного поля и их градиента непосредственно на борту ферромагнитного носителя. Испытания показали, что идея работает и при соответствующем финансировании может быть реализована в опытных образцах. Совокупность перспективных технических средств и методов подчинена общей идее создания технологии комплексной съемки полей Мирового океана с целью создания мирового картографического банка данных для обеспечения всех потребителей необходимой информацией. С этой же целью разработан проект федеральной программы цифрового картографирования Мирового океана, находящийся в стадии согласования.

Океанографические исследования призваны обеспечить эффективное решение следующих основных задач:

- управление силами;
- обеспечение использования оружия и технических средств ВМФ;
- проектирование кораблей, судов, оружия и технических средств;
- обеспечение нужд народного хозяйства: рыболовства, мореплавания, освоения ресурсов морского дна и т.д.

С момента освоения нашим флотом океанских ТВД потребовался целый ряд пособий по особенностям гидрометеорологических условий этих районов. База данных для создания таких пособий была недостаточна и поэтому возникла необходимость разработки специальных технических средств измерения параметров среды и их носителей — океанографических судов.

Для этих целей были разработаны и серийно выпускались: батометры и глубоководные термометры, батитермографы и автономные цифровые измерители течений, различные метеорологические, аэрологические и актинометрические приборы, волнографы, измерители течений на ходу судна. Кроме того создавались сложные приборы для измерений мелкомасштабной турбулентности и радиоактивности для вооружения подводных самоходных глубоководных аппаратов "Поиск-2", "Поиск-4" и "Поиск-6".

Одновременно, по мере открытия новых явления и процессов в океане (тонкая структура гидрофизических полей, океанских вихрей разных масштабов, коротких внутренних волн), играющих важную роль в акустических и неакустических средствах и методах обнаружения, в настоящее время разрабатывается и создается целый ряд

приборов для комплексных экспериментальных исследований этих явлений, а также для отработки методики работы с ними и обработки материалов наблюдений.

К ним относятся:

- плавучие донные автономные гидрометеорологические станции (ПАГМСД);
- корабельный теплолокационный метеокомплекс;
- комплекс средств для изучения гидрохимических и радиохимических характеристик морской воды;
- комплекс средств для изучения динамических характеристик морской воды;
- комплекс средств для изучения метео-, аэро- и актинометрических характеристик;
- комплекс средств для определения оптических характеристик морской воды;
- корабельный грозопеленгатор;
- плавучая якорная станция для измерения технических и динамических характеристик;
- плавучая автономная гидрометеостанция якорная (ПАГМС-Я) с передачей данных через ИСЗ;
- обрывной термозонд;
- корабельная система ракетного зондирования атмосферы с использованием сигналов РНС (“Юсьва-3”);
- комплекс средств для изучения температуры и электропроводности воды;
- комплекс гидрофизических и гидрохимических зондов для изучения тонкой структуры гидрофизических полей и вихрей.

Весьма перспективным направлением является создание космической океанографической системы в комплексе с глобальной акустической топографической системой. Наличие такой системы позволит осуществить гидрометеорологический прогноз и осветить обстановку практически во всем Мировом океане.

Разработанная в свое время при нашем участии самолетно-корабельная система “Нить” для освещения ледовой обстановки в Арктике имеет и сейчас огромное значение для изучения Центрального Арктического бассейна. Однако отсутствие средств не позволило запустить ее в серийное производство. Аналогичным образом обстоит дело и с самолетным прибором для определения толщины льда вдоль трассы полета.

В настоящее время все большее внимание уделяется вопросам экологического состояния среды (пунктов базирования флота, полигонов для проведения боевой подготовки флота). Нами разработан ряд технических заданий на ОКР, выполнение которых позволило бы осуществлять мониторинг своих баз практически по всем загрязняющим элементам.

Выполнен цикл важнейших работ по проблемам НГО обустройства нефтегазовых добычных комплексов на шельфе Арктических морей Российской Федерации.

Разработаны и согласованы с заинтересованными ведомствами документы по координации работ в РФ:

- “Об утверждении Государственной системы сбора, хранения, обработки и использования океанологических данных”,
- “О порядке разработки, согласования и представления на утверждение Программных документов по развитию технических средств навигационного обеспечения подвижных объектов”.

На издании в 280 ЦКП ВМФ находятся мореходные таблицы МТ-95 (юбилейный выпуск к 300-летию Российского флота”).

Организовано издание первого общедоступного широкопрофильного специального журнала “Навигация и гидрография”.

Утверждена и организована при НТОС им.акад.А.Н.Крылова секция “Морской навигации, гидрографии, геофизики и гидрометеорологии”. На базе Института работает постоянно действующий семинар “Средства и методы морской навигации, гидрографии, геофизики и гидрометеорологии”.

Продолжают работать Российский Общественный институт навигации Гидрографическое общество”.

В заключение необходимо подчеркнуть, что система навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения является, в определенном смысле, уникальной. Уникальность эта заключается в возможности выполнения системой своего функционального предназначения в перспективе только лишь при комплексном развитии всех образующих ее элементов. Большая разнородность элементов по решаемым задачам, физическим принципам, на которых основано их функционирование, сопряжена с теснейшей их функциональной (информационной) взаимосвязью. Данное обстоятельство диктует необходимость параллельного решения комплекса изложенных выше проблем без отставания или забегания вперед в отдельных направлениях.

Выполнение обоснованных программ развития НГО и ГМО позволит не только повысить эффективность и безопасность общего мореплавания, но и окажет существенное влияние на общий уровень навигационного и гидрометеорологического обеспечения многих отраслей экономики России и государств Содружества.

ГРНТИ 78.25.31.35.29

### **СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ НАВИГАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ МОРЕЙ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**А.В.АНТАКОВ**

(Маячная служба ГУНиО МО РФ)

*Приводятся статистические данные по состоянию технических средств навигационного обеспечения, находящихся в ведении Маячной службы ГУНиО МО РФ. Анализируются проблемы финансового и технического характера, определяющие перспективы развития системы навигационного оборудования российских морей. Рассматриваются возможные пути их решения.*

По состоянию на 1.09.95 г. в ведении Маячной службы ГУНиО МО РФ состояло:

Световых маяков .....	393
Светящих навигационных знаков и огней .....	1671
Несветящих навигационных знаков .....	1129
Светящих буев .....	1137
Несветящих буев и вех .....	1631
Радиомаяков.....	173
Радиолокационных маяков-ответчиков .....	21
Радионавигационных систем .....	80

(из них: средней дальности действия МАРС-75 — 6, ближней дальности действия БРАС и РС-10 — 25, специального назначения ГРАС и ГРАС-2 — 48).

Для обслуживания системы навигационного оборудования имеется 350 штатных подразделений (маяки, группы СНО, ремонтно-восстановительные базы (РВБ), радиомаячные контрольные пункты), 388 из которых содержатся по штатным перечням общей численностью 1703 рабочих и служащих, а 12 РВБ имеют штат общей численностью 17 офицеров, 226 служащих и 460 рабочих. Всего средства навигационного оборудования обслуживают 2430 чел. (без учета личного состава плавсредств, радионавигационных подразделений, отделов и отделений Маячной службы на флотах).

Состояние системы навигационного оборудования морей на сегодняшний день характеризуется стойкой тенденцией увеличения количества СНО, не работающих в штатном режиме, в их числе:

Световых маяков.....	23 (6%)
Светящих навигационных знаков и огней .....	126 (8%)
Несветящих навигационных знаков.....	23 (2%)
Светящих буев .....	266 (23%)
Радиомаяков.....	7 (4%)

Такое катастрофическое положение с обеспечением работы системы навигационного оборудования морей в России начало складываться с 1991 г.

Потребности флотов в источниках питания для СНО (батареи типа “Буй” и “Знак”) в 1992-1994 гг. были удовлетворены только на 25%, на 1995 г. запланировано поставить 30% от потребного количества.

Из 405 дизель-электрических агрегатов, находящихся в эксплуатации и используемых для электропитания световых маяков, радиомаяков и станций радионавигационных систем, 132 агрегата (32,6%) выработали свой моторесурс и требуют замены.

Из 530 используемых в МО РФ радиоизотопных энергетических установок (РЭУ) — 415 эксплуатируются в Гидрографической службе ВМФ для питания СНО. Сокращение объемов финансирования привело к прекращению перевода СНО на автоматический режим работы с энергопитанием от РЭУ и переходу к сохранению эксплуатируемых РЭУ. Полученное от Минатома разрешение на продление предельного срока службы РЭУ с 10 до 25 лет не сняло остроты проблемы, т.к. часть установленных в 70-х годах РЭУ уже подлежит утилизации (до 10 ежегодно), а на замену им необходимо получать такое же количество новых РЭУ (с 1995г. общей стоимостью 2,1 млрд.руб.). Остальные РЭУ требуют периодического контроля, освидетельствования и текущего ремонта в местах эксплуатации или на предприятии-изготовителе (1995 г. — 180 шт., на что требуется 0,82 млрд.руб.).

В связи с распадом СССР практически все заводы-изготовители светооптической аппаратуры для СНО и производители ППЗ оказались за границей, поставки их в Россию прекращены.

Кроме того, около 2000 зданий и сооружений СНО ежегодно требуют текущего ремонта. В аварийном или неудовлетворительном состоянии находятся 29 маячных башен, 588 навигационных знаков, 32 маячно-технических здания, 66 жилых домов на маяках.

До 1991 г. развитие системы навигационного оборудования морей осуществлялось за счет долевого участия заинтересованных министерств и ведомств. С 1991 г. все расходы легли на бюджет МО РФ. Из-за отсутствия необходимых средств в итоге оказались полностью свернутым строительство и реконструкция СНО. Маячный фонд ветшает и приходит в негодность.

В соответствии с существовавшим перспективным планом развития системы навигационного оборудования морей в среднем ежегодно планировалось строить около 50 объектов СНО с объемом капитальных вложений в 250 млн.руб. (в ценах 1984 г.). Однако эти контрольные цены не выдерживались. Количество строящихся объектов СНО постоянно сокращалось — с 35 в 1986 г. до 7 в 1991 г. Объем ежегодно осваи-

ваемых капитальных вложений за этот же период уменьшился с 7,3-7,6 млн.руб. в 1987-1989 гг. до 1,5 млн.руб. в 1991 г. С 1992 г. по настоящее время не построено ни одного нового объекта СНО. Неоднократные обращения к руководству ВМФ, Минобороны, в Минфин, Минэкономики, Минтранспорта о выделении необходимых ассигнований на поддержание системы навигационного оборудования морей в рабочем состоянии положительного результата не дали.

В настоящее время при ожидаемом обеспечении серийных поставок светотехнической аппаратуры, источников питания, конструкций навигационных знаков, буйев и вех в среднем на уровне 50% от необходимого (в зависимости от планируемого объема выделенных средств) к концу 1995 г. можно ожидать перевода до 80% береговых СНО и до 50% плавучих СНО в разряд несветящихся.

Аналогичная ситуация сложилась с поставками на флоты радионавигационных систем и корабельных приемоиндикаторов. Из-за недостаточного финансирования прекращено серийное производство РНС "МАРС-75", РС-10 (радиозавод г.Шуя) и ГРАС-2 (радиоприборный завод г.Махачкала). На их замену ведется разработка ряда новых систем. В рамках этих НИР создаются и новые приемоиндикаторы.

Оценивая перспективу развития средств радионавигации следует отметить, что наибольший интерес у большинства потребителей в настоящее время вызывают спутниковые навигационные системы (СНС) ГЛОНАСС и GPS, дальнейшее развитие и совершенствование которых является перспективным и приоритетным. Учитывая это, ГУНиО МО РФ уделяет большое внимание созданию как аппаратуры потребителей, так и реализации дифференциальных подсистем СНС ГЛОНАСС/GPS. Так по заказу ГУНиО разработан и осваивается в серийном производстве приемоиндикатор "Челн-4", работающий по сигналам ГЛОНАСС/GPS. В интересах морских потребителей разрабатывается наземная аппаратура приема, обработки, выработки дифференциальных поправок ГЛОНАСС/GPS и передачи их с использованием круговых морских радиомаяков. В рамках той же работы разрабатывается аппаратура потребителей (работа находится в стадии изготовления опытных образцов). К сожалению финансирование этой ОКР осуществляется только Минобороны (ГУНиО МО).

По нашему мнению СНС ГЛОНАСС и GPS при полном их развертывании, а также при оборудовании побережья морей и внутренних водных путей в России дифференциальными подсистемами и оснащении потребителей корабельной аппаратурой, позволят обеспечить решение большинства задач в интересах народного хозяйства и обороны страны.

Выход из создавшегося критического положения видится в финансировании содержания и развития навигационного оборудования морей за счет отдельной строки республиканского бюджета, вне сметы Министерства обороны.

Принимая во внимание исключительную напряженность в обеспечении безопасности мореплавания в российских водах, угрожающую авариями и большим экономическим и экологическим ущербом, а также учитывая ответственность России перед мировым сообществом в соответствии с международными конвенциями об обеспечении безопасности мореплавания и охране человеческой жизни на море необходимо принимать срочные меры по введению Закона РФ "О государственном маячном сборе" и изменению организационно-штатной структуры Маячной службы и Гидрографической службы ВМФ в целом.

ГРНТИ 78.21.39.17.01

**ВОЗРОЖДЕНИЕ МОРСКИХ ОБСЕРВАТОРИЙ – СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА  
ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ НАУКИ И ПРАКТИКИ**

**В.К.АБАЛАКИН**

(ГАО РАН),

**В.И.БОГДАНОВ**

(НРГ “Балтика” С-Пб НЦ РАН),

**Ю.Д.БУЛАНЖЕ**

(ОИФЗ РАН),

**М.Ю.МЕДВЕДЕВ**

(ОИФЗ РАН),

**Н.Н.НЕРОНОВ**

(Гос.НИНГИ МО РФ),

**В.А.СОЛОДОВ**

(ГУНиО МО РФ),

**Г.А.ТРОШКОВ**

(ОИФЗ РАН)

*На примере региона Балтийского моря исследуется проблема воссоздания опорной сети морских обсерваторий (уровневых постов). Сформулированы основные направления работ для включения в программу создания национальной равномерной сети.*

В истории старейших российских обсерваторских комплексов неоднократно встречались периоды приоритетного повышенного внимания к ним. Первые известные попытки организации в России регулярных наблюдений (за изменениями погоды и уровня Москвы-реки) относятся к XVII в. и отражены в дошедших до нас “Дневальных записях Приказа Тайных Дел”. В XVIII в. академиками Ж.Н.Делилем (1688–1768 гг.), Г.В.Крафтом (1701–1754 гг.) и М.В.Ломоносовым (1711–1765 гг.) сформулирована идея о необходимости создания сети обсерваторских наблюдений. Однако, основы их научной организации были заложены только уже к концу следующего столетия, в период 1839–1893 гг., ознаменовавшийся открытием Пулковской Астрономической и Главной Физической Обсерваторий; созданием морских и материковых астрономических, гидрологических, гидрометеорологических, геодезических и геофизических сетей; внедрением в практику футшточных (мареографных) наблюдений единой системы отсчета от “ординарной воды” (среднего уровня моря); организацией служб точного времени и метрологического обеспечения измерений; учреждением Главной Палаты Мер и Весов [1, 2].

О значимости проводимых исследований свидетельствует тот факт, что даже в 1914 г., несмотря на начало военных действий, на морских обсерваториях, 48 прибрежных станциях, 11 плавучих маяках и других станциях (108 пунктов наблюдений за вскрытием и замерзанием морей, 18 станций на маяках Лоцманского и Маячного ведомств в Финляндии) были продолжены наблюдения за уровнем морей, волнением на рейдах, температурой воды и воздуха, атмосферным давлением, удельным весом воды и пр. Велась обработка ежечасных записей барографов, анемографов, термографов, гидрографов, гелиографов, омбрографов, эвапорографов, футштоков и мареографов на Азовском, Балтийском, Белом, Каспийском и Черном морях, морях Тихого и Ледовитого океанов. При этом астрономическое, геодезическое и метрологическое обеспечение обсерваторских наблюдений и гидрографических работ, опирающееся на вековой опыт работ Морского ведомства и Академии наук гарантировало высокое качество и единообразие полученных материалов [1, 2].

К настоящему времени, к сожалению, не удалось в полной мере сохранить это обсерваторское достояние и усовершенствовать накопление вековых однородных прецизионных рядов наблюдений. Тем самым оказались существенно ограничены возможности изучения региональных и глобальных, в том числе антропогенных, изменений природной Среды, а также существенно затруднены решения фундаментальных научных и широкий круг практических и прогностических задач. Среди способствовавших этому причин отметим передачу обсерваторских наблюдений из одного ведомства в другое и изменение регламента наблюдений; преобладание практических подходов к решению фундаментальных обсерваторских задач; частую подмену независимых контрольных измерений различного рода гипотезами; оценку точности и репрезентативности временных рядов по “внутренней сходимости” и “статистической устойчивости” материалов наблюдений. Многочисленные “упорядочения” и “коррекция рядов”, постоянно проводившиеся с позиций господствовавших модельных представлений об изменениях измеряемых величин, приводили к сглаживанию расхождений между пунктами наблюдений, удаленных друг от друга на десятки и сотни километров. Искажению рядов и “старению” опорных и рядовых сетей инструментальных наблюдений также способствовали вынужденные перерывы и переносы наблюдений, смещения или утраты нуль-пунктов, использование неоднородных систем отсчета (т.е. зависящих от выбора пространственных или временных координат). Сыграло отрицательную роль и все возрастающее неблагоприятное воздействие техногенных (антропогенных) факторов, приобретающих в ряде случаев очевидный региональный характер [3, 4].

Три группы факторов приводят к необходимости концентрации усилий по возрождению морской обсерваторской сети [3–7]:

1. Фундаментальное научное, огромное народнохозяйственное и оборонное значение прецизионных метрологически обеспеченных вековых обсерваторских наблюдений за изменениями крупных озер и морей, омывающих берега России.

2. Существенное отставание отечественной науки и практики в области разработки наземных, спутниковых и космических средств комплексного прецизионного изучения гео- и гидродинамических процессов, в частности, “абсолютных” вековых колебаний уровней морей, движений земной коры и изменений геоида.

3. Недостаточная с точки зрения современных требований изученность процессов на границе гидро-, лито-, и атмосферы; неблагоприятное все возрастающее воздействие техногенных факторов как на природные процессы, так и на сами прецизионные измерения, выполняемые на обсерваторских комплексах и объектах общегосударственного значения; невозможность по этим причинам надежно прогнозировать последствия антропогенной экспансии, климатические изменения, активизацию эпейрогенических и сейсмических процессов, повышение уровня Мирового океана, в частности, катастрофическое для Каспийского моря (вопреки многочисленным научным прогнозам, лежащим в основе “проектов века”, например, переброски стока северных рек).

Эти факторы, а также устойчивый мировой прогресс в области развития и совершенствования прецизионных наземных, спутниковых и космических средств измерений; все возрастающие потребности в более полном и широком целенаправленном международном сотрудничестве; необходимость концентрации усилий на главных перспективных направлениях развития науки и практики – объясняют необходимость рассмотрения проблемы возрождения обсерваторской, в частности, морской сети России, свидетельствуют об актуальности постановки подобной задачи и о необходимости поисков эффективных путей ее решения. Представляется, что основные научные направления, которые необходимо было бы включить в программу возрождения морских обсерваторских исследований общегосударственного практического значения, могут быть сформулированы следующим образом.

1. Разработка научных принципов организации долговременных (вековых) обсерваторских наблюдений, определяющих формирование метрологически обеспеченных однородных прецизионных инструментальных рядов измерений ограниченного числа параметров окружающей Среды, которые могли бы в дальнейшем послужить в качестве эталонных опорных рядов при решении целого ряда фундаментальных научных и большого практического (в том числе прогностического) значения задач в области глобальной геодинамики, геофизики, климатологии, океанографии, экологии и др.

2. Организация комплексных наблюдений на единой опорной сети ограниченного числа морских обсерваторий по разработанной совместно со всеми заинтересованными организациями и ведомствами комплексной научной программе.

3. Создание "типового" прецизионного наземно-спутникового обсерваторского комплекса и морского полигона (тестовой акватории), нацеленных на решение перспективных научных и практических задач в области астрономии, геодезии, геодинамики, навигации, океанографии и др.

4. Комплексное изучение взаимосвязанных изменений геоида, деформаций земной поверхности и морского дна, динамики атмосферы, морских течений, океанических и земных приливов, вековых колебаний уровня гидросферы и других процессов и явлений, разработка рекомендаций по практическому использованию результатов этих исследований.

5. Фундаментальное вековое закрепление результатов обсерваторских наблюдений; определение астрономических и геодезических дат; разработка унифицированных систем отсчета в геодезии, астрономии, гравиметрии, морской картографии и новых методов навигационного обеспечения потребностей различных ведомств.

Задача возрождения морских обсерваторий как стратегического направления научно-технической политики в области фундаментальных научных и практических исследований является задачей общегосударственного значения. Решение ее позволяет в кратчайшие сроки ликвидировать существенное отставание отечественной науки и практики в указанных выше областях знания и заложить фундамент для будущего прогресса.

Возрождение морской обсерваторской сети России целесообразно осуществлять поэтапно, первоначально сосредоточив усилия в районе знаменитого Кронштадтского футштока и его существующего и планируемых дублеров. Выбор района Кронштадтского футштока – старейшего в России равномерного поста (обнаружены наблюдения с 1777 г.) и третьего в мировом перечне обсерваторий с самым продолжительными из сохранившихся рядами наблюдений после Амстердамского (с 1700 г.) и Стокгольмского (с 1774 г.), нуль-пункт которого специальными правительственными постановлениями принят за исходный пункт Государственной нивелирной сети и начало Национальной (Балтийской) системы высот, – определяется уникальным накопленным опытом сбора, обработки и хранения материалов комплексных наблюдений и сравнительно хорошей изученностью региона [4].

Решению этих задач благоприятствует расположение в регионе таких обсерваторских комплексов и объектов как Главная (Пулковская) Астрономическая Обсерватория РАН; Сейсмическая станция "Пулково" Объединенного Института физики Земли РАН; строящийся комплекс "КВАЗАР" Института Прикладной Астрономии РАН в пос.Светлом; Гравиметрический и Метрологический комплекс Института Метрологии им.Д.И.Менделеева в Ломоносове; исходные пункты плановых координат и высот Государственных геодезических сетей в Пулкове, Кронштадте и Ломоносове; Шепелевский дублер Кронштадтского футштока – современный геодинимический и равномерный обсерваторский комплекс; прецизионные гравиметрические и геодезические объекты Ленинградского (Санкт-Петербургского) геодинимического полигона; пункты GPS (Global Positioning System) и микронивелирные полигоны национальной сети Международного геодезического и геодинимического проекта "Уровень Балтийского моря" в Выборге, Светлом, Пулкове, Шепелеве и на о-ве Гогланд [8–12].



Постановлением Президиума Санкт-Петербургского научного Центра РАН №18 от 25.05.95 г. была создана Национальная рабочая группа по координации и руководству исследованиями в области астрономии, геодезии, геодинамики и уровня Балтийского моря (НРГ "Балтика"). Создание НРГ объясняется необходимостью концентрации усилий ученых и практиков при решении перспективных научных и практических задач в регионе и тесной кооперации ведущих организаций и ведомств при исследованиях в указанных выше областях. Одновременно был поставлен вопрос о воссоздании на новой основе научно-методического и координационного центра – Водомерной (уровнемерной) Комиссии, существовавшей при бывшей Императорской Академии Наук и в конце XIX – начале XX в. отвечавшей за упорядочение и перспективы развития национальных геодинамической и уровнемерной опорных сетей, координацию и планирование исследований различных ведомств, обеспечение стандартизации, точности и однородности долговременных наблюдений на уровне лучших мировых обсерваторий. Такая Комиссия должна быть создана при Правительстве РФ под научным руководством РАН и ГУНИО МО РФ. К ее работе, несомненно, должны быть привлечены все ведущие министерства и ведомства. Представляется, что одной из первоочередных должна стать задача возрождения на новой научной и инструментальной основе опорной сети морских обсерваторий России и, прежде всего, знаменитого Кронштадтского футштока.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Витинский Ю.В. Главная Астрономическая Обсерватория Академии наук СССР в Пулкове. Л.: "Наука", 1981. 48 с.
2. Алексеев А.Н., Басис Л.В., Богданов К.А., Гребенщиков Ю.А., Губанов В.Е., Карягин М.Н., Ключев Н.П., Князев А.П., Коломийчук Н.Д., Кузнецов Г.Д., Мирошников И.М., Рыбин В.Г., Тимошенко Н.К., Эльгорт А.Я., Яковлев И.Н. 150 лет Гидрографической службе Военно-Морского Флота. Л.: Главное Управление навигации и океанографии МО СССР, 1977, 268 с.
3. Абалакин В.К., Богданов В.И., Буланже Ю.Д., Веселаго А.Д., Синельников А.Е., Слаев В.А., Трошков Г.А. Проблема защиты обсерваторских комплексов и объектов общегосударственного значения от неблагоприятного техногенного воздействия // Первая Национальная конференция с международным участием по проблемам физической метрологии. Секция "С". Санкт-Петербург: Российская Академия наук, Метрологическая Академия. 1994. С.54–61.
4. Состояние уровнемерных наблюдений и проблема Кронштадтского футштока // Сб.статей под ред. Ю.Д.Буланже, В.И.Богданова, И.С.Грамберга, Н.Н.Лазаренко. М.: Междудеятельный геофизический комитет при Президиуме АН СССР, 1986, 135 с.
5. Абалакин В.К., Богданов В.И., Буланже Ю.Д., Медведев М.Ю., Неронов Н.Н., Солодов В.А., Трошков Г.А. Уровень Мирового океана как объект современных высокоточных измерений // XIX Международная конференция "Современные проблемы изучения берегов", С.-Петербург, 17–24 сентября 1995 г., Институт Теоретической Астрономии Российской Академии наук, 1995. С.14–15.
6. Abalakin V.K., Bogdanov V.I., Boulanger Yu.D., Naumov V.A. Complex geodynamical investigations in area of the USSR Academy of Sciences Central Astronomical Observatory at Pulkovo // Inertial Coordinate System on the Sky, 141 Symposium of the IAU, USSR, Leningrad, October 17–21, 1989, Dordrecht, Netherlands: Kluwer Acad., Publ., 1990. P.72.
7. Богданов В.И. Современная постановка вопроса об изучении вековых колебаний уровня Каспийского моря // XIX Международная конференция "Современные проблемы изучения берегов", С.-Петербург, 17–24 сентября 1995 г., Институт Теоретической Астрономии Российской Академии наук, 1995. С.34–36.
8. Abalakin V.K., Bogdanov V.I., Mikerov V.I., Naumov V.A., Petrovskaya M.S., Romm G.M. On Russian participation in the Baltic Sea Level Project // Proc. 2-nd Baltic Conference "Geodesy and Cartography", Riga, 11–11 November, 1992, 16 p.
9. Boulanger Yu.D., Bogdanov V.I., Kaliasin V.E., Troshkov G.A. A description of the sea level and geodynamical complex at Shepelevo (USSR, Baltic Sea, Bay of Finland) // Sea Level Changes: Determination and Effects, Geophysical Monograph 69, IUGG and American Geophysical Union, 1992, Vol.11. P.113–116.
10. Finkelstein A.M., Golubchin G.S., Gorodetsky V.M., Grachev V.G., Gubanov V.S., Ipatov A.V., Kaidanovsky M.N., Korkin E.I., Nikolaev E.I., Smolenzev S.G., Stotsky A.A., Umarbaeva N.D., Yatskiv Ya.S. Dedicated Soviet VLBI-Network "QUASAR" // Proc.141 Symposium of the IAU "Inertial Coordinate System on the Sky", USSR, Leningrad, October 17–21, 1989, Dordrecht, Netherlands: Kluwer Acad., Publ., 1990, p.293–294.
11. Kakkuri J. (Ed.). Final results of the Baltic Sea Level 1993 GPS Campaign. Research Works of the SSG 5.147 of the International Association of Geodesy // Reports of the Finnish Geodetic Institute, Helsinki, 1995, №2, 123p.
12. Vermeer M. (Ed.). Coordinate systems, GPS and the Geoid. The Nordic Academy for Advanced Study Urgency Seminar, Finland, Espoo, June 27–29, 1994 // Reports of the Finnish Geodetic Institute, 1995, №4, 144 p.

## **ДИАЛЕКТИКА РАЗВИТИЯ НАВИГАЦИИ**

**А.С.БАСКИН**  
(АО ЦНИИ морского флота)

*Предпринята попытка философского обобщения развития навигации во времени, которое должно предшествовать научным исследованиям и проектным разработкам. Эффективное управление наукой невозможно без представления о диалектике ее развития, без предвидения ее будущего. Иначе вероятность ошибочных решений многократно возрастает.*

Эффективное управление любой наукой невозможно без представления о диалектике ее развития, без предвидения ее будущего. Иначе вероятность ошибочных решений многократно возрастает. Правда и ответственность за философские обобщения во столько же раз превышает ответственность за частные решения. Поэтому обычно обобщений избегают. Тем более, что определение диалектики развития навигации – проблема не только научно-техническая, но еще и экономическая, и социальная. Достаточно напомнить, что только на финансирование Федеральной программы цифрования карт в ее проекте запрошено около 800 млрд. руб. в ценах 1994 г. (около 0.5 млрд. дол. США); что надежное навигационное обеспечение мореплавания – реальный путь к сокращению штурманских должностей.

Какую бы составляющую навигации мы не взяли – местоопределение судна, картографическое обеспечение, технические средства, навигационная прокладка – любая составляющая в ее историческом развитии всегда существовала в двух взаимодополняющих и, одновременно, взаимоисключающих, общей и частной системах координат: абсолютной и относительной.

Когда человек на сваленном в воду дереве впервые оторвался от земной тверди, он ориентировался по берегу в относительной системе координат. Но одновременно контролировал свое положение и в более общем плане за пределами видимого горизонта, чтобы не съели соседние племена. Через десятки веков в океане вне видимости берегов он вынужден был определяться в абсолютной системе координат, но методы местоопределения применял относительные. Сегодня, при вроде бы достаточно высокой абсолютной точности местоопределения судов по спутниковым навигационным системам (СНС) второго поколения, все шире применяется их дифференциальный сегмент, обеспечивающий получение дифференциальных, т.е. относительных поправок к абсолютным обсервациям. При подходе к порту, где судну необходимо и на фарватере удержаться, и с другим судном разойтись, прямо сочетаются абсолютная и относительная прокладки. Когда исправляют измеренный навигационный параметр – курс, скорость, глубину, время, дистанцию – поправкой, одновременно используют абсолютную и относительную систему координат.

Таким образом можно достаточно обоснованно утверждать, что в навигации всегда эффективное решение любой проблемы или задачи будет достигаться двумя приближениями: первым – абсолютным, но имеющим не всегда удовлетворительную точность, затем вторым – уточняющим, приводящим к удовлетворительному решению. Соответственно на каждом этапе развития навигации необходимо переосмысливать содержание и форму ее составляющих с тем, чтобы вносимые изменения обуславливали адекватность формы и содержания навигационного обеспечения мореплавания.

Основываясь на изложенной философии, рассмотрим некоторые теоретические и прикладные проблемы навигации.

Для начала следует констатировать, что консервативная в течение столетий технология судовождения в настоящее время качественно изменилась. И обусловлено это, в первую очередь, тем, что современные технические средства навигации позволяют определять место судна практически в любом районе Мирового океана с необходимыми частотой и точностью.

Соответственно в планировании и контроле плавания потеряла значение и смысл **исходная обсервация**, вокруг которой прежде развивалась вся теория и практика местоопределения. Сколько копий сломано, сколько диссертаций защищено и провалено, сколько карьер сделано и погублено вокруг методик определения поправок навигационных приборов, выполнения измерений навигационных параметров с необходимой избыточностью, обработки выполненных измерений, естественно с оценкой точности полученных результатов... Сегодня проще и быстрее заново определить место, да еще другим способом, чем "вылизывать" единственную исходную обсервацию, как это делали штурманы в прошлом.

Потеряли старые значения и смысл **поправки некоторых технических средств навигации**. Теперь их определяют разве что для оценки работоспособности приборов. Но эту задачу надежнее, удобнее и быстрее решать сличением навигационных параметров, полученных от разных датчиков.

Не нужна сегодня и детализированная исполнительная прокладка. Зачем учитывать дрейф и течение при сколь угодно частых обсервациях? Задачей счисления сегодня является не получение текущих координат, а обнаружение промаха в определении места судна. Причем место судна определяется ведь не только обсервацией, но и глазомерно, или, как красиво говорят, лоцманскими методами. Поэтому по требованиям современных нормативных документов Департамента морского транспорта России в портовых водах исполнительная прокладка на картах ведется или не ведется по усмотрению капитана. И только "...с выходом из порта капитан указывает вахтенному помощнику точку, от которой следует вести прокладку пути судна."

Еще совсем недавно Правилами ведения судового журнала у нас требовались записи такой полноты, чтобы по ним можно было восстановить путь судна. Требование совершенно справедливое, но, как показала практика, невыполнимое. Анализ аварийных случаев из года в год показывал, что 80% из них происходит в районах оживленного судоходства. Обычно судно перед аварией энергично маневрирует. Однако запись в судовом журнале выглядела примерно так: "Следуем под командой капитана, по рекомендациям лоцмана, хода и курсы переменные."

В новых Правилах ведения судового журнала невыполнимое требование отменено. Теперь записи должны быть такой полноты, чтобы вместе с данными регистрирующих устройств можно было восстановить путь судна. Отказавшись от дублирующих записей в судовых журналах мы не только высвободили время судоводителя для наблюдения и принятия решений, но и при разборе аварии лишили оппонентов возможности скрупулезно выискивать расхождения между записями в судовых журналах, исполнительной прокладкой и данными самописцев, которые всегда есть: курс, проложенный на карте, всегда отличается от зафиксированного курсографом и от записанного в судовом журнале, маневрирование при ожидании и принятии лоцмана всегда документируется фрагментарно и т.д.

Существенные изменения претерпевают требования к картографическому обеспечению торгового мореплавания. Описанная выше организация плавания в портовых водах и на подходах к портам позволяет использовать карту более мелкого, чем раньше, масштаба. С появлением СНС второго поколения, обеспечивающих практически непрерывное высокоточное местоопределение, и аппаратуры воспроизведения электронных карт, полностью реализующей возможности СНС, практическое значение традиционных бумажных путевых карт также значительно уменьшилось. Иные подходы применяются к установлению и комплектованию судовых коллекций навигационных карт. Конечно нельзя оспорить, что трамповое торговое судно может быть направлено

в любую точку Мирового океана и следовательно должно иметь крупномасштабные карты и планы на любые точки – на весь Мировой океан. Требование обоснованное, но не выполнимое. И в этом диалектическое противоречие картографического обеспечения торгового мореплавания, с которым необходимо считаться. Поэтому реализуется следующий парадоксальный подход: в судовую коллекцию включают обязательно только генеральные карты на Мировой океан (или существенную для конкретного судна его часть), а также путевые и крупномасштабные карты на минимальное количество гарантированно посещаемых прибрежных районов. Все остальные карты покупают при получении информации о порте назначения или при заходе в порт. Такое решение, в первую очередь, учитывает то обстоятельство, что средний возраст информации на картах Европы, Северной Америки, Японии издания ГУНиО, как показали специальные исследования, порядка 7 лет, а на картах других районов еще больше. Входить по таким картам в порт без лоцмана все равно опасно. В Каталогах ГУНиО таких карт – треть и все они включены в судовые коллекции наших судов, хотя любое торговое судно посещает за год не более трех десятков портов, причем часть из них многократно. И чем возить во много десятков раз завышенный запас устаревших карт ГУНиО, дешевле купить новую карту на фактический порт захода. При такой организации судовой коллекции она будет включать, конечно несколько условно, стационарную и динамическую части. Стационарную часть образуют генеральные и мелкомасштабные путевые карты ГУНиО на Мировой океан, крупномасштабные карты и планы подходов к портам и портовых акваторий бывшего СССР, на которые информация ГУНиО достовернее иностранной. Динамическую часть образуют карты, закупаемые на предстоящий заход. Когда подобным образом оптимизировалась судовая коллекция для “Пионера Онеги” СМП, на борту было оставлено всего 273 карты, а порядка 1300 карт было предложено снять. При этом практически окупилась установленная на судне электронная карта.

Соответственно назрела необходимость внести изменения и в государственную коллекцию навигационных карт и пособий для гражданских судов. Еще недавно ГУНиО гордилось самой большой коллекцией навигационных карт для гражданских мореплавателей – около 11 тыс. адмиралтейских номеров (у США – 4.6 тыс., у Великобритании – 3.4 тыс.). Анализ показал, что подход с моря по английским картам осуществляется, как правило, в три масштабных шага, различающиеся на полпорядка – 1:350000, 1:75000, 1:15000; по картам ГУНиО – в шесть шагов – 1:500000, 1:200000, 1:100000, 1:50000, 1:25000, 1:12500. Нарезка каждой карты у англичан – самостоятельная задача, которая решается, исходя из навигационно–гидрографических условий района плавания и интересов судна, оборудованного конвенционной аппаратурой. Переменный масштаб у англичан не случайность, а принцип. Он обеспечивает изображение на удобных размерах бумажном листе определенной акватории и прилегающей суши вместе с необходимой нагрузкой – ориентирами, опасностями и т.д., а какой при этом масштаб получится – дело для них не первой важности. Сегодня количество открытых навигационных карт для российских потребителей составляет 6.5 тыс. – на треть с лишним меньше, чем было совсем недавно. Если обратить внимание на то, что практически все открытые карты сохранили свои рамки, становится ясно: сокращение коллекции осуществлено за счет прореживания масштабного ряда карт. Иными словами, из ряда карт различных масштабов на один район оставили только две трети. Теперь стало быть с моря в порт будем входить в четыре масштабных шага вместо шести. А если сделаем удобную нарезку, обусловленную географией района, да перенесем навигационные опасности с крупномасштабных карт на карты более мелкого масштаба – сумеем уменьшить коллекцию еще в пару раз. Вот такая коллекция устроит всех, ибо, не отражаясь на безопасности мореплавания, будет адекватна используемым техническим средствам навигации, потребует меньших усилий судоводителей на корректуру и меньших финансовых затрат от судовладельцев и, что очень важно, позволит ГУНиО при значительно меньшем финансировании поддерживать свою коллекцию на уровне современности.

Любопытным философским вопросом представляется задача и вытекающий из нее порядок реализации программы цифрования карт. В ГУНиО нас убеждали, что за-

дачей Федеральной программы является обеспечение **безопасности мореплавания**, а мы считаем, что задачей является обеспечение мореплавания. Вроде бы игра слов, ан нет. Если правы мы, то цифровать нужно, в первую очередь, генеральные карты для обеспечения трансокеанского плавания. Тут можно получить наибольший экономический эффект. И получить его быстро, ибо оцифровать генеральные карты – сотню-вторую – дело месяцев. Если же правда за ГУНиО, то нужно цифровать карты на подходы к портам и портовые акватории. Именно в таких районах наибольшая вероятность аварий судов. Таких карт тысячи и работа по их цифрованию займет годы. Но безопасность плавания электронные карты на такие районы вряд ли повысят, ибо информация на них будет всегда отставать от реальной.

Следует признать, что эффективное использование приемоиндикатора СНС второго поколения, тем более дифференциального варианта системы, обеспечивается только его комплексированием с электронной картой (пусть даже “неэквивалентной”). Только с таким навигационным комплексом возможно осуществление плавания кратчайшими путями и оптимальными скоростями с минимальными затратами времени и топлива. Если же в такой комплекс включена еще и цифровая РЛС и на электронной карте индицируются векторы радиолокационных целей, то вполне обоснованным представляется следование в ограниченную видимость “безопасной скоростью” в режиме полного хода. По нашим расчетам такой навигационный комплекс окупает себя за считанные месяцы. Однако все равно серьезным препятствием к массовому внедрению спутниковых приемоиндикаторов и электронных карт является стоимость такого оборудования, хотя обе названные стороны проблемы диалектически связаны между собой. Еще два десятилетия назад в опубликованной концепции создания GPS NAVSTAR один из первых ее разработчиков – фирма Magnavox указывала, что всеобщее использование системы будет обеспечено, если цена приемоиндикатора СНС ограничится пределом в 500 дол., а это станет возможным при размерах парка приемоиндикаторов порядка 2 млн. комплектов, т.е. при условии обеспечения такими приемоиндикаторами автомобильного транспорта. Сегодня, как мы знаем, уже имеются модели приемоиндикаторов СНС ценой порядка 700 дол., многие трейлеры оборудованы приемоиндикаторами СНС да еще с электронными картами.

Интереснейшая философская проблема – рождение, совершенствование, стагнация и смерть навигационного прибора. Вот, например, радиопеленгатор – первая ласточка радионавигации. Он законно стал конвенционным прибором и прочно занял место на штурманском столе. Поколения радиоспециалистов совершенствовали его до самого сегодняшнего дня. Он стал двухканальным, визуальным... ужасно дорогим. Однако все усовершенствования не могли существенно повысить точность радиопеленга – порядка 1.7 , соответственно и радиообсервации, обусловленную “родовыми” возможностями метода радиопеленгации. А рядом создавались радионавигационные системы, на порядки более точные, давно более дешевые, но до сегодняшнего дня не конвенционные. Их приемоиндикаторы не смели покушаться на место радиопеленгатора в штурманской рубке, их относили далеко в сторону – на свободные места переборок. На “Капитане Гаврилове” прикинули: от карты к приемоиндикатору РНС “Десса” – 5 шагов за отсчетом, столько же к карте для прокладки. Итог – все усилия разработчиков приемоиндикатора по повышению точности представления навигационного параметра насмарку. На атомном ледоколе “Сибирь” приемоиндикатор РНС “Брас” расположен в 15 м от штурманского стола... А радиопеленгатор, которым годами никто не пользуется, до сих пор на столе. И лишь теперь ИМО ставит точку в конвенционной судьбе радиопеленгатора.

Еще одна любопытная судьба – лаг. Когда-то без лага счисление пути было не счисление. Сейчас по нашим данным на 45% судов лаги не работают. А капитаны молчат! Зато когда выходит из строя гирокомпас, или радиолокатор, или приемоиндикатор – крик невероятный. Потому что они действительно нужны. А лаг свое отжил. И не нужно доказывать, что на судне необходим прибор, измеряющий скорость. Лаг тоже скорость не измеряет. Обороты лаглиня – да, изменение частоты – да, индукцию – да, а скорость нет. Скорость лаг рассчитывает. И приемоиндикатор СНС рассчитывает. Зачем же лаг?

При создании навигационных комплексов требования к точности снятия навигационных параметров с датчиков информации сплошь и рядом получают методом экспертных оценок, допрашивая действующих капитанов. Так поступили, в свое время, и разработчики комплекса “Пеленг”, который должен был зафиксировать на печатающем устройстве в штурманской рубке пеленг, взятый по репитеру гирокомпаса, время взятия пеленга и отсчет лага на момент пеленгования. – “С какой точностью нужно фиксировать пеленг?”, – спросили капитанов. “0.1–0.2”, – отвечали они (так записывают пеленги в судовых журналах). – “С какой точностью фиксировать время?” – “Одна минута” (так записывают время в журналах). – “С какой точностью фиксировать показания лага?” – “0.1 мили” (так записывают отсчет лага в журналах).

Порознь все правильно. А в комплексе? Попробуем “привести к общему знаменателю”, исходя из того, что пеленгование будет производиться на дистанции порядка 60 каб., при скорости судна порядка 12 уз или 2 каб./мин. За 1 мин (требование к точности фиксации времени) судно проходит **2 каб.**; 0.1 мили (требование к фиксации пройденного расстояния) – это **1 каб.**; 0.1–0.2° (требование к фиксации пеленга) на дистанции 60 каб. – это **0.1–0.2 каб.**

Констатируем: требования к точности разбежались. Какой параметр определит точность комплекса? Самый грубый – время. Требование к точности какого параметра технически сложнее всего получить? Требование к точности пеленга. А какой параметр от нас не зависит? Отсчет лага. Так может быть нужно положить в основу возможную точность отсчета лага – 0.1 мили (1 каб.). Соответственно, снимать время с любой возможной точностью, например до секунд, что технически просто, и, наконец, снимать отсчет пеленга в целых градусах (эквивалент – 1 каб.), что упростит решение сложной технической задачи. И не надо допрашивать капитанов, ибо их ответы – опыт прошлого, далеко не всегда пригодный для решения новых задач.

Конечно несколько рассмотренных примеров не могут исчерпать весь перечень наболевших вопросов навигации. Пусть читатель сам задумается над тем, например, что повышение точности судовождения за счет дифференциальной СНС дает возможность следовать по наибольшим глубинам в каналах и реках да еще по криволинейным траекториям на зависть навигационным створам, но, одновременно, обуславливает и повышение вероятности столкновений на встречных курсах. Или над тем, что индикация текущих координат места на дисплее приемоиндикатора СНС отнюдь не основной формат, как утверждают многие, – координаты никому не нужны. Капитана интересует боковое отклонение от линии заданного пути, курс на ближайшую поворотную точку и плавание до нее с текущей или заданной скоростью, а это совсем другой формат.

Если выше правильно отражены реальные решения навигационных проблем в практическом мореплавании, то сколь удивительными видятся любознательным штурманам темы научных докладов на последних конференциях, названия статей в последних специальных журналах. Совсем иные у них заботы. Это от них требуют вести графическую прокладку на карте при наличии автосчислителя координат; это они должны корректировать неподъемную судовую коллекцию карт и пособий; это их заставляют делать временные отметки на ленте курсографа с часовым механизмом; это им маститые профессора пишут на досках бесконечные формулы способа наименьших квадратов...

Помнится, С.О.Макаров писал, что излишняя ученость у молодых штурманов скорее обременительна, нежели полезна. Очень правильный был адмирал. И современный.

*От редакции. Уважаемые читатели, Ваши отклики, замечания и предложения по данной статье просим направлять в наш адрес.*

ГРНТИ 78.21.41.19

## **ОДНО ИЗ ВОЗМОЖНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ В СОЗДАНИИ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО ФИЗИЧЕСКИМ ПОЛЯМ ЗЕМЛИ**

**П.И. МАЛЕЕВ**  
(Гос.НИНГИ МО РФ)

*Рассматриваются возможности использования торсионных полей в интересах навигации.*

К физическим полям Земли, в той или иной степени пригодных для целей навигации морских подвижных объектов, принято относить магнитное и гравитационное поля, а также поле рельефа дна. Привлекательность навигации по полям Земли в ее относительной простоте, а также полной автономности, т.е. независимости от береговых средств обеспечения, метеоусловий и т.п. Несмотря на эти положительные особенности геофизическая навигация, однако, до последнего времени не получила должного развития. Исключение составляет лишь использование нормальной составляющей магнитного поля Земли (МПЗ) в интересах определения магнитного курса. Дальнейшее развитие средств навигации по полям Земли, в частности для определения местоположения объекта, связывается с использованием их аномальных составляющих, которые оказываются более информативными. Эта навигация основывается на сопоставлении информации, хранящейся в банке данных, заранее отснятой карты поля.

В последние годы появилось большое число научных работ, в том числе и экспериментальных, из которых следует, что помимо магнитного, гравитационного и поля рельефа, Земля обладает еще одним полем, весьма перспективным для использования в интересах навигации морских объектов. Это поле носит название торсионного, от французского слова torsion – кручение, ему приписывают совершенно особые свойства, принципиально отличные от свойств всех известных полей.

Идеи о наличии в Природе торсионных полей, полей кручения, высказывались еще в конце прошлого века. Более четко и определенно их наличие было обосновано французским математиком Э.Картаном в начале нашего столетия. К настоящему времени этим полям посвящено около 10 тыс. публикаций. Среди примерно сотни их авторов более половины работают в России [1].

Несмотря на столь обширную библиографию, большинство публикаций по торсионным полям посвящено теоретическим аспектам проблемы. Более того, из теории торсионных полей, развиваемой до 1970-х годов, следовало, что эффект торсионного взаимодействия чрезвычайно слаб и для практического использования интереса не представляет. В последующие годы этот вывод был поставлен под сомнение, а затем, уже в 1980-е годы, появилась уверенность, подкрепленная рядом экспериментальных фактов, не только о наличии в Природе торсионных полей, но и в перспективности их практического использования.

Дать четкое определение торсионному полю, как и электрическому, достаточно сложно. Его можно определить как поле, создаваемое вращающейся массой, вызывающее в помещенном в него пробном теле внутренние крутильные деформации и сообщающие ему момент импульса, но не действующие на него с силой, которую можно было бы измерить непосредственно.

Наиболее строгое наличие в Природе торсионных полей следует из теории Физического Вакуума (ФВ), развиваемой нашим соотечественником Г.И.Шиповым [2]. Под ФВ понимается материальная среда, изотропно заполняющая все пространство (и свободное пространство, и вещество), имеющая квантовую структуру и ненаблюдаемая ( в среднем) в невозмущенном состоянии. Учитывая сложность для восприятия этой теории, в основе которой лежат квантово-механические представления, другой наш соотечественник, А.Е.Акимов предложил упрощенную концепцию торсионных полей [3]. В основе этой концепции лежит идея представления Вакуума в качестве системы из кольцевых волновых пакетов электронно-позитронных пар. Поскольку Вакуум определяется как состояние без частиц, то в обычном, невозмущенном состоянии пакеты электронов и позитронов как бы вложены друг в друга, их заряды, собственные моменты количества движения – спины и магнитные моменты скомпенсированы. Возмущение такой скомпенсированной системы ФВ зарядом, массой или классическим спином ведет к соответствующей поляризации Вакуума, что проявляется соответственно как электромагнитное, гравитационное или как торсионное (спиновое) поля. Важно отметить, что эти поля проявляют себя как в микро-, так и макро-мире.

Анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований позволил выявить следующие особенности этих полей:

1. В отличие от электромагнетизма, где одноименные заряды отталкиваются, а разноименные притягиваются, в торсионных полях одноименные заряды притягиваются, а разноименные отталкиваются.

2. Так же как в электричестве, где часто приходится иметь дело с коллективными электрическими полями, порождаемыми системами электрических зарядов (ядер, атомов, заряженных тел и т.д. ), так и в кручении приходится иметь дело с коллективным торсионным полем от спиново-упорядоченных систем.

3. Торсионное излучение обладает чрезвычайно высокой проникающей способностью. Оно распространяется в природных средах практически без поглощения.

4. Групповая скорость торсионного излучения в миллиарды раз больше скорости света.

5. Интенсивность торсионного излучения практически не зависит от расстояния.

6. Торсионные поля могут быть статистическими и динамическими. Значительными статистическими торсионными полями обладают, в частности, постоянные магниты, благодаря спиновой упорядоченности в них магнитных диполей. Динамические торсионные поля могут быть созданы переменными электромагнитными полями. Созданные в конце 1980-х годов в России (впервые в мире) и усовершенствованные к настоящему времени генераторы торсионных полей обеспечивают всевозможную модуляцию и регулировку интенсивности торсионного излучения [ 3 ].

7. Воздействие торсионным полем на объект (тело) носит информационный, а не энергетический характер и приводит к изменению только его спинового состояния. Отсюда, приемники торсионных полей должны существенно отличаться от используемых в настоящее время приемников электромагнитных и гравитационных полей. Ряд таких приемников уже существует. Ими могут быть, в частности, постоянные магниты. Действие торсионного поля на них приводит к разупорядочиванию ряда сориентированных спинов, а следовательно, и магнитных моментов, что ведет к уменьшению магнитного поля магнита.



8. Учитывая, что все тела обладают ненулевой спиновой упорядоченностью, они имеют собственные торсионные поля. Пространственно-частотная структура собственного торсионного поля любого вещества определяется химическим составом и пространственной структурой молекул или кристаллической решеткой этого вещества.

9. Торсионное поле создает поляризацию Вакуума около источника поля. Возникшая при этом пространственная спиновая структура сохраняется некоторое время и после того, как торсионный источник удален в другую область пространства.

10. При определенных условиях наведенное (индуцированное) торсионное поле может быть зафиксировано на уровне вещества, в частности вещества фотоэмульсии, расплава металла и др.

Отмеченные уникальные особенности торсионных полей открывают широкие возможности их практического применения, в т.ч. для навигации морских объектов по физическим полям Земли. Действительно, в силу неоднородности структуры земной коры, в т.ч. под водными массами морей и океанов, большое количество того или иного однородного вещества будет создавать коллективное характерное для данного вещества торсионное поле. Учитывая, что торсионное поле не поглощается природными средами, локально сосредоточенное однородное вещество, находящееся на произвольной глубине в Земле, будет создавать вне Земли на любой глубине такое же характерное торсионное поле.

Если заложить информацию об этом поле в бортовую память или карту, то в дальнейшем можно ее использовать в интересах навигации. Учитывая, что недра Земли весьма неоднородны, информативность такой карты может оказаться значительно большей, чем карты магнитного, гравитационного или поля рельефа дна, а следовательно, с большей точностью удастся определить координаты объекта. Важно то, что "торсионная" карта может быть использована на любой глубине плавания и не потребует введения поправки за глубину. Значительно упростится, по-видимому, и процесс подготовки такой карты. Съёмка "Торсионного полигона" может быть осуществлена с морского, воздушного или даже космического носителя.

Имеются экспериментальные данные, указывающие на то, что при фотографировании любых объектов, попадающие на фотоэмульсию вместе со световым потоком собственные торсионные поля этих объектов изменяют ориентацию спинов атомов эмульсии таким образом, что спины эмульсии повторяют пространственную структуру этого внешнего торсионного поля. Отталкиваясь от этого вывода, по аналогии с оптической обработкой изображений, отработана процедура выделения с фотографий торсионных изображений [4]. Более того, к настоящему времени удалось получать не только интегральную торсионную карту неоднородностей толщи Земли, но с помощью так называемых спиновых фильтров выделять на фоне неоднородностей те или иные конкретные залежи полезных ископаемых. Дело в том, что спиновые фильтры пропускают только те пространственные частоты, которые соответствуют характерным пространственным частотам торсионных излучений искомого вещества [1].

На рисунке приведена схема получения интегрального торсионного изображения на фотобумаге от аэрокосмического снимка [1].

Для оценки перспективности использования торсионных аномалий Земли в интересах навигации морских объектов представляется целесообразным дать краткую характеристику основных проблем создания и использования в навигации аномалий других, известных полей Земли.

Одним из существенных недостатков навигации морских объектов по полю рельефа дна является необходимость использования эхолотов, сигналы которых могут демаскировать объект. Точность навигации по полю рельефа дна ограничивается знанием скорости распространения звука в районе нахождения объекта и влиянием углов наклона грунта. Из-за этих причин погрешность определения поля глубин достигает ( 2–3% ) от глубины, что препятствует определению координат местоположения объекта с требуемой точностью в районах со средними и большими глубинами.

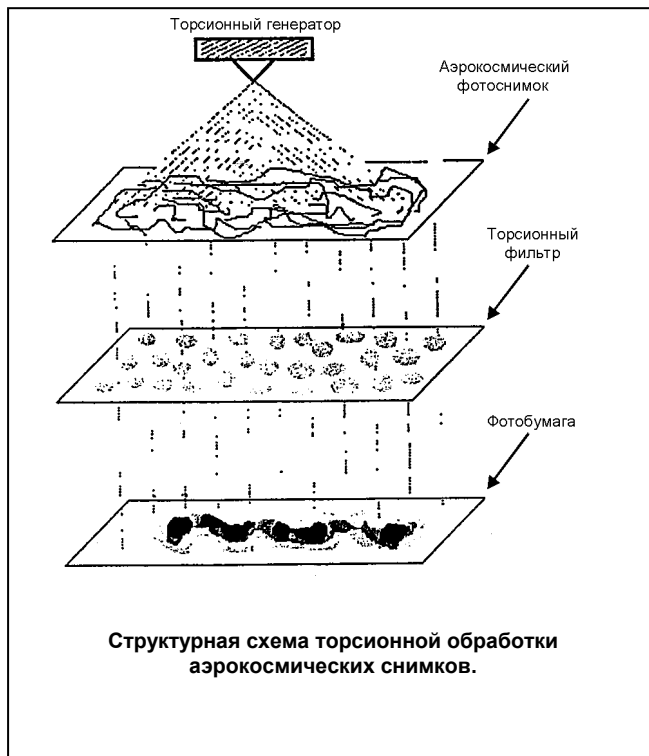
Характерные значения гравитационных аномалий Земли – 25–85 мГал.

Погрешность определения гравитационного поля с существующих карт – 10–15 мГал.

Для построения карты с требуемым, в частности для поиска полезных ископаемых, миллигальным сечением, точность измерения силы тяжести должно быть на уровне  $\pm (0.2-0.3)$  мГал [5].

Для выделения аномалий с такой точностью необходимо при съемке этого поля обеспечить:

- точность стабилизации платформы с гравиметром – на уровне 30 угл.с;
- точность измерения скорости объекта – 0.02 уз ( 1 см/с );
- точность поддержания курса –  $\pm 30$  угл.с.;
- точность определения места объекта – менее 10 м.



Подобные высокие требования к точности измерения указанных выше параметров необходимо обеспечить и при обсервации объекта на таком полигоне.

Предельная результирующая погрешность измерения силы тяжести при использовании серийно выпускаемого гравиметра "Чета-АГГ" от 3 до 9 мГал. в зависимости от условий проведения измерений. Имеется надежда уменьшить эту величину в ближайшее время до 1–1.5 мГал.

Дальнейшее повышение точности измерения силы тяжести на море потребует преодоление ряда весьма серьезных проблем, связанных как с повышением инструментальной точности гравиметра, так и с повышением точности выставки гравиметра в море, учета вариаций глубины погружений, выработки поправки на эффект Этвеша и др.

на пути использования аномальных составляющих магнитного поля Земли ( МПЗ ). Величина этих составляющих в среднем около 200 нТл. Погрешность определения МПЗ с существующих карт – около 50 нТл, а требования по точности измерения оцениваются величиной около 1 нТл. Основной проблемой здесь является создание бортовой магнитометрической системы, обеспечивающей измерение МПЗ с требуемой точностью в условиях значительных естественных и искусственных магнитных помех и в первую очередь помех самого объема.

Таким образом, наличие торсионного поля Земли, по-видимому, открывает новые возможности в создании автономных, недемаскирующих средств навигации морских подвижных объектов. Имеются основания предполагать, что эти средства по сравнению со средствами навигации по магнитному и гравитационному полям и полю рельефа дна будут обладать рядом существенных преимуществ: упрощается съемка полигона, не требуется знание глубины под килем, легче обеспечивается помехозащищенность бортовых приемников поля и др.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Е.Акимов, Г.И.Шипов. Торсионные поля и их экспериментальные проявления. Международный институт теоретической и прикладной физики АЕН, – М., 1995, Препринт N 4, –31 с.
2. Г.И.Шипов. Теория Физического Вакуума. – М., НТ-центр. 1993. –362с.
3. А.Е.Акимов. Эвристическое обсуждение проблемы поиска новых дальнедействий EGS–концепции. Межотраслевой НТ–центр венчурных нетрадиционных технологий. –М., 1992, Препринт 7а, –66 с.
4. А.Е.Акимов, Ф.А.Охатрин и др. Выделение и обработка торсионной информации на носителях космических изображений. Всероссийская конференция "Перспективные информационные технологии". Ульяновск, 27–29 августа 1995 года.
5. А.Г.Гайнанов, В.Л.Пантелеев. Морская гравиразведка, 1991, – М., "Недра", – 191 с.

ГРНТИ 78.01.37

### К ВОПРОСУ О СЕРТИФИКАЦИИ ДИПЛОМОВ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ “ГИДРОГРАФИЯ” И “МЕТЕОРОЛОГИЯ”

**О.О.ЛЕОНОВА,  
Д.Л.ЩЕННИКОВ**  
(ВВМУ им.М.В.Фрунзе)

*Рассматриваются проблемы общегосударственного и международного сертифицирования дипломов о высшем образовании по специальностям “Гидрография” и “Метеорология”. Намечаются возможные пути их решения.*

Согласно Закона РФ “О воинской обязанности и воинской службе” предусматривается получение выпускниками ВВУЗ-ов гражданских специальностей в родственных отраслях с выдачей диплома инженера. До последнего времени выпускнику ВВУЗ-а присваивалась квалификация “военный инженер”.

В настоящее время, в соответствии с требованиями МО РФ [1], осуществляется разработка учебных планов и программ на основе “Порядка применения государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования в ВВУЗ МО”, с перспективой получения выпускником сертифицированных инженерных дипломов общегосударственного образца.

Для реализации поставленных целей при ГК РФ по Высшему образованию созданы Учебно-методические объединения по новым направлениям и специальностям высшего профессионального образования. Их основной задачей является разработка и утверждение необходимой нормативной учебно-методической документации и государственных образовательных стандартов. Эти стандарты должны отражать **обязательный** минимум содержания обучения и уровня подготовки выпускников. Названными объединениями уже утверждены перечень ведущих высших учебных заведений соответствующих отраслей, координирующих работу по стандартизации. В частности, по специальности “Гидрография” Учебно-методическим объединением по инженерно-техническим специальностям водного транспорта головной организацией определена ГМА им.адм.С.О.Макарова. В соответствии с разработанными ею документами по специальностям 01.29.00 “Гидрография” и 01.26.00 “Метеорология”, должны быть пересмотрены как программы, так и учебные планы кафедр Гидрографии и Навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения ВВМУ им. М.В.Фрунзе.

Представляется однако, что требования ГМА им.адм.С.О.Макарова достаточно специфичны. Например, в минимуме содержания образовательной программы подготовки инженера-гидрографа [2] предусмотрено изучение географии Северного Морского пути без достаточных обоснований преимуществ этого раздела перед изучением других районов Мирового Океана; в то же время не освещены вопросы дистанционных методов исследования. Кроме того не прослеживается тенденция сближения государственных и международных образовательных стандартов, что значительно снижает возможность признания российского образования за рубежом. Возникает вопрос: как оптимально сочетать государственные требования к минимуму содержания и уровня подготовки гидрографов с международным стандартом компетенции для гидрографов, который разработан и периодически обновляется<sup>1</sup> Международным Гидрографическим Обществом (МГО).

Совет МГО ежегодно рассматривает программы подготовки специалистов-гидрографов, представляемые как государственными, так и коммерческими структурами. Определяет их соответствие **рекомендуемым** стандартам и имеет право сертифицировать их на международном уровне. Стандарты не являются жестко определенными и представляют широкие полномочия учебным заведениям при формировании учебных дисциплин, обеспечивающих, однако, необходимый уровень подготовки. Например, теоретический курс по специальности "Метеорология" в ГМА им.адм.С.О.Макарова на 1800 ч меньше, чем во ВВМУ им. М.В.Фрунзе. Однако для учебной практики по нему в академии отведено в три раза больше времени, чем в училище.

МГО позволяет разрешать подобные противоречия, учитывая особенности учебного заведения. Так, при несоответствии объемов учебной практики рекомендуемым предлагает следовать стандарту как с академической, так и с практической точки зрения, но без учета требований к опыту [3].

В целом поэтому целесообразно проведение согласованной работы как по общегосударственной, так и по международной сертификации отечественного диплома инженера-гидрографа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. "О переходе ВВУЗ МО РФ к обучению по новым учебным планам и программам". Приказ МО РФ №195 от 06.06.95.
2. Государственные требования к минимуму содержания и уровня подготовки выпускника по специальности 01.29.00 – "Гидрография" и 01.26.00 – "Метеорология", М.: ГК РФ по высшему образованию, 1995.
3. Standards of competence for hydrographic surveyors. Monaco: IHO, №6, 1994.

<sup>1</sup> Последний выпуск №7, 1994 г.(Прим.ред.)

## МЕТОДЫ, ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВИГАЦИИ. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШТУРМАНА

ГРНТИ 78.21.41.19

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ НАВИГАЦИИ ПО ГЕОМАГНИТНОМУ ПОЛЮ

**С.Н.ГУЗЕВИЧ**  
(Гос.НИНГИ МО РФ)

*Описан энергетический подход к решению задачи навигации. На его основе получены новые зависимости погрешности определения места от длины галса обсервации, пространственных характеристик и параметров измеряемого геомагнитного поля.*

В настоящее время при решении задач навигации по геофизическим полям (ГФП), в том числе и по геомагнитному полю, используются корреляционноэкстремальные навигационные системы, для которых разработан достаточно большой комплекс эффективных алгоритмов обработки информации, методов оценки точности определения места [1÷4]. Однако полученные зависимости не отражают численного влияния на точность определения места ни длины галса обсервации, ни величин значений пространственных характеристик геомагнитного поля (ГМП). Эти зависимости могут быть получены на основе несколько иного взгляда на характер обрабатываемой информации.

Основным этапом при решении задачи определения места по геофизическим полям является совмещение реализаций полей, полученных априорно и апостериорно.

При совмещении реализаций ГФП сравнивают результаты измерений на 2-х профилях, один из которых получают с априорных модельных данных  $a_1$ , другой с результатов измерений на галсе обсервации  $a_2$ , при этом, как правило, сдвиг  $\Delta x$  сравниваемых параметров постоянен вдоль текущих значений профиля ( $x$ ).

Практически сравнивают не результаты измерений, а площади ( $S$ ), ограниченные профилями измерений, так как сравнивают как значения параметров ( $a_i$ ) на постоянном шаге  $\Delta x$ , так и длины профилей ( $l$ ). Тогда если обозначить эти площади соответственно  $S_1$  и  $S_2$ , то в соответствии с теоремой о среднем, можно записать

$$S = \sum_{i=1}^n \Delta x \cdot a_i = \int_0^l T(x) dx = A_{cp} \cdot l, \quad (1)$$

где  $T(x)$  функция, описывающая сравниваемые процессы на заданном участке, а в данном случае пространственное распределение измеряемой составляющей вектора индукции ГМП вдоль профиля.

В соответствии с теорией стационарного магнитного поля [5], вектор напряженности (индукции) магнитного поля ( $T$ ) представляют градиентом некоторой скалярной функции ( $U$ ), получившей название потенциала, то есть

$$\begin{aligned} \vec{T} &= -\nabla U(x, y, z) = \vec{i} dU/dx - \vec{j} dU/dy - \vec{k} dU/dz; \\ T_x &= -dU/dx; T_y = -dU/dy; T_z = -dU/dz \end{aligned} \quad (2)$$

или

$$U(a) = - \int_a^{\infty} T_x dx ; U(b) = - \int_b^{\infty} T_y dy ; U(c) = - \int_c^{\infty} T_z dz . \quad (3)$$

Сравнение выражений (1) и (3) показывает, что они идентичны. Различие в пределах интегрирования не принципиально, так как интегрирование от 0 в формулах (3) означает возможность определения составляющей магнитного момента по этому же направлению, а возможность пересчета различных составляющих индукции, если известна система координат измерения, общеизвестна [5]. Таким образом при совмещении реализаций профилей мы сравниваем некоторые значения потенциала  $U$  (потенциальной энергии геомагнитного поля) вдоль этих профилей.

В каждой точке пространства измеренные значения индукции  $a_i$  можно представить в виде

$$a_i = A_i (1 + \varepsilon_i), \quad (4)$$

где  $A_i$  – истинное значение параметра в точке;

$\varepsilon_i$  – относительная погрешность измерений.

При этом для всего профиля, имеющего  $n$  точек измерений, можно получить оценку среднего значения параметра

$$a_{cp} = 1/n \sum_{i=1}^n (A_i) [1 + (\varepsilon_i)] = A_{cp} [1 + \varepsilon_{cp}]; \quad (5)$$

$$\varepsilon_{cp} \approx M(\varepsilon_i),$$

где  $M$  – оператор математического ожидания;

$i = 1, 2, \dots, n$ .

Относительная погрешность измерений в каждой точке определяется случайной ( $\delta$ ) и систематической ( $\Delta$ ) составляющими. Учитывая, что  $n$  может быть достаточно большим, можно записать

$$\varepsilon_{cp} = \frac{M(\delta) + M(\Delta)}{A_{cp}} = M(\Delta)/A_{cp} = \Delta_{cp}/A_{cp} = \Delta/A_{cp}. \quad (6)$$

Подставляя выражение (6) в (5) получим

$$a_{cp} = A_{cp} [1 + \Delta/A_{cp}], \quad (7)$$

т.е. оценка среднего значения параметра на профиле имеет относительную погрешность, содержащую только систематическую составляющую измерений и относительная погрешность тем меньше, чем  $A_{cp}$  больше.

Тогда, полагая, что в значениях на матрице полигона отсутствуют систематические погрешности, имеем

$$U_1 = A_{l_{cp}} l_1. \quad (8)$$

По результатам измерений на галсе обсервации можно записать аналогичное выражение, однако в результатах оценок среднего значения измеряемого параметра  $A_{2_{cp}}$  имеется систематическая погрешность  $\Delta_a$ , а в результатах измерения длины  $l$  систематическая погрешность  $\Delta_l$ , т. е.

$$U_2 = \sum_{i=1}^n \Delta x a_{2_i} = A_{2_{cp}} l_2 = (A_{l_{cp}} + \Delta_a) (l_1 + \Delta_l). \quad (9)$$

При этом добиваются минимального значения критерия близости сравниваемых площадей ( $\Delta U$ ), в идеале равном нулю

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \Delta_a l_1 + \Delta_l (A_{l_{cp}} + \Delta_a) = 0. \quad (10)$$

Условие (7) выполняется только тогда, когда

$$\Delta_a l_1 = - \Delta_l (A_l + \Delta_a) \text{ или } \Delta_a / (A_l + \Delta_a) = - \Delta_l / l_1; \quad (11)$$

$$\varepsilon_l = -\varepsilon_a / (I + \varepsilon_a). \quad (12)$$

При этом величины  $\Delta_a$  и  $\Delta_l$  являются оценкой разности систематических погрешностей измерений параметров  $a_i$  и  $l$  на сравниваемых площадях.

Равенство (10) характеризует минимальную потенциальную энергию магнитного поля профиля, которая вызвана погрешностями измерения параметра и длины при использованных технических средствах их измерений. Оно определяет погрешность длины профиля, менее которой неопределенность положения профилей разрешена быть не может. Равенство (12) характеризует соотношение относительных погрешностей измерений параметра и длины, при которых только и обеспечивается минимальная потенциальная энергия, определяющая относительную погрешность местоположения. Поэтому относительную погрешность определения положения профиля, при выполнении условия (12), можно назвать потенциальной оптимальной относительной погрешностью определения места, а для упрощения оптимальной относительной погрешностью.

Погрешность определения длины профиля при выполнении условия (12) будет равна оптимальной относительной погрешности местоположения, тогда

$$\Delta_l = l_l; \varepsilon_l = -l_l; \varepsilon_a / (I + \varepsilon_a) = -l_l; \Delta_a / (A_{l_{cp}} + \Delta_a) \approx -l_l \Delta_a / A_{l_{cp}}. \quad (13)$$

Величину  $A_{l_{cp}} / l_l$  назовем средней плотностью измеряемого параметра  $a_i$  и обозначим через  $g_{cp}$ . В этом случае

$$\Delta_l = l_l \Delta_a / A_{l_{cp}} = \Delta_a / g_{cp}. \quad (14)$$

Таким образом оптимальная погрешность местоположения профиля зависит от его длины, оценки разности систематических погрешностей определений параметра и величины среднего значения параметра на профиле. Или она также может быть оценена по отношению разности систематических погрешностей определений параметра к среднему значению плотности параметра на профиле.

Рассмотрим, как влияет на оптимальную относительную погрешность определения места длина профиля, средние значения параметра  $A_{cp}$  и его плотность  $g_{cp}$  на профиле.

Для однозначного обеспечения условий уменьшения минимальной погрешности определения места рассмотрим участок поля длиной  $l$ , на котором функция параметра описывается полиномом  $n$ -ой степени и монотонно изменяется, т.е.

$$F(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + K + a_n x^n \quad (15)$$

и будем рассматривать разность значений на двух профилях

$$\Delta F = F_1(x) - F_2(x) = a'_0 + a'_1 x + a'_2 x^2 + K + a'_n x^n. \quad (16)$$

Разность сравниваемых значений на двух профилях будет содержать разность их постоянных составляющих. Величина разности ( $a'_0 = a_{01} - a_{02}$ ) может быть отнесена к систематическим погрешностям измерений, поэтому при рассмотрении поля необходимо учитывать его приращение на участке без постоянной составляющей. Тогда, в соответствии с выражениями (5) и (14), определим оценки  $A_{cp}$  и  $g_{cp}$

$$A_{cp} = I / l \int_0^l F(x) dx = a_1 / 2l + a_2 / 3l^2 + K + a_n / (n+1) l^n; \quad (17)$$

$$g_{cp} = I / (l)^2 \int_0^l F(x) dx = a_1 + a_2 l + K + a_n l^{n-1}. \quad (18)$$

Для монотонной функции по результатам рассмотрения выражений (17-18) можно сделать следующие выводы:

– постоянная составляющая параметра поля на профиле  $a_0$  не влияет на величину относительной минимальной погрешности определения места;

- под средним значением параметра необходимо понимать среднее значение приращения параметра на профиле, которое возрастает с ростом его длины;
- для линейных функций среднее значение параметра с ростом длины профиля возрастает, а плотность параметра не изменяется. Поэтому плотность параметра для оценки минимальной относительной погрешности и минимальной длины профиля является более общей характеристикой;
- среднее значение плотности растет только если поле описывается полиномом 2-ой степени и выше, а под средним значением плотности необходимо понимать среднее значение ее приращений;
- относительная минимальная погрешность уменьшается с ростом числа измерений на профиле до тех пор, пока растет среднее значение приращений плотности измеряемого параметра.

Рассмотрим участок (рис.1), где поле на профиле имеет знакопеременный характер, например,

$$F(x) = A \cos(\pi x / L), \quad (19)$$

где  $A$  – амплитуда изменений параметра аномального поля;

$L$  – горизонтальная расчлененность поля или полупериод его изменений.

Тогда, в соответствии с выводом (2), рассматривая участок его монотонного убывания  $(0, L)$ , определим на нем характер изменения приращения функции  $\Delta F(x)$ , среднее значение параметра и его плотности. При этом приращение функции определим путем параллельного переноса оси  $x$

$$\Delta F(x) = A [\cos(\pi x / L) + 1]; \quad (20)$$

$$A_{cp} = (AL/\pi) [\sin(\pi l/L) + 1] = l(A/\pi)(L/l) [\sin(\pi l/L) + 1] \quad (21)$$

$$g_{cp} = (A/\pi)(L/l) [\sin(\pi l/L) + 1]. \quad (22)$$

Графики изменения среднего значения и плотности параметра от длины участка  $l$  представлены на рис.2. Из него видно, что среднее значение параметра имеет периодический характер изменения, а его размах зависит от начала участка. Плотность параметра зависит в основном от длины участка  $l$ , а ее периодичность "скрыта" из-за сильной зависимости ее амплитуды от длины участка.

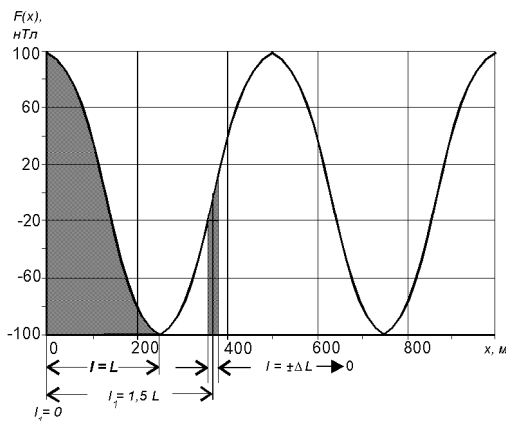


Рис.1. Изменение величины аномального геомагнитного поля  $F(x)$  вдоль профиля.

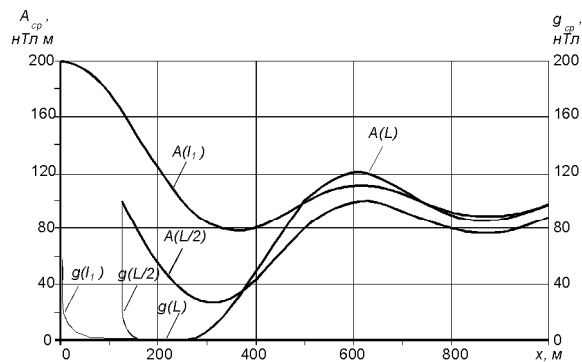


Рис.2. Изменение среднего значения параметра  $A_{cp}$  и его плотности  $g_{cp}$  вдоль профиля.

Поэтому будем искать зависимость минимальной длины участка  $l$  и его начала, при которых обеспечивается максимальное значение приращения среднего значения параметра  $A_{cp}$ . Точку начала участка, соответствующую концу отрезка от начала функции, обозначим через  $l_1$ .



Тогда

$$A_{c_{p_1}} = (A l / \pi) [ \sin(\pi l_1 / L) + 1 ],$$

а конец участка будет находится на расстоянии  $(l + l_1)$  и

$$A_{c_{p_2}} = (A l / \pi) \{ \sin[ \pi(l + l_1) / L ] + 1 \};$$

$$\begin{aligned} A_{c_p} = A_{c_{p_2}} - A_{c_{p_1}} &= (A l / \pi) \{ \sin[ \pi(l + l_1) / L ] - \sin(\pi l_1 / L) \} = \\ &= (A l / \pi) \{ 2 \sin[ \pi(l + l_1) / 2L ] \cos[ \pi(l + l_1) / 2L ] - \sin(\pi l_1 / L) \}. \end{aligned} \quad (23)$$

Из выражения (23) необходимо найти два параметра  $l$  и  $l_1$  при  $A_{c_p} = \max$ . Это выражение имеет два ближайших максимума (см. рис.1):

$$\text{при } l = L \text{ и } l_1 = 0 \pm L, \text{ тогда } \Delta g_{c_p} = 2A / \pi; \quad (24)$$

$$\text{при } l = \pm \Delta L \rightarrow 0 \text{ и } l_1 = (L/2 \pm L), \text{ тогда } \Delta g_{c_p} = (2\sqrt{2})A / \pi. \quad (25)$$

Т.е. при длине участка равном полупериоду знакопеременной функции ( $l = L$ ) и его начале в точке экстремального значения функции ( $l_1 = 0 \pm L$ ), участок заключен между экстремальными значениями функции, оптимальная относительная погрешность определения места равна  $\pi/2A$ .

Если участок имеет минимальную длину ( $l_1 = 0 \pm L$ ) и его начало совпадает с  $l_1 = (L/2 \pm L)$ , т.е. он заключен между значениями максимальной скорости изменений функции, тогда оптимальная относительная погрешность определения места равна  $\pi/(2\sqrt{2}A)$ . Назовем эту погрешность минимальной оптимальной относительной погрешностью.

Из выполненного анализа следует, что при знакопеременном изменении характера поля:

- среднее значение параметра и его плотность изменяются синфазно при изменении длины профиля, но плотность параметра обладает более острой зависимостью от длины;

- приращение среднего значения параметра и его плотности растут с ростом длины участка и достигают экстремума в двух случаях:

- а) на участке между ближайшими экстремальными значениями функции длиной  $L$ ,

- б) на участке минимальной длины, симметричном относительно нулевого значения функции (максимальное значение);

- для обеспечения максимальной точности обсервации важно не только обеспечить требуемую длину профиля, но и проложить его в строго требуемом месте;

- увеличение длины участка более указанных нецелесообразно, т.к. не приводит к росту приращений параметра.

То есть увеличение длины профиля в знакопеременном поле целесообразно только пока увеличиваются средние значения приращений параметра или его плотности на профиле. Реальное поле на любом участке может быть представлено в виде

$$F(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + K + \sum_{m=1}^n A_m \cos(m \pi x / L + \Phi_m), \quad (26)$$

где  $a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + K$  – поле относимости;

$$F_m(x) = \sum_{m=1}^n A_m \cos(m \pi x / L + \Phi_m) \text{ – составляющие аномального ГМП,}$$

$F_1(x), A_1, L, \Phi_1$  – основная составляющая аномального геомагнитного поля и его характеристики (амплитуда, расчлененность и фаза).

Положим, что  $\Phi_1 = \pi/2$  и рассмотрим реальное поле только в виде его аномальной части (рис.3), т.к. влияние поля относимости рассмотрено ранее. На рис.4 показано изменение среднего значения параметра и его плотности вдоль профиля.

Тогда, если длина профиля равна полупериоду основной составляющей аномального поля между ее ближайшими экстремальными значениями, среднее значение приращений измеряемого параметра будет определяться только характеристиками основной составляющей. Влияние всех других составляющих аномального поля из-за кратности их периодов равно нулю, т.е.

$$\left\{ \sum_{m=1}^n A_m \cos(m \pi x/L + \Phi_m) \right\}_{cp} \Big|_{x=0}^L = \left[ A_1 \cos(\pi x/L + \Phi_1) \right]_{cp} \Big|_{x=0}^L ; \quad (27)$$

$$A_{cp}(\Sigma) = A_{cp_1}.$$

Аналогично с ранее сказанным дальнейшее увеличение длины профиля не приведет к увеличению среднего значения параметра, а следовательно и оптимальной относительной погрешности определения места. При минимальной длине профиля равной  $(\pm \Delta L)$  условие (27) в общем случае не выполняется. Но если оно выполняется из-за особенностей поля в районе, то это позволяет уменьшить длину галса обсервации до размеров, при котором оно выполняется, и повысить точность определения места примерно в 1,5 раза.

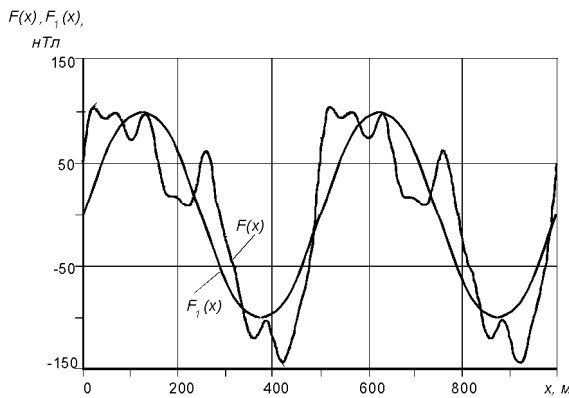


Рис.3. Изменение аномального геомагнитного поля  $F(x)$  и основной его составляющей  $F_1(x)$  вдоль профиля.

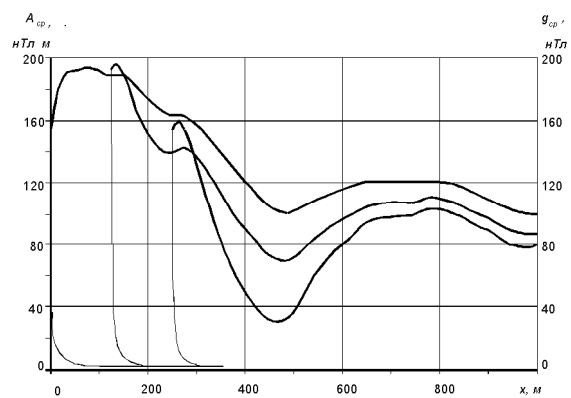


Рис.4. Изменение среднего значения параметра  $A_{cp}$  и его плотности  $g_{cp}$  вдоль профиля.

Таким образом в общем случае увеличение длины галса обсервации, с точки зрения повышения ее точности, целесообразно только до выделения ближайших экстремальных значений основной составляющей аномального поля, используемого для определения места, при контроле его длины по приращениям измеряемого параметра и его плотности.

Следовательно выражение (14) может быть использовано как для определения оптимальной погрешности определения места на конкретном участке, так и для определения минимальной длины галса обсервации, характеризующемся минимальной оптимальной погрешностью определения места в районе, контроля его прохождения, выбора участка и его положения.

Рассмотрим, как изменится погрешность определения места, если вместо параметра  $F(x)$  измеряется его градиент  $dF(x)/dx$ . В этом случае

$$dF(x)/dx = a_1 + 2a_2 x + K + \sum_{m=1}^n A_m (m \pi/L) \sin(m \pi x/L + \Phi_m). \quad (28)$$

Из выражений (23) и (25) следует, что соотношение характеристик основной составляющей параметра и его градиента можно описать следующим образом:

- неизменна горизонтальная расчлененность  $L$ ,
- изменена фаза с  $\Phi_1$  на  $(\Phi_1 + \pi/2)$ ;
- изменена амплитуда с  $A_1$  на  $A_1 \pi/L$ .

Поскольку градиент поля относимости, как правило, значительно меньше градиента аномального поля, в соответствии с (19), можно записать выражения для оценок максимальных величины плотности

$$\left. \begin{aligned} g_{cp}^{max} [F(x)] &= 2(A_1/\pi)(L/l); \\ g_{cp}^{max} [F(x)/dx] &= 2 \{ (A_1 \pi/L)/\pi \} (L/l) = 2(A_1/L)(L/l). \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

Т.е. при использовании (измерении) градиента параметра для целей навигации оптимальная относительная погрешность определения места изменяется в  $L/\pi$  раз. Но так как в Мировом океане горизонтальные расчлененности аномального поля  $L$  размером менее сотен метров чрезвычайно редки, то оптимальная относительная погрешность при использовании градиента увеличивается в  $L/\pi$  раз, а реально более чем в 30 раз.

Из полученных результатов могут быть сделаны следующие практические выводы:

- участок поля с монотонным изменением параметра может быть использован для целей навигации, если он описывается полиномом не ниже 2-ой степени;
- аномальное поле для целей навигации наиболее целесообразно использовать на участках, где его поле относимости описывается полиномом не выше 1-ой степени, а также на тех участках его монотонного изменения, где среднее значение параметра зависит только от основной составляющей аномального поля;
- минимальная длина профиля, на котором обеспечивается оптимальная относительная погрешность в аномальном поле равна горизонтальной расчлененности между нулевыми значениями ее основной составляющей;
- длину профиля для повышения точности определения места целесообразно увеличивать до тех пор, пока обеспечивается рост приращений средних значений параметра и его плотности;
- использование измерителя градиента параметра при решении задачи определения места не целесообразно.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРА:

1. Степанов О.А. Методы оценки потенциальной точности в корреляционно-экстремальных навигационных системах, С-П: ЦНИИ "Электроприбор" – 1993, – 83 с.
2. Дмитриев С.П. Высокоточная морская навигация, – Л: Судостроение, 1990, –220 с.
3. Белоглазов И.Н., Джанджгава Г.И., Чигин Г.П. Основы навигации по геофизическим полям, – М: Наука, 1985, – 328 с.
4. Михлин Б.З., Селезнев В.П., Селезнев А.В. Геомагнитная навигация, – М: Машиностроение, 1976, – 279 с.
5. Яновский В.М. Земной магнетизм, – Л.: изд.ЛГУ, 1978, – 592 с.

ГРНТИ 78.21.36.17.15

## ОПЫТ СОЗДАНИЯ, ИСПЫТАНИЙ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНИС ДЛЯ ВМФ

**В.Г.ДЗЮБА,  
А.Г.ПАНОВ**  
(Гос.НИНГИ МО РФ)

*Рассмотрены основные принципы технической политики ГУНиО МО РФ и Гос.НИНГИ в создании для ВМФ электронных навигационных информационных систем. Проанализированы результаты первых испытаний таких систем, разрабатываемых по заказу ГУНиО, и опыт их практического применения.*

Техническая политика ГУНиО МО РФ и Гос.НИНГИ в области электронных навигационных информационных систем (ЭНИС) изначально была и продолжает быть направленной на создание систем, соответствующих международной концепции ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) – информационной системы с отображением электронной карты, эквивалентной бумажной морской навигационной карте.

После принятия Международной Морской Организацией в ноябре 1995 г. стандарта на технико-эксплуатационные характеристики ECDIS<sup>2</sup> в ближайшем будущем следует ожидать включения этого оборудования в разряд конвенционного. Данное обстоятельство делает задачу оснащения ВМФ такими системами еще более актуальной наряду просто с необходимостью повышения уровня автоматизации кораблевождения с использованием новейших информационных технологий.

Принятое в Гос.НИНГИ понятие ЭНИС рассматривается как более широкое по отношению к понятию ECDIS. Полностью отвечая требованиям к ECDIS, как к системе обеспечения безопасности общего мореплавания, ЭНИС обязательно включает дополнительное множество баз данных и функциональных задач, необходимых для выполнения штурманских расчетов в соответствии с руководящими документами ВМФ. Кроме того, специфика военного кораблевождения вносит, во-первых, принципиальные от других ведомств отличия принятых в ВМФ методик и алгоритмов решения даже традиционных задач. Во-вторых, она налагает более жесткие требования к формам и содержанию вырабатываемой информации. В-третьих, существует большой объем чисто специальных задач, решаемых штурманом военного корабля.

Разработка для ВМФ ЭНИС, ориентированных на использование официальных, сертифицированных Гидрографической службой электронных навигационных карт (ENC), была начата около 10 лет назад. Однако, существенный прогресс в данной области наметился только в последние три года, в первую очередь, благодаря появлению соответствующей компьютерной техники и информационных технологий, а также значительных сдвигов в деле создания отечественных ENC, соответствующих стандарту S-57/DX-90 Международной гидрографической организации.

Как результат, необходимо отметить проведенные в 1993–1995 гг. успешные морские испытания отечественных ENS–навигационных электронно-картографических (ЭКС) систем. В испытаниях участвовали разрабатываемые по заказу ГУНиО МО:

- ЭНИС “Сегмент” (предприятия “Коррект-Марин” и “Моринтех”);
- ЭНИС “Маркер” (ГНЦ ЦНИИ “Электроприбор”).

Обе системы разрабатывались в качестве модулей обеспечения навигационной безопасности плавания (МОНБП) в составе навигационных комплексов кораблей ВМФ по согласованным с Гос.НИНГИ логико-математическим формулировкам и алгоритмам решаемых задач.

<sup>2</sup> По этому вопросу см. статью Г.Москвина “Снизить навигационную опасность” в журнале “Морской флот”, №9-10, 1995 г. (Прим.ред.).

В марте–апреле 1995 г. на ГС “Сибиряков” в период его дальнего океанского похода успешно проведены морские конструкторские испытания прототипов опытных образцов модулей “Сегмент” и “Маркер”. Переход судна по маршруту Санкт-Петербург – Портсмут (Великобритания) и испытания осуществлялись с использованием первых отечественных экспериментальных наборов данных ENC, подготовленных ЦКП ВМФ и предприятием “Моринтех” в соответствии со стандартом S-57-DX-90 вер.2.0.<sup>1</sup>

Испытания показали высокий уровень разработок. Программное обеспечение ЭНИС “Сегмент” построено на основе первоначально созданной предприятием “Моринтех” базовой геоинформационной системы, предназначенной для решения широкого круга задач в области навигации, гидрографии и гидрометеорологии, в системах отображения обстановки, оперативного планирования и т.п., основой которой является ENC в формате DX-90.

Использование передовых информационных технологий позволило построить пользовательский интерфейс, практически не требующий применения универсальной клавиатуры компьютера. Большинство задач оператор решает при помощи только манипулятора; число действий для достижения требуемого состояния системы сведено к минимуму. В этой части, а также в части набора функций ЭНИС не уступает уровню последних разработок всемирно известных фирм. По степени соответствия концепции ECDIS система не имела аналогов на престижной международной выставке “Нева–95” (сентябрь 1995 г.).

Решая главную задачу – разработка модулей для навигационных комплексов, исполнители вплотную подошли к созданию автономных ЭНИС универсального (внекомплексного) применения. Условия испытаний потребовали от разработчиков создания интерфейсных блоков для связей с различными корабельными датчиками и потребителями навигационной информации, а также соответствующего дополнительного обеспечения. Эта задача была успешно решена при подготовке к походу.

Испытания на ГС “Сибиряков” и последовавшие за ними подтвердили значительное повышение степени автоматизации и надежности решения задач обеспечения навигационной безопасности плавания за счет использования ЭНИС. При этом системы, разрабатываемые по заказу ГУНиО МО для ВМФ, легко адаптируемы к потребностям других групп потребителей и могут найти широкое применение на судах Департамента морского транспорта и других ведомств России, а также за рубежом.

Во время похода ОИС “Л.Демин” в Норвежском море в район гибели апл “Комсомолец” в июле–августе 1995 г. были вскрыты дополнительные возможности ЭНИС “Сегмент” как системы обеспечения точного маневрирования судна (корабля) над малоразмерными и точечными объектами на грунте и решения задач экологического мониторинга.

Основной проблемой внедрения новой технологии в настоящее время остается необходимость высоких темпов наращивания базы данных ENC, как основы ECDIS.

---

<sup>1</sup> Наряду с ними на ГС “Сибиряков” проводилась также опытовая эксплуатация НЭКС Navy-Master NS-21005 производства АО“Транзас Марин”, использующей коллекцию упрощенных, не соответствующих стандарту карт. (Прим.ред.).

## **ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ В МНОГОСПУТНИКОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ**

**С.А.ЯСЬКО,  
Д.Ю.ЧУПИН**  
(ВИКА им.А.Ф.Можайского)

*Рассматриваются особенности решения навигационной задачи наземным абонентом многоспутниковых систем связи. Несмотря на функционирование СНС второго поколения, подчеркивается важность решения поставленной задачи не только для обеспечения связи с абонентом, местоположение которого неизвестно, но и для решения им собственных целевых задач. Отсюда вытекают требования к точности решения. Обсуждаются результаты имитационного моделирования и делаются выводы о целесообразности применения исследованного метода с расширением вектора состояния для повышения точности навигационных определений.*

**1. Исходные предпосылки.** В последнее время широко развернулись исследования по созданию космических систем связи с применением низкоорбитных спутников [1,2]. Эти системы, которые находятся сейчас в стадии разработки и испытаний как в России так, так и за рубежом, можно разделить на системы пакетной передачи данных и радиотелефонной связи. Они отличаются предоставляемыми услугами и сложностью технической реализации. Общей задачей является определение местоположения пользователя системы, как для быстрого вхождения в связь с ним, устойчивого ее поддержания и быстрого восстановления при потере связи по любой из причин, так и для решения пользователем собственных целевых задач.

Анализируя принципы функционирования многоспутниковых систем связи (МСС), можно сделать вывод, что качественное решение задач навигации абонентов в них осложняется следующими факторами:

– отсутствием в структуре сообщения радиолинии "борт-Земля" дополнительной информации, характеризующей скорость ухода бортовых шкал генераторов КА МСС и др., что не может не сказаться на результатах точности решения навигационной задачи абонентом;

– МСС являются одночастотными системами, в связи с чем усложняется задача борьбы с погрешностями место определения абонента, возникающими при прохождении электромагнитных волн через ионосферу;

– спецификой передаваемых сигналов, определяемой, в первую очередь, необходимостью обеспечения высокого качества связи;

– пакетным режимом работы МСС как наиболее перспективным направлением развития способов передачи информации;

– трудностью периодической синхронизации и сведения бортовых шкал генераторов космических аппаратов (КА) МСС относительно друг друга с высокой точностью при ограничениях, налагаемых на наземный комплекс управления (НКУ), в котором планируется 1-3 станции.

Необходимо также учитывать, что к числу абонентов МСС относятся различные группы потребителей навигационной информации, начиная от неподвижных наземных и вплоть до летательных и космических аппаратов. Однако все они объединены общим требованием к МСС - достижения как можно большей точности при определении или уточнении собственного вектора состояния при работе с сетью.

В связи с этим, для осуществления возможности решения поставленной задачи чрезвычайно важным является оценка состава измерений текущих навигационных параметров (ТНП) относительно КА МСС. В общем случае выражение навигационной функции для измерений в момент времени  $i$  имеет вид

$$R_i = R_i(q_1, q_2, q_3; Q_{1i}, Q_{2i}, Q_{3i}), \quad (1)$$

где  $q_j (j = 1, 2, 3)$  и  $Q_{ji} (i = 1, 2, 3)$  координаты абонента и КА МСС соответственно.

Конкретное выражение определяется видом ТНП и, например, для дальномерного метода измерений будет записываться как

$$R_i = \sqrt{(X_{ci} - X_a)^2 + (Y_{ci} - Y_a)^2 + (Z_{ci} - Z_a)^2}, \quad (2)$$

где  $X_a, Y_a, Z_a$  – координаты абонента;

$X_{ci}, Y_{ci}, Z_{ci}$  – координаты КА<sub>c</sub> в момент времени  $i_0$ .

Если имеются результаты  $n$  измерений ТНП в течение зоны видимости абонентом конкретного КА МСС, то может быть составлена система уравнений

$$R_i = R_i(q_1, q_2, q_3; Q_{1i}, Q_{2i}, Q_{3i}), i = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

в которой различные строки могут относиться как к измерениям по одному и тому же КА МСС, но в различные моменты времени, так и к измерениям по различным КА МСС (одновременным или разновременным).

В данном случае для решения навигационной задачи в принципе, т.е. для определения неизвестных величин  $q_1, q_2, q_3$ , в выражении (1) необходимо записать и решить систему (3), состоящую как минимум из трёх уравнений. На практике это означает, что при работе с сетью неподвижный абонент должен измерить одним из методов соответствующие ТНП не менее трёх раз и получить информацию относительно текущих параметров движения того КА МСС, относительно которого эти измерения проведены.

Очевидно, что немаловажную роль для достижения приемлемой точности навигационных определений абонентов МСС играет рациональный выбор методов измерения ТНП между абонентом и КА МСС. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

**2. Обоснование и выбор методов и состава измерений при навигационных определениях абонентов.** Принципы построения и функционирования МСС, а также условия и последовательность работы абонентской аппаратуры в ее составе для решения навигационной задачи по определению местоположения абонента диктуют в качестве наиболее целесообразных беззапросные методы измерения ТНП.

Подобные методы в настоящее время получили широкое использование в ныне действующих навигационных системах. Рассмотрим особенности этих методов с точки зрения целесообразности их применения в МСС.

По структуре баллистического построения МСС напоминают СНС 1-го поколения. Навигационные параметры в них измеряются на основе беззапросного интегрального доплеровского метода и представляют собой разности дальностей от абонента до КА для нескольких участков обсервации путем измерения в аппаратуре абонента разностей времен запаздывания меток времени (обычно двухминутных), "закладываемых" в непрерывное гармоническое колебание частоты  $f_0$ , излучаемое бортовым передатчиком КА. Помимо меток времени этот сигнал путем соответствующей модуляции несет также обновляемые текущие параметры движения КА (эфемериды), рассчитываемые для этих моментов времени бортовой ЦВМ спутника. В результате по нескольким (в общем случае минимум четырем) измерениям и соответствующим значениям текущих эфемерид КА, выделенным в аппаратуре абонента из принимаемого сигнала, одним из известных алгоритмов обработки навигационных измерений определяются три известные координаты абонента  $X_a, Y_a, Z_a$  и четвертое неизвестное  $\delta f_0$ , представляющее собой расхождение частот бортового и абонентского генераторов.

Данный метод имеет хорошую информативность (в силу низкоорбитальности КА), даже для оценки только трех координат не требует использования высокостабильных генераторов с величинами относительной нестабильности менее чем  $10^{-11}$  [3] и, как показано в [4], является наиболее предпочтительным для таких группировок КА. Однако использование его в МСС является затруднительным в силу того, что в структурах их сигналов отсутствуют специальные метки времени и другие маркеры, которые могут служить измерительными. Измерение же разностей дальностей на интервалах длительности пакетов, в силу их малости [5], ведет к погрешностям местоопределения абонента в несколько километров [2,6], что не является удовлетворительным для решения им собственных целевых задач.

В связи с этим в качестве базовых предлагается использовать беззапросные методы измерения дальностей и радиальных скоростей или разностей дальностей и разностей радиальных скоростей в зависимости от канальности аппаратуры абонента и его подвижности. При одноканальной аппаратуре потребителя для их организации необходима начальная привязка (синхронизация) шкал времени и точное знание несущей частоты колебаний, формируемых на приемном и передающем концах радиолинии. Например, время распространения сигнала  $\tau = R / C$  можно определить только в том случае, когда на приемном конце радиолинии априори известны моменты излучения передатчиком импульсов (или другие характерные временные параметры излучаемого сигнала, например моменты перехода текущей фазы через нуль). Поскольку точное значение частоты неизвестно, то измеряемые величины будут представлять собой квазидальности и квазирadiaльные скорости, содержащие в своем составе систематические ошибки, обусловленные отличием частоты генератора абонента от несущей  $f_0$  на величину  $\delta f_0$ .

Дальнейшие рассуждения будем проводить при условии что абонент неподвижен и оснащен одноканальной аппаратурой измерения ТНП. Тогда для решения им навигационной задачи достаточно проведение последовательных дальномерных (квазидальномерных) измерений в беззапросном режиме. В этом случае расхождение временных шкал  $\Delta t$  спутника-узла сети и абонента, которое накапливается за время от момента сведения (синхронизации относительно эталона) до момента измерений  $T$ , если частоты опорных генераторов отличаются на постоянную (но неизвестную) величину  $\delta f_0$ , определяется формулой  $\Delta t = \gamma T$ , а соответствующий набег фазы  $2\pi\delta f_0 T = 2\pi\gamma f_0 T$ . С такой ошибкой будет известен момент излучения (фаза излучаемого колебания). Следовательно ошибка измерения дальности составит

$$\Delta R = \Delta t C = C\gamma T, \quad (4)$$

где  $\gamma$  – относительная нестабильность стандарта частоты;

$c$  – скорость света.

Эта ошибка называется систематической и является принципиальной особенностью выбранного метода.

Характерным для беззапросного дальномерного метода является накопление ошибки по времени, что и обуславливает необходимость периодического сведения шкал времени (фаз колебаний), хранимых на борту узла сети и в аппаратуре абонента. Кроме того, в соответствии с формулой (4), для обеспечения высокой точности измерения дальности, возникает необходимость устанавливать и поддерживать высокую степень стабильности частоты (при периодической синхронизации генераторов узла сети и абонента). Поскольку рассматриваемые МСС в основном предназначены для передачи информации, то в них не предполагается использование высокостабильных дорогостоящих стандартов частоты и времени. Поэтому измеренные значения квазидальностей могут весьма существенно отличаться от истинных параметров. В соответствии с изложенным квазидальность представляет собой сумму

$$R_{из.м_i} = R_i + \Delta R_i; (i = 1...n) \quad (5)$$

где  $R_{из.м_i}$  - измеренное значение квазидальности между абонентом и КА МСС на  $i$ -й момент времени;



$R_i$  - истинное значение дальности между ними;

$\Delta R_i$  - систематическая ошибка  $i$ -го измерения, определяемая формулой (4);

$n$  - массив измерений квазидальности накопленный абонентом в ходе работы с сетью.

Известное уравнение

$$R_i = \sqrt{(X_A - X_{Ci}^m)^2 + (Y_A - Y_{Ci}^m)^2 + (Z_A - Z_{Ci}^m)^2} \quad (6)$$

связывает измеряемые навигационные параметры  $R_i$  и определяемые параметры - координаты абонента  $X_A, Y_A, Z_A$ , а  $X_{Ci}^m, Y_{Ci}^m, Z_{Ci}^m$  - эфемериды  $m$ -го спутника сети, которые необходимо довести абоненту.

При практической реализации рассматриваемого метода в измерения  $R_{из.м_i}$  помимо составляющих, указанных в соотношении (5), аддитивно входят инструментальная флюктуационная, шумовая и ионосферная погрешности. С учетом сказанного измеренные значения дальностей  $R_{из.м_i}$  будут представлять собой сумму

$$R_{из.м_i} = R_i + C \Delta t + \delta R_i \quad (i = 1, 2, \dots, n); \quad (7)$$

где  $\lambda_0^*$  - заложенное в аппаратуру абонента длина волны несущего колебания;

$\delta R_i$  - суммарная флюктуационная погрешность, которую с достаточной степенью приближения можно считать некоррелированной (по  $i$ ) нормально распределенной случайной величиной с нулевым средним и СКО  $\delta_R$ .

**3. Постановка задачи.** Возможно ли повысить точность навигационных определений абонента по сравнению с использованием интегрального доплеровского метода на длине пакета и приблизиться к точностным характеристикам СНС 1-го поколения за счет введения в вектор состояния неизвестной величины  $\Delta t$ , характеризующей систематическую ошибку измерений ТНП между абонентом и каждым конкретным КА-узлом МСС, при условии, что бортовые шкалы времени КА МСС являются рассинхронизированными друг относительно друга, а аппаратура абонента одноканальна? В соответствии с этим размерность вектора состояния абонента, при решении им навигационной задачи, будет зависеть от количества КА, по которым абонент последовательно производил измерения (принимал информацию). При работе по одному КА вектор состояния является четырехмерным и определяется следующими искомыми величинами:

$X_a, Y_a, Z_a$  - координаты абонента в выбранной системе координат;

$\Delta t^m$  - расхождение частот между бортовыми генераторами  $m$ -го КА и абонента.

При работе последовательно по двум КА вектор состояния является пятимерным. Здесь кроме вышеуказанных параметров появляется пятое неизвестное  $-\delta f_0^p$ , характеризующее расхождение шкал бортовых генераторов абонента и второго ( $p$ -го) КА и т.д. Таким образом в каждом конкретном случае необходимо записывать и решать систему из  $n$  уравнений вида:

$$R_{из.м_i} = R_i + C \Delta t; \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (8)$$

Очевидно, что и минимальное количество измерений будет зависеть от количества КА, задействованных в работе. Оно равно размерности вектора состояния.

Как правило, количество измерений избыточно. Простым и надежным методом решения избыточной системы уравнений (8) относительно содержащихся в правой части неизвестных  $X_a, Y_a, Z_a, \Delta t^m$  является хорошо известный метод наименьших квадратов (МНК). Его и предлагается использовать в аппаратуре абонента для статистической обработки навигационных измерений, полученных в ходе сеанса связи. Особенности реализации МНК применительно к рассматриваемой задаче изложены ниже.

Итак, ответ на поставленный вопрос будем искать путем имитационного моделирования процесса решения навигационной задачи абонентом с использованием МНК по измерениям ТНП относительно КА-узлов МСС.

**4. Краткое описание модели.** Модель можно условно представить в виде следующих четырех последовательно работающих блоков.

**Блок 1 – моделирования группировки спутников.** Этот блок, в соответствии с принятой для рассматриваемой системы баллистической структурой, на дату и время очередного "выхода" оператора на модель рассчитывает текущие параметры движения каждого из 36 спутников. Высота орбит для конкретности принята равной 1500 км. Начальное состояние группировки и последующее движение спутников задается кеплеровскими элементами с последующим пересчетом текущих параметров движения в Гринвичскую систему координат.

**Блок 2 – ввода исходных данных и расчета рабочих величин и констант.**

**Блок 3 – формирования результатов измерений.**

**Блок 4 – обработки результатов измерений.** Последовательность расчетов, выполняемых этим блоком, моделирует алгоритм работы аппаратуры абонента при решении задачи его местоопределения по МНК. Решение находится в виде

$$D = A^{-1}G, \quad (9)$$

где  $A$  – квадратная симметричная матрица коэффициентов левой части системы нормальных уравнений МНК;

$G$  – вектор-столбец правой части системы нормальных уравнений МНК;

$D$  – МНК-оценка вектора поправок к априорно известным начальным значениям.

Если сеанс выполняется по 1 КА, то в составе матрицы  $A$  (4x4) – элементов, если по двум КА, то (5x5) – элементов, если по трем – (6x6) и т. д. В силу краткости изложения, запишем некоторые ее элементы только для случая работы по двум КА

$$a_{kj} = \sum_{i=1}^n \frac{dR_{pac_i}}{dq_{ok}} \frac{dR_{pac_i}}{dq_{oj}}, \quad (i = \overline{1, n}, k = \overline{1, 3}, j = \overline{1, 3});$$

$$a_{44} = \sum_{i=1}^l C^2, \quad a_{55} = \sum_{i=1}^n C^2, \quad (k = 4, 5; j = 4, 5);$$

$$a_{45} = a_{54} = 0,$$

где  $m$  и  $p$  – означают номера различных спутников;

$l$  – количество измерений в массиве по спутнику  $m$ ;

$n-l$  – количество измерений в массиве по спутнику  $p$ ;

$n$  – общее количество измерений.

Для этого же случая запишем элементы вектор-столбца  $G$  (5x1)

$$g_k = \sum_{i=1}^n (R_{уз\ m_i} - R_{pac}) \frac{dR_{pac_i}}{dq_{ok}}, \quad (k = \overline{1..3});$$

$$g_4 = \sum_{i=1}^l (R_{уз\ m_i} - R_{pac_i}) C, \quad (k = 4);$$

$$g_5 = \sum_{i=1}^n (R_{уз\ m_i} - R_{pac_i}) C, \quad (k = 5).$$

При работе по трем спутникам матрица  $A$  и вектор-столбец  $G$  дополняются новыми элементами. Соответственно увеличивается и количество элементов в вектор-столбце  $D$ . В этом и состоит принцип расширения вектора оцениваемых параметров в зависимости от привлекаемого количества КА.

На этом процесс местоопределения абонента заканчивается. Как показал опыт работы с моделью, наиболее емкой и наглядной характеристикой точности является полная погрешность местоопределения абонента в пространстве

$$\delta r = \sqrt{(X_a - \hat{X}_a)^2 + (Y_a - \hat{Y}_a)^2 + (Z_a - \hat{Z}_a)^2}.$$

Для получения усредненных статистических характеристик методом Монте-Карло изложенная совокупность расчетов проводится многократно для различных реализаций флюктуационной погрешности. По результатам серии экспериментов рассчитывается математическое ожидание полной погрешности  $\delta\bar{r}$ . Эта величина и используется в дальнейшем для анализа точности.

**5. Обсуждение результатов имитационного моделирования навигационной задачи.** В ходе моделирования рассматривалось три режима работы аппаратуры абонента при навигационных определениях – по одному, двум и трем КА. Общим для всех режимов является наличие у абонента и на КА-узлах сети бортовых генераторов с долговременной относительной нестабильностью  $\gamma = 10^{-8}$  (таблица). СКО флюктуационной ошибки измерений дальности 15 м. Для сравнения представлены также результаты моделирования с  $\gamma = 10^{-10}$  (см. таблицу).

Исходя из опыта работы с моделью, применение генераторов с еще большей величиной относительной нестабильности (более чем  $3 \cdot 10^{-8}$ ) ведет к нарастанию ошибки, а в отдельных случаях и к расхождению алгоритма решения по МНК. В то же время использование более высокостабильных абонентских генераторов ( $\gamma = 10^{-9}$  и менее) в малогабаритной аппаратуре является затруднительным и не дает ощутимого выигрыша в точности. Вместе с тем, в этом случае появляется возможность решать навигационную задачу с требуемой точностью по одному КА даже с трехмерным вектором состояния абонента (оценка только величин  $X_a, Y_a, Z_a$ ), при условии  $\gamma < 10^{-12}$ .

Расчеты проводились для широкого спектра исходных данных, условий и режимов работы абонента в системе связи. В таблице представлены результаты исследований по всем режимам.

**Результаты имитационного моделирования**

Интервал измерений, с	$\gamma$	Общее время работы, мин	Массив измерений	Номер режима	$\delta r$ , м
5	$(1...1,5) \cdot 10^{-8}$	13	150	1	400
5	$(1...1,5) \cdot 10^{-8}$	15	176	2	170
5	$(1...1,5) \cdot 10^{-8}$	28	336	3	70
5	$(1...1,5) \cdot 10^{-10}$	13	150	1	390
5	$(1...1,5) \cdot 10^{-10}$	15	176	2	165
5	$(1...1,5) \cdot 10^{-10}$	28	336	3	68

Видно, что для получения удовлетворительной точности относительная нестабильность бортовых генераторов  $\gamma$  не должна превышать значений  $1,5 \cdot 10^{-8}$ . С увеличением количества КА в сеансе связи точность решения навигационной задачи повышается, что свидетельствует в пользу рассматриваемого метода навигационных определений абонента с расширением его вектора состояния в несинхронизированных спутниковых сетях. Выигрыш в точности здесь обуславливается не столько возрастанием массива измерений, сколько улучшением геометрических условий измерений текущих навигационных параметров.

Следовательно, при продолжительных сеансах связи абонента через сеть, для потребителя появляется возможность решать навигационную задачу с приемлемой точностью, расширяя собственный вектор состояния в соответствии с количеством КА, использованных в сеансе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Толмачев Ю.А. Спутниковые системы связи и вещания. // Вестник связи.– 1993.– N11.
2. Summers Robert A., Lepkowski Ronald J. ARIES: Global communication through a constellation of low Earth orbit satellites. The 14-th In. Commun. Sattel. Syst. Conf. and Exhib., Washington, D.C., March 22–24, 1992.
3. Волюнкин А.И., Волосов П.С., Мищенко Н.Н. Спутниковая радионавигационная система "Транзит". //Зарубежная радиоэлектроника - 1979.– N 1.
4. Волосов П.С., Дубинко Ю.С., Мордвинов Б.Г., Шинков В.Д. Судовые комплексы спутниковой навигации. - Л.: Судостроение.– 1983.
5. С.Н.Герашенко. Перспективы развития спутниковых систем связи, навигации, наблюдения. // Проблемы безопасности полетов.– 1992.– N 1.
6. Власов В.С. Гонцы "Смолсата". // Авиация и космонавтика.– 1993.– N4.

ГРНТИ 78.21.36.15.15

### **СПОСОБ ДИСТАНЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ НЕОБСЛУЖИВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ**

**В.И.КОКОРИН,  
Л.М.ПРОЦЕНКО**  
(НПО "Сибцветметавтоматика")

*Рассматривается метод дистанционного определения координат объектов в фазовых радиогеодезических системах. Метод основан на наиболее полном использовании информационного содержания переизлученного опорными станциями сигнала. Анализируются погрешности измерения местоположения объектов для различных условий практического применения. Показано, что средне-квадратичное отклонение погрешности определения места не превышает единиц метров.*

Определение местоположения объектов на водной поверхности при разведке и добыче полезных ископаемых или выполнении прибрежных инженерных работ требуют создания радиогеодезических систем (РГС), которые предоставляли бы возможность на движущемся судне определять координаты других объектов. Такая задача возникает, например, при нахождении местоположения нескольких точек многоканальной сейсмоакустической антенной системы, имеющей длину несколько километров, один конец которой выходит на судно-буксир, а на другом устанавливается концевой буй.

В известных фазовых РГС [1] любая активная бортовая станция ведет прием излучений опорных и других бортовых станций, что связано с необходимостью установки на каждой из них унифицированных аппаратных средств. Применение имеющейся унифицированной аппаратуры для определения на движущейся станции как своего собственного местонахождения, так и координат буксируемых объектов характеризуется повышенным энергопотреблением, худшими массогабаритными характеристиками [2].

Ниже рассматривается метод дистанционного определения координат объектов в фазовых РГС, основанный на максимально полном использовании информационного содержания переизлученного опорными станциями сигнала (такой подход позволяет отказаться от оснащения ряда подвижных станций передатчиками с большой излучаемой мощностью). Состав РГС показан на рис.1. Активная бортовая станция (АБС) устанавливается на судно, а активные необслуживаемые станции (АНС) – на буксируемые буй. Объекты располагаются относительно опорных станций (ОС) таким образом, что расстояния от АБС до любого из АНС порядка нескольких километров и обычно намного меньше, чем расстояния до ОС [2, 3].

Число тактов  $N$  в цикле работ системы для одной АБС определяется по формуле

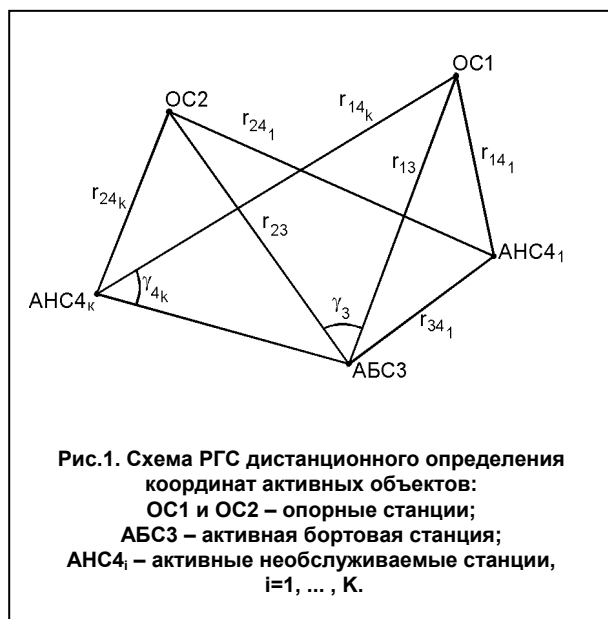
$$N = F \times K + V + I,$$

где  $F$  – число тактов, отводящихся каждому АНС на передачу информации БС посредством излучения сигнала;

$K$  – количество АНС в системе;

$V$  – количество ОС в системе.

В первом такте каждого цикла АБСЗ излучает сигнал, все остальные станции системы запоминают фазу принятого сигнала. В следующих  $V$  тактах излучают ОС. На работу в режиме излучения каждой ОС отводится такт. В каждом такте излучения ОС сигнал принимают АБСЗ и все АНС $_{4i}$ . Таким образом за первые  $V + 1$  тактов АБСЗ получают необходимые сведения для вычисления расстояний от нее до каждой ОС системы (дальности  $r_{13}, r_{23}, K, r_{V3}$ ), а каждая АНС $_{4i}$  – сведения о суммах дальностей  $r_{13} + r_{14_i}, r_{23} + r_{24_i}, K, r_{V3} + r_{V4_i}$ , где  $r_{14_i}, r_{24_i}, K, r_{V4_i}$  – соответственно дальности от ОС 1, 2, ...,  $V$  до АНС $_{4i}$ . Во время следующих  $F$  тактов переизлучаются сигналы АНС $_{41}$ , АБСЗ работает в режиме измерения (принимает сигналы). Аналогично,  $F$  число тактов отводится для излучения каждого из оставшихся АНС $_{4i}$ , сигналы которых принимает АБСЗ. Заканчивается цикл работы системы  $F$  числом тактов, во время которых переизлучают сигналы АНС $_{4K}$ , принимает излучение АБСЗ. За  $F$  тактов излучения АНС $_{4i}$  ( $i = 1, k$ ) БСЗ получает информацию о дальности от АНС $_{4i}$  до БСЗ  $r_{34_i}$  и о суммах дальностей  $r_{13} + r_{14_i}, r_{23} + r_{24_i}, K, r_{V3} + r_{V4_i}$ .



Очевидно, что АБСЗ имеет к концу цикла все необходимые сведения для вычисления координат каждого из объектов  $4_i$  и дистанционно определяет их местоположение.

Исследуем погрешности измерения предложенного способа определения координат. При распространении сигнала от одного объекта к другому возникает погрешность, случайная составляющая которой описывается нормальным законом распределения. Расчет погрешностей местоопределения производится на примере обмена сигналами следующих станций (см.рис.1): АБСЗ, ОС1, АНС $_{41}$ .

Пусть при распространении сигнала от АБСЗ до ОС1 возникает случайная погрешность с величиной среднеквадратического отклонения (СКО)  $\sigma_{r_1}$ ; от ОС1

до АНС $_{41}$  –  $\sigma_{r_2}$ ; от АНС $_{41}$  до АБСЗ –  $\sigma_{r_3}$ .

Рассмотрим два случая соотношения этих погрешностей:

1.  $\sigma_{r_1} = \sigma_{r_2} = \sigma_{r_3} = \sigma_r$ ;  $\sigma_{r_1}, \sigma_{r_2}, \sigma_{r_3}$  некоррелированы;
2.  $\sigma_{r_1} = \sigma_{r_2} = \sigma_r \gg \sigma_{r_3}$ ;  $\sigma_{r_1}, \sigma_{r_2}, \sigma_{r_3}$  некоррелированы.

В первом из них погрешность суммы дальностей для дальномерного режима  $\sigma_z = \sqrt{3} \sigma_r$ . Параметры среднеквадратичного эллипса ошибок определяются по формулам, приведенным в [1]. Полуоси этого эллипса будут равны

$$\left. \begin{aligned} q_{x_1} &= \frac{1,51 \sigma_r \sqrt{3}}{2 \sin(\gamma/2)}; \\ q_{y_1} &= \frac{1,51 \sigma_r \sqrt{3}}{2 \cos(\gamma/2)}; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $\gamma$  – угол между линиями положения для дальномерного режима.

Тогда площадь эллипса

$$S_{\sigma_1} = 5,37 \frac{\sigma_r^2}{\sin(\gamma/2) \cos(\gamma/2)} \quad (2)$$

и можно сделать заключение, что рассмотренный авторами метод [2] дает более высокую точность.

Второй случай характеризуется тем, что дальность  $r_{34_1}$  намного меньше дальностей  $r_{13}$  и  $r_{14_1}$  до ОС1. Поэтому величиной  $\sigma_{r_3}$  можно пренебречь. Тогда погрешность суммы дальностей  $\sigma_z = \sqrt{2} \sigma_r$  и параметры среднеквадратического эллипса ошибок (полуоси  $q_{x_2}$  и  $q_{y_2}$  и площадь эллипса  $S_{\sigma_2}$ ) будут определяться как

$$\left. \begin{aligned} q_{x_2} &= \frac{1,51 \sigma_r \sqrt{2}}{2 \sin(\gamma/2)}; \\ q_{y_2} &= \frac{1,51 \sigma_r \sqrt{2}}{2 \cos(\gamma/2)}; \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$S_{\sigma_2} = 3,58 \frac{\sigma_r^2}{\sin(\gamma/2) \cos(\gamma/2)}. \quad (4)$$

Формулы (3) и (4) показывают, что точность измерений при существенном уменьшении погрешности определения хотя бы одной дальности значительно улучшится и приближается к точности измерений дальномерного метода [2].

Вычислим погрешности определения координат активных станций РГС с учетом особенностей работы РГС (см.рис.1) на примере взаимодействия АБСЗ, АНС4<sub>к</sub>, ОС1, ОС2. Совокупность этих станций представляет собой законченную РГС, так как включает все необходимые и достаточные составляющие для работы по исследуемому способу. Отличительная черта его в том, что АБСЗ, координаты которой определяются на базе ОС1 – ОС2 раньше, чем координаты АНС4<sub>к</sub>, наряду с ОС1 сама выполняет функции ОС при определении местоположения АНС4<sub>к</sub>.

Пусть  $\sigma_{13}, \sigma_{23}, \sigma_{34_к}, \sigma_{14_к}$  – СКО случайных независимых погрешностей определения дальностей соответственно: от ОС1 до АБСЗ, от ОС2 до АБСЗ, от АБСЗ до АНС4<sub>к</sub>, от ОС1 до АНС4<sub>к</sub>. Тогда СКО погрешности определения места АБСЗ  $\sigma_3$  при условии  $\sigma_{13} = \sigma_{23}$  рассчитывается по формуле

$$\sigma_3 = \frac{\sqrt{2} \sigma_{13}^2}{\sin \gamma_3},$$

где  $\gamma_3$  – угол, под которым видна база АБСЗ (расстояние от ОС1 до ОС2).

СКО погрешности определения места АНС4<sub>к</sub>  $\sigma_{4_к}$  определим, учитывая свойство описываемого способа, – при вычислении координат объекта 4<sub>1</sub> в качестве одного из исходных данных брать сумму дальностей: от АБСЗ до ОС, от ОС до АНС4<sub>к</sub>, от АНС4<sub>к</sub> до АБСЗ. Тогда, согласно [1], имеем

$$\sigma_{4_к} = \frac{\sqrt{\sigma_{14_к}^2 + \sigma_{34_к}^2}}{\sin \gamma_{4_к}}, \quad (5)$$

где  $\gamma_{4к}$  – угол, под которым видно расстояние  $r_{I3}$  от ОС1 до АБС3 из пункта АНС4к (см.рис.1), а  $\sigma_{I4к}^2$  для независимых величин  $\sigma_C, \sigma_{I3}, \sigma_{34к}$  ( $\sigma_C$  – СКО определения суммы дальностей  $r_{I3}, r_{I4к}, r_{34к}$ ) может быть найдено как  $\sigma_{I4к}^2 = \sigma_C^2 + \sigma_{I3}^2 + \sigma_{34к}^2$ .

Возможные значения  $\sigma_{4к}$  и ограничения применения метода определим, используя технические характеристики аппаратуры РГС данного типа. Согласно техническим характеристикам аппаратных средств изделия “Крабик-БМ”, СКО определения дальностей 300, 150 и 5 км не превышают соответственно величин 1,7; 0,95 и 0,23 м  $\sigma_C, \sigma_{I4к}, \sigma_{34к}$ . При подстановке данных значений формула (5) принимает вид

$$\sigma_{4к} = \frac{1,97}{\sin \gamma_{4к}}. \quad (6)$$

Результаты расчета по этой формуле в графическом виде показаны на рис.2.

Видно, что при  $160^\circ < \gamma_{4к} < 20^\circ$ , т.е. при наиболее вероятных значениях  $\gamma_{4к}$ , координаты АНС определяются с погрешностью, СКО которой более 5,5 м.

При  $8^\circ < \gamma_{4к} < 172^\circ$  погрешность дистанционного определения места не превышает величины 14 м, что является приемлемым значением, а при приближении величины  $\gamma_{4к}$  к  $90^\circ$  точность данного способа отвечает требованиям, предъявляемым к точности существующих РГС. Ограничения, налагаемые на величину  $\gamma_{4к}$  ( $8^\circ < \gamma_{4к} < 172^\circ$ ), ограничивают дальность действия РГС до 35 км.

Для реализуемого на практике случая  $\sigma_{I3} = \sigma_{I4к} = \sigma_{34к} = 0,1$  м формула (6) трансформируется следующим образом

$$\sigma_{4к} = \frac{0,14}{\sin \gamma_{4к}}. \quad (7)$$

Расчеты по этой формуле показывают (см.рис.2), что при изменении величины угла  $\gamma_{4к}$  в широких пределах СКО определения места не превышает 2 м. Таким образом задача дистанционного определения координат подвижных объектов решается с необходимой точностью.

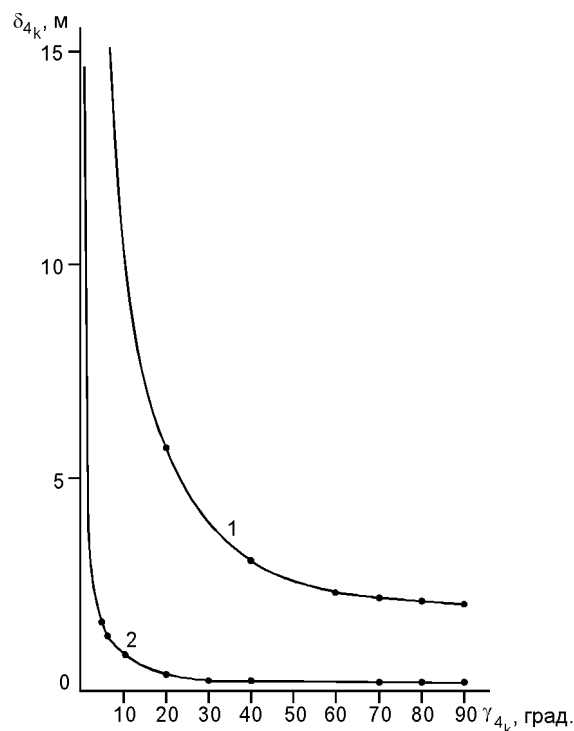


Рис.2. Расчетная зависимость погрешности определения координат АНС от расположения станций системы: 1 – по формуле (6); 2 – по формуле (7).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агафонников А.М. Фазовые радиогодезические системы для морских исследований.– М.: Наука, 1979. – 164 с.
2. Исследование и разработка технических средств обеспечения сейсмических работ с использованием радиогодезического комплекса. Промежуточный отчет по НИР/ОКР “Сибцветметавтоматика”.– Шифр работы №01880068541. – Красноярск, 1989.
3. Заявка на изобретение №93003929. Способ дистанционного определения координат объектов / Кокорин В.И. – Заявл.22.01.93, решение о выдаче патентов 30.01.95.

ГРНТИ 78.21.41.19

**О НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВАХ ОЦЕНОК  
СРЕДНИХ КВАДРАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ МЕСТА КОРАБЛЯ**

**Б.Н.БЕЛЯЕВ**  
(Гос.НИНГИ МО РФ),  
**А.И.СОРОКИН**  
(ИНОЗ РАН)

*Анализируется влияние неточности оценок средних квадратических погрешностей места корабля на их вероятностные свойства. Даются некоторые практические рекомендации.*

В практике кораблевождения приходится пользоваться не точными, а приближенными значениями СКП – средних квадратических погрешностей (невязок) места  $M$ , т.е. их оценками  $\tilde{M}$ . Принимая истинное место корабля в круге радиуса  $R = n\tilde{M}$  ( $n > 0$ ) с центром в учитываемом (обсервованном или счислимом) месте, пользователь вынужден приписывать данному событию ту вероятность  $P_n$ , которая соответствует нахождению корабля в круге радиуса  $R = nM$ , полагая оценку  $\tilde{M}$  точной. В случае распределения модуля погрешности места по закону Рэлея эта вероятность может быть рассчитана по формуле [1]

$$P_n = 1 - e^{-n^2}. \quad (1)$$

Если имеет место неточность оценки СКП, т.е. существует отличная от нуля разность

$$\Delta M = M - \tilde{M} \neq 0,$$

то вместо формулы (1) имеем

$$P'_n = 1 - e^{-K^2 n^2}, \quad (2)$$

где  $K = 1 + \frac{\Delta M}{M}$ ,  $\tilde{\Delta M} = \frac{\Delta M}{M}$ .

Результаты расчетов по формулам (1) и (2) (с округлением до второго знака после запятой) показаны в таблице. Из нее следует, что  $P'_n > P_n$  при  $\tilde{\Delta M} > 0$  и  $P'_n < P_n$  при  $\tilde{\Delta M} < 0$ . Если модуль величины  $\tilde{\Delta M}$  может быть оценен хотя бы в первом приближении, то ее знак установить невозможно. Это означает, что при использовании оценок  $\tilde{M}$  им нельзя приписывать определенное значение вероятности  $P'_n$ . Можно лишь указать интервал, в котором находится эта вероятность. Например, если известно точное значение  $M = 1$  миля, то можно утверждать, что вероятность нахождения истинного места внутри круга радиуса  $R = 1$  миля равна  $P_1 = 0,63$ ; радиуса  $R = 2$  мили –  $P_2 = 0,98$ . Если же точность оценки  $M = 1$  миля составляет  $\pm 30\%$ , то истинное место в круге радиуса  $R = 1$  миля находится с вероятностью  $P'_1$  от 0,82 до 0,39; радиуса  $R = 2$  мили – с вероятностью  $P'_2$  от 1 до 0,86. Причем нижние границы интервалов определяются числами, заметно меньшими по сравнению с  $P_1$  и  $P_2$  соответственно. Если принять, что разность  $|\Delta P| = |P_n - P'_n|$  при определенном ее значении не является существенной с точки зрения дальнейшего использования оценки  $\tilde{M}$ , то по таблице можно установить, при какой точности этой оценки ее можно считать удовлетворительной. Например, если  $|\Delta P| = 0,1$ , то оценка  $\tilde{M}$  является удовлетворительной, если по условию задачи  $n=1$  при  $|\tilde{\Delta M}| \leq 0,1$ . Если при решении задачи требуется знать радиус круга



$R = 2M$ , то оценка удовлетворительна при  $|\widetilde{\Delta M}| \leq 0,2$ ; при  $R = 3M$  –  $|\widetilde{\Delta M}| \leq 0,4$ , а при  $R = 4M$  –  $|\widetilde{\Delta M}| \leq 0,6$ .

**Расчетные значения вероятности  $P_n$   
(или  $P'_n$ ) нахождения корабля в круге  
радиуса  $R$   
при различных значениях  $\widetilde{\Delta M}$  и  $n$**

$\widetilde{\Delta M}$	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$	$n = 4$
0,0	0,63	0,98	1,00	1,00
+ 0,1	0,70	0,99	1,00	1,00
- 0,1	0,56	0,96	1,00	1,00
+ 0,2	0,76	1,00	1,00	1,00
- 0,2	0,47	0,92	1,00	1,00
+ 0,3	0,82	1,00	1,00	1,00
- 0,3	0,39	0,86	1,00	1,00
+ 0,4	0,86	1,00	1,00	1,00
- 0,4	0,30	0,76	0,96	1,00
+ 0,5	0,89	1,00	1,00	1,00
- 0,5	0,22	0,63	0,89	0,98
+ 0,6	0,92	1,00	1,00	1,00
- 0,6	0,15	0,47	0,76	0,92
+ 0,7	0,94	1,00	1,00	1,00
- 0,7	0,09	0,30	0,56	0,76
+ 0,8	0,96	1,00	1,00	1,00
- 0,8	0,04	0,15	0,30	0,47
+ 0,9	0,97	1,00	1,00	1,00
- 0,9	0,01	0,04	0,09	0,15
+ 1,0	0,98	1,00	1,00	1,00
- 1,0	0,00	0,00	0,00	0,00

Уместно заметить, что в реальных условиях модуль погрешности места, как правило, распределен по более сложному закону, чем закон Рэлея. Последний имеет место в том случае, когда формирующие невязку погрешности (измерений навигационных параметров – при обсервации, элементов сноса корабля – при счислении) подчиняются круговому закону распределения вероятностей [1]. В действительности законы распределения указанных погрешностей отличаются не только от кругового, но и от эллиптического (двухмерного нормального) закона, частным случаем которого является круговой. Эллиптический закон является более или менее удачной аппроксимацией реального распределения вероятностей погрешностей, формирующих невязку. Использование этой аппроксимации в рассматриваемой задаче в принципе возможно, но вряд ли целесообразно, т.к. в этом случае вероятности  $P_n$  и  $P'_n$  будут зависеть от отношения полуосей эллипса, которое на практике

чаще всего неизвестно.

Поэтому данные таблицы можно хотя бы в порядке первого приближения считать представительными при любом распределении погрешностей, имея в виду, что учет дополнительных обстоятельств (например, эллиптичности распределения) может привести к их изменению, но не скажется на характере зависимости от  $\widetilde{\Delta M}$  и  $n$ .

Что касается модуля величин  $\widetilde{\Delta M}$ , то в том случае, когда рассматривается точность обсервованного места, значение  $|\widetilde{\Delta M}|$ , как правило, не может быть большим. Точность оценки СКП  $\widetilde{M}_0$  в этом случае определяется главным образом точностью, с которой известны погрешности измерений навигационных параметров, а эти погрешности оцениваются обычно достаточно надежно. Сами вычисления  $\widetilde{M}_0$  выполняются с использованием весьма обоснованных математических моделей [2, 3]. Как представляется, можно считать весьма вероятным, что для большинства способов обсервации выполняется условие  $|\widetilde{\Delta M}| < 0,1$ .

Иначе обстоит дело в случае определения СКП счислимого места  $M_c$ . Ее оценка может быть получена либо аналитически, либо обработкой фактически наблюдавшихся невязок счисления. При первом способе [4] необходимо располагать вероятностными характеристиками факторов, формирующих невязку, прежде всего течений. Надежность их оценок невысокая, сведения о них скудные, поэтому рассчитывать на по-

лучение таким путем оценок  $\tilde{M}_c$  с погрешностями менее 30–40% ( $\Delta\tilde{M} < 0,3 \div 0,4$ ) не приходится. При втором способе необходимо считаться с тем фактом, что невязки счисления зависят не только от района и периода плавания, а также скорости корабля, но и от последовательности смены курса и скорости (от схемы маневрирования) [5]. Учесть последнее обстоятельство можно лишь путем получения выборки из достаточно большого числа невязок для каждой конкретной схемы маневрирования. Такой путь практически не реален, поскольку схем маневрирования может быть сколько угодно. Поэтому приходится пренебрегать данным обстоятельством и включать в одну выборку невязки, относящиеся к различным генеральным совокупностям. Это приводит к статистической неустойчивости оценок  $\tilde{M}_c$  и, тем самым, к значительным их погрешностям, не меньшим, чем при первом способе. Последний вывод справедлив и тогда, когда сама обработка выполняется аккуратно [6].

Положение в еще большей степени осложняется, если используется метод обработки, рекомендуемый в ряде работ [2, 7]. В основу его положено использованное выше предположение о круговом распределении невязок счисления, что при выполнении расчетов, предназначенных для получения не приближенных и иллюстрированных результатов, а достаточно точных величин, неприемлемо. К тому же при выводе расчетных формул допущены ошибки, отмеченные в статье [8] и приводящие к неверным результатам расчетов. Понятно, что при использовании такого метода говорить о точности искомых величин не приходится.

Из всего изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Сделанное в работе [9] заключение о неудобстве применения для оценки точности места корабля погрешности, за пределы которой не выходят 95% фактических величин, может быть усилено исходя из того, что рассмотренные выше особенности оценок погрешности места делают невозможным сопоставление определенной величине погрешности единственного значения вероятности (в данном случае –0,95). Может быть указан только интервал вероятностей.

2. Оценка СКП места  $\tilde{M}$  может быть использована в специальных технических целях (например, при сравнении двух навигационных устройств) при условии, что рассматривается источник обсервованной информации и вероятностные характеристики погрешностей измерений известны с высокой точностью.

3. При использовании оценки  $\tilde{M}$  в оперативных целях (например, для определения расстояния при проходе опасности в случае плавания по счислению) целесообразно оперировать значениями  $\tilde{nM}$  при  $n \geq 3$  не только потому, что им соответствует большая вероятность правильного решения задачи, но и по той причине, что при таких значениях  $n$  указанная вероятность сравнительно мало чувствительна к погрешности значения  $\tilde{M}$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сорокин А.И. Гидрографические исследования Мирового океана. – Л.: Гидрометеиздат. – 1980. – 288 с.
2. Груздев Н.М. Оценка точности морского судовождения. – М.: Транспорт. – 1989 – 192 с.
3. Кондрашихин В.Т. Определение места судна. – М.: Транспорт. – 1989. – 232 с.
4. Беляев Б.Н. Влияние переменного течения на точность плавания судна. – Л.: Ленинградский политехнический институт. – 1977. – 48 с.
5. Беляев Б.Н. Факторы, вызывающие нестабильность коэффициентов точности счисления. Записки по гидрографии. – 1994, №232. С.14–20.
6. Беляев Б.Н. Анализ свойств показателей точности счисления пути и некоторые практические выводы. Записки по гидрографии
7. Практическое кораблевождение. – Л.: ГУНиО МО. – 1988. – 896 с.
8. Беляев Б.Н., Болдырев В.С. К вопросу об оценке точности счисления пути судна. Навигация и управление судном. – М.: Транспорт. – С.7–11.
9. Сорокин А.И. О способе оценки точности определения места и элементов движения корабля предельной погрешностью с заданной вероятностью. Записки по гидрографии. – 1992, №227. С.38–40.

## ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛАПЛАСОВСКОЙ МОДЕЛИ ПОГРЕШНОСТЕЙ В НАВИГАЦИИ

**Н. М. ГРУЗДЕВ**  
(ВВМУ ПП)

*Рассмотрена сущность закона распределения Лапласа, исследованы методические ошибки его использования в условиях с известной постоянной дисперсией, произведено сравнение лапласовской и гауссовской моделей погрешностей. Обоснован вывод о теоретической неправомерности и практической нецелесообразности замены (в общем случае) нормального закона распределения законом распределения Лапласа.*

В статье [1] для вероятностной оценки навигационной безопасности плавания кораблей вместо нормального закона распределения рекомендуется использовать закон распределения Лапласа, называемый иногда двухсторонним экспоненциальным законом. Эта идея воспринята некоторыми авторами как бесспорная и без каких-либо дополнительных обоснований стала внедряться ими в массовое сознание (см. например, [2]).

Предпочтительность этого закона по сравнению с нормальным законом (закон Гаусса) доказывается тем, что лапласовская модель ведет к более осторожным вероятностным оценкам при больших погрешностях. Но принцип "осторожности" сам по себе не может служить критерием предпочтительности того или иного закона. Любой закон распределения случайных погрешностей это прежде всего вероятностная математическая модель процесса, связанного с частотой появления погрешностей в заданных численных пределах.

Поэтому критерием допустимости использования того или иного закона распределения является степень его адекватности фактическому распределению случайных погрешностей, возникающих в реальных условиях: чем ближе результаты теоретического моделирования, выполненные с помощью избранного закона распределения погрешностей, совпадают с результатами распределения реальных погрешностей, полученных по данным эксперимента или опыта, тем выше степень доверия к данному закону. Количественной оценкой степени совпадения теоретического и экспериментального распределений является вероятность их согласованности, определяемая с помощью известных в математической статистике критериев согласия.

Для того, чтобы оценить правомерность и целесообразность замены нормального закона распределения случайных погрешностей законом распределения Лапласа, рассмотрим сущность последнего и проанализируем погрешности, возникающие при применении закона Лапласа в условиях, характеризующихся вполне определенной практически постоянной СКП измерения навигационных величин. Именно такие условия соблюдаются в течении времени измерения навигационных параметров для определения места корабля.

Известно, что плотность распределения случайных погрешностей, подчиняющихся закону распределения Лапласа, описывается каноническим выражением [3]:

$$f(\Delta) = \frac{1}{2\beta} \exp\left(-\frac{|\Delta|}{\beta}\right), \quad (1)$$

где  $|\Delta|$  – модуль случайной погрешности (при отсутствии систематического смещения);  
 $\beta$  – параметр закона Лапласа.

Средняя квадратическая погрешность лапласовского распределения определяется формулой

$$\sigma_x = \beta \sqrt{2}. \quad (2)$$

Выбор параметра  $\beta$  зависит от условий, в которых рассматриваются случайные погрешности измеряемых навигационных величин. В публикациях [1, 2] он принят равным значению

$$\beta = M(\sigma) \sqrt{\frac{2}{\pi}}, \quad (3)$$

где  $M(\sigma)$  – математическое ожидание рандомизированных средних квадратических погрешностей, соответствующих различным условиям измерения навигационных величин.

В работе [4] доказано, что параметр  $\beta$  соответствует выражению (3) только в том случае, если случайные погрешности "имеют нормальную плотность распределения, но их среднее квадратическое значение является случайной величиной с математическим ожиданием, соответствующим некоторым средним окружающим условиям", т. е. если измерения отнесены к различным условиям, в которых средняя квадратическая погрешность изменяются случайным образом от нуля до бесконечности ( $0 < \sigma < \infty$ ). Иными словами, параметр  $\beta$ , определяемый формулой (3), выводится из условия максимальной энтропии дисперсии.

Тот факт, что в законе распределения Лапласа вместо единичного значения СКП используется ее математическое ожидание, говорит о том, что это распределение не рассчитано на применение в неизменных условиях, когда  $\sigma$  – величина постоянная. Это подтверждается тем, что плотность распределения  $f(\Delta)$ , удовлетворяющая условию максимальной неопределенности, в общем виде выражается интегралом [4]

$$f(\Delta) = \int_0^{\infty} \varphi(\Delta) \psi(\sigma) d\sigma,$$

в котором  $\varphi(\Delta)$  – плотность нормального распределения, а  $\psi(\sigma)$  – плотность распределения рандомизированных средних квадратических погрешностей. При  $\sigma = const$  приращение СКП равно нулю ( $d\sigma = 0$ ) и интеграл обращается в ноль.

Из сказанного следует, что закон распределения Лапласа с параметром (3) является моделью распределения совокупности неравноточных погрешностей, подчиняющихся в пределах своего комплекса условий нормальному закону.

Это значит, что закон распределения Лапласа применим лишь для всей обобщенной совокупности условий со случайно изменяющейся дисперсией, т.е. в тех случаях, когда независимо от реальных условий измерения в расчет принимается одно и тоже генерально осредненное значение средней квадратической погрешности

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{n} \sum \sigma_i \approx M(\sigma),$$

где  $n$  – количество осредняемых СКП ( $i = 1, 2, K, n$ ).

Этот вывод подтвердили результаты статистического моделирования случайных погрешностей, каждая из которых подчинялась нормальному закону со своим случайным параметром  $\sigma_i$ , равномерно распределенным в пределах от нуля до единицы ( $M(\sigma) = 0,5$ ). Полученное распределение таких неравноточных погрешностей оказалась полностью соответствующим закону распределения Лапласа: вероятность соответствия по критерию Колмогорова составила 0,96, а статистический параметр  $\tilde{\beta}$  ока-

зался практически одинаковым с теоретическим значением  $\beta$  – их отношение выразилось числом  $\tilde{\beta}/\beta = 1,01$ .

Осреднение средних квадратических погрешностей при использовании закона распределения Лапласа ведет к осредненной оценке искомой вероятности и связанных с нею навигационных величин. Но любая осредненная оценка должна и применяться только к соответствующим осредненным условиям. Если же фактические условия измерений отличаются от осредненных, то лапласовский закон окажется приближенным и тем больше, чем резче различие между СКП для данных конкретных условий с его математическим ожиданием, вычисленным для осредняемых условий. Поэтому было бы нелогично пользоваться осредненной оценкой в тех конкретных условиях, для которых известно соответствующее им среднее квадратическое значение погрешности. Отсюда следует что *закон распределения Лапласа может быть использован в навигационной практике при расчете генеральных, обобщенных вероятностных оценок, например, при предварительном, прикидочном расчете навигационной безопасности плавания по всему заданному маршруту для средних ожидаемых условий без учета возможности их изменения.* Расчет навигационной безопасности плавания на конкретном участке, выполняемый непосредственно в море с учетом сложившихся условий, должен производиться на основе использования конкретной средней квадратической погрешности измерения навигационных величин и по модели нормального закона распределения.

Оценим методические ошибки в расчете вероятностей по лапласовской модели, если ее применять не для обобщенной совокупности погрешностей, а для вполне определенных условий, в которых точность измерений характеризуется нормальным законом распределения с действительным (точным) параметром  $\sigma_T$ . Эти ошибки вычисляются по формуле  $\delta P_x = P_x - P_n$ , в которой  $P_x$  и  $P_n$  — вероятности, соответствующие лапласовской и гауссовской модели соответственно.

Вероятность  $P_x$  вычисляется по формуле

$$P_x(\Delta \leq |\Delta_3|) = 1 - \exp\left[-\frac{|\Delta|}{M(\sigma)} \sqrt{\frac{\pi}{2}}\right].$$

Эта формула получается интегрированием плотности распределения Лапласа (1) с учетом выражения (3).

Вероятность  $P_n$  вычисляется по известной формуле нормального распределения

$$P_n(\Delta \leq |\Delta_3|) = \frac{2}{\sigma_T \sqrt{2\pi}} \int_0^{\Delta_3} \exp\left(-\frac{\Delta^2}{2\sigma_T^2}\right) d\Delta.$$

Расчет по этим формулам будем производить по нормированным погрешностям  $z_x = |\Delta|/M(\sigma)$  и  $z_n = \Delta/\sigma_T$  соответственно. Поскольку сравнение рассматриваемых моделей должно производиться для одинаковых заданных погрешностей  $\Delta_3$ , то  $z_n/z_x = M(\sigma)/\sigma_T$ . Поэтому каждому заданному значению  $z_x$  соответствует определенная величина  $z_n = z_x M(\sigma)/\sigma_T$ .

Результаты расчета методических ошибок  $\delta P_x$  для различных отношений  $M(\sigma)/\sigma_T$  показаны в виде сплошных линий на рисунке. Каждая такая линия соответствует одному значению  $M(\sigma)/\sigma_T$ , указанному в прилагаемой к рисунку таблице.

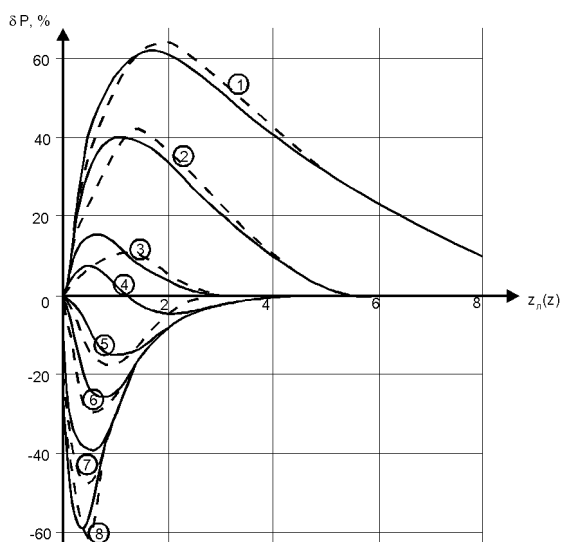
Из рассмотрения графиков методических ошибок видно, что в рабочем диапазоне величин  $z_x \leq 3$  эти ошибки велики и могут достигать 60%. Знак ошибок зависит главным образом от величины отношения  $M(\sigma)/\sigma_T$ . При  $M(\sigma) < \sigma_T$  ошибки в расчете вероятностей по лапласовской модели имеют положительный знак, а при  $M(\sigma) > \sigma_T$  — отрицательный. Значит, в первом случае вероятность появления погрешностей, не

превышающих заданной величины, лапласовской моделью завышается (действительная вероятность меньше рассчитанной по закону Лапласа), а во втором занижается. При оценке навигационной безопасности плавания, когда рассчитывается вероятность невыхода корабля за пределы безопасной зоны, завышение вероятности более опасно, чем занижение. Поэтому первый случай представляется более неблагоприятным, чем второй. Этот вывод усугубляется еще и тем, что при  $M(\sigma) < \sigma_\tau$  большие ошибки в расчете вероятностей распространяются на более широкую область нормированных погрешностей  $z_n$ . Поэтому важно выяснить вероятность неравенств  $M(\sigma) < \sigma_\tau$  и  $M(\sigma) > \sigma_\tau$ . Для этого воспользуемся выражением плотности распределения рандомизированных средних квадратических погрешностей, выведенным в работе [4] для условий максимальной энтропии

$$\psi(\sigma) = \frac{2\sigma}{\beta^2} \exp\left(-\frac{\sigma^2}{\beta^2}\right).$$

Проинтегрировав это выражение в пределах от 0 до заданного значения  $\sigma_s$ , получим функцию распределения рандомизированных средних квадратических погрешностей

$$P(\sigma < \sigma_s) = 1 - \exp\left(-\frac{\sigma_s^2}{\beta^2}\right). \quad (4)$$



№	$\frac{M(\sigma)}{\sigma_\tau}$	$\frac{\sigma}{\sigma_\tau}$
1	0,2	0,2
2	0,4	0,4
3	0,8	0,8
4	1,0	1,0
5	1,5	1,5
6	2,0	2,0
7	3,0	3,0
8	6,0	6,0

Результаты расчета методических ошибок.

Рассчитывая по формуле (4) искомые вероятности, получим

$$P[M(\sigma) < \sigma_\tau] = 0,21; \quad P[M(\sigma) > \sigma_\tau] = 0,79.$$

Отсюда следует, что вероятность положительных методических ошибок существенно меньше вероятности появления ошибок  $\delta P_n$  со знаком "минус". При этом наиболее большие ошибки ( $-\delta P_n$ ) наблюдаются в области  $z_n < 2,0$ , т.е. в области часто используемых на практике нормированных погрешностей.

В реальных условиях точное значение средней квадратической погрешности  $\sigma_\tau$ , как правило, неизвестно. В качестве СКП используется ее оценочное значение  $\sigma$ , при этом в общем случае  $\sigma \neq \sigma_\tau$ .

Сравним выявленные методические ошибки  $\delta P_n$  использования закона распределения Лапласа с методическими ошибками  $\delta P_n$  использования нормального закона в условиях, когда оценка  $\sigma$  не совпадает с ее действительным значением  $\sigma_\tau$ .

Для расчета  $\delta P_n$  используем формулу  $\delta P_n = P_n(\sigma) - P_n(\sigma_T)$ , где  $P_n(\sigma)$  и  $P_n(\sigma_T)$  вероятности, вычисляемые по формуле нормального закона для одних и тех же заданных погрешностей  $\Delta$ , но для различных параметров  $\sigma$  и  $\sigma_T$ .

Результаты вычислений величины  $\delta P_n$  показаны на рисунке в виде пунктирных графиков, каждый из которых соответствует своему отношению  $\sigma/\sigma_T$ , указанному в таблице рисунка.

Сравнивая сплошные (закон Лапласа) и пунктирные (закон Гаусса) кривые, можно заключить, что методические ошибки лапласовской модели, обусловленные ее неадекватностью реальному распределению погрешностей, и методические ошибки нормального закона, обусловленные неточным знанием средней квадратической погрешности, обладают общими закономерностями: они одного порядка по величине и практически одинаково изменяются с изменением нормированной погрешности.

Если отношения  $M(\sigma)/\sigma_T = \sigma/\sigma_T = k < 1$ , то максимальное различие ошибок  $\delta P_n$  и  $\delta P_n$ , достигающее 7%, наблюдается при малых нормированных погрешностях  $z_n = z = 0,5 \div 1,5$  (учитывая, что шкала оси абсцисс для  $z_n$  и  $z$  одна и та же, в дальнейшем анализе индекс у величины  $z_n$  будем опускать). С увеличением  $z$  погрешности моделей практически совпадают.

Если  $k = 1$ , то нормальный закон безошибочен ( $\delta P_n = 0$ ), а закон распределения Лапласа приводит к результатам, отличающимся от действительных. При этом его максимальная ошибка (8%) наблюдается при нормированных погрешностях  $z = 0,4 \div 0,6$ , а при  $z > 3,5$  ошибка становится пренебрежимо малой ( $\delta P_n \approx 1,0\%$ ).

Если  $k > 1$ , то при  $z < 1,0$  ошибки лапласовской модели на 5÷10% меньше ошибок нормального закона; при  $1,0 \leq z \leq 1,5$  обе модели по точности практически равнозначны, а при  $z > 1,5$  более точные результаты дает использование нормального закона распределения.

Таким образом, при использовании параметров  $\sigma$  (нормальный закон) и  $M(\sigma)$  (закон Лапласа), одинаково отличающихся от действительного среднего квадратического значения  $\sigma_T$ , закон распределения Лапласа в большинстве ситуаций особых преимуществ по сравнению с нормальным законом не обнаруживает. Более того, при надежно известной средней квадратической погрешности измерений в данных конкретных условиях нормальный закон всегда точнее распределения Лапласа, ибо последний не подходит для таких условий по своей сути.

С законом распределения связана важнейшая практическая задача по вероятностной оценке измеряемой величины, т. е. по нахождению вероятнейшего значения того результата, ради которого производятся измерения. Рассмотрим решение этой задачи применительно к навигационным измерениям, погрешности которых подчиняются закону распределения Лапласа.

Известно [3], что оценки навигационных величин являются асимптотически эффективными, состоятельными и несмещенными, если при неограниченном увеличении количества измерений они обращают в максимум функции, выражающие плотность совместного распределения измеренных случайных величин, т.е. если они находятся по принципу максимального правдоподобия. Плотность совместного распределения независимых величин  $X$ , подчиняющихся закону распределения Лапласа выражается функцией

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \left(\frac{1}{2\beta}\right)^n \exp\left[-\sum_{i=1}^n \frac{1}{\beta} |x_i - x_B|\right].$$

Максимум этой функции обеспечивается при минимальном модуле показателя экспоненты, т. е. при условии

$$\sum_{i=1}^n \frac{1}{\beta} |x_i - x_B| = \min, \quad (5)$$

где  $x_B$  – искомое вероятнейшее значение измеряемой величины.

Метод нахождения вероятнейшей величины  $x_B$  из данного условия называют методом наименьших модулей (МНМ). Минимизация выражения (5) может быть осуществлена на основе одной из двух достаточно громоздких математических процедур: или с помощью линейного и кусочно-линейного программирования или с помощью использования вариационно-взвешенных квадратических приближений. Изложение этих способов выходит за рамки вопросов, рассматриваемых в данной статье.

Если же пренебречь методом наименьших модулей и при лапласовском распределении погрешностей искомую величину  $x_B$  находить традиционным, хорошо изученным и программно обеспеченным методом наименьших квадратов (МНК), то в результате получим не максимально правдоподобную, а квази правдоподобную оценку измеряемой величины.

Сравним точности правдоподобной и квази правдоподобной оценок.

В работе [4] показано, что при обработке взаимонезависимых измерений с лапласовской моделью погрешностей методом наименьших модулей дисперсия вероятнейшего значения  $x_B$  будет минимальной. Она равна

$$\sigma_{МНМ(x)}^2 = \beta^2 / n,$$

где  $n$  – количество измерений.

Дисперсия вероятнейшего значения, определяемого методом наименьших квадратов, в общем случае вычисляется по формуле

$$\sigma_{МНК}^2 = D(x) / n, \quad (6)$$

где  $D(x)$  – дисперсия рассматриваемого закона распределения.

В данном случае рассматривается закон распределения Лапласа. Дисперсия этого закона определяется на основе формулы (2):  $\sigma_x^2 = 2\beta^2$ .

Поэтому

$$\sigma_{МНК(x)}^2 = \frac{2\beta^2}{n}.$$

Сравнение дисперсий величины  $x_B$  при обработке измерений МНМ и МНК приводит к следующему результату

$$Q_1 = \frac{\sigma_{МНМ(x)}^2}{\sigma_{МНК(x)}^2} = \frac{n\beta^2}{2n\beta^2} = 0,5.$$

Это значит, что обработка измерений, подчиняющихся закону распределения Лапласа, методом наименьших квадратов ведет к потере эффективности (по сравнению с МНМ) на 50 %, т. е. квази правдоподобные оценки в данном случае в два раза ниже по точности, чем максимально правдоподобные.

Теперь сравним точность метода наименьших квадратов при обработке измеренных величин, подчиняющихся закону распределения Лапласа и нормальному закону. Для этого в формулу (6) вместо  $D(x)$  подставим дисперсии этих законов –  $2\beta^2$  и  $\sigma^2$  и рассмотрим отношение полученных величин



$$Q_2 = \frac{\sigma_{МНК(x)}^2}{\sigma_{МНК(y)}^2} = \frac{2\beta^2}{\sigma^2}.$$

Отсюда следует, что точность лапласовской модели при использовании МНК будет не ниже точности нормально распределенных величин, если  $Q_2 \leq 1$ , т.е. если  $\sigma \geq \beta\sqrt{2}$ .

Для определения вероятности этого неравенства необходимо произвести расчет по очевидной формуле

$$P(\sigma \geq \sigma_3) = 1 - P(\sigma < \sigma_3).$$

Задавшись  $\sigma = \beta\sqrt{2} = \frac{2}{\sqrt{\pi}}M(\sigma)$  и используя формулу (4), получим

$$P(\sigma \geq \beta\sqrt{2}) = \exp(-2) = 0,135.$$

Столь малая вероятность свидетельствует о том, что в подавляющем большинстве случаев соблюдается неравенство  $\sigma < \beta\sqrt{2}$  и, следовательно, применение МНК к обработке измерений, подчиненных закону распределения Лапласа, дает более низкую точность, чем при обработке нормально распределенных величин.

Важно отметить еще одно существенное обстоятельство.

При погрешностях, подчиненных закону распределения Лапласа, областью вероятного местонахождения корабля на плоскости будет уже не эллипс погрешностей, а ромб или параллелограмм [5]. Этот факт обусловит существенное изменение традиционных вероятностных расчетов, связанных с решением навигационных задач и задач навигационной безопасности плавания. Потребуется новые математические процедуры для расчета элемента ромба (параллелограмма), вероятности нахождения действительного места корабля в пределах ромба, погрешности места корабля по заданному направлению и т. п.

На основании изложенного можно заключить, что лапласовская модель погрешностей весьма специфична и может быть использована (в совокупности с соответствующим ей математическим аппаратом обработки и анализа) лишь при отсутствии информации о дисперсии результатов измерений в данных конкретных условиях, когда за СКП измерений принимается ее математическое ожидание. В общем же случае, когда известно априорное или апостериорное значение СКП измерений, замена нормального распределения лапласовским неправомерна и нецелесообразна; неправомерна потому, что лапласовская модель рассчитана на учет условий с изменяющимися СКП, а фактические навигационные измерения производятся, как правило, в конкретных условиях с неизменной и в большинстве случаев известной СКП. Нецелесообразна потому, что при отсутствии выигрыша в объективности вероятностных расчетов, использование лапласовской модели обуславливает необходимость разработки и применения иных (по сравнению с нормальным законом) вычислительных процедур при обработке и анализе навигационной информации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондрашихин В. Т. Распределение погрешностей навигационных измерений. //Записки по гидрографии. –1986. N 215.
2. Иванов Б. Е. О критерии навигационной безопасности плавания //Записки по гидрографии. –1996. N 238.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. –М.: Наука, 1984. 832 с.
4. Мудров В. И., Кушко В. Л. Методы обработки измерений. –М.: Радио и связь, 1983. 304 с.
5. Иванов Б. Е. Оценка точности определения места при использовании распределения Лапласа. //Сборник тезисов докладов на второй российской НТК. –Гос.НИНГИ 1995. –С. 25.

## ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛАПЛАСА

**Б.Е.ИВАНОВ**  
(Гос.НИНГИ МО РФ)

*Получены зависимости различных характеристик погрешностей определения места по двум навигационным параметрам, погрешности которых имеют распределение Лапласа.*

1. Обычно при оценке точности определения места используется нормальный закон распределения погрешностей. Анализ навигационных измерений показал, что большие погрешности встречаются чаще, чем при нормальном законе [1]. Это объясняется тем, что с течением времени средняя квадратическая погрешность измерения навигационного параметра изменяется. Тогда генеральная совокупность погрешностей будет подчинена смешанному распределению. Для нормального закона со средней квадратической погрешностью, подчиненной распределению Рэлея, в качестве смешанного распределения выступает распределение Лапласа [2].

В то же время распределение Лапласа может рассматриваться так, как предложил сам Лаплас, т.е. не как смешанное, а как несмешанное распределение, относящееся к частной совокупности погрешностей с неизменной средней квадратической погрешностью измерений. Кстати, распределение Лапласа часто называют “первым законом распределения Лапласа” в отличие от “второго закона распределения Лапласа”, как иногда называют нормальное распределение.

Обосновывая необходимость использования распределения Лапласа, автор работ [1,2] рассмотрел только погрешности измерения навигационного параметра и положения изолинии. В данной статье рассматриваются погрешности положения изолиний и определения места, а также вероятность безопасного плавания. При этом подразумевается, что в области действия генеральной или частной совокупности погрешностей градиенты навигационных параметров постоянны. Для конкретизации — положения статьи обосновываются для случая представления распределения Лапласа в качестве смешанного распределения. Однако полученные зависимости могут использоваться и для случая, когда распределение Лапласа рассматривается как несмешанное.

2. При использовании распределения Лапласа плотность вероятностей погрешности  $u$  положения изолинии равна [1, 2]

$$f(u) = \frac{1}{2p_u} \exp\left(-\frac{|u|}{p_u}\right), \quad (1)$$

где  $p_u$  - параметр распределения Рэлея.

Сравнивая нормальное распределение с распределением Лапласа, можно отметить, что оба распределения симметричны. Распределение Лапласа просто интегрируется. В то же время, многие интегралы от нормального распределения в явном виде не берутся, приходится прибегать к численному интегрированию. Производная для нормального распределения непрерывна, а для распределения Лапласа терпит разрыв при значении, равном математическому ожиданию.

При нулевом математическом ожидании оба распределения определяются одной величиной: нормальное распределение – стандартом, распределение Лапласа – параметром распределения Рэлея. Однако при этом нет ясности, какую же характеристику погрешности использовать в распределении Лапласа при решении задач навигации.

В работах [1, 2] предлагается использовать математическое ожидание распределения Рэлея

$$M = \sqrt{0,5 \pi} \cdot p_u . \quad (2)$$

Также можно использовать стандарт распределения Лапласа [3]

$$\sigma = \sqrt{2} \cdot p_u . \quad (3)$$

Кроме того, можно применять среднее квадратическое значение распределение Рэлея (корень квадратный из второго начального момента), которое оказалось равным величине, определяемой по формуле (3).

В качестве характеристики погрешности можно также использовать моду  $M_o$  и медиану  $M_e$  распределения Рэлея [4]

$$\left. \begin{aligned} M_o &= p_u ; \\ M_e &= \sqrt{2 \ln 2} \cdot p_u . \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Таким образом, плотность вероятностей распределения Лапласа может определяться в четырех вариантах со следующими параметрами: математическое ожидание (1-й вариант), среднее квадратическое значение (2-й вариант), мода (3-й вариант) и медиана (4-й вариант) распределения Рэлея.

По формулам (1) – (4) были вычислены значения плотности вероятностей при задании погрешности в долях соответствующего параметра. Аналогичные вычисления были выполнены по формуле из работы [5] для нормального распределения. Результаты вычислений показаны в табл.1.

Таблица 1

**Значения плотности вероятностей нормального распределения и распределения Лапласа**

$u$	Плотность вероятностей				
	нормальное распределение	распределение Лапласа в варианте №			
		1	2	3	4
0	0.398942	0.626657	0.707107	0.500000	0.588705
0.5	0.352065	0.334870	0.348652	0.303265	0.326758
1	0.241971	0.178946	0.171909	0.183940	0.181366
2	0.053991	0.051099	0.041794	0.067668	0.055874
3	0.004432	0.014592	0.010161	0.024894	0.017214
4	0.000134	0.004167	0.002470	0.009158	0.005303
5	0.000001	0.001190	0.000601	0.003396	0.001614

Из табл.1 видно, что при увеличении погрешности  $u$  плотность вероятностей распределения Лапласа  $f_{\lambda}$  во всех вариантах сначала превышает плотность вероятностей нормального распределения  $f_n$ , при  $u$  от 0.3 до 0.5 эти величины становятся равными, затем  $f_{\lambda}$  становится меньше  $f_n$ , при  $u$ , примерно, равном 2,  $f_{\lambda} = f_n$ , а при  $u > 2$  величина  $f_{\lambda}$  становится больше  $f_n$ .

3. Оценим точность определения места  $O$  по двум навигационным параметрам, погрешности которых  $u$  и  $v$  независимы и подчинены распределению Лапласа, линии положения Л-1 и Л-2 пересекаются под углом  $\theta$  (рис.1).

Для этого рассмотрим элементарный параллелограмм образованный двумя парами изолиний с бесконечно малыми шагами  $\Delta u$  и  $\Delta v$ . Учитывая свойство плотности вероятностей, теорему умножения вероятностей и зависимость между вероятностью попадания в заданную область и плотностью вероятностей из работ [4,5,6], можно выразить плотность вероятностей погрешности определения места в точке  $K$  в плоской прямоугольной системе координат

$$\varphi(x, y) = \lim_{\Delta u \rightarrow 0, \Delta v \rightarrow 0} [s^{-1} f(u) f(v) \Delta u \Delta v], \quad (5)$$

где  $s$  - площадь элементарного параллелограмма;  
 $f(v)$  - плотность вероятностей погрешности  $v$ .

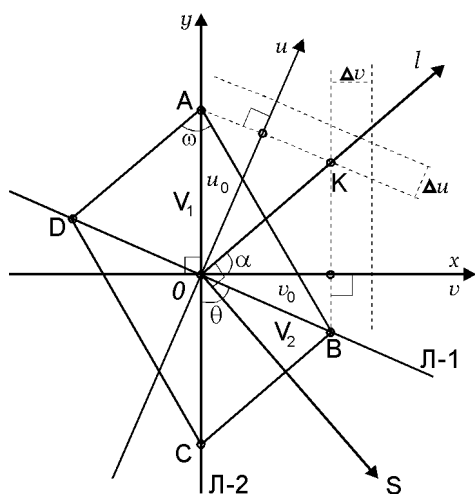


Рис.1. Линия равной плотности вероятностей погрешности определения места.

Выразим  $s$  через  $\Delta u$ ,  $\Delta v$  и  $\theta$ . Подставив полученное выражение в формулу (5), найдем

$$\varphi(x, y) = \frac{\sin \theta}{4 p_u p_v} \exp \left\{ - \left( \frac{|u|}{p_u} + \frac{|v|}{p_v} \right) \right\}, \quad (6)$$

где  $p_v$  - параметр распределения Рэлея для погрешности  $v$ .

Выражение в круглых скобках из формулы (6) обозначим через  $c$ . Тогда линия равной плотности вероятностей будет представлять собой в общем случае параллелограмм с координатами вершин, равными

$$\left. \begin{aligned} x_A = 0, y_A = c p_u \cdot \sin \theta; x_B = c p_v, y_B = -c p_v \operatorname{ctg} \theta; \\ x_C = 0, y_C = -c p_u \cdot \sin \theta; x_D = -c p_v, y_D = c p_v \operatorname{ctg} \theta. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

При этом векториальные погрешности  $V_1$  и  $V_2$  находятся по формулам

$$\left. \begin{aligned} V_1 = u_0 \operatorname{cosec} \theta; u_0 = c p_u; \\ V_2 = v_0 \operatorname{cosec} \theta; v_0 = c p_v. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

На основании работы [7] и равенств (7), получим уравнение линии равной плотности вероятностей

$$c = \left( p \frac{\cos \theta}{p_u} + q \frac{1}{p_v} \right) x + p \frac{\sin \theta}{p_u} y. \quad (9)$$

В формуле (9) коэффициент  $p$  равен +1 для отрезков AB и AD и -1 для отрезков BC и CD, коэффициент  $q$  равен +1 для отрезков AB и BC и -1 для отрезков CD и AD.

На основании работы [7] и формулы (9) угол в вершине A равен

$$\operatorname{tg} \omega = -2 \frac{p_u}{p_v} \cdot \left[ \sin \theta \left( 1 + \operatorname{ctg}^2 \theta - \frac{p_u^2}{p_v^2} \operatorname{cosec}^2 \theta \right) \right]. \quad (10)$$

Из формулы (10) видно, что при равенстве параметров распределения Рэлея для обоих изолиний параллелограмм преобразуется в прямоугольник, при прямом угле пересечения изолиний - в ромб, а при выполнении обоих условий - в квадрат.

Если задать ряд значений величине  $c$ , то получим семейство параллелограммов, диагонали которых лежат на двух прямых, пересекающиеся в точке 0. Рассмотрим два бесконечно близких параллелограмма. Вероятность нахождения места в промежутке между их сторонами равна

$$dP = \varphi(x, y) dS, \quad (11)$$

где  $dS$  - площадь промежутка между сторонами параллелограммов.

Из рис.1 с учетом формул (8) найдем площадь  $S$  параллелограмма с текущим значением  $c_i$ .

Подставив  $S$  в выражение (11) и проинтегрировав его по  $c_i$  от 0 до заданного значения  $c$ , получим вероятность нахождения места в заданном параллелограмме

$$P = 1 - (1 + c) \exp(-c). \quad (12)$$

По формуле (12) выполнены вычисления, результаты которых показаны на рис.2 (кривая 3). На этом же рисунке штриховой линией показаны значения вероятности нахождения места внутри эллипса при использовании нормального закона. Последние значения рассчитаны по формуле из работы [1]. Из формул и рис.2 видно, что обе вероятности не зависят от угла пересечения изолиний. Во всех случаях, кроме  $c < 0.6$ , вероятность для нормального распределения больше вероятности для распределения Лапласа.

Вместо величины  $c$  в качестве аргумента формулы (12) удобнее применять отношение  $k$  величины  $u_0$  или  $v_0$  из формул (8) к параметрам, используемым в четырех вышеуказанных вариантах. Величины  $c$  и  $k$  связаны зависимостью

$$c = \delta k, \quad (13)$$

где  $\delta$  – коэффициент в формулах (2), (3) и (4).

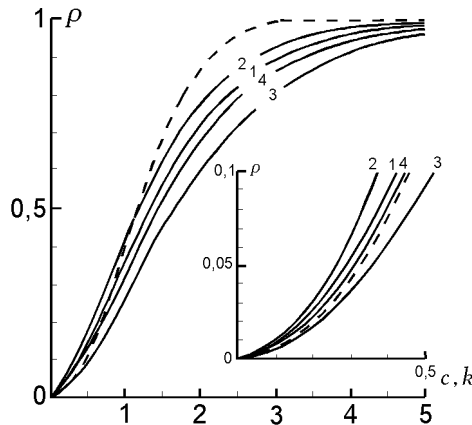


Рис.2. Зависимости вероятности  $P$  от величин  $c$  и  $k$  при использовании нормального распределения (штриховая линия) и распределения Лапласа (сплошные линии). Номер линии соответствует номеру варианта.

По формулам (12) и (13) выполнены вычисления, результаты которых показаны на рис.2. При этом номер кривой соответствует номеру варианта. Из рис.2 видно, что наибольшее значение относится ко 2-му варианту, а наименьшее – к 3-му варианту. Во всех случаях, кроме малых значений  $k$ , вероятность для нормального распределения больше вероятности для распределения Лапласа.

4. Найдем плотность вероятностей  $f(l)$  погрешности определения места по заданному направлению  $l$ , которое определяется углом  $\alpha$  между осями  $x$  и  $l$ . Проинтегрировав выражение (6) по перпендикулярному направлению  $s$ , получим

$$f(l) = \frac{\sin \theta}{2 p_u p_v} \left( \frac{\sin^2(\alpha - \theta)}{p_u^2} - \frac{\sin^2 \alpha}{p_v^2} \right)^{-1} \times \left\{ \frac{|\sin(\alpha - \theta)|}{p_u} \exp\left( -\frac{l \sin \theta}{p_v |\sin(\alpha - \theta)|} \right) - \frac{|\sin \alpha|}{p_v} \exp\left( -\frac{l \sin \theta}{p_u |\sin \alpha|} \right) \right\}. \quad (14)$$

Из анализа формулы (14) можно сделать вывод, что  $f(l)$  будет соответствовать распределению Лапласа только в двух направлениях, когда  $l$  будет совпадать с осями  $u$  и  $v$ . В других направлениях  $f(l)$  не будет являться плотностью вероятностей распределения Лапласа. Это подтверждается при анализе производной функции (14), которая равна нулю во всех направлениях, кроме двух отмеченных выше.

Рассмотрим центральные моменты распределения  $f(l)$ . В связи с симметричностью этой функции все нечетные центральные моменты равны нулю. Стандарт погрешности по направлению  $l$  будет равен

$$\sigma_l = \operatorname{cosec} \theta \sqrt{2 \left[ p_v^2 \sin^2 (\alpha - \theta) + p_u^2 \sin^2 \alpha \right]}. \quad (15)$$

Из анализа формул (8) и (15) с учетом работ [1,6] можно сделать вывод, что при изменении угла  $\alpha$  концы отрезка  $\sigma_l$  будут описывать подеру эллипса, сопряженные полу диаметры которого являются погрешностями  $V_1$  и  $V_2$  при  $c = \sqrt{2}$ . Элементы эллипса и радиальную среднюю квадратическую погрешность определения места можно найти на основании формул из работ [1,6] для нормального закона.

Найдем выражение 4-го центрального момента и на его основе получим эксцесс

$$Ex = 3 \left( \frac{\sin^4 (\alpha - \theta)}{p_u^4} + \frac{\sin^4 \alpha}{p_v^4} \right) : \left( \frac{\sin^2 (\alpha - \theta)}{p_u^2} + \frac{\sin^2 \alpha}{p_v^2} \right)^2. \quad (16)$$

Эксцесс нормального распределения равен 0, а распределения Лапласа – 3 [3]. Из формулы (16) следует, что в нашем случае  $0 < Ex \leq 3$  и  $Ex = 3$  в двух вышеуказанных направлениях, т.е.  $Ex$  находится между значениями эксцесса нормального распределения и распределения Лапласа.

Сравним плотности вероятностей  $f_1(l)$  и  $f_2(l)$  по двум направлениям  $\alpha = 0$  и  $\alpha = 45^\circ$  соответственно при  $\theta = 90^\circ$  и  $p_u = p_v$ . С учетом формул (14) и (15) получим

$$\left. \begin{aligned} f_1(l) &= \exp(-2k) / \sqrt{2}; \\ f_2(l) &= (0,5 + k) \exp(-2k), \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

где  $k = l / \sigma_l$ .

Выражение  $f_1(l)$  и выполненные по нему расчеты совпали с формулами (1) и (3) и данными из табл.1 для 2-го варианта. Вычисленные значения величины  $f_2(l)$  приведены в табл.2. Из нее видно, что приведенные данные не соответствуют величинам для распределения Лапласа во 2-ом варианте.

Таблица 2  
Плотность вероятностей погрешности по направлению

$k$	$f_2(l)$
0	0,500000
0,5	0,367879
1,0	0,203003
2,0	0,045789
3,0	0,008676
4,0	0,001510
5,0	0,000250

5. Оценим вероятность нахождения места в полосе, что соответствует вероятности попадания погрешности в отрезок  $m < l < n$

$$P = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\sin^2 (\alpha - \theta)}{p_u^2} \left[ \exp \left( - \frac{m \sin \theta}{p_v |\sin (\alpha - \theta)|} \right) - \exp \left( - \frac{n \sin \theta}{p_v |\sin (\alpha - \theta)|} \right) \right] - \frac{\sin^2 \alpha}{p_v^2} \times \right. \\ \left. \times \left[ \exp \left( - \frac{m \sin \theta}{p_u |\sin \alpha|} \right) - \exp \left( - \frac{n \sin \theta}{p_u |\sin \alpha|} \right) \right] \right\} : \left( \frac{\sin^2 (\alpha - \theta)}{p_u^2} + \frac{\sin^2 \alpha}{p_v^2} \right). \quad (18)$$

При  $p_v \sin (\alpha - \theta) = p_u \sin \alpha$  формулы (14) и (18) имеют неопределенность, которая легко раскрывается по правилу Лопиталья из работы [3].

Сравним вероятности  $P_1$  и  $P_2$  попадания в отрезок  $-k\sigma_l < l < k\sigma_l$  по двум направлениям  $\alpha=0$  и  $\alpha=45^\circ$  соответственно при  $\theta=0$  и  $p_u = p_v$ .

С учетом формулы (18) получим

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= 1 - \exp(-k\sqrt{2}); \\ P_2 &= 1 + (1+k)\exp(-2k). \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

По формулам (19) выполнены вычисления. По формуле из работы [5] вычислены значения вероятности  $P_n$  для нормального закона. Результаты вычислений показаны в табл.3.

Таблица 3

Значения вероятности попадания в отрезок

$k$	$P_n$	$P_1$	$P_2$
0	0.000000	0.000000	0.000000
0.5	0.382922	0.506931	0.448181
1,0	0.682686	0.756883	0.729329
2,0	0.954498	0.940894	0.945053
3,0	0.997301	0.985630	0.990085
4,0	0.999937	0.996506	0.998323
5,0	0.999999	0.999151	0.999728

Из табл.3 видно, что при увеличении  $k$  вероятность  $P_2$  возрастает сначала медленнее, а потом быстрее. При  $k = 1.7$  имеем  $P_1 = P_2$ . При дальнейшем увеличении  $k$  вероятность  $P_2$  становится больше вероятности  $P_1$ . Вероятность  $P_n$  изменяется по отношению к каждой из  $P_1$  и  $P_2$  также, как  $P_2$  – по отношению к  $P_1$ .

### 6. Выводы.

а). Использование распределения Лапласа в навигации связывается с попыткой учесть более частое появление больших погрешностей, имеющее место на практике. Это распределение может рассматриваться как смешанное, так и как несмешанное. В первом случае оно соответствует генеральной совокупности погрешностей с изменяющейся средней квадратической погрешностью частных совокупностей погрешностей, распределенных по нормальному закону. Во втором случае распределение Лапласа выступает в традиционной форме и соответствует частной совокупности погрешностей с неизменной средней квадратической погрешностью. При этом в первом случае возникает неоднозначность, связанная с возможностью использования разных статистических характеристик распределения Рэлея.

б). При использовании распределения Лапласа линия равной плотности вероятностей представляет собой:

- стороны параллелограмма с центром в обсервованном месте (в общем случае);
- стороны прямоугольника (при равенстве статистических характеристик погрешностей положения изолиний);
- стороны ромба (при прямом угле пересечения изолиний);
- стороны квадрата (при равенстве статистических характеристик погрешностей положения изолиний и прямом угле их пересечения).

в). Вероятность нахождения места корабля внутри параллелограмма не зависит от угла пересечения изолиний. Как правило, указанная вероятность меньше вероятности нахождения места корабля внутри эллипса при использовании нормального распределения.

г). Погрешности определения места по заданному направлению имеют распределение Лапласа только в двух направлениях, в остальных направлениях они не соответствуют распределению Лапласа, что должно учитываться при оценке вероятности безопасного плавания.

д). Полученные в статье зависимости могут быть применены на практике при оценке точности определения места по двум навигационным параметрам и оценке навигационной безопасности плавания в случае, когда в качестве закона распределения погрешностей этих параметров будет использовано распределение Лапласа независимо от того, в какой роли выступает это распределение — как смешанное или как несмешанное.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондрашихин В.Т. Распределение погрешностей навигационных измерений // Записки по гидрографии.- 1986.- N 215.- С.14-21.
2. Кондрашихин В.Т. Определение места судна. 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Транспорт, 1989.- 230 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы. Пер. с англ.- М.: Наука, 1963.- 720 с.
4. Справочник по вероятностным расчетам. 2-е изд., доп. и испр./ Г.Г.Абезгауз, А.П.Троне, Ю.Н.Копенкин, И.А.Коровина.- М.: Воениздат, 1970.- 536 с.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. 3-е изд., испр.-М.: Наука, 1964.- 576 с.
6. Луконин В.П. Теория обработки навигационной информации: Учебное пособие для слушателей академии.-СПб.: ВМА, 1993.- 322 с.
7. Привалов И.И. Аналитическая геометрия. 25-е изд.- М.: Физматгосиздат, 1960.- 299 с.



## НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

ГРНТИ 78.25.31.35.29.01

### **ОБ ИНТЕГРАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАЧ НАВИГАЦИИ, СТАБИЛИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ МОРСКИХ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ**

**С.П.АЛЕКСЕЕВ,  
Г.И.ЕМЕЛЬЯНЦЕВ**  
(Гос.НИНГИ МО РФ)

*Анализируется современное состояние информационного обеспечения задач навигации, стабилизации и управления движением кораблей и морских судов. Рассматривается новая постановка решения данных задач, основанная на использовании единых общекорабельных интегрированных систем ориентации и навигации (ИСОН).*

Задачи навигации, управления движением, стабилизации и начальной выставки бортовых приборов различных корабельных потребителей (например, палубной авиации) относятся к числу основных задач кораблевождения. Для их решения требуется соответствующее информационное обеспечение.

**1. Задача навигации.** Для обеспечения навигационной безопасности кораблевождения выработка навигационных параметров на надводных кораблях и морских судах до последнего времени базировалась на использовании метода счисления по данным лагов и гироскоуроказателей. Информация от радиотехнических средств (РНС, СНС и навигационных РЛС) при этом использовалась для периодической или квазинепрерывной коррекции счислимых координат места.

Однако ужесточение требований со стороны потребителей навигационной информации и, главное, необходимость существенно повысить информационную автономность корабельного навигационного контура в условиях естественных и искусственных радиопомех потребовало его радикальной модернизации.

Проведенный сравнительный анализ различных структур построения навигационного контура нк по критерию эффективности, учитывающему требования по точности и информационной автономности при обеспечении высоких эксплуатационных характеристик (надежности, времени готовности при запуске из холодного состояния, ремонта и техобслуживания), а также снижении МГХ и стоимости, показал, что основу современного корабельного навигационного оборудования должны составлять бескарданые инерциальные навигационные системы (БИНС) средней точности, информационно интегрированные с приемной аппаратурой СНС НАВСТАР и ГЛОНАСС. Это прежде всего БИНС на лазерных (ЛГ) и электростатических гироскопах (ЭСГ).

Данный вывод подтверждается и мировой практикой. Так на вооружение кораблей стран НАТО в 1990 г. поступила в качестве стандартной навигационной системы БИНС Mk.49 на ЛГ разработки фирм Sperry и Honeywell (США). Ее стоимость порядка 200–300 тыс.дол.

С появлением более дешевой гироскопической элементной базы (волоконно-оптические и твердотельные волновые гироскопы, микромеханические гироскопы и акселерометры и т.п.) и на судах гражданского флота неизбежна установка высоконадежных интегрированных систем, содержащих дешевые (20–30 тыс.дол.) малогабаритные БИНС с конструктивно-встроенным приемником СНС.

Отличительной чертой навигационного контура, содержащего БИНС, является то, что в нем вырабатываются как навигационные параметры (курс, координаты места, составляющие линейной скорости), характеризующие движение центра масс (ц.м.) ко-

рабля, так и высокочастотные динамические параметры (углы и угловые скорости качки и рыскания, динамические составляющие вектора линейной скорости), которые характеризуют угловое и линейное движение точки расположения БИНС.

Используется на кораблях данная информация или нет, но она все равно вырабатывается в алгоритмах БИНС.

**2. Задача начальной выставки и стабилизации.** Как известно, грубый режим начальной выставки бортовых систем корабельных потребителей, например, приборов пилотажно-навигационных комплексов (ПНК) палубной авиации, использует эталонные данные о курсе  $K$  и углах качки  $\psi, \theta$ . Точный режим базируется на использовании метода векторного согласования линейных скоростей или перемещений, т.е. первых или вторых интегралов от действующих на объекте ускорений.

Формально поставленная задача сводится к оценке на конечном интервале времени параметров модели погрешностей бортовых систем рассматриваемого комплекса, например, инерциальной системы ПНК палубной авиации при обработке по методу наименьших квадратов (МНК) или алгоритму фильтра Калмана (ФК) следующих измерений

$$Z_{1_i} = V_i^{BC} - V_i^{\text{ЭТ}},$$

или

$$Z_{2_i} = S_i^{BC} - S_i^{\text{ЭТ}}, (i = E, N, H),$$
(1)

где  $V_i^{BC(\text{ЭТ})}, S_{i(i=E,N,H)}^{BC(\text{ЭТ})}$  – составляющие в географических осях векторов соответственно линейной скорости или линейных перемещений от бортовой системы ПНК и эталонной корабельной системы.

При этом модель погрешностей бортовой системы при использовании МНК аппроксимируется полиномами вида

$$\Delta V_i^{BC} = \Delta V_{0_i} + a_i \cdot \Delta t + \Delta V_{ocm_i},$$

или

$$\Delta S_i^{BC} = \Delta S_{0_i} + \Delta V_i \cdot \Delta t + \frac{1}{2} a_i \cdot \Delta t^2 + \Delta S_{ocm_i}, (i = E, N, H),$$
(2)

где  $\Delta t$  – интервал времени выставки (калибровки) бортовой системы.

Оценки погрешностей бортовой системы по скорости  $\Delta V_i^{\$}$  используются для задания начальных условий, а по ускорению  $\Delta a_i^{\$}$  – для выработки поправок на горизонтирование приборных географических осей.

Эталонная информация от корабельной системы должна быть приведена к месту установки бортовой системы, т.е.

$$\bar{V}^{\text{ЭТ}} = \bar{V}^{KC} + [\omega] \cdot \bar{r}$$

или

$$\bar{S}^{\text{ЭТ}} = \bar{S}^{KC} + [c] \cdot \bar{r},$$
(3)

где  $\bar{V}^{KC}, \bar{S}^{KC}$  – исходные данные в месте размещения корабельной системы;

$[\omega(k, \psi, \theta)]$  – матрица угловых скоростей качки и рыскания;

$[c(k, \psi, \theta)]$  – матрица направляющих косинусов качки и рыскания;

$\bar{r}$  – вектор отстояния бортовой системы от корабельной.

Таким образом для решения рассматриваемой задачи необходимо располагать информацией как о навигационных, так и о динамических параметрах движения объекта.

В настоящее время выработка навигационных и динамических параметров на кораблях и судах осуществляется различными измерителями. Так, например, данные о линейной скорости ц.м. корабля поступают от лагов, а для измерения углов, угловых скоростей качки, рыскания и динамических составляющих вектора линейной скорости используются специальные гироскопические компасы (ГГК).

При ужесточении требований к точности начальной выставки бортовых систем необходимо включение БИНС в навигационный контур. В этом случае данные  $\bar{V}^{KC}$  или  $\bar{S}^{KC}$ , а также матрицы  $[\omega(\dot{k}, \dot{\psi}, \dot{\theta})]$  или  $[c(k, \psi, \theta)]$  вырабатываются в БИНС. В отличие от других навигационных измерителей БИНС информация о векторах  $\bar{V}^{KC}$  и  $\bar{S}^{KC}$  вырабатывается с требуемой точностью как в низкочастотном, так и в высокочастотном спектре движения корабля. Причем, как показали результаты моделирования на ПЭВМ, организация взаимодействия корабельной системы с бортовой системой потребителя на уровне вторых интегралов от действующих ускорений снижает влияние таких возмущений как вибрация, деформация корпуса корабля на качке, погрешности синхронизации и т.п.

**3. Задача управления движением.** В настоящее время в состав АСУ кораблей многих типов и гражданских судов спецназначения (поисковых, буровых, танкеров и т.д.) включены авторулевые (АР) и системы динамического позиционирования (СДП).

С целью минимизации отклонений корабля от заданной траектории движения при различных условиях эксплуатации в закон управления современных адаптивных АР и СДП вводят не только стандартные данные о курсе и координатах места, но также и информацию об их производных и оценках возмущающих сил и моментов [1].

В таблице приведены результаты проведенных исследований по оптимизации информационного обеспечения СДП поискового судна водоизмещением 500 т, исходя из критерия минимума отклонений по курсу и месту при учете ограничений по массогабаритным характеристикам и стоимости.

**Соотношение погрешностей удержания корабля по месту и курсу и среднеквадратичных погрешностей оценки его места и курса при различном составе навигационного вооружения**

Вид погрешностей	Величина погрешностей при различных вариантах НВ (ветер – 4 балла, волнение – 3 балла, течение – 0,6 м/с)		
	I*	II**	III***
$\Delta \xi_K, м / \sigma_{\delta_z}, м$	15 / 8	7 / 5	5 / 3
$\Delta K, град / \sigma_{\delta_k}, град$	1,1 / 0,6	0,3 / 0,1	0,3 / 0,1

Примечания:

\*) Стандартное НВ: ГК, лаг, ПИ СНС ГЛО-НАСС с GPS, измеритель параметров ветра.

\*\*) Аналогично варианту I, но вместо ГК в состав НВ включен ГК, вырабатывающий дополнительно угловую скорость  $\dot{\alpha}$ , линейные ускорения и углы качки (для определения параметров волнения).

\*\*\*) Аналогично варианту II, но вместо ГК в состав НВ включена БИНС среднего уровня точности.

Формальная постановка данной задачи сводилась к следующему. Рассматривалось линейное (поперечное –  $\Delta \xi_K$ ) и угловое (по курсу –  $\Delta K$ ) отклонение корабля от направления на цель в точке позиционирования. В вектор состояния динамической системы  $\bar{X} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$  были включены параметры модели движения судна и основные возмущения: ветер, волна, течение, образующие подвектор состояния  $\bar{x}_1$ , а также по-

грешности  $x_2$  навигационных измерителей, входящих в состав навигационного вооружения. Для минимизации критерия качества работы системы управления, согласно [2], при заданном  $N$  на интервале  $t = t_0 + j \cdot \Delta t$  ( $j = 0, 1, K, N - 1$ ) имеем

$$I = M \left\{ \sum_{i=1}^N \left[ \frac{\Delta \xi_k^2}{\sigma_{\Delta \xi_{ооn}}^2} + \frac{\Delta K^2}{\sigma_{\Delta K_{ооn}}^2} + \frac{U_f^2}{\sigma_{U_{fоn}}^2} + \frac{U_m^2}{\sigma_{U_{mоn}}^2} \right] \right\}, \quad (4)$$

где  $\sigma$  – среднеквадратичная погрешность.

Выражение (4) содержит квадратичные формы для отклонений по месту и курсу и для соответствующих управляющих силы  $U_f$  и момента  $U_m$  при заданных на них ограничениях использовался оптимальный закон управления движением

$$U = S \cdot \mathcal{X}_j. \quad (5)$$

При этом матрица  $S$  коэффициентов управления находилась из решения ковариационного уравнения Риккати, а оценка  $\mathcal{X}_j$  параметров движения корабля и действующих возмущений – из алгоритма фильтра Калмана при различном составе навигационного вооружения.

Как следует из приведенных в таблице результатов, наиболее эффективным является использование БИНС. В этом случае закон управления формируется с использованием как навигационных, так и динамических параметров движения корабля.

В настоящее время адаптивные АР и СДП с оптимальным законом управления пока не нашли применения на кораблях, хотя актуальность в их создании несомненна, особенно для высокоманевренных кораблей. Но на морских судах спецназначения существуют примеры их эксплуатации. Однако из-за отсутствия пока дешевых БИНС для их информационного обеспечения используется стандартное навигационное оборудование, дополненное применением ГАЛ, гировертикали, датчика угловой скорости по  $\mathcal{K}$  и др., что увеличивает массогабаритные характеристики и снижает надежность.

**Выводы.** Рассмотрев информационное обеспечение для решения на современном уровне задач навигации, стабилизации и управления движением, можно сделать следующие выводы:

1. Для оптимального решения рассматриваемых задач их информационное обеспечение требует непрерывной выработки практически одних и тех же навигационных и динамических параметров о движении корабля.

2. В настоящее время каждый контур корабля свое информационное обеспечение решает практически индивидуально, что неоправданно увеличивает массогабаритные характеристики и стоимость корабельного оборудования.

3. Эффективным и универсальным измерителем параметров движения корабля как в низкочастотной, так и в высокочастотной областях спектра его линейных и угловых перемещений в интересах всех корабельных потребителей является БИНС, комплексированная с аппаратурой СНС ГЛОНАСС, на базе которой целесообразно создать единую общекорабельную интегрированную систему ориентации и навигации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев С.П. и др. Использование инерциальных датчиков при управлении движением судна // Навигация и гидрография. – 1993. – №1. – С.32–37.
2. Лукомский Ю.А., Чугунов В.С. Системы управления морскими подвижными объектами. – Л.: Судостроение, 1988.

ГРНТИ 78.25.31.35.29.29.29.29

## МЕТОДЫ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ

Г.И.ЕМЕЛЬЯНЦЕВ,  
Э.С.МОИСЕЕВ,  
А.Н.СОЛНЦЕВ  
(Гос. НИНГИ МО РФ)

*Предложены методы расчета показателей информационной эффективности параметров навигационных комплексов. Показана возможность с их использованием оптимизировать состав корабельных средств навигации и получить численные оценки для установления их соответствия требованиям ТЗ на ранних стадиях проектирования.*

Современные требования к навигационным комплексам (НК), такие как уровень автоматизации, информационная автономность и эффективность, предлагается задавать в техническом задании (ТЗ) численными величинами.

Настоящая статья является развитием предшествующей публикации [1] и рассматривает возможные методы расчета названных показателей, позволяющих оптимизировать состав технических средств навигации (ТСН) НК и получить численные оценки для установления их соответствия требованиям ТЗ на ранних стадиях проектирования.

**1. Метод расчета показателей информационной эффективности навигационных параметров (НП) НК.** Информационную эффективность выработки в НК НП предлагается оценивать вероятностным показателем вида [1]

$$W^T(\xi) = p[M(\xi) \leq M_s(\xi)] = 1 - \exp[-M_s^2(\xi) / 2M^2(\xi)], \quad (1)$$

где  $M_s^2(\xi)$ ,  $M^2(\xi)$  – дисперсии заданной и возможной погрешности параметра  $\xi$ , соответственно;  $p$  – вероятность.

Значения  $M_s(\xi)$  задаются в ТЗ на НК на основе руководящих документов, требований обеспечения действий УРО и навигационной безопасности плавания (НБП); значения  $M(\xi)$  рассчитываются с учетом состава ТСН и условий их применения, режимов НК для различных этапов плавания.

Приведем здесь выражения для расчета дисперсий возможной погрешности по координатам, курсу и для точки прицеливания УРО, наиболее сложно рассчитываемых и часто используемых НП.

**1.1. Расчет дисперсии погрешности по координатам.** В общем случае величину дисперсии возможной погрешности  $M^2(\varphi, \lambda)$  по координатам для (1) можно определить как

$$M^2(\varphi, \lambda) = M_o^2(\varphi, \lambda) + M_c^2(\varphi, \lambda), \quad (2)$$

где  $\varphi$  – широта;

$\lambda$  – долгота;

$M_o^2(\varphi, \lambda)$ ,  $M_c^2(\varphi, \lambda)$  – дисперсии радиальной погрешности обсервованных и считаемых координат, соответственно.

При работе НК в инерциальном режиме для коррекции ИНС достаточно обсервованное значение долготы. Поэтому (2) можно представить в виде

$$M^2(\varphi, \lambda) = 0,5 M_o^2(\varphi, \lambda) + M_c^2(\varphi, \lambda). \quad (2a)$$

Средства обсервации НК на различных этапах плавания могут использоваться различно. Так на 3-ем этапе плавания – этапе выполнения боевой задачи – из-за дефицита времени, как правило, используется наиболее точное в данных условиях средство обсервации – приемоиндикатор (ПИ) спутниковой системы (СНС) режим с приоритетом по точности. В условиях радиоэлектронного противодействия (РЭП) и применения противником УРО могут использоваться менее точные астрооптические пеленгаторы (АОП), радиоастронавигационные системы (РАНС) и батиметрические навигационные системы (БНС).

На 1 и 5-ом этапах плавания (в акватории базы) используются наиболее точные средства – ПИ КНС и ПИ радионавигационных систем (РНС) ближнего действия; на 2 и 4-ом этапах плавания (в морской зоне) – все возможные средства в режиме максимальной точности.

Выражения для расчета дисперсии радиальной погрешности обсервации координат для режимов имеют вид [2]:

– режим максимальной точности не более чем для 3-х средств обсервации

$$M_o^2(\varphi, \lambda) = \left[ \sum_{i=1}^3 p_i M_o^2(i) + \sum_{i,j=1; i \neq j}^3 p_{ij} M_o^2(i, j) + p_{ijk} M_o^2(i, j, k) \right] q_r^{-1}, \quad (3)$$

где  $p_o(i); M_o(i)$  – вероятность и радиальная среднеквадратическая погрешность (РСКП) обсервации  $i$ -м средством:

$$q_i = 1 - p_o(i); \quad (3.1)$$

$$q_k = 1 - p_o(k); \quad (3.2)$$

$$p_i = p_o(i) q_i q_k q_r^{-1}; \quad (3.3)$$

$$p_{ij} = p_o(i) p_o(j) q_k q_r^{-1}; \quad (3.4)$$

$$p_{ijk} = p_o(i) p_o(j) p_o(k) q_r^{-1}; \quad (3.5)$$

$$q_r = 1 - \prod_{i=1}^3 q_i; \quad (3.6)$$

$$M_o^2(i, j) = M_o^2(i) M_o^2(j) [M_o^2(i) + M_o^2(j)]^{-1}; \quad (3.7)$$

$$M_o^2(i, j, k) = M_o^2(i) M_o^2(j) M_o^2(k) [M_o^2(j) M_o^2(i) + M_o^2(j) M_o^2(k) + M_o^2(i) M_o^2(k)]; \quad (3.8)$$

– режим с приоритетом по точности для не более 3-х средств обсервации

$$M_o^2(\varphi, \lambda) = \sum_{i=1}^3 \bar{p}_i M_o^2(i), \quad (4)$$

где  $\bar{p}_1 = p_o(1) q_1^{-1}; \quad (4.1)$

$$\bar{p}_2 = p_o(2) q_1 q_2^{-1}; \quad (4.2)$$

$$\bar{p}_3 = p_o(3) q_1 q_2 q_3^{-1}; \quad (4.3)$$

$$q_1 = p_o(1) + p_o(2) q_1 + p_o(3) q_1 q_2; \quad (4.4)$$

$$M_o(1) \langle M_o(2) \rangle M_o(3). \quad (4.5)$$

Выражения (3, 3.1 – 3.8, 4, 4.1 – 4.5) могут быть преобразованы и применительно к случаю использования более 3-х средств обсервации, однако такая возможность маловероятна.

Необходимые для расчета по формулам (3), (4) возможные значения  $p_o$  и  $M_o$  для некоторых ТСН приведены в табл.1.

Основными режимами на всех этапах плавания являются: инерциальный, режим счисления на основе курса от гироазимутгоризонткомпаса (ГАГК) или гирокурсуказателя (ГКУ) и скорости от относительного лага (ОЛ), сокращенно ГАГК (ГКУ) + ОЛ, и режим счисления на основе курса ГАГК и скорости от абсолютного лага (ГАЛ), сокращенно ГАГК + ГАЛ.

Для режима ГАГК (ГКУ) + ОЛ дисперсия  $M_c^2(\varphi, \lambda)$  может быть описана выражением

$$M_c^2(\varphi, \lambda) = \frac{2\sigma_T^2}{\alpha^2} \left( \alpha \bar{T}_c - \frac{\alpha \bar{T}_c}{1 + \alpha \bar{T}_c} \right), \quad (5)$$

где  $\sigma_T^2$  и  $\alpha$  – дисперсия и коэффициент, соответственно, для корреляционной функции переменного течения вида  $K(\tau) = \sigma_T^2 e^{-\alpha|\tau|}$ ;

$\bar{T}_c$  – среднее время счисления.

Для режима ГАГК + ГАЛ дисперсия  $M_c^2(\varphi, \lambda)$  может быть описана выражением

$$M_c^2(\varphi, \lambda) = \left[ 4\sigma_{\Delta V}^2 + 9,4 \cdot 10^{-11} V^2 (\sigma_{cc}^2 + \sigma_\tau^2 \cos^{-2} \varphi) \right] \bar{T}_c^2, \quad (6)$$

где  $\sigma_{\Delta V}^2$  – дисперсия погрешности измерения скорости ГАЛ;

$V$  – скорость корабля;

$\sigma_{cc}^2$  – дисперсия погрешности списывания и трансляции курса ГАГК;

$\sigma_\tau^2 = \bar{A}_1 + \bar{K}_{V_1} \sigma_T^2$ ;

$A_1, \bar{K}_{V_1}$  – коэффициенты;

$\varphi$  – широта места.

Таблица 1

**Вероятность и радиальная среднеквадратическая погрешность обсервации при использовании различных источников и средств обсервации**

Этап плавания	Средство обсервации	Источник обсервации		Вероятность обсервации при отсутствии (наличии) РЭП, $P_o$	Средне-квадратическая погрешность обсервации, $M_o$ , мили
		тип	удаленность, мили		
1; 5	ПИ РНС	РНС ближнего действия	10	0,9	0,016
	НРЛС	Береговые ориентиры	— „—	— „—	— „—
	АОП	— „—	— „—	0,8	— „—
2; 4	ПИ РНС	РНС средней дальности	150 – 400	0,95 (0,4)	0,269
	ПИ СНС	КНС среднеорбитальная	.	0,95 (0,8)	0,054
	АОП	Небесные светила	.	0,44	2,1
3	ПИ РНС	РНС средней дальности	400 – 600	0,95 (0,4)	0,405
	ПИ СНС	КНС среднеорбитальная	.	0,95 (0,8)	0,054
	АОП	Небесные светила	.	0,44	2,1

Для инерциального режима дисперсия  $M_c^2(\varphi, \lambda)$  может быть описана выражениями:

$$M_c^2(\varphi, \lambda) = 2,78 \cdot 10^{-6} (\sigma_{\delta\varphi}^2 + \sigma_{\delta W}^2); \quad (7)$$

$$\sigma_{\delta W}^2 = \sigma_\beta^2 + \sigma_\alpha^2 \cos^2 \varphi + \sigma_\tau^2 \sin^2 \varphi; \quad (7.1)$$

$$\sigma_{\bar{\delta}}^2 = \sigma_{\bar{\delta}}^2 \bar{T}_c^2 + 2 \sigma_{\bar{\delta}}^2 \left( \mu \bar{T}_c - e^{-\mu \bar{T}_c} - 1 \right) \mu^{-2}; \quad (7.2)$$

$$\sigma_{\beta}^2 = \bar{A}_2 + \bar{K}_{V_2} \sigma_T^2 + K_y \cdot \sigma_{\text{уол}}^2; \quad (7.3)$$

$$\sigma_{\tau} = \bar{A}_1 + \bar{K}_{V_1} \sigma_T^2; \quad (7.4)$$

$$\sigma_{\delta\varphi} = \sigma_{\Delta\rho}^2 + \sigma_{\beta}^2; \quad (7.5)$$

$$\sigma_{\Delta\rho} = \bar{A}_1' + \bar{K}_{V_1}' \sigma_T^2, \quad (7.6)$$

где  $\bar{A}_1, \bar{A}_1', A_2, \bar{K}_{V_1}, \bar{K}_{V_1}', \bar{K}_{V_2}, K_y$  – коэффициенты;

$\sigma_T^2$  – дисперсия флюктуации течения;

$\sigma_{\text{уол}}^2$  – дисперсия погрешности знания уклонения отвесной линии (УОЛ);

$\sigma_{\bar{\delta}}^2, \sigma_{\bar{\delta}}'^2$  – дисперсия флюктуационной и систематической составляющих дрейфа гироскопа, соответственно;

$\mu$  – коэффициент корреляции флюктуационной составляющей дрейфа гироскопа.

Необходимые для расчета по формулам (5) – (7) возможные значения погрешностей и коэффициентов для некоторых ТСН приведены в табл.2.

Таблица 2

Исходные данные для расчета дисперсии по формулам (5) – (7) для некоторых ТСН

Параметр или коэффициент	Величина соответствующего показателя для различных ТСН			
	ИНС			ГАГК
	“Баксан”	“Алеут”	“Фианит”	“Пастильщик”
$\sigma_T, \text{уз}$	0,53	0,53	0,53	0,53
$\alpha, \text{ч}^{-1}$	0,3	0,3	0,3	0,3
$\sigma_{cc}^2, \text{угл.с}^{-1}$	1400	900	900	3140
$\bar{A}_1, \text{угл.с}^2$	17700	373	1000	8570
$\bar{A}_1', \text{угл.с}^2$	17700	356	1000	—
$\bar{A}_2, \text{угл.с}^2$	200	5,4	90	—
$\bar{K}_{V_1}, \text{угл.с}^2/\text{уз}^2$	57600	87	200	51984
$\bar{K}_{V_1}', \text{угл.с}^2/\text{уз}^2$	57600	112	200	—
$\bar{K}_{V_2}, \text{угл.с}^2/\text{уз}^2$	36	202	36	—
$K_y$	1,6	1,6	1,6	—
$\sigma_{\text{уол}}^2, \text{угл.с}^2$	25	25	25	—
$\sigma_{\bar{\delta}}^2, \text{угл.с}^2/\text{ч}^2$	1296	1,44	5,76	—
$\sigma_{\bar{\delta}}'^2, \text{угл.с}^2/\text{ч}^2$	1296	10	14	—
$\mu, \text{ч}^{-1}$	0,91	$6,7 \cdot 10^{-2}$	0,9	—

Среднее время счисления  $\bar{T}_c$  для этапа плавания может быть определено двояко. При отсутствии ограничений на использование средств коррекции среднее время счисления  $\bar{T}_c$  может быть найдено из условий

$$\bar{T}_c \leq \bar{T}_{dc}; \quad (8.1)$$

$$M(\varphi, \lambda, \bar{T}_{dc}) = M_x(\varphi, \lambda), \quad (8.2)$$



где  $\overline{T}_{\partial c}$  – допустимое время плавания по счислению.

С учетом условий использования средств коррекции среднее время счисления  $\overline{T}_c$  определяется выражениями:

– в режиме максимальной точности для не более 3-х средств коррекции

$$\overline{T}_c = \sum_{i=1}^3 \frac{T_{oi}}{p_i p_o(i)} + \sum_{i,j=1, i \neq j}^3 \frac{T_{oij}}{p_{ij} p_o(i) p_o(j)} + \frac{T_{oijk}}{p_{ijk} p_o(i) p_o(j) p_o(k)}, \quad (9)$$

где  $p_o(i)$  – вероятность коррекции  $i$ -ым средством обсервации;

$p_i; p_{ij}; p_{ijk}; i \neq j \neq k \in \overline{1;3}$  – вероятности использования 1, 2 или 3-х средств коррекции, рассчитываемые по формулам (3.1 – 3.5);

$T_{oi}; T_{oij}; T_{oijk}; i \neq j \neq k \in \overline{1;3}$  – возможные интервалы между обсервациями при использовании 1, 2 или 3-х средств коррекции, соответственно.

При производстве коррекции непосредственно штурманом величина  $T_{oi}$  может быть определена как

$$T_{oi} = \left\{ nt_{cно} + nt_{обп} + nt_{нрокл} + t_{BM} + t_{OT} \right\} i, \quad (9.1)$$

где  $t_{cно}$  – время снятия отсчетов линии положения;

$t_{обп}$  – время обработки отсчетов (исправления поправками и приведения к единому времени);

$t_{нрокл}$  – время прокладки исправленных отсчетов на карте (планшете);

$t_{BM}$  – время определения вероятнейшего значения параметра;

$t_{OT}$  – время оценки точности обсервации;

$n$  – количество линий положения.

При последовательном использовании средств коррекции имеем

$$\begin{aligned} T_{oij} &= T_{oi} + T_{oj}; \\ T_{oijk} &= T_{oi} + T_{oj} + T_{ok}; \quad i \neq j \neq k \in \overline{1;3}. \end{aligned} \quad (9.2)$$

Значения  $t_{cно}, t_{обп}, t_{нрокл}, t_{BM}, t_{OT}$  определяются нормативами ПШП НК ВМФ.

При производстве коррекции в системе “штурман-НК-АСУ БА” значения

$$t_{обп}, t_{BM}, t_{OT} \rightarrow 0,$$

т.к. выполняются ЦВМ НК.

– в режиме с приоритетом по точности для не более 3-х средств коррекции

$$\overline{T}_c = \sum_{i=1}^3 \frac{\overline{p}_i p_o(i)}{T_{oi}}, \quad (10)$$

где  $\overline{p}_i$  – вероятность использования  $i$ -го средства коррекции, рассчитываемая по (4.1 – 4.4).

**1.2. Расчет дисперсии погрешности курса.** Дисперсия погрешности курса в ИНС определяется выражением

$$M^2(k) = (\sigma_\beta^2 \sin^2 \varphi + \sigma_\tau^2) \cos^{-2} \varphi + \sigma_{cc}^2, \quad (11)$$

где  $\sigma_\beta^2, \sigma_\tau^2$  определяются (7.2) и (7.4).

Дисперсия погрешности курса в ГАГК определяется выражением

$$M^2(k) = \sigma_\tau^2 \cos^{-2} \varphi + \sigma_{cc}^2, \quad (12)$$

где  $\sigma_\tau^2$  определяется (7.2).

Необходимые для расчетов по (11) и (12) значения погрешностей и коэффициентов для некоторых ТСН приведены в табл.2.

**1.3. Расчет дисперсии погрешности по координатам для расчета точки прицеливания УРО.** Дисперсия заданной  $M_{zn}^2(\varphi, \lambda)$  и возможной  $M_n^2(\varphi, \lambda)$  погрешности по координатам для точки прицеливания УРО определяется выражениями

Таблица 3

**Расчетные значения интенсивности ( $\lambda$ ) и времени решения ( $t_p$ ) различных навигационных задач с помощью НК 80-х годов и перспективного НК-2000**

п	Навигационная задача	Расчетные значения параметров на различных этапах плавания											
		1-й и 5-й этапы		НК 80-х годов 2-й и 4-й этапы		3-й этап		1-й и 5-й этапы		НК- 2000 2-й и 4-й этапы		3-й этап	
		$t_p, \text{мин}$	$\lambda$	$t_p, \text{мин}$	$\lambda$	$t_p, \text{мин}$	$\lambda$	$t_p, \text{мин}$	$\lambda$	$t_p, \text{мин}$	$\lambda$	$t_p, \text{мин}$	$\lambda$
1.	Выбор и измерение НП	0,50	1,0	3,00	1,0	3,00	1,00	0,50	1,0	3,00	1,0	2,00	1,0
2.	Прокладка изолиний на навигационной карте	0,50	1,0	1,00	1,0	1,00	1,00	0,01	1,0	0,01	1,0	0,01	1,0
3.	Определение места с оценкой точности	0,50	1,0	0,01	1,0	0,01	1,00	0,01	1,0	0,01	1,0	0,01	1,0
4.	Документирование	1,00	1,0	1,00	5,0	1,00	3,00	0,50	1,0	1,00	5,0	1,00	3,0
5.	Оценка навигационной обстановки и выработка рекомендаций	1,00	1,0	5,00	1,0	5,00	1,00	0,50	1,0	3,00	1,0	3,00	1,0
6.	Измерение и сравнение с карточным значением глубины	0,50	1,0	1,00	1,0	—	—	0,01	1,0	0,01	1,0	—	—
7.	Расчет параметров дрейфа и сноса	0,50	0,5	0,01	0,5	—	—	0,01	0,5	0,01	5,0	—	—
8.	Выработка рекомендаций для удержания корабля на ЛЗП	0,01	0,5	0,01	0,5	—	—	0,01	0,5	0,01	0,5	—	—
9.	Смена карты на автопрокладчике	1,00	0,1	1,00	0,3	—	—	0,01	0,1	0,01	0,3	—	—
10.	Контроль состояния технических средств	0,01	0,5	0,01	0,5	0,01	0,05	0,01	0,5	0,01	0,5	0,01	0,5
11.	Подбор оптимальных средств определения места	—	—	10,00	1,0	10,00	1,00	—	—	0,01	1,0	0,01	1,0
12.	Подбор светил	—	—	10,00	0,2	—	—	—	—	1,00	0,2	—	—
13.	Оценка точности счисления и расчет допустимого времени плавания по счислению	—	—	5,00	0,5	5,00	0,50	—	—	0,01	0,5	0,01	0,5
14.	Определение поправки средств курсоуказания	—	—	—	—	3,00	1,00	—	—	—	—	0,50	1,0

$$M_{zn}^2(\varphi, \lambda) = 0,49 M_3^2(\varphi, \lambda) + \left( \frac{\pi D_c}{10800} M_3(\kappa) \right)^2 + \left( \frac{g t_n^2}{10800} M_3(g) \right)^2; \quad (13)$$

$$M_n(\varphi, \lambda) = 0,49 M^2(\varphi, \lambda) + \left( \frac{\pi D_c}{10800} M(\kappa) \right)^2 + \left( \frac{g t_n^2}{10800} M(g) \right)^2,$$

где  $D_c$  – дальность стрельбы УРО, мили;

$t_n$  – время полета ракеты, ч;

$g$  – ускорение силы тяжести, м · с<sup>-2</sup>;

$M_3(\kappa), M(\kappa)$  – заданная и возможная РСКП курса, угл.мин;

$M_3(g), M(g)$  – заданная и возможная РСКП вертикали, угл.мин.

Значения  $M_3(\kappa), M_3(\varphi, \lambda), M_3(g)$  задаются для точки выработки параметров (ЦПНК НК); значения  $M(\varphi, \lambda)$  и  $M(\kappa)$  рассчитываются по вышеприведенным формулам;  $M(g)$  определяется техническими условиями на ТСН НК.

**2. Метод расчета показателя уровня автоматизации НК.** В [1] предложено уровень автоматизации НК оценивать показателем

$$W^A = \frac{1 - \xi'}{1 - \xi \cdot \xi'}, \quad (14)$$

где  $\xi = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i t_{pi}}{T_g}$ ;  $\xi' = \exp(1 - \xi^{-1})$ ;

$\lambda_i$  – интенсивность решения  $i$ -ой задачи;

$t_{pi}$  – время решения  $i$ -ой задачи;

$T_g$  – допустимое время решения задач;

$n$  – число решаемых задач.

Возможные задачи, величины  $\lambda_i$  и  $t_{pi}$  на различных этапах плавания для перспективного НК-2000 и НК-80-х годов приведены в табл.3; значения  $T_g \leq T_{gc}$  рассчитываются по (8) – (10).

**3. Метод расчета показателя информационной автономности НК.** Для показателя информационной автономности должно выполняться условие

$$W^{IA} = \bar{T}_{dc} \cdot T_{asm}^{-1} \leq 1, \quad (15)$$

где  $T_{asm}$  – время информационной автономности, по требованию задаваемое дифференцированно применительно к различным группам кораблей [1];

$T_{dc}$  – допустимое время плавания по счислению, определяемое решением (8.2).

**Выводы.** В целом приведенные методы расчета позволяют получить численные оценки показателей информационной автономности, эффективности и уровня автоматизации НК, оптимизировать на их основе состав последнего.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельянцева Г.И., Моисеев Э.С., Солнцев А.Н. Современные требования и облик навигационного комплекса для боевых надводных кораблей начала XXI века. // Навигация и гидрография. - 1995. - N1.
2. Михальский В.А. Новые подходы к расчетам навигационной безопасности плавания. // Тезисы докладов научно-технической конференции "Современное состояние, проблемы морской и воздушной навигации". – СПб., Гос.НИНГИ МО РФ.

ГРНТИ 78.25.31.37.31.29.29

**О ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ  
РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ЭХОЛОТОВ**

**К.А.ВИНОГРАДОВ**  
(Гос. НИНГИ МО РФ)

*Приводятся выражения для оценки предельных значений ширины характеристики направленности антенны, длительности зондирующего импульса и полосы пропускания предварительного усилителя эхолота в зависимости от требуемых инструментальной погрешности и вероятности правильного обнаружения эхосигнала.*

Основной характеристикой, задаваемой на проектируемый эхолот, является его инструментальная погрешность. Она зависит от параметров приемопередающего тракта эхолота и собственных инструментальных погрешностей используемых в нем индикаторных устройств (индикаторов, регистраторов и сигнализаторов). При этом, если погрешности приборов индикации могут быть оценены независимо, то вносимая приемопередающим трактом погрешность – только после полного энергетического расчета эхолота. Однако, зачастую оказывается, что выбранные параметры приемопередающего тракта не могут обеспечить требуемую погрешность и их необходимо корректировать, повторяя практически весь достаточно трудоемкий энергетический расчет.

Исходя из этого в статье сделана попытка заранее определить предельные значения некоторых параметров эхолота (ширина характеристики направленности (ХН) антенны, полоса пропускания предварительного усилителя и длительность зондирующего импульса) в зависимости от требуемой инструментальной погрешности приемопередающего тракта, соотношения сигнал/помеха, необходимого для работы того или иного индикаторного устройства и вероятности правильного обнаружения эхосигнала.

Предельная ( $P = 0,997$ ) инструментальная погрешность, вносимая в измерение глубины приемопередающим трактом эхолота определяется как [1]

$$M = \frac{C}{2q\Delta f} [4,5 - 2 \ln P(F)]^{1/2}, \quad (1)$$

где  $C$  – скорость звука в воде;  $q$  – соотношение сигнал/помеха;  $\Delta f$  – полоса пропускания предварительного усилителя;  $P(F)$  – вероятность ложной тревоги.

Согласно [2], вероятности  $P(D)$  правильного обнаружения и  $P(F)$  ложной тревоги связаны соотношением [

$$P(F) = P(D)^{1+q^2/2}. \quad (2)$$

Из (1) и (2) можно получить выражение

$$\Delta f = \frac{C}{2qM} [2,5 - q^2 P(D)]^{1/2}. \quad (3)$$

С другой стороны в [1] показано, что в случае оптимального приемника и длительности зондирующего импульса, согласованной с шириной ХН антенны

$$\Delta f = \frac{C}{2H} (1 - \cos(\alpha_o/2))^{-1}, \quad (4)$$

где  $H$  – измеряемая глубина;  $\alpha_o$  – ширина ХН антенны эхолота (на уровне 0,7 по давлению).

Из (3) и (4) получаем выражение для расчета максимально допустимой ширины  $XH$  антенны

$$(\alpha_o/2)_{max} = \arccos \left\{ 1 - \frac{M q}{H [2,5 - q^2 \ln P(D)]^{1/2}} \right\}. \quad (5)$$

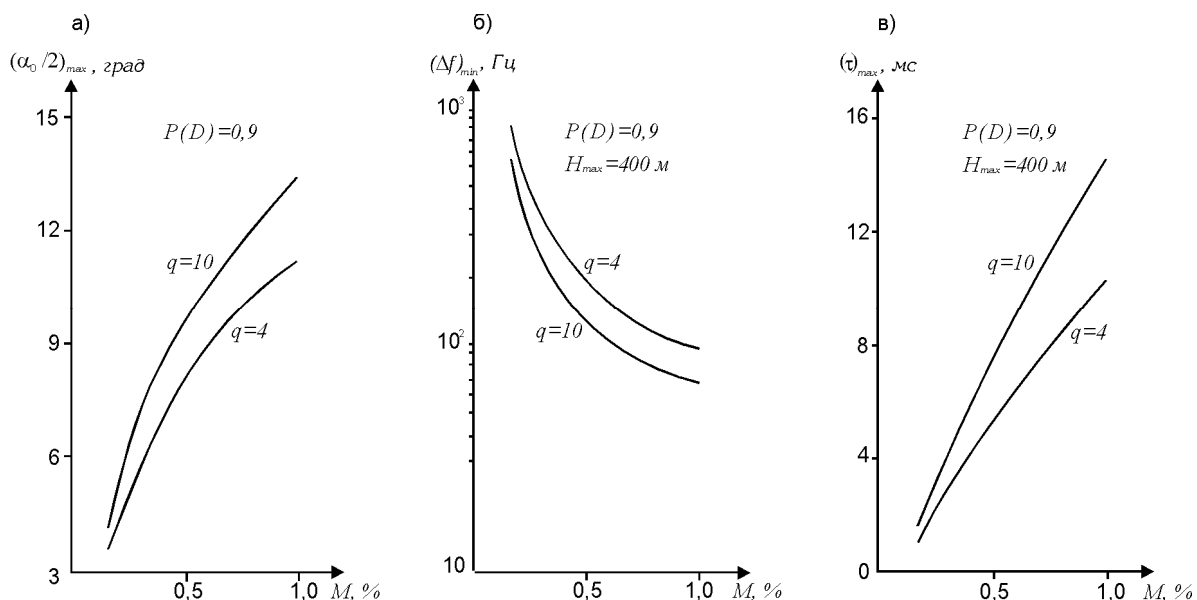
Выражение для расчета минимально допустимой полосы пропускания предварительного усилителя имеет вид, аналогичный (4)

$$(\Delta f)_{min} = \frac{C}{2H} [1 - \cos(\alpha_o/2)_{max}]^{-1}, \quad (6)$$

а выражение для максимально допустимой длительности зондирующего импульса  $\tau_{max}$  получаем с учетом того, что  $\Delta f = 1/\tau$

$$\tau_{max} = 1/(\Delta f)_{max}. \quad (7)$$

Для примера на рисунке показаны рассчитанные по (5)–(7) при  $P(D)=0,9$  зависимости рассматриваемых параметров от погрешности  $M$  и соотношения сигнал/помеха для наиболее часто используемых в эхолотах индикаторных устройств ( $q=4$  для электромеханического самописца и  $q=10$  для цифровых устройств).



Зависимости предельных значений ширины характеристики направленности антенны (а), полосы пропускания предварительного усилителя (б) и длительности зондирующего импульса (в) от инструментальной погрешности измерения глубины эхолотом.

Анализ рассматриваемых зависимостей подтверждает интуитивно понятное стремление сужать ширину  $XH$ , уменьшать длительность зондирующего импульса и расширять полосу пропускания предварительного усилителя для повышения точности измерения глубины. Следовательно, выражения (5)–(7) могут быть использованы для предварительного выбора соответствующих предельных параметров приемоусилительного тракта эхолота.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.А.Хребтов, К.А.Виноградов, В.Н.Кошкарёв и др. Судовые эхолоты // - Л.: Судостроение, 1982.-232 с.
2. Поиск, обнаружение и измерение параметров сигналов в радионавигационных системах / Под ред. Ю.М.Казаринова.- М.: Сов. радио, 1975. - 296 с.

ГРНТИ 78.25.31.35.29.29.29.29

**К ВОПРОСУ УЧЕТА МНОЖЕСТВЕННЫХ НЕИСПРАВНОСТЕЙ  
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СОСТАВА ОДИНОЧНОГО ЗИП  
НАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ**

**В.С.КРАСОВСКИЙ**  
(Гос.НИНГИ МО РФ)

*Предложен переход к количественной оценке состава одиночного ЗИП НК при множественных неисправностях; разработан обобщенный алгоритм обоснования ЗИП-0. Даны рекомендации по определению исходных данных для расчетов ЗИП-0 НК при боевых и аварийных повреждениях.*

В настоящее время одной из неисследованных областей при обосновании и формировании одиночного ЗИП как навигационных, так и других комплексов РЭВ кораблей, является определение его состава с учетом возможности повреждений, возникающих при авариях, технических происшествиях (пожары, взрывы, затопления помещений и т.д.) или при получении кораблем боевых повреждений.

Ординарность потока отказов современных РЭС – явление, характерное только для нормальных условий эксплуатации. В реальных условиях, особенно для технических средств, устанавливаемых на морских объектах, возможны ситуации, в которых явление ординарности потока отказов нарушается и одновременно возникает несколько неисправностей. Множественные неисправности могут быть следствием параллельного независимого возникновения отказов в нескольких участках аппаратуры, либо являются следствием одного первичного отказа, который влечет за собой цепь разрушений, распространяющихся к схемам защиты или к границам объема, занимаемого аппаратурой [1-3].

При этом, как показывает практика, элементы технических средств реагируют на поражающие факторы адекватно тем конструктивным решениям, которые были заложены в них при проектировании. Автоматизация процессов управления, способы получения и обработки информации в настоящее время разрабатываются в основном для эксплуатации в нормальных условиях, хотя в аварийных ситуациях некоторые системы способны транспортировать поражающие факторы в другие отсеки, инициируя возникновение вторичных аварий, вплоть до развития "машинного сценария" аварии [4]. Надо учитывать, что аварийная ситуация может протекать как сложная производная одновременного или последовательного действия двух и более поражающих факторов.

Необходимость проведения исследований по повышению обеспечения живучести кораблей и их комплексов, область разрешения которой включает и проблему формирования ЗИП, подтверждается неуклонно возрастающей аварийностью и даже гибелью кораблей ВМФ, при этом 60% составляет техническая аварийность [5-6].

В период 1946-1980 гг. во флотах капиталистических государств произошло более 140 аварий и катастроф пл, при этом 30 из них погибли. Причинами аварий являются аварии энергетических установок, пожары и взрывы, ошибки кораблевождения, водотечность трубопроводов, повреждения корпуса, неисправности систем гидравлики, столкновения с другими объектами.

Согласно данным мировой статистики, аварии судов по навигационным причинам составляют более 50% всех видов аварий, основными причинами которых были ненадежность аппаратуры и ее ограниченные информационные возможности.

При этом навигационная аварийность и аварии из-за отказов технических средств иностранных пл доходила почти до 70% от общего числа аварий пл [7].

Современные отечественные и иностранные подводные лодки отличаются наличием комплексных средств автоматизации, объединяющим звеном которых являются ЭВМ непрерывного действия. Электронные приборы и системы повышают эффективность действий и безопасность плавания. Вместе с тем их насыщенность увеличивает вероятность отказов технических средств. Так, на апл типа "Стерджен" общая масса электронного оборудования составляет 62 т. Общая масса приборов управления стрельбой пларб – 24,5 т. Это приборы, в составе которых более 11 тыс. съемных модульных блоков, простейших элементов в такой системе сотни тысяч, отсюда высокая вероятность отказов [8].

Оценочная величина вероятности возникновения аварии при эксплуатации корабельных комплексов РЭВ равна  $1 \cdot 10^{-5}$ . Однако аварии происходят и в таких, казалось бы надежных системах [9]. Это свидетельствует о невозможности достижения безопасности только за счет создания избыточной надежности. Ущерб боеготовности, наносимый авариями, становится особенно ощутимым при анализе обобщенной боевой готовности соединения в целом (а не отдельного корабля). При этом, чем меньше количество кораблей в соединении, тем больше потери боевой готовности от выхода из строя хотя бы одного из них.

Такая ситуация в ближайшей перспективе может оказаться характерной для нашего ВМФ в связи с резким сокращением кораблестроительной программы, выводом большого количества кораблей из состава флота, естественным старением оставшихся в строю боевых единиц, ограниченными финансовыми возможностями по их содержанию.

Наиболее важными и вероятными причинами возникновения множественных неисправностей, кроме аварий технических средств и технических происшествий, в ходе боевой деятельности корабля будут являться последствия однократных или многократных воздействий оружия, различающихся областью, продолжительностью, видами и мощностью действия.

К возможным поражающим факторам (ПФ), исключающим или ограничивающим возможность применения комплексов РЭВ по прямому назначению могут быть отнесены: пожары, повышение давления до величины прочности межотсечных переборок, поступление забортной воды, токсичных веществ, пара, радиационное воздействие при авариях ГЭУ. Учет и определение указанных характеристик, перечень помещений (отсеков), оборудования, наиболее подверженных их воздействию, должны производиться НИУ ВМФ и ЦКБ - проектанты кораблей на начальных стадиях проектирования корабля и комплектующего оборудования в формируемой исследовательской модели живучести, включающей две взаимосвязанные модели: формирования и развития ПФ и функционирования технических средств корабля.

Одним из практически приемлемых направлений в теории терминальных систем при поиске и идентификации причин аварийных ситуаций может стать применение функций опасности систем (ФОС), суть которых заключается в определении еще на этапе проектирования критерия перехода системы в опасное состояние. Применение ФОС может обеспечить системный подход к проблеме повышения безопасности эксплуатации боевых и технических средств при раскрытии сущности опасного состояния конкретных систем, структуры и взаимосвязи различных событий, приводящих к аварии [9].

Это предопределяет необходимость и возможность учета результатов такого моделирования при определении надежности и живучести навигационного оборудования и его ЗИП как в нормальных условиях функционирования, так и в экстремальных ситуациях. Ниже представлена обобщенная блок-схема (рисунок) обоснования количественного состава ЗИП-0 НК с учетом множественных неисправностей при боевых повреждениях, авариях и технических происшествиях с кораблем.

Для расчета количественного состава ЗИП-0 с учетом множественных неисправностей предположим, что фронт действия поражающего фактора больше геометрических размеров системы повреждаемого НК. В этом случае поражение коснется в одинаковой мере:

- собственно материальной части НК;
- средств измерений и диагностирования, встроенных в НК или находящихся в комплекте с НК и расположенных рядом с ним;
- запасных частей и инструментов, относящихся к НК (ЗИП-0).



Обобщенная блок-схема процесса обоснования ЗИП-0 НК с учетом множественных неисправностей.

Если принять положение, при котором повреждения всех перечисленных составных частей НК подчиняются биномиальному закону, то функция, определяющая плотность распределения числа повреждений по их числу равна [3]

$$f(q, k) = C_k^q (1-p)^q \cdot p^{k-q},$$

где  $C_k^q$  - число сочетаний;  $p$  - вероятность того, что средний блок типового элемента замены (ТЭЗ) останется исправным;  $q$  - число одновременно отказавших блоков из общего числа  $k$  в системе ( $0 \leq q \leq k$ ).

Предположим, что НК содержит  $A$  типов блоков, общее число которых

$$k = \sum_{i=1}^A k_i.$$



Тогда при поражении математическое ожидание числа пораженных блоков будет равно

$$E_q = k \cdot (1 - p) = \sum_{i=1}^A k_i (1 - p).$$

Если в этом же помещении расположен еще и ЗИП-0 объемом  $N_z = \sum_{i=1}^A N_{z_i}$ , то этот ЗИП также получит повреждения. При этом количество пораженных блоков ЗИП-0 составит:

$$E_{N_z} = N_z \cdot (1 - p) = \sum_{i=1}^A N_{z_i} \cdot (1 - p).$$

Таким образом, после воздействия поражающего фактора в ЗИП-0 окажется в среднем  $E_{N_z}$  поврежденных и  $(N_z - E_{N_z})$  неповрежденных блоков.

Далее выполняется замена  $E_q$  поврежденных блоков НК неповрежденными блоками из ЗИП-0, если этих блоков будет достаточно.

В целях обеспечения достаточности повреждаемого ЗИП-0 для восстановления НК составим неравенство вида

$$E_q \leq N_z - E_{N_z}$$

и раскроем его, в результате чего получим

$$\sum_{i=1}^A (1 - p) \cdot k_i \leq \sum_{i=1}^A N_{z_i} - \sum_{i=1}^A N_{z_i} \cdot (1 - p).$$

Откуда

$$\sum_{i=1}^A N_{z_i} \geq \frac{1 - p}{p} \cdot \sum_{i=1}^A k_i,$$

или

$$N_z \geq \frac{1 - p}{p} \cdot k.$$

При стремлении  $p$  к единице, т. е. высокой сопротивляемости или защищенности НК, величина  $N_z$  будет небольшой. Но уменьшение защищенности, особенно при комплексном воздействии поражающих факторов, ведет к снижению вероятности  $p$  и, следовательно, к увеличению комплекта ЗИП-0. Кроме того, если ЗИП рассчитывается на многократное получение повреждений в течение боевой операции, то его объем еще более возрастает до

$$N_z = \sum_{j=1}^b \frac{1 - p_j}{p_j} \cdot \sum_{i=1}^A k_i,$$

где  $b$  - количество одновременных воздействий ПФ.

Следовательно, ЗИП-0 для НК в расчете на время эксплуатации с учетом  $b$  воздействий должен содержать  $N_S$  запасных блоков и определяться по формуле

$$N_S = \sum_{i=1}^A N_{z_i} + \sum_{s=1}^b \frac{1 - p_j}{p_j} \cdot \sum_{i=1}^A k_i.$$

В настоящее время с учетом практики испытаний различных средств военной техники повреждения в зависимости от типа и силы ПФ условно подразделяются на несколько видов (таблица) [3]. Анализ характеристик отказов и неисправностей НК позволяет отнести большинство повреждений к слабым и средним. Конкретные значения вероятностей для различных условий воздействия ПФ должны определяться по специально разрабатываемым методикам на основе исследовательской модели живучести корабля.

**Классификация поражающих факторов**

Вид ПФ	Характеристика повреждений	Величина (1-p)
Слабые	Близкие к эксплуатационным отказам	<0,1
Средние	В объеме среднего ремонта	0,1-0,2
Сильные	В объеме капитального ремонта	0,2-0,4
Необратимые	Невосстанавливаемые	0,5-0,7

Предварительные расчеты показывают, что в ходе боевой деятельности в экстремальных ситуациях расход ЗИП-0 для отдельных приборов и систем НК может увеличиться в 1,1 – 1,5 раза.

Влияние множественных неисправностей на количественный состав ЗИП целесообразно проводить, начиная с начальных этапов проектирования НК с учетом – типа, назначения и тактики использования корабля, на котором устанавливается НК;

- опыта эксплуатации НК данного типа;
- возможностей и особенностей комплектования ЗИП-0 РЭВ данного корабля.

Для реализации вышеизложенного целесообразно:

1. Включать в ТТЗ на ОКР по разработке НК требования о проведении на этапах проектирования обоснования и расчетов ЗИП-0 с учетом снижения надежности отдельных систем НК при авариях, технических происшествиях с кораблем и получении им боевых повреждений.

2. При размещении ЗИП-0 в стойках НК и корабельных помещениях учитывать результаты моделирования живучести корабля в экстремальных ситуациях (по исходным данным НИУ ВМФ и ЦКБ - проектанта корабля).

3. При разработке системы эксплуатации, технического обслуживания и ремонта НК перед выходом в море предусматривать организационные мероприятия по формированию (доукомплектованию) ЗИП-0 с учетом обеспечения достаточности при функционировании НК в экстремальных ситуациях, в том числе с возможностью использования в качестве ЗИП блоков утилизируемых или находящихся в ремонте систем НК.

4. Создание на предприятиях-разработчиках НК, в ЦКБ-проектантах кораблей и НИУ ВМФ автоматизированных информационно-справочных систем, обеспечивающих обработку, систематизацию и обмен данными о надежности и использовании ЗИП корабельных комплексов в нормальных и экстремальных условиях функционирования.

5. Проведение всех видов испытаний систем НК целесообразно осуществлять с учетом возможных множественных неисправностей.

Обоснование количественного состава одиночного ЗИП с учетом возможных боевых и аварийных повреждений позволит повысить уровень надежности и живучести навигационных комплексов в ходе продолжительности плавания корабля.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Ксенз С.П. Диагностика и ремонтпригодность. М.: Радиосвязь, 1989,- 248 с.
2. Ксенз С.П. Теоретические и прикладные задачи диагностирования средств связи. Л.: ВАС, 1990,- 336 с.
3. Диагностирование средств связи и управления при эксплуатационных отказах и множественных аварийных повреждениях.- Под.ред.проф. С.П.Ксенза. Л.: ВАС, 1987,- 173 с.
4. Морской сборник. М.: Кр.Звезда, N4, 1994.
5. Ю.В.Самойлов. Эхо трагедии "Комсомольца". Морской сборник. М.:Красная Звезда", 1994, N4.
6. В.Селиванов. Оперативная и боевая подготовка флотов в зимнем периоде обучения. Мор.сборник. Кр.Звезда, 1994.- N6.
7. В.И.Зарудный. Надежность судовой навигационной аппаратуры. Л.: Судостроение, 1973.
8. Л.П.Хияйнен. Развитие зарубежных подводных лодок и их тактики. Под.ред. адм.флота Г.М. Егорова. М.: Воен.издат, 1988.- 240 с.
9. Г.Антонов, В.Курочкин. Некоторые теоретические аспекты аварийности с точки зрения практики. Мор.сборник, М.: Кр.Звезда, N6, 1994.

ГРНТИ 78.25.31.35.29.29.29.29

**ОБ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ПРОЕКТИРУЕМОГО  
НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА**

**П.Г.БРОДСКИЙ,  
Н.И.ЛЕДЕНЕВ,  
Т.Н.ФЛОРОВА**  
(Гос.НИНГИ МО РФ)

*Обосновывается возможность выработки рекомендаций по выбору наиболее рационального варианта технической структуры проектируемого НК на базе прогнозных моделей с использованием последовательного метода решений экстремальных комбинаторных задач. Приводится численный пример. Статья предназначена для специалистов, занимающихся вопросами оценки проектирования корабельных интегрированных навигационных систем.*

Как показывает опыт [1] нерациональные решения, принятые на ранних этапах проектирования, приводят не только к снижению качества создаваемой техники, но и к неоправданному росту затрат, увеличению сроков ее разработки.

Поэтому одним из актуальных вопросов является разработка и обоснование методов оценки качества проработок (предложений) промышленности на этапе проектирования перспективных средств военно-морской техники.

Эти методы должны более полно учитывать системно-структурные, системно-образующие (блочно-модульные), функциональные и другие свойства будущих образцов перспективных средств в увязке с экономикой.

На основании изложенного представляется целесообразным исследование вопроса оценки качества навигационного комплекса (НК) на различных этапах его жизненного цикла, особенно на ранних этапах проектирования. Понятие "Качество НК" включает совокупность свойств, удовлетворяющих определенные требования к НК в соответствии с его назначением. Качество НК определяется при одновременном рассмотрении и оценке оперативно-тактических, технических, эксплуатационных, конструкторско-технологических параметров, норм надежности, долговечности и экономических показателей стоимости создания и эксплуатации.

Современный НК можно рассматривать как сложную иерархическую блочно-модульную систему, принцип построения которой позволяет проводить исследование и анализ качества НК как системы в целом, так и по его отдельным составляющим блок-модулям (Б-М).

Рациональный выбор конструктивно сменных Б-М обеспечивает наиболее целесообразные варианты их сочетания в технической структуре НК и способствует оптимальному решению различных задач в соответствии с конкретными ситуациями.

Как правило, количественное выражение оценки качества любого средства представляется общим показателем качества, который включает в себя обобщенные показатели, формируемые как совокупности частных показателей качества оцениваемого средства, в данном случае НК. Математическое определение общего показателя качества Р может быть записано в виде

$$P = \sum_{i=1}^{I_1} \sum_{j=1}^{J_1} \alpha'_{ij} P'_{ij}; \quad i = \overline{1, I_1}; \quad j = \overline{1, J_1};$$

$$P'_{ij} = \sum_{i=1}^{I_1} \sum_{j=1}^{J_1} \alpha''_{ij} P''_{ij}; \quad i = \overline{1, I_1}; \quad j = \overline{1, J_1}$$

где  $P'_{ij}$  – обобщенный показатель качества НК;

$P''_{ij}$  – частный показатель качества НК;

$\alpha'_{i,j}, \alpha''_{i,j}$  – весовые коэффициенты  $P'_{ij}, P''_{ij}$  соответственно.

Определение весовых коэффициентов  $\alpha'_{i,j}, \alpha''_{i,j}$  осуществляется с помощью методов экспертных оценок [2,3].

В общем случае оценка качества НК может быть сведена к многокритериальной задаче оптимизации, которая решается с помощью экспертных оценок на базе современных математических методов, например, широко используемого метода максимизации линейной свертки [2,3].

При решении частных задач в процессе стендовых испытаний для оценки качества НК разрабатываются и реализуются полиномиальные фильтры, поканальная обработка информации с последующим безинерционным взвешиванием оценок, а также методы случайного поиска [4]. Предварительная оценка качества НК, проведенная на ранних стадиях проектирования, позволит с позиций системного подхода к формированию структуры НК по принципу модульности реализовать наиболее целесообразную информационную и функциональную интеграцию Б–М в НК.

Вместе с тем, учет критерия "качество/стоимость" на этапе проектирования дает возможность выработки рекомендаций по выбору наиболее рационального варианта Б–М в структуре НК из нескольких возможных для решения заданного перечня задач.

В основу выбора рационального варианта Б–М положен поиск явно выраженного оптимума при исследовании и анализе прогнозируемых (планируемых) показателей качества различных вариантов проектируемого НК с учетом прогнозируемых затрат на их достижение, выраженных в относительной мере (при сопоставлении их с аналогичными показателями НК–прототипа).

Постановка задачи выбора рационального варианта может быть сформулирована следующим образом: требуется получить максимальный показатель качества проектируемого НК при минимально возможных затратах путем выбора  $i$ –го варианта Б–М из  $I$  возможных для выработки  $j$ –го навигационного параметра из  $J$  заданных навигационных параметров ( $J$  задач) при условии, что все варианты Б–М способны вырабатывать все заданные параметры.

Данная задача представляет собой задачу многокритериального выбора и сводится к решению задачи максимизации линейной свертки вида

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J P_{i,j} Z_{i,j} \Rightarrow \max ,$$

где  $P_{i,j}$  – обобщенный показатель качества  $i$ –го варианта Б–М, выраженный в относительной мере, при выработке  $j$ –го параметра;

$Z_{i,j}$  – булева переменная, принимающая значение 1, если  $i$ –й Б–М выбран для выработки  $j$ –го параметра, иначе  $Z_{i,j} = 0$ .

При этом  $I \leq J$  и  $\sum_{j=1}^J Z_{i,j} = 1; i = \overline{1, I}$ .

Решение поставленной задачи может быть проведено с использованием последовательного метода решения экстремальных комбинаторных задач (ЭКЗ.), суть которого заключается в следующем [1,3]:

– исходная матрица  $P$  взаимосвязей показателей качества оцениваемого средства, выраженных в относительной мере, преобразуется в приведенную матрицу  $P^{np}$  в соответствии с уравнением

$$P_{i,j}^{np} = P_{i,j} - a_i - b_j; \quad i, j = \overline{1, I}, \quad (1)$$

где  $a_i = \min_j P_{i,j}$ ;

$$b_j = \min_i (P_{i,j} - a_i);$$

– матрица  $P^{np}$  преобразуется в матрицу  $P^l$  обратных взаимосвязей первого порядка согласно уравнению

$$P_{i,j}^l = \frac{P_{i,j}^{np}}{\sum_{i=1}^I P_{i,j}^{np} + \sum_{j=1}^J P_{i,j_i}^{np}}; \quad (2)$$

– из матрицы  $P^l$  выбирается максимальный элемент  $P'_{n,m}$  и проверяется условие

$$P'_{n,m} = \max_{i,j} P_{i,j}^l > \frac{1}{3}. \quad (3)$$

Если условие (3) выполняется, то

$$Z_{n,m} := I. \quad (4)$$

Согласно (4)  $n$ -ый вариант Б–М выбирается для выработки  $m$ -го параметра или решения  $m$ -ой задачи. Затем из матрицы  $P^{np}$  исключается  $n$ -ая строка и  $m$ -ый столбец, размерность  $P^{np}$  уменьшается на единицу:  $I = I - 1, J = J - 1$  и проверяется условие

$$I \leq 1. \quad (5)$$

Если условие (5) выполняется, то оставшийся  $i$ -ый вариант Б–М должен выработать  $j$ -ый параметр.

Если условие (5) не выполняется, то  $P^{np}$  с новой размерностью преобразуется согласно (2) и анализируется в соответствии с (3,4,5).

Если условие (3) не выполняется, то матрица  $P^l$  преобразуется в матрицу второго порядка  $P^k$  согласно (2), где  $K = 2$ ,  $P_{i,j}^{np}$  заменяется на  $P_{i,j}^l$ , а результат  $P^k$  анализируется в соответствии с (3,4,5) и так далее.

Таким образом строится матрица множества решений  $Z = Z_{I \times I}$  путем последовательного выбора максимального элемента матрицы обратных взаимосвязей  $P^k$  определенного порядка  $k$  ( $k = \overline{1, K}$ ) с анализом

$$P'_{n,m} = \max_{i,j} P_{i,j}^k > \frac{1}{3}; \quad i = \overline{1, I}; \quad j = \overline{1, J}; \quad k = \overline{1, K}$$

и последующим выбором Б–М варианта для решения  $m$ -й задачи, исключением  $n$ -й строки и  $m$ -го столбца из приведенной матрицы и дальнейших аналогичных преобразований до выполнения условия  $I \leq 1$ .

В результате проведенного выбора  $P'_{n,m}$  и  $\|Z_{n,m}\|_{I \times I}$  рассчитывается максимально возможный общий показатель качества проектируемого НК.

В качестве иллюстрации рассмотрим следующий пример.

Требуется определить максимально возможный общий показатель качества проектируемого НК, если известно, что планируемые три варианта его блочно-модульной структуры, включающие различные комплектации средств счисления и обслуживания, смогут обеспечить планируемые темпы роста его основных показателей: по точности выработки координат, курса и скорости с учетом затрат на их достижение по сравнению с НК-прототипом. Прогнозируемые численные значения показателей качества, выраженные в относительной мере ( $P_{\Delta\phi}/S_{\Delta\phi}, P_{\Delta k}/S_{\Delta k}, P_{\Delta V}/S_{\Delta V}$ ), для каждого варианта проектируемого НК сведены в таблицу.

Прогнозируемые значения показателей качества для различных вариантов НК

Вариант проектиру-	Показатель качества
--------------------	---------------------

Вариант проектируемого НК	Показатели качества		
	$P_{\Delta\phi, \Delta\lambda}/S_{\Delta\phi, \Delta\lambda}$	$P_{\Delta k}/S_{\Delta k}$	$P_{\Delta V}/S_{\Delta V}$
Проект 1	0,72	0,78	0,75

Проект 2	0,64	0,56	0,80
Проект 3	0,55	0,67	0,89

$$P = \begin{pmatrix} 0,72 & 0,78 & 0,75 \\ 0,64 & 0,56 & 0,80 \\ 0,55 & 0,67 & 0,89 \end{pmatrix}$$

Решение по методу ЭКЗ с использованием формул (1 ÷ 5) для преобразования исходной матрицы  $P$  вида

позволяет получить следующие результаты:

$$Z_{1,2} = 1; \quad Z_{3,3} = 1; \quad Z_{2,1} = 1,$$

что означает выбор Пр. 1 для выработки курса,  
 Пр. 3 для выработки скорости,  
 Пр. 2 для выработки координат,  
 а значение общего показателя качества НК составит 2,31.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвак Б.Г. Экспертная информация. Методы получения и анализа. М., Радио и связь, 1982.
2. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. М., Статистика, 1980.
3. Солдатенко Г.В. Последовательный метод решения экстремальных комбинаторных задач. Новосибирск, Наука, Сиб.отделение, 1991.

## СПУТНИКОВЫЕ И НАЗЕМНЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

ГРНТИ 78.25.31.35.29.31.29

### ТРЕБОВАНИЯ МОРСКОГО ФЛОТА К РАДИОНАВИГАЦИОННОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ

Ю.Г.ЗУРАБОВ,  
И.Н.МИЩЕНКО  
(ГП "Морсвязьспутник")

*Рассматриваются международные и национальные требования к навигационному обеспечению судов в различных условиях плавания и возможности их удовлетворения при использовании спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и НАВСТАР в стандартном и дифференциальном режимах.*

Требования морского флота к точности определения места судна приняты в 1983 г. на 13-й Ассамблее ИМО в виде Резолюции А.529(13), содержащей стандарты точности судовождения, которые учитывают нужды общего мореплавания. Более высокие требования предъявляются к радионавигационному обеспечению для решения специальных задач. Высокоточное определение места судна необходимо в системах управления движением по фарватерам и в узкостях, в особенности при использовании в системах зависимого автоматизированного контроля за судоходством.

Необходимость повышения точности радионавигационного обеспечения общего мореплавания определяется также предстоящим внедрением на морском флоте качественно новых технических средств судовождения – интегрированных навигационных систем, аппаратуры электронной картографии и средств автоматического управления по траектории. Требования к оснащению судов подобным оборудованием заложены в проект новой Главы V Конвенции СОЛАС.

До последнего времени ни одна из находящихся в эксплуатации радионавигационных систем (РНС) не могла полностью удовлетворить эти требования и на судах приходилось использовать дублирующую аппаратуру различных РНС – Декка, Лоран-С, "Транзит" и "Цикада". Все большее значение приобретают спутниковые РНС, которые обеспечивают глобальность обслуживания, высокую точность определения местоположения и независимость ее от времени года, суток и метеоусловий. Спутниковые навигационные системы (СНС) первого поколения – отечественная "Цикада" и американская "Транзит" – находятся в эксплуатации (система "Транзит" заканчивает свою работу в 1996 г.). Практически закончено создание им на смену глобальных СНС второго поколения – отечественной ГЛОНАСС и американской НАВСТАР (GPS). После принятия их в эксплуатацию и признания со стороны ИМО в качестве компонентов всемирной РНС они при работе в штатном и дифференциальном режимах будут способны полностью удовлетворить требования к навигационному обеспечению на всех этапах плавания. Причем аппаратура этих систем будет использоваться на судах в качестве основного навигационного оборудования.

**Международные и национальные требования к навигационному обеспечению судов.** В резолюции А.529(13) содержатся рекомендации правительствам-членам ИМО применять стандарты точности судовождения при оценке эффективности работы систем, предназначенных для определения места судна, в том числе систем радионавигации, включая спутниковые. В качестве характеристик точности судовождения при оценке тех или иных систем в ИМО принято использовать погрешности обсер-

вации места судна с 95% уровнем вероятности и промежуток времени, прошедший с момента последней обсервации.

Стандарты точности судовождения ИМО определяют требования, удовлетворяющие нужды общей навигации. При этом районы плавания для судов, следующих со скоростью до 30 уз, подразделяются на две основные зоны:

- подходы к портам и портовые воды, а также узкости, в которых ограничена свобода маневрирования;
- другие воды, имея в виду открытое море и прибрежные районы.

В первой зоне требования к точности судовождения зависят от местных обстоятельств (как правило, характеризуются величинами погрешности 10–20 м) и определяются национальными морскими Администрациями.

Во второй зоне они определены указанной Резолюцией и точность судовождения здесь должна быть не ниже 4% от расстояния до ближайшей навигационной опасности с максимумом в 4 мили при наибольшем допустимом интервале времени от последней обсервации. Этот интервал определяется по проводимым в Резолюции графикам и таблицам в зависимости от точности счисления пути и точности обсерваций по используемой системе. Но и в этой зоне при плавании на расстоянии 5–6 кабельтовых от опасности требуемая погрешность определения места не должна превышать соответственно порядка 45–50 м (95%) при дискретности обновления координат несколько секунд.

В 1989 г. на 16-й Ассамблее ИМО была принята Резолюция А.666(16), в которой определены эксплуатационные требования к Всемирным РНС и порядок их признания со стороны ИМО. Основными эксплуатационными характеристиками РНС, используемыми для их оценки, являются точность, доступность, надежность, частота обсервации, целостность и рабочая зона. В Резолюции подчеркнуто, что признание ИМО РНС будет означать, что она отвечает международным требованиям и способна их обеспечить. Одобрение системы должно производиться с согласия государства, владеющего ею, которое должно взять на себя обязательства обеспечивать:

- гарантию возможности длительного использования РНС;
- надежную ее работу;
- низкую стоимость применения системы для пользователей, что связано, в частности, с возможностью решения задач радионавигационного обеспечения с использованием на судне одного приемоиндикатора РНС и отказа от дублирующего оборудования;
- публикацию всех необходимых для пользователей данных о характеристиках и параметрах системы, ее состоянии и, в случае необходимости, о поправках к измерениям, получаемым при работе с системой, которые необходимо учитывать при ее навигационном использовании;
- возможность получения местоположения с заданными точностью и дискретностью в течение 99,8% в период 30 сут., т.е. непрерывного применения системы всеми пользователями в зоне ее действия с доступностью 99,8%;
- принятие надлежащих мер для постоянного контроля за возможностью использования системы и точностью обсерваций, получаемых с ее помощью, и для своевременной передачи информации пользователям о целостности системы с минимальной задержкой не более 10 с;
- принятие надлежащих мер для обеспечения безопасности мореплавания в тех случаях, когда возникает необходимость внесения изменений в характеристики или параметры системы, которые могут отрицательно повлиять на качество работы судовой аппаратуры; при внесении таких изменений ИМО, так же как и пользователи системы должны быть заблаговременно оповещены об этом;
- оказание помощи заинтересованным международным организациям в подготовке эксплуатационных стандартов для судового приемного оборудования системы.



Оценка РНС для их признания в качестве международных будет проводиться по единой процедуре, принятой ИМО, и осуществляться по ее поручению национальными администрациями стран-членов ИМО. В качестве критериев для оценки по предложению Международной Ассоциации Маячных Служб (МАМС) предлагается использовать следующие системные характеристики:

- абсолютную и повторяемую точность навигационных определений;
- дискретность обсерваций;
- надежность системы;
- помехозащищенность системы;
- возможность использования системы, т.е. ее доступность для потребителей;
- наличие информации о состоянии системы, т.е. о ее целостности.

Доступность РНС характеризует способность системы обеспечивать получение потребителем необходимой информации для достоверного определения своего местоположения в заданный момент времени с требуемой точностью. Численно доступность системы оценивается вероятностью получения потребителем такой информации.

Целостность РНС характеризует способность системы обнаруживать свое неправильное функционирование и исключать возможность использования при выходе рабочих характеристик за допустимые пределы. Численно целостность системы оценивается вероятностью оповещения потребителей при нарушении работы системы в пределах допустимого интервала времени.<sup>3</sup>

В международных организациях (ИМО, МАМС и др.) ведется работа по уточнению требований к точности обсерваций и другим системным характеристикам, а также процедуры их проверки. В 1995 г. на 41-й сессии ИМО Подкомитета по безопасности мореплавания подготовлена для одобрения на 10-й Ассамблее ИМО в 1996 г. новая редакция требований к Всемирной РНС вместо Резолюции А.666(16).

Требования к навигационной точности для конвенционных судов в открытом море соответствуют резолюции А.529(13), а для районов, ограниченных в навигационном отношении, они составляют от 10 до 200 м (табл.1).

Таблица 1

Требования к навигационному обеспечению для конвенционных судов (проект 1996 г.)

Районы плавания/ограничения по вместимости судов	Точность определения места, м	Доступность, %	Максимальная дискретность обсерваций, с
Открытое море – без ограничений для всех судов	В соответствии с Рез.А.529(13)	99,8	В соответствии с Рез.А.529(13)
Плавание в портах: при подходах к ним, а также в узкостях при ограниченной свободе маневрирования	10	99,8	2
Прибрежные воды, имеющие ограничения для судов свыше:			
– 40000 рег.т	20–200	99,8	30
– 10000 рег.т	10–150	99,8	30
– 1600 рег.т	10–100	99,8	30
– 150 рег.т	10–100	99,8	30

<sup>3</sup> О критериях доступности и целостности РНС см. также журнал “Навигация и гидрография”, 1995, №1, с.52-55 (Прим. ред.).

Для неконвенционных судов, таких как суда вместимостью менее 500 рег.т, прогулочные суда и суда, не имеющие механического двигателя, требования к точности при плавании в прибрежных районах составляют 10–100 м (табл.2).

Таблица 2

**Требования к навигационному обеспечению неконвенционных судов (проект 1996 г.)**

Группы неконвенционных судов	Точность определения места, м	Доступность, %	Максимальная дискретность наблюдений, с
Суда менее 500 рег.т	20–100	99,8	30
Суда без механического двигателя	20–100	99,8	30
Яхты	10–100	99,8	30

Для судов технического флота, выполняющих специальные задачи (морские исследования, гидрографические работы, прокладку кабеля или трубопровода и т.д.), требования к точности составляют менее 10 м, а осуществляющих рыбный промысел колеблются от 5 до 100 м в зависимости от района плавания (табл.3).

Таблица 3

**Требования к навигационному обеспечению судов технического флота и рыбопромысловых (проект 1996 г.)**

Характер задач, решаемых судном	Точность определения места, м	Доступность, %	Максимальная дискретность наблюдений, с
Поиск полезных ископаемых	1–3	99,8	10
Прокладка кабелей	1–2	99,8	10
Прокладка трубопроводов	1–2	99,8	10
Гидрографические исследования	1–10	99,8	10
Установка навигационных средств	1–10	99,8	10
Дноуглубительные работы	1–10	99,8	10
Швартовые операции	1–5	99,8	10
Рыбный промысел:			
– в открытом море	10–100	99,8	10
– в прибрежных водах	5–100	99,8	10
– в узкостях	5–50	99,8	10

В сентябре 1995 г. на 41-й сессии Подкомитета по безопасности мореплавания и сессии Рабочей Группы ИМО по будущей глобальной навигационной спутниковой системе (ГНСС) рассматривался проект требований морских потребителей к ГНСС (табл.4). Они касаются обеспечения общего мореплавания и прежде всего задач непрерывного счисления пути на электронных картах, контроля и управления по заданной траектории, выдачи данных в средства ГМССБ, зависимого наблюдения за судами, в “черный ящик” и для использования другими системами (требования, связанные с рыбным промыслом, гидрографическими работами и обеспечением решения других специфических задач на море могут быть более жесткими, чем приведенные в табл.4).

Таблица 4

**Предварительные требования морских потребителей  
к будущей глобальной навигационной спутниковой системе**

№ п/п	Параметры	Требования	Примечание
1.	Погрешность системы(*) применительно к определению положения антенны: – прогнозируемая  – повторяемая	$\leq 10$ м (95% времени) $\sim 14$ м	1. В открытых водах погрешности порядка 50-100 м могут быть достаточными. 2. Требования к повторяемой и/или относительной точности могут быть связаны с задачами “человек за бортом” и поисковыми операциями. 3. Повторяемая погрешность равна прогнозируемой погрешности системы, умноженной на $\sqrt{2}$ .
2.	Целостность системы (*): – задержка оповещения о выходе из строя – вероятность оповещения потребителей – допустимые пределы ухудшения работы системы	< 10 с  Подлежит определению Подлежат определению	1. Задержка определяется как интервал времени от момента выхода из строя до поступления информации об этом на мостик. 2. Для высокоскоростных судов (> 30 уз) и непосредственного управления судном требования, касающиеся задержки, могут быть выше (до 2 с).
3.	Доступность системы (**)  Допустимые пределы ухудшения работы системы	> 99,8 % (в течение 30 сут) Подлежат определению	1. Предполагается, что это требование связано с длительностью рейса судна. 2. Требования, касающиеся доступности, учитывают целостность системы.
4.	Надежность системы (**) при нормальном ее функционировании	> 99,97 % (в течение года)	—
5.	Непрерывность функционирования системы (**)	Подлежит определению	Специальные требования могут применяться для высокоскоростных судов и при плавании в узкостях.
6.	Зона покрытия системы (**)	Глобальная	—
7.	Неоднозначность навигационных определений системы (*)	Не должна быть	—
8.	Дискретность обновления данных о координатах (*)	По крайней мере каждые 10 с	Для высокоскоростных судов, при непосредственном управлении судном и выдаче данных на графический дисплей электронной карты дискретность может быть выше (до 2 с).
9.	Возможное количество потребителей системы (**)	Неограниченное	—

Примечания: (\*) Включая судовую приемную аппаратуру. (\*\*) Исключая судовую приемную аппаратуру.

Анализ основных характеристик находящихся в эксплуатации и разрабатываемых систем радионавигации показывает, что ни одна из них не удовлетворяет в полной мере международным и национальным требованиям к навигационному обеспечению морских и речных судов. Наиболее близки к ним по своим характеристикам СНС второго поколения – ГЛОНАСС и НАВСТАР (GPS). Они, в частности, практически полностью удовлетворяют требованиям к навигационному обеспечению морских потребителей в отношении точности, доступности и рабочей зоны.

Проводятся работы, направленные на улучшение характеристик целостности этих систем в плане повышения вероятности достоверности контроля оценки их работоспособности, а также повышения и сокращения времени оповещения потребителей данными о целостности системы.

Анализ результатов многочисленных экспериментальных исследований, в том числе проведенных в России в 1993 – 1995 гг. натурных испытаний различных типов приемоиндикаторов СНС НАВСТАР, системы ГЛОНАСС–Шкипер и совмещенной аппаратуры Челн-4 ГНСС ГЛОНАСС и НАВСТАР, показал, что погрешности определения местоположения по сигналам стандартной точности систем ГЛОНАСС и НАВСТАР в штатном режиме не превышают соответственно 50 и 100 м, а в дифференциальном режиме – 10 м (с вероятностью 95 %). Более высокие точности, полученные при использовании системы ГЛОНАСС в штатном режиме, объясняются отсутствием у нее специального режима селективного доступа, применяемого в системе НАВСТАР для закругления точностных характеристик. Из полученных данных видно, что СНС в штатном и дифференциальном режимах при использовании среднеорбитных сигналов стандартной точности удовлетворяют требованиям к навигационному обеспечению судов по точностным характеристикам во всех районах плавания, в том числе при подходах к портам, в портовых водах и узкозьях при ограниченной свободе маневрирования.

**Концепция построения морской дифференциальной подсистемы СНС.** Расширение функциональных возможностей СНС с целью повышения точности, надежности и эффективности радионавигационного обеспечения достигается введением дифференциального режима работы, который может рассматриваться как наиболее перспективный при плавании в условиях стесненного маневрирования. Навигационная безопасность плавания оценивается вероятностью прохода без соприкосновения с неподвижными надводными и подводными препятствиями с известными координатами. Вероятность безопасного прохода рассчитывается при условии отсутствия промахов в определении места. Для обеспечения возможности входа в установленную полосу движения судна (ширину фарватера или канала) предельная допустимая погрешность определения места не должна с вероятностью 95% превышать половины объявленной ширины полосы движения или половины ширины фарватера.

К системе определения места при этом предъявляются следующие требования:

- получение информации о месте судна непрерывно, в реальном масштабе времени или с малыми интервалами времени 2–10 с;
- погрешность определения места с вероятностью 95% в обслуживаемой зоне не должна превышать 10 м;
- информация, выдаваемая судоводителю, должна быть однозначной в пределах зоны действия системы и определять положение судна относительно оси фарватера на всем пути следования, не требуя дополнительных расчетов каких-либо параметров;
- должна представляться количественная оценка величины отклонения судна от оси фарватера с отображением параметров движения – продольной составляющей модуля вектора скорости и величины погрешности курса относительно оси фарватера;
- на дисплее приемоиндикатора должны индексироваться результаты расчета маршрутных координат: расстояния до точки поворота, величины бокового отклонения от оси фарватера, времени плавания до точки поворота, путевого угла;
- стоимость затрат при развертывании системы и в процессе ее эксплуатации должна быть минимальной.

Область применения дифференциального режима системы сравнительно широка. Суда транспортного, рыбопромыслового, речного флотов, а также суда других ведомств решают с точки зрения навигации аналогичные задачи. Это позволяет ввести ориентировочную градацию зон использования дифференциального режима в зависимости от радиуса действия, назначения дифференциальной подсистемы и решаемых задач с учетом существующих критериев судовождения и конкретных навигационных условий.

Зона 1-го типа, радиусом до 100 км, служит для обеспечения навигации при подходах к портам, в зонах стесненного плавания по фарватерам и каналам, где точность обсервации должна составлять 5–10 м ( $P=95\%$ ). В этой зоне дифференциальный режим СНС является важнейшим свойством контроля за положением судна в системе управления движением судов (СУДС), а также для промерных, гидрографических, дноуглубительных работ и при строительстве новых портов. Аналогичные зоны могут быть созданы на реках.

Зона 2-го типа, радиусом до 300 км и точностью обсерваций до 10 м, является зоной экономических интересов России. Может быть использована для повышения безопасности мореплавания в прибрежной полосе и в районах навигационных опасностей, для высокоточного эталонирования гидрографических работ, а также при ведении рыбного промысла.

Зона 3-го типа, радиусом до 1000 м и точностью обсерваций 10–15 м ( $P=95\%$ ), может использоваться потребителями при решении задач общего мореплавания и разработке полезных ископаемых, всепогодного выхода в заданную точку и при спасении терпящих бедствие.

Для реализации дифференциального режима, в дополнение к наземным штатным средствам СНС ГЛОНАСС и НАВСТАР, требуется создание дифференциальной подсистемы в составе опорных и контрольных (при необходимости и управляющих) станций, использующих средства связи для передачи сообщений потребителям и друг другу. При этом могут использоваться традиционные, спутниковые и специальные каналы радиосвязи.

Для морских потребителей по техническим и экономическим соображениям целесообразно использовать каналы морских радиомаяков. Существующая сеть их охватывает практически все районы, которые представляют интерес для морских потребителей и особенно хорошо развита в местах интенсивного судоходства. Современная тенденция развития радиомаячной службы определяется требованиями и рекомендациями ряда международных организаций. Согласно Регламенту (пункт 466), радиомаяки морской радионавигационной службы, которые работают в диапазоне частот 283–325 кГц, могут передавать дополнительную навигационную информацию, используя узкополосные системы (при условии, что выполнение основных функций радиомаяка не будет ухудшено). В соответствии с Резолюцией административной конференции по планированию морской радионавигационной службы в Европейской морской зоне (ЕМЗ), разнос частот каналов в ЕМЗ должен быть кратным 500 Гц. МАМС определены следующие технические характеристики передачи дифференциальных поправок СНС НАВСТАР и ГЛОНАСС с помощью радиомаяков:

- частотные диапазоны, предназначенные для морской навигации в 1-й зоне – от 283,5 до 315 кГц; во 2-й и 3-й зонах – от 286 до 325 кГц;
- передача поправок должна осуществляться непрерывно;
- скорость передачи поправок в сообщении должна быть 50, 100 или 200 бит/с;
- должна применяться MSK (Minimum Shift Keying) модуляция (манипуляция минимальным фазовым сдвигом). Двоичный ноль и единица представляются соответственно задержкой или опережением фазы на  $90^\circ$  относительно фазы несущего колебания на интервале длительностью 1 бит;
- занимаемая полоса частот при скорости передачи 200 бод составит 236 Гц для 99% мощности и 120 Гц для скорости 100 бод;

– для обеспечения минимальной интерференции соседних каналов и совместимости с полосой разделения каналов морских радиомаяков разделение несущих частот должно быть кратным 500 Гц.

МАМС и МСЭ, а также национальными организациями США разработаны основные нормативные документы для морской дифференциальной подсистемы СНС, в том числе:

– рекомендации МСЭ-RM.828 по техническим характеристикам передачи дифференциальных поправок для ГНС в диапазоне частот морских радиомаяков;

– рекомендации МАМС по техническим характеристикам передачи дифференциальных поправок для СНС в диапазоне частот морских радиомаяков;

– стандарт на передачу дифференциальных поправок дифференциальной подсистемы СНС (ДСНС) НАВСТАР Береговой охраны США NM165777 (апрель 1993 г.);

– стандарты RTCM на опорную и контрольную станции морской ДСНС (МДСНС), версия 1.0, декабрь 1993 г.;

– стандарт RTCM на дифференциальную подсистему ДСНС НАВСТАР, версия 2.1, 1994 г.

Разрабатывается также стандарт МЭК для аппаратуры МДСНС СНС (МЭК 1108-4).

Все эти документы регламентируют основные характеристики опорных, контрольных и управляющих станций, параметры сигналов и форматы передачи поправок и сообщений между станциями.

На основе указанных нормативных документов многие морские страны уже завершили работы по внедрению МДСНС. В Норвегии, Швеции, Канаде, США и других странах создаются сети опорных станций с использованием морских радиомаяков, часть из которых уже находится в эксплуатации. Для реализации дифференциального режима на судне кроме приемоиндикатора СНС с усовершенствованным матобеспечением требуется иметь специальное приемное устройство, сопрягаемое с этим приемоиндикатором.

За рубежом экспериментальная фаза исследования возможностей дифференциального режима СНС НАВСТАР практически закончилась и ряд фирм приступили к серийному выпуску аппаратуры для дифференциальных подсистем. В России в рамках ОКР “Зверь-М” разрабатывается аппаратура для совместной дифференциальной подсистемы СНС ГЛОНАСС и НАВСТАР. Она обеспечит независимое формирование дифференциальных сообщений и их последовательную или параллельную передачу в формате RTCM SC-104 при наличии, соответственно, одного или двух каналов передачи данных потребителям. Для передачи дифференциальных сообщений разрабатывается новое поколение радиомаяков, в которых один канал предназначен для стандартного пеленгационного сигнала, а другой для дифференциальных сообщений. При использовании такого радиомаяка только в дифференциальном режиме один из каналов может использоваться СНС ГЛОНАСС, другой – СНС НАВСТАР.

Использование дифференциального режима СНС позволяет значительно повысить точность и надежность навигационного обеспечения потребителей, т.е. расширить функциональные возможности использования таких систем. В этом случае точность повышается за счет вычисления на опорных станциях и передачи потребителям по каналам связи поправок, учитывающих постоянные и медленно меняющиеся составляющие ошибок измеряемых радионавигационных параметров. Одновременно повышается надежность за счет контроля контрольными станциями работоспособности дифференциальной подсистемы как части всей системы и оперативного оповещения потребителей о целостности системы.

Таким образом применение СНС ГЛОНАСС и НАВСТАР в стандартном и дифференциальном режимах позволяет иметь высоконадежную глобальную систему, не требующую наличия на судах какой-либо дублирующей радионавигационной аппаратуры. По своим тактико-техническим характеристикам такая система способна полностью удовлетворить всем международным и национальным требованиям как для плавания в открытом море, так и при проходе любых судоходных узкостей. Она обеспечивает на-

дежную и эффективную работу всех судовых навигационных средств, включая перспективную аппаратуру электронной картографии. Ее применение на судах позволит не только повысить безопасность мореплавания, но и получить значительный экономический эффект за счет сокращения пути следования судов и уменьшения расхода топлива, предотвращения экологических катастроф и т.д.

Следует подчеркнуть, что применение СНС в стандартном и дифференциальном режимах обеспечивает удовлетворение требований к навигационному обеспечению судов всех типов, от крупнотоннажных конвенционных до специальных научно-исследовательских судов и яхт.

Учитывая уже принятые международные и национальные решения по МДСНС, можно сделать однозначный вывод о перспективности ее построения на базе морских радиомаяков.

При использовании дифференциального режима работы СНС могут быть также успешно решены следующие специальные навигационные задачи:

- обеспечение высокоточного судовождения в узкостях, портовых водах и на внутренних водных путях (реках, озерах и водохранилищах);
- рыбный промысел в прибрежных водах, узкостях и в районах со сложной навигационной обстановкой;
- высокоточный промер глубин в прибрежных водах и узкостях;
- точное выставление и контроль за местоположением плавучих средств навигационного ограждения как на море, так и на реках и в узкостях;
- прокладка кабелей и трубопроводов как в прибрежных водах, так и в открытом море;
- геодезические и другие научные исследования в любых районах мира;
- обеспечение добычи полезных ископаемых и проведения необходимых изыскательских работ.

Исходя из задач, требующих использования дифференциального режима работы СНС, районами России, нуждающимися в первоочередном оснащении опорными станциями, являются:

- арктический регион от Мурманска до Берингова пролива и прежде всего его западный сектор (10–12 станций);
- восточная часть Финского залива и район порта Калининграда (2 станции);
- прибрежные воды Сахалина и Курильских островов (5–6 станций);
- подходы к портам Владивосток, Находка и Восточный (1–2 станции);
- подходы к портам Новороссийск, Таганрог и Керченскому проливу (1 станция);
- подходы к устью р. Волги и порту Астрахань (1–2 станции);
- подходы к порту Архангельск (1 станция).

Для навигационного обеспечения судов речного флота целесообразно в первую очередь оборудовать дифференциальной подсистемой СНС участки внутренних водных путей, для которых изданы навигационные карты, обеспечивающие инструментальные методы судовождения. К этим районам относятся:

- Ладожское и Онежское озера;
- Рыбинское водохранилище;
- нижние участки р. Енисей, Обь и Лена;
- участки р. Волга и Кама.

Предполагаемое оснащение опорными дифференциальными станциями позволит удовлетворить не только потребности общего мореплавания, но и нужды речников, рыбаков, гидрографов и промысловиков, для которых особо важными являются районы Баренцева и Карского морей, прибрежные воды Сахалина и северная часть Каспийского моря, а также указанные районы внутренних водных путей.

Департамент морского флота Минтранса совместно с ГУНиО МО РФ, Роскомрыболовством и Департаментом речного флота разработали проект межведомственной программы оборудования побережья морей в Российской Федерации дифференциальной подсистемой СНС ГЛОНАСС/НАВСТАР и предложения по размещению дифференциальных станций на базе существующих радиомаяков. Для этой цели в период

1996–1998 гг. предлагается развернуть сеть 30–35 опорных станций ДСНС ГЛО-НАСС/НАВСТАР, завершив в течение 1996–1997 гг. разработку соответствующей аппаратуры для реализации дифференциального режима.

**Заключение.** Анализ характеристик существующих и разрабатываемых РНС и имеющихся международных требований показывает, что наиболее перспективными современными средствами судового навигационного обеспечения судов являются СНС второго поколения ГЛОНАСС и НАВСТАР при их использовании в штатном и дифференциальном режимах.

В соответствии с нормативными документами, предложенными международными и национальными организациями, МДСНС для побережья морей Российской Федерации должна создаваться на базе радиомаяков. Она позволяет обеспечить точность обсервации не хуже 10 м с вероятностью 95%, что удовлетворит требования безопасности мореплавания на подходах к портам, в портовых водах, а также узкостях, где ограничена свобода маневрирования.

Применение действующих радиомаяков для передачи дифференциальных поправок позволяет использовать для создания МДСНС имеющуюся инфраструктуру и не требует оплаты канала связи для передачи сообщений. Для реализации проекта программы соответствующего оборудования морского побережья морей России требуется разработка отечественной или закупка импортной аппаратуры дифференциальных станций и приемников дифференциальных поправок, а также обеспечение необходимых мероприятий по полномасштабному развертыванию СНС.

ГРНТИ 78.25.31.35.29.31.29.33

#### **ПРОБЛЕМА ТОЧНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАДИАЦИОННОГО ДАВЛЕНИЯ НА КОРПУС КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В ЭФЕМЕРИДНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ЕКНС ГЛОНАСС**

**В.В.БУТЕНКО,  
А.Д.КУРОПЯТНИКОВ**  
(ЦНИИ ВКС МО РФ)

*Статья посвящена проблеме повышения точности эфемеридного обеспечения ЕКНС ГЛОНАСС в части высокоточного моделирования ускорений, возникающих от воздействия радиационного давления Солнца на движение навигационных космических аппаратов.*

Точность навигационного обеспечения потребителя ЕКНС ГЛОНАСС во многом определяется точностью эфемеридного обеспечения навигационных космических аппаратов (НКА), которая в свою очередь обуславливается погрешностями знания воздействия на орбиту объекта различных физических факторов, учитываемых в математической модели движения.

Для средневысотных космических систем, которой является и система ГЛО-НАСС, основными возмущающими факторами являются :

- гравитационное поле Земли;
- гравитационное притяжение Солнца, Луны, планет;
- радиационное давление (РД) на корпус НКА;
- отраженная от Земли солнечная радиация;
- приливные вариации в теле Земли;



Наиболее трудоемким вопросом математического моделирования влияния указанных факторов на движение НКА ГЛОНАСС является радиационное давление на корпус самого объекта, погрешности моделирования которого в настоящее время и сдерживают дальнейшее повышение точности прогнозирования (как суточного, так и долгосрочного) эфемерид НКА, а значит и точности навигационных определений потребителя. Сложности связаны в первую очередь с тем, что корпус космического аппарата представляет собой конструкцию сложной формы и для детального описания воздействия солнечной радиации на элементы конструкции, с учетом их взаимного затенения, необходимы сложные алгоритмы.

Модель радиационного давления (МРД) на НКА, используемая в настоящее время в эфемеридно-временном обеспечении системы ГЛОНАСС, учитывает давление трех компонент радиации [ 1 ]:

- прямого солнечного излучения;
- собственного теплового излучения радиационных поверхностей КА;
- уходящего излучения Земли.

Ускорение  $g$  НКА от сил радиационного давления представляется в проекциях на оси связанной с космическим аппаратом определенно выбранной системе координат (называемой номинальной панельной системой координат (НПСК)). При этом используется безразмерная форма представления в виде вектора  $ж$ , связанная с величиной ускорения  $g$  соотношением

$$g = \frac{\mu_c}{R_{co}^2} ж, \quad (1)$$

где  $\mu_c$  – гравитационная постоянная Солнца;

$R_{co}$  – расстояния от КА до Солнца.

Численное моделирование РД на корпус КА показало, что в области изменения переменных (плохо известных) параметров КА, близкой к их номинальным значениям, все три составляющие ускорения от РД на оси НПСК можно приближенно представить в виде однопараметрических выражений

$$ж_i(\theta_s) = x_i(\theta_s) + (I + M_i) [ж_{H_i}(\theta_s) - x_i(\theta_s)], \quad i = 1, 2, 3, \quad (2)$$

где  $\theta_s$  – угол Солнце - объект - Земля (СОЗ);

$ж_{H_i}(\theta_s)$  – функции изменения проекций  $ж_1, ж_2, ж_3$  от угла СОЗ, соответствующие используемой для данного КА номинальной модели РД;

$x_i(\theta_s)$  – функции, которые будем называть "узловыми" в том смысле, что они задаются прямыми линиями, соединяющими "узловые" точки (центры областей), в которых пересекаются кривые  $ж_{H_i}(\theta_s)$ , соответствующие различным значениям параметров объекта;

$M_i$  – параметр, варьирование которого в районе нулевого значения порождает семейство кривых  $ж_{H_i}(\theta_s)$  путем увеличения (при  $M_i > 0$ ) или уменьшения (при  $M_i < 0$ ) колебаний исходной функции  $ж_{H_i}(\theta_s)$  относительно узловой линии  $x_i(\theta_s)$ . При этом получаемое семейство близко к семейству кривых, получаемых при варьировании параметров КА вокруг их номинальных значений. Фактически коэффициенты  $M$  можно интерпретировать как взвешенные суммы отклонений истинных значений параметров КА от их принятых (номинальных) значений.

Модель РД включает также эмпирическую функцию  $q_T(\lambda)$ , описывающую конфигурацию "теневого горба" в остаточном трансверсальном ускорении. Указанный эффект в МРД моделируется эмпирической трансверсальной составляющей  $K_{T*} q_T(\lambda)$ , где  $\lambda$  – угол между направлением на Солнце и эклиптическим восходящим узлом орбиты КА;  $q_T(\lambda)$  – типичная для большинства КА функция "теневого горба" с единичной

амплитудой, являющаяся частью номинальных данных модели РД;  $K_T$  – амплитуда "теневого горба".

Исследования точности моделирования воздействия радиационного давления на движение навигационных космических аппаратов показывают, что основным источником погрешности являются случайные по характеру не моделируемые ускорения (СНУ), центра масс объекта, возникающие за счет:

- вариаций силы радиационного давления (СРД) на панели солнечных батарей (ПСБ), обусловленных недетерминированным изменением погрешности их ориентации на Солнце;

- вариаций СРД, обусловленных отличием реальных геометрических и оптических характеристик корпуса НКА ГЛОНАСС от номинальных (заложенных в алгоритме МРД);

- вариаций СРД, обусловленных недетерминированным изменением углов раскрытия створок жалюзи системы терморегулирования (СТР);

- вариаций СРД на корпус НКА, обусловленных недетерминированным изменением погрешности его ориентации по рысканию.

Вклад указанных факторов в предельную погрешность суточного прогноза эфемерид в пять раз превышает требования по влиянию радиационных факторов. Он на порядок (и более) превышает реальный вклад в погрешность эфемерид недетерминированных вариаций естественных факторов (магнитного поля, падающих потоков радиации) и вклад погрешностей согласованной геодезической модели космической навигационной системы (КНС) ГЛОНАСС.

Дальнейшее повышение точности эфемеридного обеспечения НКА системы ГЛОНАСС, из-за влияния указанных факторов, в той или иной степени требует конструктивных изменений самого объекта. В связи с существующей обстановкой, в настоящее время изменение конструкции НКА, требующее значительных финансовых и материальных затрат, представляется труднореализуемым. Для повышения точностных характеристик эфемеридного обеспечения ЕКНС ГЛОНАСС (за счет более высокоточного моделирования вариаций СРД) возможен подход, который не требует технических решений по изменению самого корпуса НКА или панелей солнечных батарей.

Известно, что значения ряда параметров, входящих на уровне исходных данных в МРД, были рассчитаны для номинальных величин оптических и геометрических характеристик корпуса объекта, а также условий работы системы ориентации. Значения этих параметров МРД для каждого конкретного КА известны с некоторой погрешностью и могут отличаться от номинальных в зависимости от конструктивных особенностей аппарата.

В связи с этим, в процессе штатного определения движения НКА по измерениям текущих навигационных параметров (ИТНП) уточняются значения остаточных ускорений, используемых на интервале решения.

Уточняемые по ИТНП параметры предназначены для согласования движения на интервале определения. Отслеживание их средних смещений относительно нуля позволяет (при необходимости) корректировать параметры  $\mathcal{J}_1, \mathcal{J}_2, \mathcal{J}_3, K_T$ , сводя к нулю эти средние смещения случайных по характеру уточняемых параметров. В связи с этим учет этих параметров целесообразно осуществлять только на интервале определения, за его пределами (в прогнозе) их значения полагаются нулевыми.

В состав уточняемых параметров входят:

- согласующее трансверсальное ускорение;

- согласующее ускорение по оси  $\mathcal{J}_1$  НПСК;

- согласующее ускорение по оси  $\mathcal{J}_2$  НПСК, меняющее свое направление по "закону запаздывания"  $\text{sign}(R_{co} \times V_{KA}) \times \mathcal{J}_3$ , где  $R_{co}$  – радиус-вектор Солнце-КА;  $V_{KA}$  – вектор скорости КА.

Корректируемые параметры позволяют компенсировать (устранить) погрешности модели, возникающие из-за несоответствия истинных параметров КА и номинальных (используемых в модели) значений параметров, а также методические погрешности модели РД. В состав корректируемых параметров входят:

- корректируемые коэффициенты, характеризующие отличие реальных параметров корпуса данного КА от номинальных;
- безразмерное добавочное ускорение, позволяющее компенсировать погрешности используемых параметров ПСБ, массы КА, погрешности номинальных функций;
- безразмерное добавочное ускорение, описывающее влияние несимметрии теплового излучения КА, которое позволяет компенсировать также влияние возможных систематических погрешностей ориентации ПСБ по рысканию.

Для вычисления корректируемых параметров МРД по результатам оперативных определений остаточных ускорений НКА разработана методика восстановления параметров МРД, которая основывается на том, что корректируемые параметры определяются по результатам остаточных ускорений КА методом наименьших квадратов. Вычислены частные производные от уточняемых по ИТНП (в ходе штатного технологического цикла управления) параметров по корректируемым.

Для расчета частных производных были введены допущения: движение Земли вокруг Солнца, а также движение Солнца по эклиптике равномерное, полагая, что источник света – Солнце – точечный, орбита НКА круговая и радиус-вектор КА ( $R$ ) значительно меньше расстояния от Солнца до КА ( $R_c$ ) (т.е.  $R \ll R_c$ ). Оценка точности данных производных показывает, что их погрешность находится на уровне 5-7%. Такая точность для задачи данного класса считается приемлемой.

Методика расчета частных производных в данной задаче позволяет, при наличии необходимой априорной информации, отказаться от конструктивных доработок корпуса НКА и его ПСБ при решении проблемы моделирования влияния СРД на объект и, тем самым, добиться повышения точности эфемеридного обеспечения КНС ГЛОНАСС, что в свою очередь позволит значительно улучшить точность навигационных определений потребителя. Анализ производных от уточняемых параметров по корректируемым позволил выделить оптимальные интервалы уточнения параметров модели РД, а также определить пути дальнейшего совершенствования МРД.

Исследования показали, что использование данной методики позволяет повысить точность суточного прогноза эфемерид НКА на 8-10%, а долгосрочного (30 суток) прогноза в 2-5 раз. Также были сформулированы предложения по технологии использования корректируемых параметров МРД при прогнозировании эфемерид НКА.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахтин А.Н., Куропятников А.Д. и др. Учет радиационного давления при высокоточном определении и прогнозировании КА системы ГЛОНАСС.- конференция в ВИККА им.А.Ф.Можайского, ноябрь 1993. // Сборник тезисов конференции.

ГРНТИ 78.25.31.35.29.31.29

## АПРИОРНАЯ ОЦЕНКА ДОСТУПНОСТИ СТРУКТУРНО–СЛОЖНЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**В.Я. КОМИН,  
А.Р. КОСУЛЬНИКОВ**  
(ВМА им. адм.Н.Г.Кузнецова)

*Рассматриваются вопросы априорной оценки доступности структурно–сложных радионавигационных систем с использованием общего логико–вероятностного метода. Предлагаются зависимости для расчета вероятностных показателей частных свойств доступности. В качестве примера приводятся структурно–логическая модель и вероятностная функция оценки доступности разностно–дальномерной радионавигационной системы. Дается сравнительная оценка доступности существующих радионавигационных систем и перспективной системы единого радионавигационного поля.*

Возможности использования радионавигационных систем (РНС) определяются состояниями, в которых они находятся. Под действием различных факторов каждая такая система может переходить из состояния, когда ее использование возможно, в состояние, не позволяющее применять ее по назначению.

Возможность получения потребителем достоверной навигационной информации в любой момент на заданном интервале времени характеризуется доступностью РНС [1]. Это положение определяется требованиями Резолюции ИМО А.666 (16) [2].

С точки зрения соответствия цели функционирования РНС, вычислимости и критичности, наиболее удобным показателем доступности является вероятность получения обсервации в любой момент на заданном интервале времени, значение которой можно определить как

$$P_d = \frac{T_p}{T_p + T_H} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $T_p$  – среднее время, в течение которого возможно определение места по системе;

$T_H$  – среднее время, в течение которого система неработоспособна (определение места невозможно).

Такой подход приемлем для апостериорной оценки доступности РНС на этапе ее эксплуатации.

Однако большой практический интерес представляет также возможность априорной оценки доступности на этапах проектирования и создания РНС, получения прогнозируемой оценки для любых условий обстановки.

Такая оценка позволит выявить наиболее уязвимые узлы, объекты, организационные связи в структуре системы, наиболее опасные возможные виды воздействий на нее различных неблагоприятных факторов, выработать предложения по защите объектов РНС, определить пути повышения ее доступности в целом.

К основным частным свойствам доступности могут быть отнесены:

- надежность;
- помехоустойчивость;
- живучесть.

Априорная оценка доступности РНС в целом для прогнозируемых условий обстановки на заданном промежутке времени производится на основе оценки вероятностных показателей частных свойств доступности отдельных элементов системы.

Последние могут быть рассчитаны в соответствии с выражениями, приведенными ниже.

1. В качестве основного комплексного показателя **надежности** принят **коэффициент готовности**:

$$K_G = \frac{T_O}{T_O + T_B}, \quad (2)$$

где  $T_O$  – средняя наработка на отказ;

$T_B$  – среднее время восстановления или **коэффициент оперативной готовности**:

$$K_{OG} = K_G \cdot P(t), \quad (3)$$

где  $P(t) = e^{-\lambda t}$  – вероятность безотказной работы;

$\lambda$  – интенсивность отказов.

2. Вероятностный показатель **помехоустойчивости** приемной аппаратуры  $P_{ny}$  оценим, исходя из предположения, что помеха носит случайный характер и распределена по нормальному закону. Тогда справедливо выражение

$$P_{ny} = P(0 < K < K_{npe\delta}) = \Phi_O \left( \frac{K_{npe\delta} - m}{\sigma_K} \right) + \left( \frac{m}{\sigma_K} \right), \quad (4)$$

где  $K_{npe\delta}$  – предельное (пороговое) отношение помеха/сигнал, при котором аппаратура ещё выполняет заданные функции;

$m = \frac{E_n}{E_c}$  – математическое ожидание случайной величины отношения поме-

ха/сигнал  $K$  в конкретных условиях обстановки;

$E_n, E_c$  – напряженность электрического поля помех и полезного сигнала, соответственно;

$\sigma_K$  – суммарное среднее квадратическое отклонение (СКО) случайной величины  $K$  в конкретных условиях обстановки;

$\Phi_O(x)$  – интеграл вероятностей (интеграл Лапласа–Гаусса).

Зная или задаваясь значениями  $m, \sigma_K$  и  $K_{npe\delta}$ , можно вычислить соответствующую им вероятность  $P_{ny}$ .

Экспериментально определенные значения СКО отношения сигнал/помеха составляют:

- 3–5 дБ — для сверхдлинноволнового и длинноволнового диапазона волн;
- 10–15 дБ — для средневолнового диапазона.

Расчёт помехоустойчивости  $P_{ny}$  приемоизмерительной аппаратуры для различных значений  $m$  свидетельствует о том, что даже при незначительных отклонениях  $m$  от значения  $K_{npe\delta}$ , вероятность помехоустойчивой работы приемоизмерительного устройства резко изменяется от 0 до 1.0. Поэтому, для практических расчетов можно считать, что:

- если  $m > K_{npe\delta}$ , то  $P_{ny} = 0$
- если  $m < K_{npe\delta}$ , то  $P_{ny} = 1,0$
- если  $m = K_{npe\delta}$ , то  $P_{ny} = 0,5$ .

3. Для оценки помехоустойчивости РНС в целом, при выполнении расчетов, связанных с оценками ее доступности, удобно использовать **коэффициент подавления РНС**

$$K_n = \frac{S_n}{S_{P\text{ HC}}}, \quad (5)$$

где  $S_n$  – площадь рабочей зоны РНС, подавленной помехой;

$S_{P\text{ HC}}$  – общая площадь рабочей зоны РНС.

Данный показатель, основанный на учете энергетических соотношений между сигналами РНС и помехой, в конечном счете, характеризует степень сокращения рабочей зоны РНС при действии помех различного типа на корабельные приемоизмерительные устройства и на приемные устройства каналов синхронизации наземных станций.

**4. Показатель живучести  $P_{ж}$**  определяется стойкостью объектов РНС к воздействию поражающих природных факторов и их восстанавливаемостью.

Все элементы радионавигационных систем рассчитываются на определенные предельные значения параметров поражающих факторов. Если  $W$  – предельное (пороговое) значение параметра поражающего фактора, при котором элемент РНС еще может функционировать исправно, то для конкретного района расположения РНС может быть определена вероятность  $P_W$  появления поражающего природного фактора (землетрясение, извержение вулканов, цунами, ураган, наводнение, сильные оледенения и др), по своим параметрам превышающего  $W$  —  $W_{np} > W$ .

Тогда вероятность сохранения работоспособности элемента РНС при воздействии поражающего природного фактора  $P_{cm} = 1 - P_W$ , а живучесть  $P_{ж}$  восстанавливаемого объекта РНС при воздействии природного фактора можно представить как

$$P_{ж} = P_{cm} + P_W \cdot \frac{t}{t + t_B}, \quad (6)$$

где  $t$  – промежуток времени, на котором оценивается доступность РНС;

$t_B$  – среднее время восстановления (развертывания из резерва) объекта РНС.

Живучесть объекта РНС, среднее время восстановления которого значительно больше промежутка времени, на котором оценивается его доступность, следует принять равной его стойкости:

$$P_{ж} = P_{cm}.$$

Радионавигационные системы обладают высокой структурной и функциональной сложностью. Это приводит к тому, что во многих случаях становится практически невозможным ручное построение требуемых математических моделей для оценки их доступности из-за высокой трудоемкости этой работы. Если допустим, построить марковскую модель пятиэлементной РНС, то общее число ее элементарных несовместных состояний в графе переходов составит – 32, для систем из 10 бинарных элементов – 1024, а из 11 элементов – 2048 и т.д. Теоретически, размерности логических и вероятностных моделей в логико-вероятностном методе оцениваются числами:  $K_1 = 2^H$  – число конъюнкций логической функции;  $K_2 = 2^{K_1}$  – число слагаемых в вероятностной функции;  $H$  – число элементов исследуемой системы.

Поэтому в качестве инструмента для оценки доступности РНС выбран метод автоматизированного структурно-логического моделирования сложных систем, теоретической основой которого выступает общий логико-вероятностный метод [3,4]. Это дает возможность моделировать немонотонные системы, снимает ограничения структурных схем (за счет введения логической операции “НЕ” – инверсии) и позволяет вводить в структуру системы группы несовместимых событий.

Сущность метода логико-вероятностного моделирования заключается в декомпозиции структурных и логических моделей системы до бинарных состояний, построении на основе проведенной декомпозиции схемы функциональной целостности, выборе логического критерия целостности (функционирования) системы и построении логической и вероятностной функции ее доступности.

Для анализа доступности РНС автоматизированная система моделирования (АСМ) предусматривает реализацию трех этапов исследований.

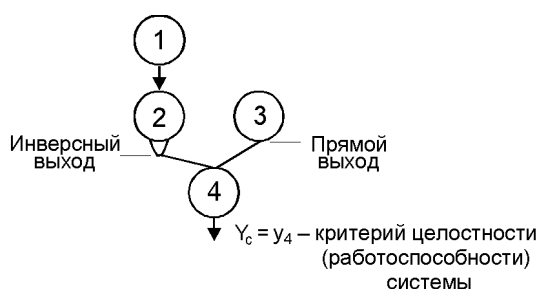
**Этап 1. Формализованная структурная постановка задачи моделирования**

Включает в себя:

- разработку формализованной структурной модели (схемы) исследуемой системы;
- задание критерия исследуемого режима (или нескольких критериев) функционирования системы;
- определение числовых значений исходных вероятностных параметров элементов.

Выполнение первого этапа исследований продемонстрируем на примере построения модели для оценки доступности объекта РНС и разностнодальномерной РНС 6–ти стационарного состава (для максимального числа станций, предусмотренного в современных отечественных РНС).

**Модель для оценки доступности объекта РНС** (например, радионавигационной станции, входящей в структуру системы) в виде схемы функциональной целостности (СФЦ) объекта представлена на рис. 1.



**Рис.1. Схема функциональной целостности объекта РНС:**

1 ÷ 4 – функциональные вершины (события).

На этом рисунке вершина 1 соответствует событию появления природных факторов с параметрами, превышающими пороговые значения для данного объекта РНС. Вершина 2 отражает событие невозможности восстановления пораженного природным фактором объекта РНС за допустимое время. Вершина 3 отражает событие помехоустойчивой работы приемоизмерительной аппаратуры объекта РНС. Вершина 4 соответствует работоспособному состоянию объекта РНС в случае, когда обеспечивается его помехозащищенность и он остается непораженным или восстанавливает

свою работоспособность после воздействия природного фактора, не предусмотренного условиями нормальной эксплуатации.

Таким образом, доступность объекта РНС характеризуется логическим критерием целостности вида  $Y_c = y_4$ .

Вероятность 1-го события определяется стойкостью объекта РНС к воздействию природного фактора и равна вероятности  $P_W$  появления в районе расположения этого объекта природного фактора с параметрами  $W_{np} > W$ . Ее значение выбирается с помощью справочников и атласов геофизических и гидрометеорологических условий. Вероятность 2-го события –  $P_{HB}$  – вероятность невозможности объекта РНС при поражающем воздействии природного фактора, определяемая как

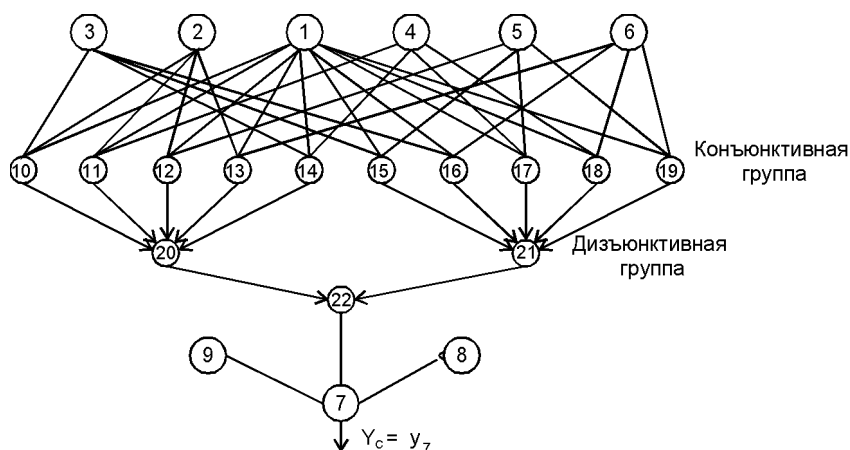
$$P_{HB} = 1 - P_B = 1 - \frac{t}{t + t_B} \tag{7}$$

Вероятность 3-го события соответствует вероятности помехоустойчивой работы приемоизмерительной аппаратуры объекта РНС и определяется по формуле (4).

Вероятность 4-го события определяется как коэффициент готовности или оперативной готовности данного объекта РНС.

**Модель разностнодальномерной РНС 6-ти станционного состава** может быть представлена в виде более сложной схемы функциональной целостности (рис.2).

Вершины 1 ÷ 6 соответствуют доступности наземных станций РНС. Вероятности этих событий  $P_1 \div P_6$  можно рассчитать по формуле (8), или с использованием программы АСМ и схемы функциональной целостности вида, приведенной на рис.1.



**Рис.2. Схема функциональной целостности разностнодальномерной РНС 6-и станционного состава:**  
 1 ÷ 9 – функциональные вершины; 10 ÷ 22 – фиктивные вершины.

Вершина 7 отражает надежность бортовой аппаратуры потребителя (корабельного приемодикатора). Вероятность этого события  $P_7$  равна коэффициенту оперативной готовности приемодикатора, определяемому в соответствии с формулой (3).

Вершина 8 соответствует событию подавления части или всей рабочей зоны РНС радиопомехой. Вероятность события  $P_8$  оценивается, согласно (5), коэффициентом подавления РНС.

Вершина 9 отражает возможность определения места в гидрометеорологических условиях района нахождения потребителя. Конструктивные особенности различных приемодикаторов, а также используемых антенных устройств накладывают определенные ограничения на условия внешней среды, при которых допускается определение места объектом навигации. Эти условия оговариваются в технической документации для конкретных типов приемодикаторов и антенных устройств. Вероятность события 9 –  $P_9$ , соответствует вероятности непревышения пороговых значений гидрометеорологических условий в районе нахождения потребителя.

С помощью фиктивных вершин 10 ÷ 22 представлены все возможные исходы определения места по разностно-дальномерной РНС 6-ти станционного состава (место можно определить по сигналам ведущей станции и хотя бы двух ведомых).

Доступность такой РНС определяется логическим критерием целостности вида  $Y_c = y_7$ .

В совокупности перечисленные данные составляют структурно-логическую модель исследуемой системы.



**Этап 2. Автоматическое формирование с помощью ЭВМ расчетной математической модели оценки доступности.** В результате автоматизированного моделирования с использованием пакета АСМ получена вероятностная функция для оценки показателя доступности объекта РНС

$$P_{д}^{обРНС} = P_3 P_4 (Q_1 + P_1 Q_2) = K_{ог} P_{ны} [P_{cm} + (1 - P_{cm}) P_B] \quad (8)$$

и вероятностная функция для оценки доступности разностнодальномерной РНС с 6-ю наземными станциями

$$P_{д}^{рорНС} = P_1 P_7 Q_8 P_9 (P_5 P_6 + P_4 Q_5 P_6 + P_4 P_5 Q_6 + P_3 Q_4 Q_5 P_6 + P_3 Q_4 P_5 Q_6 + P_3 P_4 Q_5 Q_6 + P_2 Q_3 Q_4 Q_5 P_6 + P_2 Q_3 Q_4 P_5 Q_6 + P_2 Q_3 P_4 Q_5 Q_6 + P_2 P_3 Q_4 Q_5 Q_6), \quad (9)$$

где  $Q_i = 1 - P_i$ .

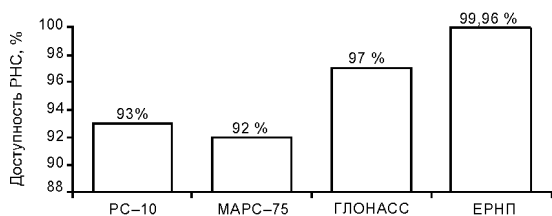
**Этап 3. Автоматическое выполнение расчетов числовых значений характеристик доступности системы и значимостей всех ее элементов.** С помощью автоматизированного структурно-логического моделирования получены вероятностные функции для оценки доступности различных систем навигационного оборудования, в том числе некоторых вариантов построения системы единого радионавигационного поля (ЕРНП).

Эти математические модели учитывают сложную структуру взаимодействия элементов систем и позволяют дать оценку доступности РНС.

Так, например, доступность РНС БРАС и МАРС-75 в течение годового временного промежутка, рассчитанная на основе статистических данных эксплуатации этих систем за 1981–1991гг. с использованием выражения (1), лежит в пределах  $P_{д}^{БРАС} = 0,81 \div 0,98$  и  $P_{д}^{МАРС-75} = 0,88 \div 0,98$ . Доступность же этих систем, рассчитанная с использованием метода логико-вероятностного моделирования, составляет  $P_{д}^{БРАС} = 0,86 \div 0,91$  и  $P_{д}^{МАРС-75} = 0,88 \div 0,93$ .

Сравнительный анализ доступности наземных РНС, работающих в разностнодальномерном, квазидальномерном и дальномерном режимах свидетельствует о том, что при всех равных прочих условиях наибольшей доступностью обладают дальномерные и квазидальномерные РНС. Это объясняется тем, что работа станций названных РНС не зависит от ведущей станции. Причем, увеличение числа станций более 5 существенного выигрыша в доступности системы не дает.

Сравнительный анализ доступности СВ РНС РС-10, ДВ РНС МАРС-75, среднеорбитальной СНС ГЛОНАСС и перспективной системы единого ЕРНП [5,6], в состав которой подсистемами войдут перспективные РНС СВ и ДВ диапазонов и СНС ГЛОНАСС, для определенных одинаковых условий обстановки, свидетельствует о том, что система ЕРНП будет иметь существенный выигрыш в доступности (рис.3.).



**Рис.3. Показатели доступности существующих РНС и перспективной системы ЕРНП.**

Автоматизированная система моделирования позволяет определить значимости отдельных элементов в обеспечении доступности системы в целом

$$Z_i = \frac{dP_{д}(t)}{dP_i(t)},$$

где  $P_{д}(t)$  – показатель доступности системы;

$P_i(t)$  – вероятностный параметр элемента системы.

На рис.4 показан для примера гистограмма значимостей элементов СФЦ разностнодальномерной РНС в составе ведущей (ВЩ) и пяти ведомых (ВМ) станций.

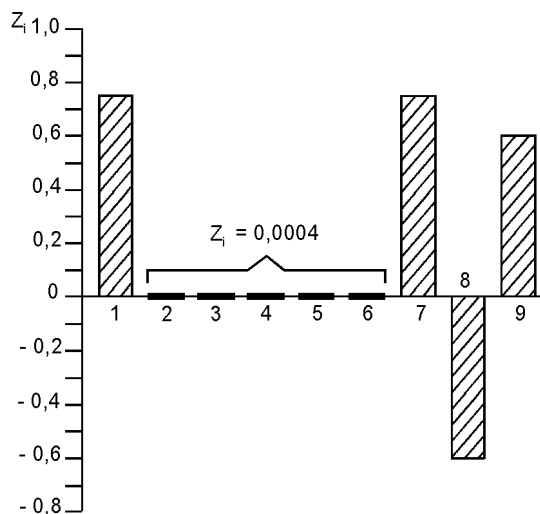


Рис.4. График значимостей элементов СФЦ разностнодальномерной РНС:

- 1 – доступность ВЩ станции;
- 2 ÷ 6 – доступность 1 ÷ 5 ВМ станции, соответственно;
- 7 – коэффициент оперативной готовности приемоиндикатора;
- 8 – коэффициент подавления РНС;
- 9 – благоприятные гидрометеорологические условия в районе потребителя.

Из приведенных данных следует, что:

1. Для разностнодальномерных РНС наибольший положительный вклад в доступность систем в целом имеет устойчивость ведущей станции, а также надежность бортовой аппаратуры потребителей;

2. Наиболее опасными видами воздействий на РНС являются радиопомехи в диапазоне рабочих частот сигналов РНС. Таким образом, предлагаемый способ априорной оценки доступности радионавигационных систем с использованием логико-вероятностного метода позволяет:

- оценить доступность структурно-сложных РНС еще на этапе их разработки и проектирования;
- получить прогнозируемые оценки доступности РНС для любых условий обстановки;
- выявить наиболее уязвимые узлы, объекты, организационные связи в структуре РНС, наиболее опасные возможные виды воздействий на нее различных неблагоприятных факторов;
- определить пути повышения доступности РНС в целом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базаров Ю.И., Катенин В.А., Трегубов В.С. О критериях доступности и целостности спутниковых и наземных радионавигационных систем/ "Навигация и гидрография" № 1 – С.-Пб.: Гос.НИНГИ МО РФ, 1995.
2. Государственная научно-техническая программа "Российский радионавигационный план". – М.: МВК: Радионавигация, 1994. – 65с.
3. Можяев А.С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем/ Учебное пособие. – Л.: ВМА, 1988.
4. Черкесов Г.Н., Можяев А.С. Логико-вероятностные методы расчета надежности структурно-сложных систем/ Сборник "Качество и надежность". – М.: Знание, 1991.
5. Гужва Ю.Г. и др. Перспективные направления развития координатно-временного обеспечения./ "Радионавигация и время" № 1. – С.-Пб.: РИРВ, 1992.
6. В. Макода, Ю. Базаров, В. Дзюба. Взгляд на концепцию развития радионавигации в России./ "Морской сборник" № 10.–М.: Красная звезда, 1994.

ГРНТИ 78.25.31.35.29.31.29.33

## ФАЗОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИИ ПО СИГНАЛАМ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

**В.И.РЕЗНИЧЕНКО,  
А.А.ШАШКОВ**  
(Гос.НИНГИ МО РФ)

*Рассматривается интерферометрический метод определения ориентации объектов по данным спутниковой навигационной системы. Сформулировано понятие геометрического фактора для определения ориентации объекта, выведены формульные зависимости.*

Анализ современных отечественных и зарубежных образцов аппаратуры потребителей спутниковых навигационных систем (СНС) свидетельствует о стремлении к расширению их функциональных возможностей. В новых приемоиндикаторах наряду с определением координат места и вектора скорости вырабатываются параметры пространственной ориентации объекта. Для их определения используются измерения разности фаз сигналов космических аппаратов (КА), принимаемых на разнесенные антенны. Исследованию этого метода посвящен ряд работ [1–4], содержащих подчас противоречивые сведения о достижимых характеристиках.

Для оценки потенциальных характеристик фазового метода рассмотрим следующую ситуацию. Пусть морской подвижный объект с центром масс  $M$  движется относительно Земли (рис.1). Наряду с поступательным движением морской объект в условиях качки и маневрирования совершает вращательное движение вокруг точки  $M$ . Положение объекта в пространстве – ориентация объекта – характеризуется совокупностью параметров ориентации. Применительно к морским и воздушным объектам это могут быть углы качки и рысканья (см.рис.1). Для приема сигналов СНС и реализации фазового метода определения ориентации используются разнесенные приемные антенны, фиксированные в корабельной системе координат (рис.2). Если пренебречь весьма малым в сравнении с дальностью КА отстоянием центральной антенны от центра масс объекта, то в системе  $Mxyz$  положение КА можно определять величиной соответствующего вектора  $|\vec{r}_c|$  и направляющими косинусами вектора визирования  $\vec{r}_c / \cos q_x, \cos q_y, \cos q_z$ , либо координатами КА, представляющими собой проекции вектора на соответствующие оси:  $r_{cx} = |\vec{r}_c| \cos q_x$ ,  $r_{cy} = |\vec{r}_c| \cos q_y$ ,  $r_{cz} = |\vec{r}_c| \cos q_z$ . Вся перечисленная информация, характеризующая положение КА относительно объекта, может быть получена в процессе обсервации по сигналам СНС.

Использование данных СНС для определения ориентации объекта возможно, если известна связь углов  $\psi, \nu, \gamma$  с данными, полученными в процессе обсервации. Такая связь выявляется при рассмотрении выражений для проекций вектора визирования КА на оси трехгранников  $M\xi\eta\zeta$  и  $Mxyz$ . В рассматриваемом случае эти выражения соответствуют матричной зависимости

$$\begin{bmatrix} r_{cx} \\ r_{cy} \\ r_{cz} \end{bmatrix} = B \cdot \begin{bmatrix} r_{c\eta} \\ r_{c\zeta} \\ r_{c\xi} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $r_{cx}, r_{cy}, r_{cz}$  и  $r_{c\eta}, r_{c\zeta}, r_{c\xi}$  – проекции вектора визирования КА;

$B$  – преобразующая матрица, соответствующая рассматриваемой геометрии [5].  
Выполнение действий (1) приводит к выражениям:

$$\begin{aligned}
 r_{cx} &= \cos \psi \cos \vartheta r_{c\eta} + \sin \vartheta r_{c\zeta} - \sin \psi \cos \vartheta r_{c\xi}; \\
 r_{cy} &= (\sin \psi \sin \gamma - \cos \psi \sin \vartheta \cos \gamma) r_{c\eta} + \cos \vartheta \cos \gamma r_{c\zeta} + \\
 &+ (\cos \psi \sin \gamma + \sin \psi \sin \vartheta \cos \gamma) r_{c\xi}; \\
 r_{cz} &= (\sin \psi \cos \gamma + \cos \psi \sin \vartheta \sin \gamma) r_{c\eta} - \cos \vartheta \sin \gamma r_{c\zeta} + \\
 &+ (\cos \psi \cos \gamma - \sin \psi \sin \vartheta \sin \gamma) r_{c\xi}.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

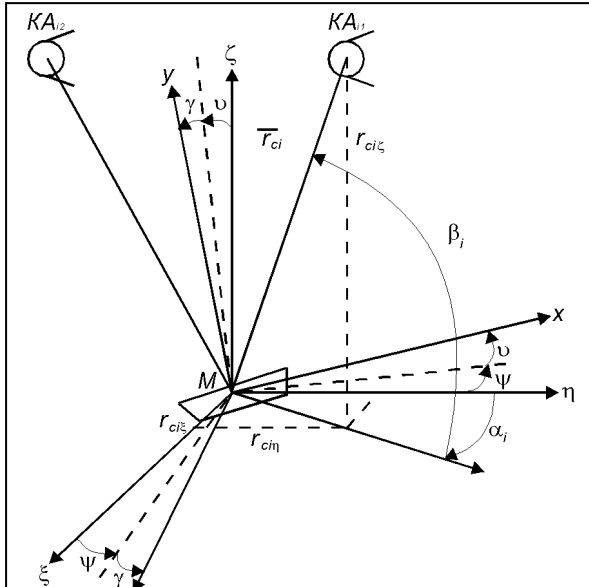


Рис.1. Принятые системы координат морского подвижного объекта:

- $M$  – центр масс рассматриваемого объекта;
- $M_{\xi\eta\zeta}$  – горизонтальная координатная система;
- $M_{xyz}$  – система координат, жестко связанная с объектом;
- $\gamma, \vartheta$  – углы бортовой и килевой качки;
- $\psi$  – угол рыскания;
- $\bar{r}_{ci}$  – вектор визирования  $KA_i$ ;
- $\alpha_i, \beta_i$  – азимут и высота  $KA_i$ , соответственно.

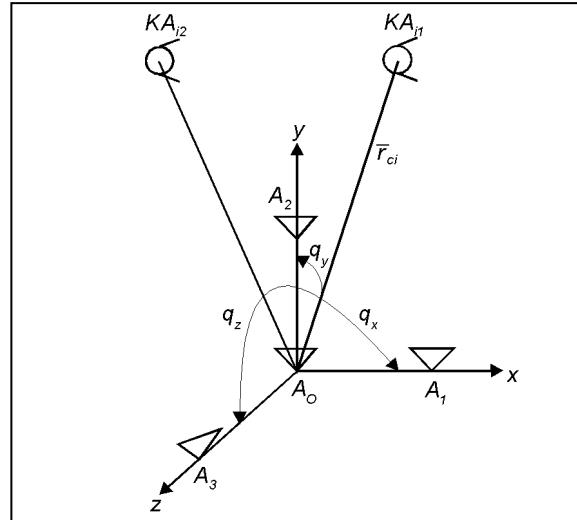


Рис.2. Трехбазовый интерферометр из четырех корабельных антенн:

- $A_0$  – центральная антенна;
- $A_1, A_2, A_3$  – разнесенные антенны;
- $q_x, q_y, q_z$  – углы.

Из механики известно, что определение угловой ориентации объекта в пространстве при помощи измерений векторных величин требует измерений как минимум двух неколлинеарных векторов [6]. При использовании двух КА, если ограничить диапазон изменения углов  $\psi, \vartheta, \gamma$  в (2) малыми значениями, при которых можно положить  $\cos x \approx 1, \sin x \approx x, x^2 \approx 0$ , получим систему линейных уравнений для искомых параметров:

$$\begin{aligned}
 r_{icx} &= r_{ic\eta} + \vartheta r_{ic\zeta} - \psi r_{ic\xi}; \\
 r_{icy} &= -\vartheta r_{ic\eta} + r_{ic\zeta} + \gamma r_{ic\xi}; \\
 r_{icz} &= \psi r_{ic\eta} - \gamma r_{ic\zeta} + r_{ic\xi},
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

где  $i = 1, 2$  – индексы КА.

Решая систему уравнений (3), получим формулы связи параметров ориентации  $\psi, \vartheta, \gamma$  с положением КА ( $r_{c\xi}, r_{c\eta}, r_{c\zeta}$ ) и результатами измерений ( $r_{cx}, r_{cy}, r_{cz}$ ):

$$\begin{aligned}
 \psi &= \frac{(r_{2c\xi} - r_{2cz})r_{1c\zeta} - (r_{1c\xi} - r_{1cz})r_{2c\zeta}}{r_{1c\eta}r_{2c\zeta} - r_{2c\eta}r_{1c\zeta}}; \\
 \vartheta &= \frac{(r_{2c\eta} - r_{2cx})r_{1c\xi} - (r_{1c\eta} - r_{1cx})r_{2c\xi}}{r_{1c\zeta}r_{2c\xi} - r_{2c\zeta}r_{1c\xi}}; \\
 \gamma &= \frac{(r_{2c\zeta} - r_{2cy})r_{1c\eta} - (r_{1c\zeta} - r_{1cy})r_{2c\eta}}{r_{1c\xi}r_{2c\eta} - r_{2c\xi}r_{1c\eta}}; \\
 \psi &= \frac{(-r_{2c\eta} + r_{2cx})r_{1c\zeta} - (-r_{1c\eta} + r_{1cx})r_{2c\zeta}}{r_{1c\xi}r_{2c\zeta} - r_{2c\xi}r_{1c\zeta}}; \\
 \vartheta &= \frac{(-r_{2c\zeta} + r_{2cy})r_{1c\xi} - (r_{1c\zeta} + r_{1cy})r_{2c\xi}}{r_{1c\eta}r_{2c\xi} - r_{2c\eta}r_{1c\xi}}; \\
 \gamma &= \frac{(-r_{2c\xi} + r_{2cz})r_{1c\eta} - (-r_{1c\xi} + r_{1cz})r_{2c\eta}}{r_{1c\zeta}r_{2c\eta} - r_{2c\zeta}r_{1c\eta}}.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Каждая из формул (4) отражает связи, имеющие место при работе приемной аппаратуры СНС от одной пары разнесенных антенн (однобазовых интерферометров) с базой, параллельной одной из осей системы. Совокупность формул (4) описывает связи параметров ориентации объекта (углы  $\psi, \vartheta, \gamma$ ) с положением КА относительно объекта  $(r_{c1\xi}, r_{c1\eta}, r_{c1\zeta}, r_{c2\xi}, r_{c2\eta}, r_{c2\zeta})$  и измерительной информацией  $(r_{c1x}, r_{c1y}, r_{c1z})$  трехбазового интерферометра.

В связи с тем, что для получения формул (4) использованы линеаризированные уравнения, применение их целесообразно при малых углах ориентации объекта.

Оценивая возможности использования интерферометров для определения ориентации по формулам (4), следует отметить, что при работе однобазового интерферометра по двум КА одновременно можно определить два угла. Это углы  $\psi$  и  $\vartheta$  при продольном расположении базы,  $\psi$  и  $\gamma$  при поперечном расположении,  $\vartheta$  и  $\gamma$  при вертикальном расположении. Однако при этом возникают трудности, обусловленные структурой формул определения углов (3), поскольку необходимо отличие знаменателя от нуля. Поэтому при выборе пары КА следует учитывать условие

$$r_{1ci}r_{2cj} - r_{1cj}r_{2ci} \neq 0, \tag{5}$$

где  $i = \xi, \eta, \zeta$ ;  $j = \eta, \zeta, \xi$  или  $\zeta, \xi, \eta$ .

Это обязывает исключать использование тех КА, положение которых не удовлетворяет этому условию. Очевидно неприемлемым является выбор КА, расположенного на направлении нормали к осям  $i$  и  $j$ . В этом случае координаты КА имеют значение  $r_{1ci} = r_{1cj} = 0$  или  $r_{2ci} = r_{2cj} = 0$ , что приводит к невыполнению условия (5). На основании (5) можно записать общее выражение, которое характеризует недопустимое соотношение координат радиусов-векторов КА

$$\frac{r_{1ci}}{r_{2cj}} \neq \frac{r_{1cj}}{r_{2ci}}.$$

Использование двух- и трехбазового интерферометров обеспечивает определение всех трех параметров ориентации. Причем, ориентации баз вдоль осей  $x, y$  соответствуют две формулы вычисления  $\vartheta$  и по одной формуле вычисления углов  $\psi$  и  $\vartheta$ . Ориентации баз вдоль осей соответствуют две формулы вычисления и по одной формуле вычисления углов. В случае трехбазового интерферометра для определения каждого из параметров ориентации существуют две независимые формулы. Наличие двух независимых формул для вычисления одного параметра обусловлено использованием измерительной информации от интерферометров с различным расположением базовых линий антенн.

Известно, что точность определения навигационных характеристик объекта по сигналам СНС существенно зависит от взаимного положения объекта и навигационных КА. Широко распространенным является метод оценки точности с использованием геометрического фактора [7]. При решении задачи определения параметров ориентации объекта с использованием однобазовых интерферометров по формулам (4) для геометрических факторов можно ввести обозначения

$$\Gamma_{\psi}^x, \Gamma_{\psi}^z, \Gamma_{\vartheta}^x, \Gamma_{\vartheta}^y, \Gamma_{\gamma}^y, \Gamma_{\gamma}^z,$$

где  $\psi, \vartheta, \gamma$  – индексы определяемых параметров;

$x, y, z$  – индексы ориентации базовых линий антенн.

С учетом введенных обозначений погрешности определения параметров ориентации можно записать в виде произведений

$$\begin{aligned} \Delta \psi &= \Gamma_{\psi}^x \delta_x; & \Delta \vartheta &= \Gamma_{\vartheta}^x \delta_x; & \Delta \gamma &= \Gamma_{\gamma}^y \delta_y; \\ \Delta \psi &= \Gamma_{\psi}^z \delta_z; & \Delta \vartheta &= \Gamma_{\vartheta}^y \delta_y; & \Delta \gamma &= \Gamma_{\gamma}^z \delta_z, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\delta_x, \delta_y, \delta_z$  – имеют смысл “эквивалентных погрешностей” косинусов углов [7].

Влияние расположения используемых КА на точность определения параметров ориентации проявляется через проекции радиусов-векторов КА в правой части выражений (4).

Формулы (4) содержат параметры углового положения КА в неявном виде и отражают взаимное расположение объекта и КА. На основании (4), (6) путем дифференцирования по переменным  $r_{cx}, r_{cy}, r_{cz}$  и исключения параметра дальности КА в числителе и знаменателе и суммирования случайных погрешностей получим аналитические выражения геометрических факторов

$$\begin{aligned} \Gamma_{\psi}^x &= \frac{\sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}}{\text{abs}(\cos \beta_1 \sin \alpha_1 \sin \beta_2 - \cos \beta_2 \sin \alpha_2 \sin \beta_1)}; \\ \Gamma_{\psi}^z &= \frac{\sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}}{\text{abs}(\cos \beta_1 \cos \alpha_1 \sin \beta_2 - \cos \beta_2 \cos \alpha_2 \sin \beta_1)}; \\ \Gamma_{\vartheta}^x &= \frac{\sqrt{(\cos \beta_1 \sin \alpha_1)^2 + (\cos \beta_2 \sin \alpha_2)^2}}{\text{abs}(\sin \beta_1 \cos \beta_2 \sin \alpha_2 - \sin \beta_2 \cos \beta_1 \sin \alpha_1)}; \\ \Gamma_{\vartheta}^y &= \frac{\sqrt{(\cos \beta_1 \sin \alpha_1)^2 + (\cos \beta_2 \sin \alpha_2)^2}}{\text{abs}[\cos \beta_1 \cos \beta_2 (\cos \alpha_1 \sin \alpha_2 - \sin \alpha_1 \cos \alpha_2)]}; \\ \Gamma_{\gamma}^y &= \frac{\sqrt{(\cos \beta_1 \cos \alpha_1)^2 + (\cos \beta_2 \cos \alpha_2)^2}}{\text{abs}[\cos \beta_1 \cos \beta_2 (\sin \alpha_1 \cos \alpha_2 - \cos \alpha_1 \sin \alpha_2)]}; \\ \Gamma_{\gamma}^z &= \frac{\sqrt{(\cos \beta_1 \cos \alpha_1)^2 + (\cos \beta_2 \cos \alpha_2)^2}}{\text{abs}(\sin \beta_1 \cos \beta_2 \cos \alpha_2 - \sin \beta_2 \cos \beta_1 \cos \alpha_1)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Численные значения геометрического фактора, зависящие от конкретного положения используемых КА, определяют степень ухудшения точности навигационного сеанса. Поскольку знаменатели выражений (7) эквивалентны знаменателям (4), то наибольшее численное значение геометрический фактор приобретает при невыполнении условия (5). Наименьшее численное значение геометрического фактора равно единице и соответствует наиболее благоприятному расположению используемых КА. Значения геометрического фактора, соответствующие конкретным сочетаниям всех видимых КА могут быть вычислены по формулам (7). Сопоставление этих значений позволяет выбирать пару КА, обеспечивающую наиболее высокую точность навигационного сеанса.

На основании анализа уравнений связи параметров ориентации объекта с информацией, получаемой в процессе обсервации по сигналам СНС, можно сделать следующие выводы:

- по сигналам двух КА при использовании однобазового интерферометра возможно одновременное определение различных двух из трех углов ориентации в зависимости от расположения базовой линии разнесенных антенн;
- при использовании двух или трех баз интерферометра определяются все три угла ориентации;
- точность определения параметров ориентации зависит от конкретного расположения КА и может быть оценено по приведенным формулам.

Моделирование процесса определения угла  $\psi$ , например, при расположении двух спутников с  $\alpha_1 = 30^\circ, \beta_1 = 30^\circ, \alpha_2 = 0^\circ, \beta_2 = 90^\circ$  показало зависимость точности  $\psi$ , определяемой геометрическими факторами  $\Gamma_{\psi}^x = 2,58$  и  $\Gamma_{\psi}^z = 1,49$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абросимов В.Н. и др. Использование системы НАВСТАР для определения угловой ориентации объектов. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1989. – №1.
2. Никитенко Ю.И., Устинов А.В. К определению угловой ориентации осей симметрии судна по сигналам двух ИСЗ среднеорбитальной СНС. // Материалы XVI международной научно-технической конференции секции радиосвязи и радионавигации ГМА им. адм. С.О. Макарова. – Москва, 1992. – Том 1.
3. Фатеев Ю.П., Чмых М.К. Моделирование алгоритмов измерения угловых координат объектов на основе глобальных навигационных спутниковых систем. // Тезисы докладов научно-технической конференции Красноярского ГТУ. – Красноярск, 1994.
4. Резниченко В.И. Определение параметров пространственной ориентации морских объектов по сигналам среднеорбитальных СНС. // Материалы научно-технической конференции НИНГИ МО РФ. – С.-Петербург, 1992.
5. Ривкин С.С. Статистический синтез гироскопических устройств. – Л.: Судостроение, 1970.
6. Липтон А. Выставка инерциальных систем на подвижном основании. – М.: Наука, 1971.
7. Бортовые устройства спутниковой радионавигации. Под ред. В.С.Шебшаевича. – М.: Транспорт, 1988.

## СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГИДРОГРАФИИ, МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИРОВОГО ОКЕАНА

ГРНТИ 78.21.39.17.17.17

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ О ВЫСОТАХ ГЕОИДА ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕЛЬЕФА ДНА

**Э.С.ЗУБЧЕНКО**  
(Гос. НИНГИ МО РФ)

*На основе методов цифровой фильтрации выполнено определение рельефа дна и детектирование подводной горы. С этой целью использовались высоты геоида на подспутниковых трассах отечественной геодезической системы и соответствующие батиметрические данные на районы Сомалийской котловины и юго-западнее подводного хребта Рейкьянес. Средняя квадратическая погрешность определения рельефа составила 136 м или 4% от средней глубины. Сигнал распознавания получен для подводной горы с высотой 1 км и глубиной над вершиной порядка 2 км.*

До настоящего времени лишь в незначительных по площади районах Мирового океана рельеф дна обследован с необходимой подробностью для обеспечения безопасности мореплавания. Поэтому поиск новых эффективных средств и методов оперативного получения данных о рельефе дна в малоизученных районах Мирового океана остается актуальной задачей.

Методы предсказания рельефа дна и обнаружения подводных гор по данным о высотах геоида, полученным в результате обработки радиовысотомерных измерений с американского космического аппарата *Seasat*, рассмотрены в работах [1-3]. Применяя подход, изложенный в этих работах, оценим эффективность использования для решения рассматриваемой задачи данных о высотах геоида, полученных по измерениям отечественной космической геодезической системы.

Для предсказания глубин брались отсчеты высоты геоида по двум подспутниковым трассам, проходящим через Сомалийскую котловину в Индийском океане, и данные промера, выполненного специально для этих целей в 1989 году с океанографического исследовательского судна "Василий Головин". При этом отсчеты высот геоида и глубины были взяты только на совпадающих участках подспутниковых трасс и пути судна. Длина выбранных участков была ограничена величиной 170,5 км, соответствующей максимальному числу отсчетов высот геоида, кратному второй степени. Последнее обстоятельство определялось особенностью использовавшейся при обработке данных стандартной программы быстрого преобразования Фурье. Глубины промера были линейно интерполированы в точки отсчетов высот геоида. Выбранные исходные данные подвергались обработке по исключению трендов путем линейной аппроксимации каждого из наборов данных и последующего вычитания из каждого отсчета соответствующего линеаризованного значения параметров.

Используя подход, изложенный в [4], частотная характеристика фильтра  $Q(k)$  для предвычисления рельефа дна вычислялась по формуле [4]



$$Q(k) = \frac{\left| \sum_1^m [z(k)\zeta^*(k)]_m \right|}{\sum_1^m [\zeta(k)\zeta^*(k)]_m}, \quad (1)$$

где  $z(k), \zeta(k)$  – пространственный спектр вариаций соответственно глубин и высот геоида;

$k$  – номер отсчета в частотной области,

$m$  – количество использованных для осреднения рядов данных.

Знак \* обозначает комплексно сопряженную величину.

Вычисление спектра выполнялось по формуле дискретного преобразования Фурье [5]

$$X(k) = \sum_{n=1}^N x(n) \exp(-j2\pi k n/N), \quad (2)$$

где  $x(n)$  – отсчет периодического продолжения преобразуемого ряда данных;

$j$  – мнимая единица;

$n$  – номер отсчета в пространственной области;

$N$  – количество отсчетов.

Предвычисления вариаций глубин  $\Delta z$  на одном из участков трассы, принятого за эталонный, в точках отсчетов высот геоида выполнялись с использованием обратного преобразования Фурье [5] и аппроксимированной частотной характеристики фильтра  $Q'(k)$  по формуле

$$\Delta z(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N Q'(k) \zeta(k) \exp(j2\pi k n/N), \quad (3)$$

где  $\zeta(k)$  – спектр вариаций высоты геоида на эталонном участке трассы;

$n$  – номер отсчета в пространственной области.

На рис.1 показан предвычисленный по формуле (3) профиль вариаций глубин и фактический профиль по данным промера. Среднее квадратическое отклонение профилей составило 136 м, что составляет порядка 4% от средней глубины на данном участке трассы.

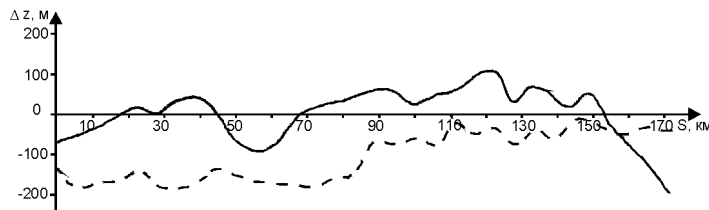


Рис.1. Результат предвычисления рельефа дна с помощью цифровой фильтрации отсчетов высот геоида на подспутниковых трассах:

—— фактический профиль глубин; ----- предвычисленный профиль глубин.

Для оценки метода обнаружения подводных гор были использованы высоты геоида на подспутниковой трассе, проходящей через подводную гору, расположенную в Атлантическом океане к юго-западу от хребта Рейкьянис. Вершина подводной горы расположена на глубине 2073 м, а ее основание окаймлено изобатой 3500 м.

На рис.2 показаны профили глубин и высот геоида по подспутниковой трассе, проходящей через подводную гору. Из рисунка видно, что подводной горе соответствует аномалия высоты геоида с максимумом амплитуды примерно 15 см, приходящимся на отсчет, несколько смещенный относительно положения вершины горы.

Для обнаружения аномалии, вызываемой подводной горой, использовался оптимальный фильтр, частотная характеристика которого вычислялась по формуле [2]

$$H(k) = \frac{\zeta_m(k)}{P(k)}, \quad (4)$$

где  $\zeta_m(k)$  – спектр аномалии высоты геоида над подводной горой заданных размеров;  
 $P(k)$  – плотность спектральной мощности шума радиовысотомерной измерительной системы.

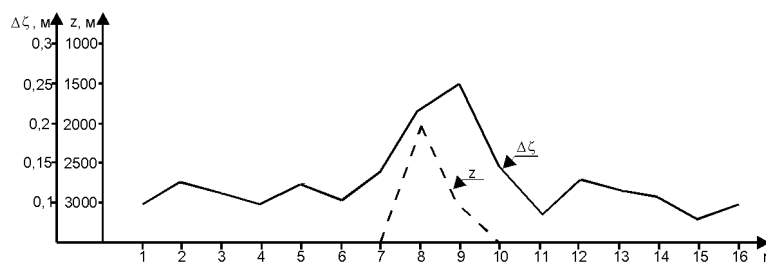


Рис.2. Вариации глубин и высот геоида на подспутниковой трассе, проходящей через вершину подводной горы.

Аномалия высоты геоида, вызываемая подводной горой заданных размеров, вычислялась предложенным ранее автором методом. Для расчетов были приняты следующие исходные данные. Высота подводной горы - 1400 м, радиус основания - 8 км, плотность породы, складывающей подводную гору, -  $2,69 \text{ г/см}^3$ . Аномалии вычислялись над вершиной подводной горы и в точках на поверхности воды, удаленных от вершины на расстояниях до 44 км через 5,5 км, что соответствует дискретности усреднения спутниковых измерений на данной широте.

На рис.3 показан вид вычисленной аномалии высоты геоида над подводной горой принятых размеров. Пространственный спектр этой аномалии вычислялся по формуле (2) для ее периодического четного продолжения.

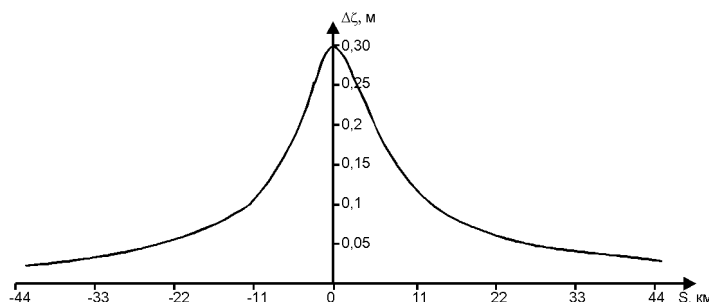


Рис.3. Модель аномалии высоты геоида, вызываемой подводной горой.

Плотность спектральной мощности шума  $P(k)$  вычислялась как квадрат модуля спектра вариаций высоты геоида на участке трассы, проходящей в стороне от подводной горы. Вычисления выполнялись с использованием формулы (2). Частотная характеристика фильтра вычислялась по формуле (4) с использованием аппроксимированных значений  $P(k)$ .

Цифровая фильтрация осуществлялась с использованием формулы

$$S(n) = \left| \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \zeta(k) H(k) \exp(j2\pi k n / N) \right|,$$

где  $S(n)$  – амплитуда сигнала распознавания;

$\zeta(n)$  – преобразование Фурье анализируемого массива вариаций высоты геоида.

Для получения величины  $\zeta(n)$  анализируемый массив  $\Delta\zeta(k)$  подвергался операциям исключения тренда и периодического четного продолжения. Результат цифровой фильтрации представлен на рис.4, где четко заметен максимум на отсчете с номером, соответствующим локализации вершины подводной горы на профиле.

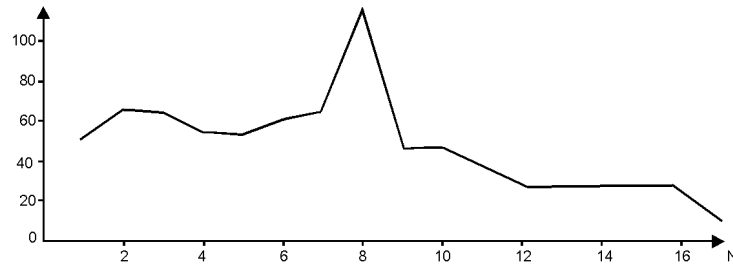


Рис.4. Сигнал распознавания аномалии высоты геоида искомой амплитуды и протяженности.

Полученные результаты показывают, что примененный математический аппарат позволяет получать достаточно надежную информацию о рельефе дна путем специальной обработки данных отечественной космической геодезической системы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dixon T.H., Naraghi M. Bathymetric prediction from Seasat altimeter data.// Journal of geophysical research, 1983, v.88, № C3, p. 1563-1571.
2. White J.V. et al. Delection of Seamount signatures in Seasat altimeter data using matched filteres.// Journal of geophysical research, 1983, v.88, № C3, p. 1541-1551.
3. Костоглодов В.В. О возможности предсказания топографии дна по данным спутниковых радаров-альтиметров.// "Геофизические информационные дистанционные методы изучения Земли" - М.: Институт Физики Земли им. О.Ю.Шмидта, - 1985,- стр. 27-40.
4. John Paul, P.N.Singh, C.Subrahmanyam et al. Emplacement of Afanasy Nikitin Seamount based on transfer function analysis of grafity and bathymetry data // Earth and Planetary Science Letters, 1990, 96, p. 419-426.
5. Марпл - мл. С.П.Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990.- 584 с.

ГРНТИ 78.21.39.17.15

### ПРИБОРНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПРИДОННОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

**В.М.КУШНИР**

(Морской гидрофизический институт НАНУ)

*Рассмотрены созданные для проведения исследовательских и изыскательских работ в придонном пограничном слое высокоточные измерительные средства. Приведены результаты выполненных с их помощью исследований на шельфе, в районах свала глубин и в глубоководной части Черного моря. Показана возможность определения геотермального потока по данным гидрофизических измерений.*

Данные о структуре и динамике придонного пограничного слоя (ППС) в морях и океанах необходимы для решения большого круга океанографических (в том числе гидрофизических и геолого-геофизических) проблем. К ним относятся проблемы изучения механизмов формирования физических полей в придонной области; придонных вихрей; резких изменений течений (природные штормы); пристеночной и конвективной турбулентности; придонного трения в шельфовых зонах, которое существенно влияет на поле течений и т.д.

Прикладные аспекты измерений параметров ППС связаны с проведением различных изыскательских работ в интересах морского строительства, природоохранных и других проектов, осуществляемых в придонной области или на грунте.

Несмотря на все эти обстоятельства ППС относится к числу наименее изученных явлений. Сказанное объясняется, главным образом, трудностью проведения измерений в непосредственной близости ко дну и отсутствием соответствующих специализированных измерительных средств.

Поэтому для выполнения оперативных судовых измерений в придонном слое в Морском гидрофизическом институте модернизированы некоторые высокоточные измерительные комплексы, а затем и разработаны новые их образцы. В 1994 г. проведена модернизация гидрофизического зондирующего комплекса ОЛТ образца 1987 г. [1, 2] и создан профиломер придонного слоя ОЛТ–Д.

В отличие от прототипа в комплексе ОЛТ–Д использован специально разработанный высокочастотный (120 кГц) придонный эхолот с дальностью 50 м и разрешением по глубине 0,1 м. Прочное титановое ограждение обеспечивает уверенную постановку зонда на грунт. Для расчета профилей гидрофизических характеристик в терминах удаления от поверхности дна (удаление чувствительных элементов от него – 0,3–0,4 м) создано специализированное программно-математическое обеспечение.

Измерения гидрологических и некоторых гидрохимических характеристик в придонной области, а также отбор проб воды литровыми батометрами (16 шт.) на фиксированном расстоянии от дна производятся с помощью предложенного Институтом зондирующего комплекса ИСТОК–7. Этот прибор успешно прошел Государственные приемочные испытания и широко используется для производства гидрологических исследований в Черном море.

В обоих названных комплексах (ИСТОК–7 и ОЛТ–Д) для измерения гидрологических элементов применены быстродействующие малоинерционные 16-ти разрядные преобразователи температуры, относительной электрической проводимости и гидростатического давления. Разрешение по температуре составляет  $4,5 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}$ , по глубине – 0,2 м. Погрешность измерения температуры не превышает  $5 \times 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}$ , солёности –  $5 \times 10^{-3}$  промили, глубины – 0,25% от верхнего предела расчетного диапазона (5 м для диапазона 0–2000 м). В профиломере ОЛТ–Д разрешение трехкомпонентного акустического измерителя скорости течения составляет 1,5 – 2 мм/с, погрешность – не более 1,5 – 2,0 см/с (без учета погрешности определения скорости дрейфа судна по показаниям навигационной системы).

Программное обеспечение ориентировано на ПЭВМ, совместимые с IBM PC/AT. В качестве исходных расчетных данных для точного определения расстояния от поверхности дна до погружного устройства используются результаты замеров придонного эхолота и измерителя глубины, а для вычисления основных составляющих его движения и исключения необходимости использования навигационной системы судна – привязка нулевых значений скорости течения при контакте зонда с дном [3]. Предусматривается производство ряда последовательных расчетов профилей течений и гидрологических параметров с возможностью графического контроля на каждом этапе вычислений.

С использованием указанных приборов были выполнены измерения характеристик ППС в различных районах Черного моря [4].

На южном шельфе Крыма (диапазон глубин 70 – 150 м) выявлено значительное разнообразие структурных особенностей придонной области (рис.1).

Так на ст.5914/2 (глуб.115,8 м) ППС выделяется в виде 10-ти метрового слоя квазигомогенного по температуре, плотности и солёности (рис.1а). В этом же слое наблюдается резкое уменьшение скорости течения от 8 см/с до нулевых значений на поверхности дна. Характерный пример увеличения градиентов температуры, солёности и плотности в ППС толщиной 12 м дал замер на ст.5930 (глуб.147,4 м). В этом же слое наблюдается уменьшение скорости течения от 3–4 см/с до 0 (рис.1б).

Особенности плотностной стратификации является сильная переслоенность участков с меняющимися вертикальными градиентами. Характерная особенность профи-

лей течения состоит в том, что в слоях уменьшения градиентов плотности наблюдается формирование промежуточных максимумов скорости течения (например, на рис.1б на расстояниях 30 и 60 м от грунта). В слоях, которые характеризуются увеличением градиентов плотности, имеет место увеличение вертикальных сдвигов составляющих горизонтальной скорости течения. Эти особенности отчетливо проявляются на рис.1а, а также на других профилях, полученных в шельфовой зоне, на промежуточных глубинах 500 – 1000 м и в глубоководной части Черного моря.

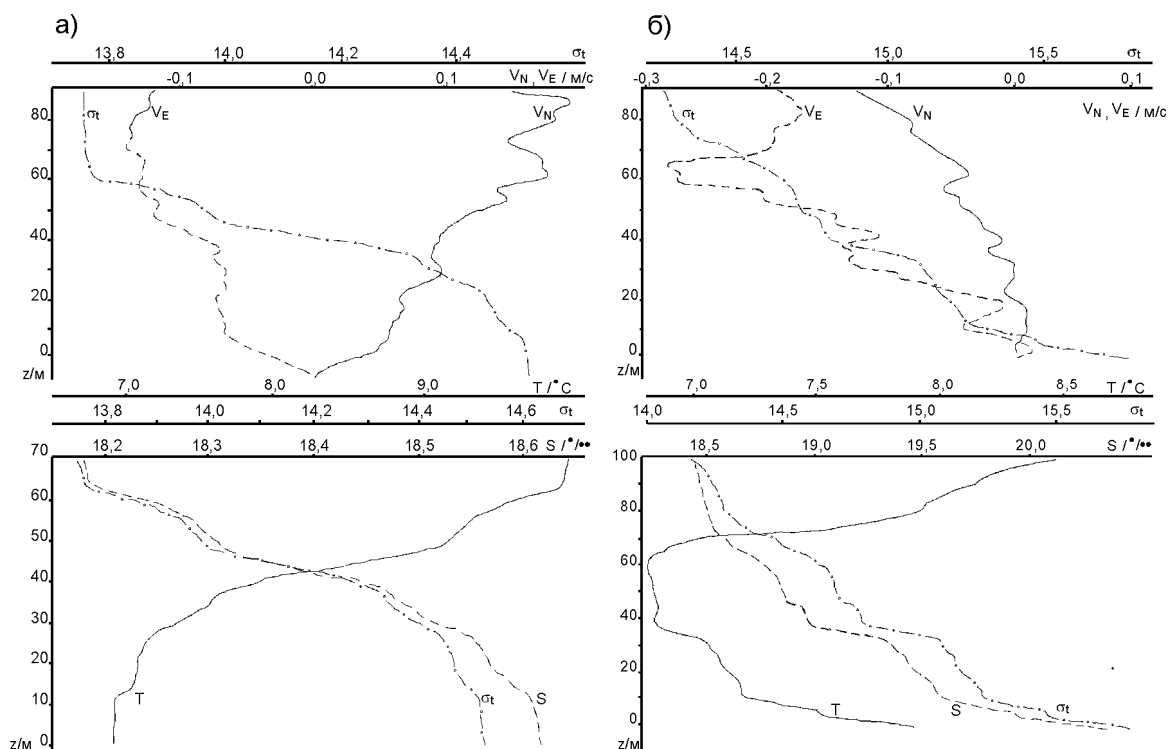


Рис.1. Профили составляющих скоростей течения на меридиан ( $V_N$ ) и параллель ( $V_E$ ), плотности ( $\sigma_t$ ), температуры (Т) и солёности (S) в придонном слое на южном шельфе Крыма: а) станция 5914/2, глубина 115,8 м; б) станция 5930, глубина 147,4 м.

Профили, показанные на рис.1, отражают некоторые предельные ситуации. На других профилях течений и гидрологических характеристик, относящихся к зоне шельфа, наблюдались различные промежуточные значения придонных градиентов плотности, а толщины слоев резкого уменьшения скорости течения изменялись в пределах от 3 до 15 м. В целом полученные данные свидетельствуют о возможности относительно большого разнообразия структур придонного слоя в шельфовой зоне, что связано с различным характером рельефа дна, плотностной стратификации и поля течений.

В районах свала глубин в Черном море можно отметить сложную структуру характеристик ППС, интерпретация которых в настоящее время затруднительна вследствие слабой изученности здесь процессов формирования придонной области.

Формирование придонной области в глубоководной части Черного моря по существующим представлениям связано с развитием конвекционной циркуляции, которая обусловлена геотермальными потоками. Толщина ППС достигает 400 – 500 м, причем верхняя граница хорошо выражена на профилях потенциальной температуры, солёности и плотности в виде 30 ÷ 80-метровых слоев локального увеличения градиентов и резкого перехода к однородной структуре [5, 6].

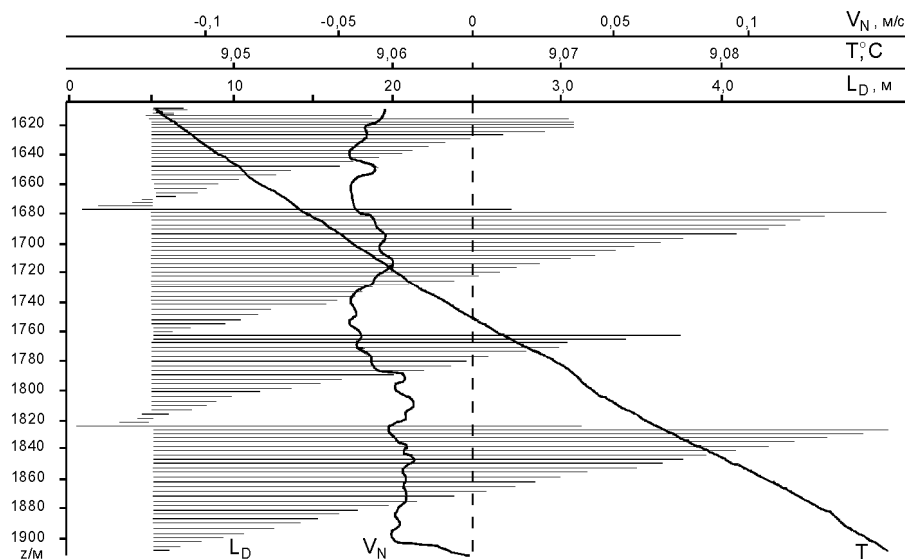
Конвекционный механизм формирования глубоководного придонного слоя в качественном отношении подтверждается лабораторными исследованиями конвекции в слое воды, стабилизированном положительным вертикальным градиентом солёности. Однако попытки использовать данные подобных экспериментов для оценок толщины ППС приводят к нереалистическим значениям. Так при характерной для условий Чер-

ного моря величине геотермального потока  $30 \text{ мВт/м}^2$  оценки толщины придонного слоя по соотношению Тернера дают значения  $40 - 50 \text{ м}$ , а по соотношению Фернандо – и того меньше, около  $20 \text{ м}$  [6]. Реальная же толщина ППС в Черном море примерно на порядок больше.

В связи с отсутствием данных о вертикальной структуре течений в глубоководном ППС измерения такого типа представляют большой интерес. Анализ результатов соответствующих замеров юго-западнее Крыма показал, что характерные значения скорости в 200-метровом придонном слое составляют  $2 - 4 \text{ см/с}$ . На отстоянии около  $40 \text{ м}$  от грунта на профилях условной плотности часто наблюдаются особенности в виде ступенчатых структур. В этом же слое происходит уменьшение скорости течения до нулевых значений на дне. В градиентном слое на верхней границе ППС наблюдаются более значительные изменения скорости течения с перепадами до  $5 - 7 \text{ см/с}$  в слоях толщиной  $50 - 100 \text{ м}$ .

Данные прямых измерений скорости течения в придонной области были сопоставлены с результатами модельных расчетов по соотношениям Ханта для конвективного слоя и Лонга для градиентной зоны. Найдено удовлетворительное соответствие этих величин.

При выполнении измерений характеристик вертикальной структуры глубоководного ППС юго-западнее мыса Херсонес (глубины  $1900 - 2000 \text{ м}$ ) на нескольких станциях меридионального разреза, расположенных через  $5 \text{ миль}$ , на отстояниях  $90 - 130$  и  $220 - 240 \text{ м}$  от грунта были зарегистрированы слои развитой тонкой структуры. На тех же горизонтах по показаниям высокочастотного придонного эхолота обнаружены слои ложного дна, дающие устойчивое отражение высокочастотного гидроакустического сигнала (рис.2).



**Рис.2. Профили составляющей скорости течения на меридиан  $V_N$ , температуры  $T$  и слои ложного дна  $L_D$  на больших глубинах в зоне глубинного разлома юго-западнее м.Херсонес.**

На соседних станциях на этих же глубинах также были зарегистрированы слои ложного дна. Отмеченная картина представляет интерес для дальнейших исследований с использованием гидрооптической аппаратуры и отбором проб для гидрохимических анализов. Можно предположить, что наличие таких слоев обусловлено выбросами мелкодисперсной взвеси, оседание которой замедляется локальными резкими градиентами плотности в слоях тонкой структуры. Подобные явления вызваны, вероятно, активными геологическими процессами, поскольку указанный меридиональный разрез находился в зоне пересечения двух глубинных разломов.

Для анализа взаимосвязи толщины глубоководного конвективного ППС с геотермальными потоками были собраны доступные данные об их прямых измерениях. При относительно большом их разбросе и неоднозначности экспериментальных значений тем не менее просматривается некоторая закономерность увеличения толщины ППС при увеличении геотермального потока (рис.3а).

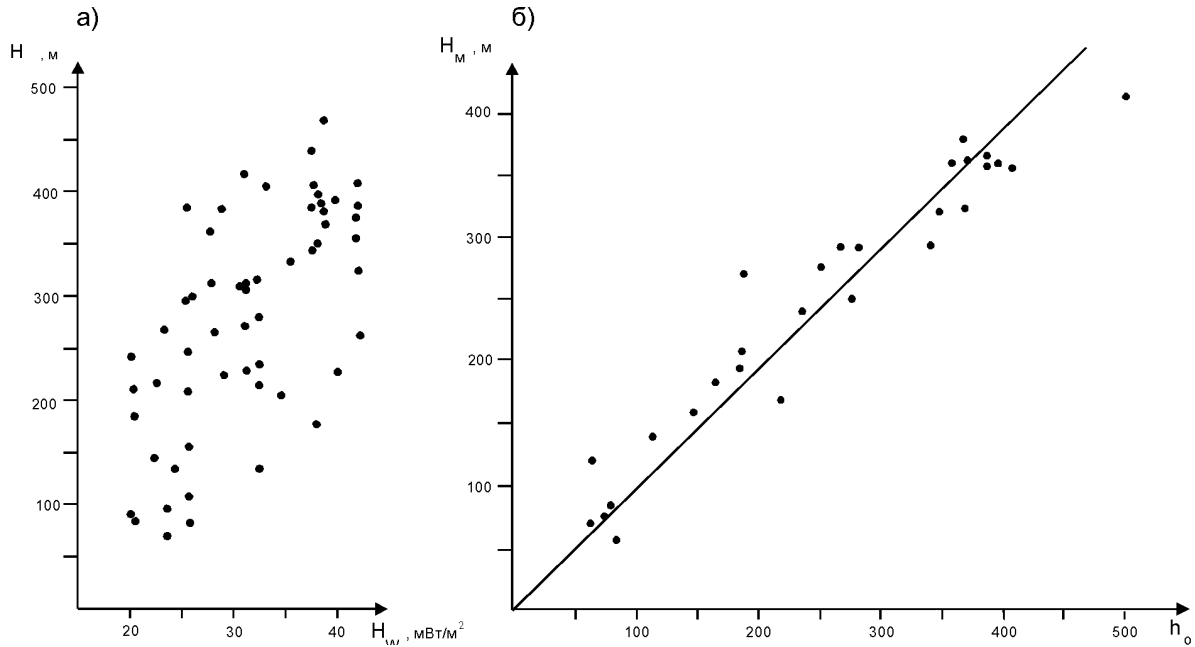


Рис.3. Результаты замеров толщин глубоководного ППС и интенсивности геотермальных потоков.

Для уточнения этого вопроса использовано введенное Тернером [7] понятие критической толщины конвективного слоя  $h_0$ , которую можно связать с величиной геотермального потока  $Q$  следующим соотношением

$$h_0 = (0,25 R_{ak})^{0,25} (v q_0^3 k_t^{-2} N^{-1})^{0,25}; \quad (1)$$

$$q_0 = \alpha g Q / \rho_0 C_p,$$

где  $R_{ak}$  – критическое значение числа Рэлея;

$v$  – коэффициент кинематической вязкости;

$k_t$  – коэффициент молекулярной теплопроводности;

$N$  – частота Брента–Вяйсяля в переходном градиентном слое;

$q_0$  – поток плавучести;

$\alpha = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dT}$  – коэффициент теплового расширения;

$C_p$  – коэффициент теплопроводности;

$g$  – ускорение свободного падения.

Теоретическое значение критического числа Рэлея равно, как известно, 657,5. По данным различных лабораторных экспериментов, оно изменяется от  $10^3$  до  $10^4$ . Ньюмен получил соответствие толщины критического слоя с реальной толщиной придонного слоя на оз.Киву при  $R_{ak} = 2,4 \times 10^4$ .

Толщина градиентного слоя  $h_g$  на верхней границе ППС в Черном море составляет 30–80 м. При определении условий развития конвективной неустойчивости в слое такой толщины необходимо учитывать влияние силы Кориолиса, поскольку число

Тейлора на много порядков превышает критическое число Рэлея при отсутствии вращения конвективного слоя.

Задача такого типа была в общей постановке рассмотрена Б.А.Тареевым [8]. Используя результаты этой работы в части анализа общего условия развития конвекции во вращающемся слое, получено следующее соотношение для вычисления критической толщины придонного слоя в глубоководной области Черного моря

$$h_0 = 1,80226 \times 10^{-5} H_w^{0,75} h_g^{1,67} \Delta \sigma_t^{-1}, \quad (2)$$

где  $H_w$  – величина геотермального потока в мВт/м<sup>2</sup>;

$\Delta \sigma_t$  – перепад потенциальной плотности в градиентном слое.

При характерных для Черного моря величинах  $H_w = 30$  мВт/м<sup>2</sup>,  $h_g = 50$  м и  $\Delta \sigma_t = 5 \times 10^{-4}$  получим  $h_0 = 318$  м, что в целом соответствует реальным значениям толщины придонного слоя.

Соотношение (2) было использовано для вычисления критической толщины глубоководного придонного слоя. Полученные результаты сопоставлены с данными реальных измерений толщин ППС  $H_m$  (рис.3б). Показано достаточно хорошее соответствие этих величин, что создает предпосылки для решения обратной задачи: по результатам глубоководных гидрофизических измерений определить поле геотермальных потоков, данные по которому необходимы для решения геолого-геофизических и экологических проблем Черноморского бассейна.

Таким образом в результате выполненной работы созданы определенные приборно-методические возможности и получены первые результаты экспериментальных исследований придонной области. Это создает основу как для выполнения фундаментальных исследований этого объекта, так и для решения многочисленных прикладных задач.

Создан определенный инструментарий для изучения параметров ППС. Разработаны методические предпосылки, определяющие возможности получения с его использованием достоверных результатов. Обобщены данные первых экспериментальных исследований придонного слоя на акватории Черного моря. В целом подведена база для выполнения фундаментальных исследований ППС, а также решения взаимосвязанных с этим явлением многочисленных прикладных задач.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дроздов А.Е., Кушнир В.М., Никитин А.В. и др. Комплекс гидрофизический зондирующий для океанографических исследовательских судов. // Записки по гидрографии. 1991. №226. С.49–57.
2. Кушнир В.М. Зонд для вертикального профилирования течений и гидрологических элементов. // Океанология. 1994. 34(2). С.303–305.
3. Kushnir V.M. Vertical Profiling of the Bottom Boundary Layer. // Proceedings of the IEEE Fifth Working Conference on Current Measurements. St.Peterburg, Florida, USA. 1995.P.255–258.
4. Еремеев В.Н., Кушнир В.М. Придонный пограничный слой в шельфовой зоне Черного моря. // Изв. РАН, Физика атмосферы и океана. 1994. Т.30, №6. С.848–853.
5. Еремеев В.Н., Кушнир В.М. Термодинамические параметры глубоководного придонного слоя в Черном море. // Докл. НАН Украины. 1994. 6. С.104–108.
6. Murray J.W., Top Z., Ozsoy E. Hydrographic properties and ventilation on the Black Sea. // Deep-Sea Res. 1991/ 38A (2A). P.663–689.
7. Turner J.S. The behavior of a stable salinity gradient heated from below. // J.Fluid Mech. 1968. №33(1). P.183–200.
8. Тареев Б.А. К теории конвекционной циркуляции в глубоководных впадинах океана. // Изв.АН СССР, сер. геофиз.1960. С.1022–1029.



ГРНТИ 78.25.25.29.29.49.41.33

### **ПОДВОДНЫЙ АППАРАТ ПРОНИЦАЕМОГО ТИПА СМП-07**

**В.Н.КРАСНОВ**  
(НПП "МОРТЕХСТРОЙ")

*Описывается конструкция ПА проникаемого типа. Характеризуются его эксплуатационные возможности.*

Среди многообразия морской техники особое место принадлежит подводным аппаратам (ПА) проникаемого типа. Такие аппараты негерметичны и при погружении их внутренний объем заполняется забортной водой, а дыхание экипажа обеспечивается от бортовой воздушной системы или аквалангов. Основное преимущество проникаемых ПА – это простота и надежность конструкции, низкие эксплуатационные и транспортные расходы, высокая мобильность. Они наиболее эффективны на глубинах до 100 м, где применение другой подводной техники (обитаемых и телеуправляемых ПА, подводных роботов и т.п.) по техническим и экономическим показателям не всегда целесообразно.

Одним из современных представителей данного типа ПА является разработанный в научно-производственном предприятии "МОРТЕХСТРОЙ" (г.Севастополь) опытный образец подводного аппарата СМП-07 (рисунок).



**Модель аппарата СМП-07.**

Данный аппарат предназначен для комфортной и безопасной транспортировки двух легководолазов, а также необходимых приборов и оборудования при решении следующих задач:

– осмотре и ремонте подводных частей плавучих буровых установок, крупнотоннажных судов, гидротехнических инженерных сооружений;

- осмотре и ремонте подводных кабельных трасс и трубопроводов;
- исследованиях шельфа, экологическом контроле прибрежной зоны, сертификации пляжей;
- обеспечении поисковых и спасательных операций;
- наблюдениях за испытаниями и работой рыбопромысловых тралов и других орудий лова;
- проведении подводных археологических, геологических, геохимических, биологических и других научных исследований;
- обслуживании плантаций марикультур;
- подводной кино- и фотосъемки;
- организации подводных спортивных и развлекательных программ, туристических прогулок.

Особый интерес аппарат СМП–07 может представлять для подводного туризма. Автоматическое ограничение глубины погружения до 8–12 м, высокая надежность аварийной системы, улучшенный обзор и комфортность позволяют существенно повысить привлекательность этого вида спорта, расширить его доступность (по экономическим и медицинским показателям) для большого числа людей.

Основные проектно–технические характеристики

ПА СМП–07

Экипаж, чел.....	2 (в легководолазном снаряжении)
Глубина погружения, м	
– рабочая .....	30
– предельная .....	60
Скорость хода, м/с	
– полный ход .....	2,5
– малый ход .....	1,2
– задний ход .....	0,8
Автономность ( по запасам воздуха), ч ..	2
Габаритные размеры, м.....	3,65 x 1,605 x 0,98
Масса, кг.....	до 800
Энергоустановка .....	эл.двигатель постоянного тока, АБ.

Основу конструкции СМП–07 составляет силовая рама из алюмо–магниевого сплава, на которой смонтировано все оборудование ПА. Для придания аппарату гидродинамических обводов, поверх рамы установлен легкий корпус из армированного стеклопластика. Его внутренний объем, при помощи съемных панелей, разделен на технологический отсек и транспортную кабину. В последней оборудованы места для размещения 2–х легководолазов и установлены органы управления системами и механизмами аппарата. Воздух для дыхания поступает к каждому члену экипажа по гибкому шлангу от бортовой системы. В нижней части кабины, под сиденьем легководолазов, расположена балластная цистерна объемом 62 л, которая обеспечивает погружение и всплытие аппарата. Цистерна – безкингстонная, оборудована только клапанами вентиляции и продувания. Управление процессом погружения – ручное, от общего манипулятора.

Для повышения внешнего обзора транспортная кабина имеет развитое остекление (переднее и центральное) из акрила или оргстекла. Оно выполнено откидывающимся, по типу авиационного, и служит в качестве входных люков.

Технологический отсек ПА занимает нижнюю и кормовую части легкого корпуса и предназначен для размещения центрального блока с воздушными баллонами, бокса гребного электродвигателя и других забортных устройств.

Основной элемент отсека – центральный блок ( $D=400$  мм,  $l=1450$  мм) имеет герметичное исполнение и рассчитан на избыточное давление, соответствующее предельной глубине погружения. В этом блоке размещены: аккумуляторная батарея (АБ), электрокоммутирующая и воздушная аппаратура. Для обеспечения доступа к

батарею блок оборудован по торцам съемными крышками диаметром 400 мм с клиновыми замками.

За пределами легкого корпуса, в нижней части ПА размещены коробчатые контейнеры для твердого балласта, которые дополнительно выполняют роль посадочных лыж при транспортировке, хранении или покладке ПА на грунт в подводном положении. Распределением твердого балласта по длине контейнеров и величиной загрузки обеспечивается начальная удифферентовка аппарата и его посадка.

Особое место в конструкции ПА занимают электроэнергетическая система и система сжатого воздуха. К ним предъявляются повышенные требования по надежности и коррозионностойкости. Элементы этих систем сосредоточены в основном в центральном блоке и связаны с забортным оборудованием кабельными трассами и трубопроводами.

Электроэнергетическая система аппарата включает в себя:

- гребной электродвигатель постоянного тока ( $N=3$  кВт);
- аккумуляторную батарею (свинцово-кислотную или щелочную) напряжением 24 в и общей емкостью 380–420 А · ч;
- блок коммутации и защиты (БКЗ);
- забортный пульт управления.

Блок БКЗ обеспечивает переключение режимов работы гребного электродвигателя, подачу электропитания на потребители ПА, защиту электрооборудования от перегрузок и токов короткого замыкания. В качестве элементной базы блока выбраны малогабаритные контакторы типа ТКС и ТКД и электрические автоматы АЗС, которые характеризуются высокой надежностью и высокими удельными характеристиками. Управление основной коммутационной аппаратурой – дистанционное, от забортного пульта на рулевой колонке и рукоятки режима работы двигателя.

При слабой естественной освещенности или в ночное время работу аппарата обеспечивают 3 подводных светильника мощностью по 40–75 Вт, установленных в специальной нише технологического отсека. В качестве поискового используется переносной подводный фонарь мощностью 400 Вт, который хранится в транспортной кабине.

Информация о состоянии системы ( работе отдельных механизмов, устройств, степени разряда АБ) выводится на светоиндикаторное табло на рулевой колонке. В отдельных случаях СМП–07 может выполнять роль подводной энергостанции. Для этой цели в кабине аппарата размещены герморазъемы, позволяющие подключить к электроэнергетической системе ПА переносное (сменное) электрооборудование мощностью до 1 кВт. Эти же герморазъемы могут быть использованы и для подключения электрообогреваемых гидрокостюмов легководолазов при работе в районах с температурой забортной воды ниже 10–12°C. Система сжатого воздуха аппарата СМП–07 включает в себя две независимые подсистемы – основную и аварийную.

Основная предназначена для обеспечения дыхания легководолазов от бортового запаса сжатого воздуха, продувания балластной цистерны и вентиляции центрального блока (для удаления водорода от АБ). В ее состав входят два воздушных баллона объемом по 40–50 л (расположены по бокам центрального блока), понижающие редукторы, ручные и электромагнитные клапаны. Управление подсистемой осуществляется легководолазами вручную, за исключением режима вентиляции центрального блока. Для этого режима предусмотрено автоматическое управление по сигналам от программируемого таймтактора или датчика концентрации водорода.

Автономная аварийная подсистема обеспечивает одновременное продувание балластной цистерны и сброс переднего остекления кабины. Кроме того, при срабатывании аварийной подсистемы производится отдача сигнального буя, буксирного троса, гайдропа и твердого балласта путем перерезания их крепежных элементов.

В состав подсистемы входят: воздушный баллон объемом 6 л, ручные и электромагнитные клапаны, исполнительные механизмы поршневого типа (резаки).

Управление подсистемой осуществляется:

- вручную при помощи манипулятора на боковой стойке кабины;
- дистанционно от аварийных кнопок на приборных панелях;
- автоматически по сигналам от датчика предельной (заданной) глубины или датчика поступления забортной воды в центральный блок.

В зависимости от решаемых задач остекление транспортной кабины может не сбрасываться и избыток сжатого воздуха из балластной цистерны при ее продувании поступает непосредственно в кабину, осушая ее верхнюю часть. Это позволяет повысить безопасность всплытия и улучшить остойчивость аппарата в аварийной ситуации.

Воздушная система рассчитана на давление в магистралях  $P=15-25$  кПа. Контроль за ее состоянием осуществляется по стрелочным манометрам на приборных панелях.

Для движения аппарата под водой и его маневрирования по курсу и глубине используется водометный движитель, специально разработанный в НПО "МОРСКАЯ ТЕХНИКА" (г.Москва). Диаметр его рабочего колеса составляет 386 мм, что при частоте вращения  $n=320$  об/мин обеспечивает движение ПА со скоростью  $V_0=2,5$  м/с.

Движитель установлен за легким корпусом аппарата на специальном поворотном узле и связан с гребным электродвигателем карданной передачей или гибким валом. Конструкция поворотного узла позволяет менять направление тяги движителя относительно оси аппарата:

- в горизонтальной плоскости .....  $\pm 35$  град;
- в вертикальной плоскости .....  $\pm 22$  град.

Поворот движителя и выбор режима работы ("малый ход" / "полный ход" / "задний ход") осуществляется легководолазом при помощи рулевой колонки и установленной на ней ручки режима. Усиление от колонки передается на поворотный узел через штуртроссовую проводку и систему роликов.

Для обеспечения навигации и безопасности плавания, аппарат СМП-07 оборудован малогабаритным гидролокатором с дальностью обнаружения до 120 м, магнитным компасом типа КИ-11 и глубиномером на базе датчика Д25. В дальнейшем предполагается установка более совершенного навигационного оборудования для определения текущих координат ПА относительно, например, стационарного пингера.

Из вспомогательного оборудования СМП-07 может комплектоваться гайдропом и узлом подводной буксировки. При производстве подводных работ вблизи грунта в транспортной кабине устанавливается реверсивная лебедка гайдропа ( $T=50$  кГс), с помощью которой обеспечивается режим зависания на удалении 1-15 м от дна.

Береговое (базовое) оборудование аппарата в основном стандартное и содержит серийно выпускаемые: воздушный компрессор ( $P=15-25$  кПа) с блоком очистки и электрозарядное устройство для АБ ( $I_3=20-40$  А). Подъем и спуск аппарата на воду производится при помощи специальной грузовой траверсы, которая при береговом хранении аппарата или его транспортировке выполняет роль кильблоков.

По предварительным оценкам, подводный аппарат СМП-07 является достаточно комфортным и надежным транспортным средством и может быть принят в качестве базовой модели в дальнейших разработках НПО "МОРТЕХСТРОЙ". Его модификации планируется оснащать принципиально новыми энергоустановками с более высокими удельными характеристиками и современными системами стабилизации курса и глубины. По мнению разработчиков аппарата, это позволит существенно повысить его эксплуатационные свойства и эффективность подводных работ.

ГРНТИ 78.21.36.17.15

**ОБ ИЗМЕРЕНИИ ПЛОЩАДЕЙ НА МОРСКИХ КАРТАХ****А.И.СОРОКИН**  
(ИНОЗ РАН)*Предлагаются способы определения площади на меркаторских картах с помощью циркуля и аналитическим путем.*

При решении многих оперативно–тактических, хозяйственных и научных задач возникает необходимость в измерении площадей на картах в меркаторской и других проекциях. Поскольку методика таких измерений недостаточно освещена в картографической литературе, ниже приводятся некоторые рекомендации по данному вопросу. Рассмотрим способы, основанные на определении площади с помощью меридианной шкалы меркаторской карты, в прямоугольных координатах карты, а также путем ее расчета в географических координатах – непосредственно на земном сфероиде.

Выбор способа, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки, зависит от заданной точности определения площади, размеров и формы измеряемой фигуры.

Более простым способом является определение площади с помощью меридианной шкалы, расположенной на вертикальной рамке карты. Его целесообразно использовать, когда очертания фигуры имеют простую геометрическую форму (например, прямоугольник, заключенный между меридианами и параллелями карты), а ее протяженность по широте и долготе не превышает  $20^{\circ}$ – $30^{\circ}$ . При этих условиях ошибка результата имеет величину порядка 0,5%.

Вычисление площади осуществляется по формулам планиметрии, причем размеры фигуры определяются с помощью циркуля–измерителя по меридианной шкале таким образом, чтобы середина измеряемого отрезка совпадала на вертикальной рамке карты с его средней широтой). В случае определения площади прямоугольника (например, сфероидической трапеции) необходимо измерить вышеуказанным способом его высоту и среднюю ширину (отнесенную к его средней широте) и найти искомую величину по формуле

$$S = \Delta \varphi \cdot \Delta L, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь прямоугольника, в кв.милях;

$\Delta \varphi$  – высота прямоугольника, в мин широты;

$\Delta L$  – средняя ширина трапеции, в мин широты.

При желании получить площадь в  $\text{км}^2$  результат необходимо умножить на  $(1.852)^2 = 3,430$ .

Основной погрешностью при малых значениях разности долгот является отличие длины минуты меридиана от морской мили, а при больших – разница между измеренной шириной трапеции и ее средневзвешенным значением, а также неучет сферичности фигуры.

Следует заметить, что суммарная величина упомянутых погрешностей при соблюдении вышеуказанных условий имеет тот же порядок, что и графические ошибки измерений.

Пример:  $\varphi_1 = 60^{\circ}$ ,  $\varphi_2 = 80^{\circ}$ ,  $\Delta \lambda = 30^{\circ}$ . По вертикальной рамке карты определяем  $\Delta L = 620'$  и вычисляем по формуле (1)

$$\Delta S = 1200' \cdot 620' = 744,0 \text{ млн. кв. миль} = 2,55 \text{ млн. км}^2.$$

Точное значение площади равно  $2,54 \text{ млн. км}^2$ , т.е. ошибка ее определения в данном случае составляет  $0,4\%$ . Если произвести определение площади трапеции, имеющей ту же разность долгот, но заключенной между параллелями  $0^\circ$  и  $10^\circ$ , то эта ошибка уменьшится до  $0,05\%$ . С другой стороны, при удвоении разности долгот и измерении площади в широтном поясе от  $70^\circ$  до  $80^\circ$  мы получим ошибку, превышающую  $3\%$ , что подтверждает необходимость учета вышепоставленных условий (особенно при измерении площадей в высоких широтах).

При желании повысить точность определения площади, последнюю следует вычислять с учетом отличия длины минуты меридиана от морской мили и с использованием средневзвешенной ширины сфероидической трапеции – в соответствии с теорией интегральных искажений [1].

Как известно [2], длина  $1'$  меридиана в км равна

$$d = M \operatorname{arc} 1' = \frac{0,000290888 a (1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}}, \quad (2)$$

где  $M$  – радиус кривизны меридионального сечения земного эллипсоида;

$\operatorname{arc} 1'$  – длина дуги  $1'$  меридиана, выраженная в радианах;

$a$  – большая полуось земного эллипсоида;

$e^2$  – квадрат первого эксцентриситета земного эллипсоида.

Для принятого в настоящее время для отечественных карт эллипсоида Красовского  $a = 6378,245 \text{ км}$ ,  $e^2 = 0,00669342$ .

Известно также, что длина  $1'$  параллели равна

$$p = N \operatorname{arc} 1' \cos \varphi = \frac{0,000290888 a \cos \varphi}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}}, \quad (3)$$

где  $N$  – радиус кривизны нормального сечения земного эллипсоида.

Значения величин  $d$  и  $p$ , выраженных в мм, даны в [2]\*. Однако, если величина  $d$  изменяется довольно медленно, и в качестве среднего значения поэтому может быть принято ее значение для средней широты, то для определения средневзвешенного значения  $p$  необходимо проинтегрировать выражение (3) по  $\varphi$  и разделить на разность широт параллелей, являющихся верхним и нижним основанием трапеции. В силу того, что знаменатель в выражении (3) изменяется с широтой незначительно, также примем его значение для средней широты, которое вынесем из-под знака интеграла. В результате получим

$$p_m = \frac{p'}{(\varphi_2 - \varphi_1)'} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} p d\varphi \cong \frac{a (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1)}{(\varphi_2 - \varphi_1)' (1 - e^2 \sin^2 \varphi_m)^{1/2}}, \quad (4)$$

где  $\varphi_m = (\varphi_1 + \varphi_2)/2$ .

Таким образом, площадь трапеции может быть вычислена по формуле

$$S = d_m p_m (\varphi_2 - \varphi_1)' \Delta \lambda' = \frac{a^2 (1 - e^2) \operatorname{arc} 1' \cdot \Delta \lambda' (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi_m)^2}$$

или

$$S = k \cdot g \cdot \Delta \lambda' \cdot (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1), \quad (5)$$

где  $k = \frac{1}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi_m)^2}$  – коэффициент, определяемый по табл.1;

$g = a^2 (1 - e^2) \operatorname{arc} 1' = 11754,21 \text{ км}^2$  – постоянная;

\* См. таблицы 2 и 5 указанного первоисточника.

$\Delta \lambda'$  – разность долгот, выраженная в мин.

Определяя по формуле (5) площадь трапеции, расположенной между параллелями  $70^\circ$  и  $80^\circ$  и имеющей ширину  $60^\circ$ , получим значение 1932,917 тыс.км, отличающееся от фактического 1932,999 тыс.км всего на 0,004% вместо 3%, полученных при нахождении площади по формуле (1).

И вообще, ошибка вычисления площади по формуле (5) в диапазоне широт от  $0^\circ$  до  $90^\circ$  и при разности широт до  $90^\circ$  (разность долгот может быть любой) не превышает 0,2%. Поскольку определение площади в этом случае производится в географических координатах, проекция карты не имеет значения, что обеспечивает возможность применения данного способа при использовании карт в любой проекции.

Таблица 1

Значения коэффициента  $k$

$\varphi_m$	$k$	$\varphi_m$	$k$
$0^\circ - 10^\circ$	1,000	$50^\circ$	1,008
$20^\circ$	1,002	$60^\circ$	1,010
$30^\circ$	1,004	$70^\circ$	1,012
$40^\circ$	1,006	$80^\circ$	1,013

Погрешности вычисления площади по формуле (5) при различных значениях  $\varphi_m$  и  $\varphi_2 - \varphi_1$  приведены в табл.2.

Таблица 2

Погрешности вычисления площади

Величина $\varphi_2 - \varphi_1$	Погрешность при различных $\varphi_m$ , %				
	$0^\circ$	$20^\circ$	$40^\circ$	$60^\circ$	$80^\circ$
0,01	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
1,00	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
10,00	0,006	0,005	0,001	0,004	0,007
20,00	0,020	0,010	0,010	0,020	0,020
40,00	0,060	0,030	0,030	0,100	–
80,00	0,090	0,100	0,120	–	–

При выборе  $k$  из табл.1 значения погрешностей могут несколько отличаться от приведенных в табл.2.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сорокин А.И. Морская картография. Л., ГУНиО МО, 1985. 254 с.
2. Каврайский В.В. Избранные труды. Л., УНГС ВМФ, 1956–1960. – 1484 с.
3. Картографические таблицы. Л., УНГС ВМФ, 1957. – 313 с.

## ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРСКОЙ И ВОЗДУШНОЙ НАВИГАЦИИ

ГРНТИ 78.21.43.15.15

### О ЗАКОНЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

**В.Л.ГАЛАХОВ,  
В.Г.ДМИТРИЕВ**  
(Гос. НИНГИ МО РФ)

*Рассмотрены проблемы аппроксимации закона распределения погрешностей гидрометеорологических прогнозов. Показано, что широко распространенный в практике нормальный закон распределения не отражает специфику распределения погрешностей прогнозов. В качестве альтернативы предложен закон  $\beta$ -распределения. Приведено обоснование возможностей его применения. Теоретические выкладки иллюстрированы численными, выполненными на основе фактических данных.*

Проблеме оценки точности прогнозов всегда уделялось большое внимание. При этом преследовалось решение двух задач:

– выяснение качества разработанных методов прогнозов (прогностических моделей) при условии их применения в определенных географических районах и реально существующих возможностях по освещению фактической гидрометеорологической обстановки;

– оценка качества работы прогностических органов и отдельных прогнозистов.

Для этих целей вполне подходили такие условные, искусственно сконструированные показатели достоверности гидрометеорологических прогнозов, как оправдываемость, успешность, надежность, предупрежденность и т.п., которые широко применяются в практике работы прогностических органов [1,2].

В последние годы появилась область научных исследований, связанная с использованием (усвоением) прогностической информации при выработке и принятии управленческих решений как при проведении военных действий, так и при осуществлении хозяйственной деятельности [3,4]. Это направление потребовало применения новых показателей достоверности гидрометеорологических прогнозов. Отличительной чертой их выступает "натуральность", т.е. способность количественно выражать погрешности прогнозов, если последние даются в виде числа, характеризующего будущее значение гидрометеорологического параметра, или распределения вероятностей осуществления прогнозируемой фазы гидрометеорологического явления. К таким прогнозам можно отнести также прогностические оценки будущих значений гидрометеорологического параметра в виде прогностических интервалов (градаций).

В дальнейшем будем полагать, что текст прогноза содержит числовую оценку будущего значения того или иного гидрометеорологического параметра (в противном случае можно применить специальные приемы, позволяющие получить такую оценку [5]).

Очевидно, что числовые характеристики погрешностей прогнозов и распределение вероятностей осуществления прогнозируемой фазы с успехом могут быть применены как для оценки качества прогностических моделей, так и для оценки качества работы прогностических органов.



Наиболее полной характеристикой, оценивающей достоверность (точность) гидрометеорологического прогноза, служит закон распределения погрешностей этого прогноза. Законы распределения погрешностей прогнозов при этом должны зависеть от конкретного гидрометеорологического параметра, метода прогноза, срока действия и заблаговременности прогноза, района и периода, на которые дается прогноз и, наконец, от текста самого прогноза, т.е. прогнозируемого значения параметра или интервала значений (фазы явления). Таким образом, законы распределения погрешностей прогнозов должны быть условными, относящимися к определенному сочетанию перечисленных выше фиксированных факторов.

Учитывая изложенное, в качестве основных показателей достоверности гидрометеорологических прогнозов примем условные законы распределения погрешностей этих прогнозов и рассмотрим проблемы, связанные с их определением по фактическим данным.

Основной трудностью при оценке достоверности гидрометеорологических прогнозов как правило является ограниченный объем имеющихся фактических данных, что не позволяет сформировать репрезентативные выборки для получения эмпирических условных распределений погрешностей прогнозов. Поэтому чаще всего приходится ограничиваться статистической оценкой некоторых числовых характеристик (параметров) распределений погрешностей прогнозов, таких как математическое ожидание, дисперсия, мода (разумеется, тоже условных), а закон распределения определять из общих соображений.

Включение в число статистических характеристик моды не является случайным. Разумно предполагать, что если применяемый метод прогноза не абсурден, физически обусловлен и заслуживает доверия, то получаемое прогностическое значение гидрометеорологического параметра должно в статистическом аспекте рассматриваться как наиболее вероятное, т.е. наиболее часто совпадающее с фактическим значением данного параметра по сравнению с любыми другими соседними значениями. Если представить, как обычно, что погрешность прогноза  $\delta$  определяется из выражения

$$\delta = \tilde{x} - x, \quad (1)$$

где  $\tilde{x}$  – прогнозируемое значение гидрометеорологического параметра;

$x$  – фактическое его значение на момент действия прогноза,

то, исходя из указанного предположения, прогнозируемое значение  $\tilde{x}$  должно совпадать с модой распределения погрешностей прогноза  $\mu$ . Таким образом, мода  $\mu$  определяется непосредственно по тексту прогноза.

Стандартные процедуры оценки условного математического ожидания  $\tilde{\delta}$  и условной дисперсии  $\sigma_{\delta}^2$  (или среднего квадратического значения) погрешности прогнозов по фактическим данным общеизвестны и здесь не рассматриваются.

Полученный по результатам обработки накопленного массива данных о погрешностях прогнозов указанный выше набор статистических числовых характеристик может использоваться непосредственно для определения качества прогностических моделей, качества работы прогностических органов и отдельных прогнозистов, а также применяться при выработке управленческих решений. Однако эти условные числовые характеристики могут послужить исходными данными и для восстановления закона распределения погрешностей прогнозов. Разумеется, при наличии способа такого восстановления.

Ниже предлагается такой способ восстановления (точнее, аппроксимации) закона распределения погрешностей прогнозов. Отметим предварительно следующие обстоятельства:

– при любых существующих методах прогнозирования гидрометеорологических параметров погрешности прогнозов могут принимать любые, сколь угодно большие значения в пределах области изменений самого параметра, причем вероятность таких ситуаций может значительно отличаться от нуля. Таким образом, существует принципи-

альное отличие погрешностей прогнозов от погрешностей измерений, когда последние в подавляющем большинстве случаев существенно меньше измеряемой величины;

– области значений любого гидрометеорологического параметра в реальных земных условиях конечны. Границы областей значений, как правило, либо жестко зафиксированы с обеих сторон путем выбора применяемой системы единиц измерений (например, балльной системой единиц), либо физическая сущность параметра обуславливает неизменность предела с одной стороны (так, скорость ветра, количество осадков, соленость воды и др. не могут принимать отрицательных значений); либо же, наконец, физико–географические условия определенного района и сезона года ограничивают пределы области значений прогнозируемого параметра с обеих сторон (т.е. существуют абсолютные минимум и максимум);

– текст прогноза в указанном выше смысле (следовательно и мода распределения погрешностей прогноза) может находиться в любой части области значений гидрометеорологического параметра, в том числе и в непосредственной близости от конечных пределов. Следовательно, в общем случае закон распределения погрешностей прогноза должен быть асимметричным.

Исходя из этих соображений можно заключить, что широко распространенный нормальный закон распределения не применим для характеристики распределения погрешностей прогнозов. С учетом этих же соображений можно сформулировать ряд следующих условий, которым должен удовлетворять закон распределения погрешностей гидрометеорологических прогнозов. А именно, закон должен быть:

- двухпараметрическим;
- унимодальным;
- в общем случае, асимметричным;
- финитным, т.е. имеющим конечные пределы изменений случайной переменной.

Всем этим условиям удовлетворяет  $\beta$ –распределение, плотность вероятностей которого в канонической записи, согласно [6], имеет вид:

$$f(z) = z^{v-1} (1-z)^{w-1} / B(v, w), \quad (2)$$

где  $z$  – нормированная случайная переменная,  $0 \leq z \leq 1$ ;

$v > 0$  и  $w > 0$  – параметры формы;

$$B(v, w) = \int_0^1 u^{v-1} (1-u)^{w-1} du \text{ – } \beta\text{-функция.}$$

Унимодальный вариант  $\beta$ –распределения имеет место при  $v > 1$ ,  $w > 1$ . Заметим, что возможность применения  $\beta$ –распределения в указанных целях упомянута и в ряде зарубежных источников [7].

Мода  $\mu_z$  связана с параметрами формы выражением

$$\mu_z = (v-1)/(v+w-2). \quad (3)$$

Зависимость средней квадратической погрешности  $\delta_z$  от параметров формы выглядит следующим образом

$$\sigma_z = \sqrt{vw}/(v+w) \sqrt{v+w+1}. \quad (4)$$

Решая совместно уравнения (3) и (4) относительно параметров  $v$  и  $w$ , можно получить соотношения вида

$$\left. \begin{aligned} v &= \varphi(\mu_z, \sigma_z); \\ w &= \psi(\mu_z, \sigma_z) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

которые представляют собой решение системы алгебраических уравнений первой и третьей степени. Поскольку эти выражения имеют громоздкий вид, в дальнейшем будут использоваться неявные формулы (5).

В исключительных случаях прогноза крайних значений из диапазона изменения какого–либо гидрометеорологического параметра величины  $v$  и  $w$  должны быть

меньше единицы. Поэтому для их определения в таких ситуациях следует пользоваться оценками на основе метода моментов [6]

$$\left. \begin{aligned} v &= m \left[ m(m-1)/s^2 - 1 \right]; \\ w &= (1-m) \left[ m(m-1)/s^2 - 1 \right] \end{aligned} \right\},$$

где  $m$  – выборочное среднее;

$s^2$  – выборочная дисперсия (без поправки).

Подставляя выражения (5) в формулу плотности вероятностей (2), будем иметь

$$f(z) = \frac{z^{\varphi(\mu_z, \sigma_z)-1} (1-z)^{\psi(\mu_z, \sigma_z)-1}}{B[\varphi(\mu_z, \sigma_z), \psi(\mu_z, \sigma_z)]}. \quad (6)$$

Связь нормированной случайной переменной  $z$  с реальным гидрометеорологическим параметром  $x$  и с погрешностью его прогноза  $\delta$  осуществляется следующим образом. Учитывая, что прогнозируемое значение  $\tilde{x}$  отождествляется с модой погрешности, можно переписать выражение (1) в следующем виде

$$x = \mu - \delta = \tilde{x} - \delta. \quad (7)$$

Далее, возвращаясь снова к высказанным выше соображениям, нормируем параметр  $x$  следующим образом

$$z = (x - x_{min}) / (x_{max} - x_{min}),$$

где  $x_{max}$  и  $x_{min}$  – или начало и конец шкалы отсчета параметра, или абсолютные максимум и минимум его значений соответственно.

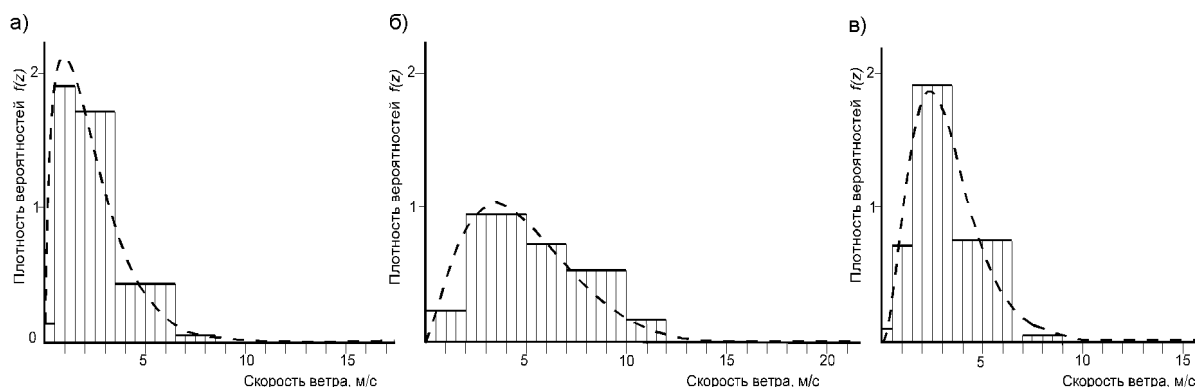
Как видно, здесь произведено нормирование не погрешности прогноза  $\delta$ , а самого прогнозируемого гидрометеорологического параметра  $x$ , т.к. распределение величины  $\delta$  априори неизвестно, в то время как область значений параметра  $x$  может быть установлена заранее. Если эту нормировку распространить на моду  $\mu$  и погрешность прогноза  $\delta$  (что означает лишь применение для всех этих величин единой шкалы отсчета), а также подставить формулу (7) с учетом нормировки (8) в соотношение (6), то окончательно получим

$$f(\delta/\tilde{x}, \sigma_\delta) = \frac{(\tilde{x} - \delta)^{\varphi(\tilde{x}, \sigma_\delta)-1} (1 - \tilde{x} + \delta)^{\psi(\tilde{x}, \sigma_\delta)-1}}{B[\varphi(\tilde{x}, \sigma_\delta), \psi(\tilde{x}, \sigma_\delta)]}.$$

Таким образом, определив на основании фактических данных среднюю квадратическую погрешность прогноза  $\sigma_\delta$  при данном конкретном тексте прогноза  $\tilde{x}$ , можно приближенно восстановить закон распределения погрешности прогноза.

Для экспериментальной проверки изложенных выше теоретических положений и иллюстрации возможностей восстановления (аппроксимации) закона распределения погрешностей гидрометеорологических прогнозов были выполнены численные эксперименты на основе обработки ежедневных прогностических и фактических данных по скорости ветра и температуре воздуха в районе г. Кронштадта за период с 1.01.90 по 31.12.92 г. Анализу подвергались прогнозы на сроки "вечер-ночь" (с 18.00 до 06.00 ч) и "утро-день" (с 06.00 до 18.00 ч). Поскольку прогноз упомянутых гидрометеорологических параметров формулировался в соответствии с принятой терминологией в виде градаций, в качестве прогностического значения принималась середина соответствующего интервала.

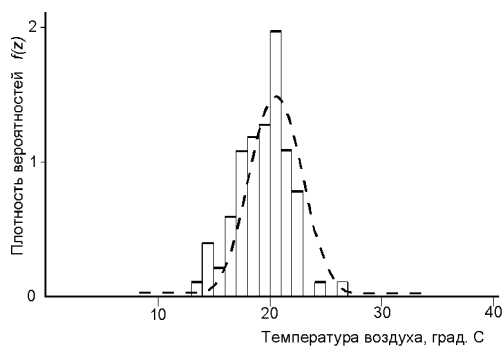
Общая схема обработки данных состояла в следующем. Для фиксированного текста прогноза осуществлялась выборка фактических данных, соответствующих случаям составления такого прогноза и вычислялись величины погрешностей по формуле (1). Далее, после исключения систематических ошибок, строились гистограммы выборочного распределения и кривые, соответствующие  $\beta$ -распределению, параметры формы которого вычислялись на основе решения нелинейных уравнений вида (5). Полученные кривые и гистограммы подвергались взаимному сопоставлению, примеры которых приводятся ниже (рис.1, 2). Всего было проанализировано десять вариантов текста прогноза скорости ветра (пять градаций, два срока) и восемнадцать вариантов прогноза температуры воздуха (девять градаций, два срока).



**Рис.1. Аппроксимация закона распределения погрешностей прогнозов скорости ветра по г.Кронштадту на основе  $\beta$ -распределения:**

- а) прогноз на ночь; объем выборки: 285; мода: 1 м/с; параметры формы:  $\nu=1,68$ ;  $W=17,23$ ;**
- б) прогноз на день; объем выборки: 298; мода: 3,5 м/с; параметры формы:  $\nu=2,43$ ;  $W=9,81$ ;**
- в) прогноз на день; объем выборки: 835; мода: 2,5 м/с; параметры формы:  $\nu=3,62$ ;  $W=24,59$ .**

Анализ соответствия гистограмм и теоретических кривых распределений погрешностей прогнозов показал, что в целом изложенная теория достаточно хорошо согласуется с результатами численных экспериментов (см. рис. 1, 2).



**Рис.2. Аппроксимация закона распределения погрешностей прогнозов температуры воздуха на день по г.Кронштадту на основе  $\beta$ -распределения.**

**Мода: 20°С; объем выборки: 90; параметры формы:  $\nu=45,11$ ;  $W=64,48$ .**

Дополнительное доказательство неприменимости нормального закона для аппроксимации распределения погрешностей прогнозов, установленное в результате численных экспериментов, состоит в том, что при прогнозировании градаций, особенно крайних, наблюдается несовпадение мод гистограмм и соответствующих средних, что должно иметь место для нормального закона. Несовпадение моды гистограммы с модой нормального распределения, вызванное асимметричностью выборочного распределения, означает, что в случае принятия гипотезы о нормальности рассчитываемый

диапазон наиболее вероятных значений погрешностей будет отличаться от реального. Это обстоятельство обуславливает также неприменимость и усеченного варианта нормального распределения.

В заключение отметим, что применение  $\beta$ -распределения для аппроксимации закона распределения погрешностей гидрометеорологических прогнозов по сравнению с нормальным законом (или его усеченным вариантом) с точки зрения физической природы возникновения погрешностей более обосновано. Причем это утверждение,

по–видимому, справедливо и для других видов прогнозирования. Наибольший эффект преимущества  $\beta$ -распределения проявляется при прогнозе крайних значений прогнозируемых величин, что следует иметь ввиду при выработке управленческих решений на основе оценок вероятностей попадания прогностических значений в соответствующие интервалы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методические указания по проведению оперативных испытаний новых методов гидрометеорологических прогнозов. –Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 101 с.
2. Наставление по службе прогнозов. Части III, IV, V. –М.: Гидрометеоиздат, 1981. – 56 с.
3. Моделирование и прогноз верхних слоев океана. –Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 368 с.
4. Эффективность гидрометеорологического обслуживания народного хозяйства. – Л.: Гидрометеоиздат, 1973. – 164 с.
5. Беляев Б.Н. Прикладные океанологические исследования. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 144 с.
6. Хастингс Н., Пикок Дж. Справочник по статистическим распределениям. – М.: "Статистика", 1980. – 95 с.
7. Murphy, A. Probability, statistics, and decision making in the atmospheric sciences. – London: Westview Press, 1985. – 547 p

ГРНТИ 78.21.43.15.15

### **ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОГНОСТИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ**

**В.Г. ДМИТРИЕВ**  
(Гос.НИНГИ МО РФ)

*Рассматриваются принципы и обобщенный алгоритм наполнения и обновления базы прогностических гидрометеорологических данных применительно к перспективным высокоавтоматизированным прогностическим центрам для обеспечения функционирования территориально распределенных технических систем, эффективность которых зависит от гидрометеорологических условий. Публикация носит теоретический характер и предназначена для определения направления развития информационных технологий прогностических центров в аспекте формирования баз данных.*

Анализ процессов усвоения гидрометеорологической информации при проектировании, установке и эксплуатации различных технических средств (например, транспортных средств, землеустроительной техники, подъемного оборудования и т.п.) позволяет сделать вывод о том, что, в конечном счете, потребителя интересует возможность учета и компенсации влияния гидрометеорологических условий на эффективность функционирования тех или иных систем. При этом важно учитывать то обстоятельство, что сложные технические системы эксплуатируются на значительных площадях и в весьма разнообразных режимах времени.

В перспективе, по мере развития уровня автоматизации процессов планирования и управления, роль детализированного гидрометеорологического обеспечения территориально распределенных систем будет только повышаться. Поэтому, учитывая тенденцию автоматизации информационных технологий в прогностических гидрометеорологических центрах территориального уровня, имеет смысл рассмотреть проблему хранения готовой прогностической продукции, предназначенной для передачи различным потребителям.

В связи с тем, что любая прогностическая гидрометеорологическая информация (а только прогнозы и нужны для принятия решений) не обладает абсолютной достоверностью, для адекватного усвоения гидрометеорологических данных потребителю должны сообщаться, помимо самих прогностических значений, также и сведения о точности прогнозов.

Следовательно, гидрометеорологическая информация должна характеризовать среду на любой момент времени по любому указанному району (точке) и, кроме того, должна быть обеспечена соответствующими данными о своей достоверности. При этом форма хранения гидрометеорологических данных должна допускать возможность их непосредственного использования в дальнейших расчетах для принятия обоснованных решений.

С точки зрения совершенствования технологии обеспечения прогнозами гидрометеорологической обстановки следует стремиться к соблюдению очевидно важного принципа, а именно, принципа максимальной достоверности гидрометеорологической информации.

Это предполагает при прочих равных условиях предпочтение той гидрометеорологической информации, которая наиболее точно описывает гидрометеорологическую обстановку. Хотя такое положение не всегда может быть оправдано (различные технические средства обладают неодинаковой чувствительностью к влиянию гидрометеорологических условий), многообразие видов технических средств и ситуаций их применения, а, следовательно, и усвоения соответствующих гидрометеорологических данных, обуславливают целесообразность соблюдения принципа максимальной достоверности.

Сформулированный принцип означает также, что прогностические центры, вырабатывающие прогнозы, должны в такой степени владеть данными о среде, чтобы на запрос с любой заблаговременностью и по любому заданному району (точке) обеспечить потребителя гидрометеорологической информацией в возможно более краткие сроки.

Из вышесказанного следует вывод о том, что органы гидрометеорологического обеспечения должны на каждый предстоящий момент времени и по всем точкам района ответственности иметь по мере возможности наиболее точный прогноз гидрометеорологической обстановки по всем представляющим интерес параметрам. Наиболее подходящая форма хранения этой информации - база прогностических данных (БПД) в цифровом виде, поскольку именно такая форма обеспечивает удобство (оперативность) поиска, извлечения и передачи данных для дальнейших расчетов при разработке рекомендаций для принятия решений.

Однако нетрудно заметить, что в общем случае БПД должна будет содержать бесконечно много данных, что технически неосуществимо. Поэтому предлагается формировать БПД в виде серии пространственных решеток, соответствующих некоторым наперед заданным моментам времени. В узлах решеток будут храниться прогностические значения гидрометеорологических параметров, сопровождаемые значениями их погрешностей. При этом сразу возникают проблемы определения пространственной и временной дискретности хранимой информации и выбора показателей точности прогнозов. Относительно последних сделаем замечание о том, что строгое обоснование выбора этих показателей требует специального рассмотрения. В данной работе под погрешностью прогноза будет пониматься среднеквадратическая погрешность.

Вопрос о пространственной дискретности прогностических решеток также требует специального рассмотрения, выходящего за рамки настоящей статьи. Дело в том, что измерения гидрометеорологических величин производятся, помимо стационарных пунктов, в случайных точках (имеется в виду, что в прогностическом центре усваиваются не только срочные, но и асиноптические данные). При этом как те, так и другие, по своей пространственной привязке, как правило, не совпадают с узлами решеток. Следовательно, необходимо интерполировать данные на неосвещенные узлы,

что приводит к появлению погрешностей, величины которых тем больше, чем больше размер шага сетки.

Однако существующая практика составления прогнозов такова, что гидрометеорологическая обстановка целых районов характеризуется одним и тем же числом (точнее говоря, диапазоном - прогнозом гидрометеорологической величины), вследствие чего уменьшение шага не рационально. Поэтому задача выбора шага сетки приобретает минимаксный характер. Дополнительные сложности возникают и при анализе запросов потребителя: данные могут потребоваться в заданной точке, а могут быть запрошены и по участкам различных конфигураций и площади. Таким образом, для заполнения узлов решеток БПД прогностическими данными приходится распространять одно прогностическое значение на множество узлов, а при обработке распределенных запросов - формировать интегральные характеристики.

Эти трудности могут быть легко устранены, если в прогностическом центре используются численные диагностические и прогностические процедуры, по своей сути формирующие прогнозы в узлах сеточной области [1,2]. Тогда, по мере выполнения диагностических и прогностических расчетов по численным моделям, сеточные области БПД могут автоматически заполняться и обновляться результатами расчетов. При этом сеточная конфигурация решеток БПД естественным образом совпадает с конфигурацией расчетных полей. Выборка и обобщение данных в таком случае легко выполняются с помощью стандартных алгоритмов поиска, извлечения, интерполяции, осреднения и т.п.

Существующая прогностическая практика составления гидрометеорологических прогнозов, основанная на принятой в настоящее время терминологии [3], резко осложняет процедуру заполнения и обновления БПД на основе сеточной структуры, поскольку прогнозы формулируются в градациях с плохо формализуемыми пространственно-временными ограничениями (например, допускаются термины "местами", "временами" и т.п.). Однако и в этом случае задача заполнения БПД может быть решена, но для этого требуется разработка специальных процедур "перевода" текстов прогноза в численную форму (с одновременной оценкой достоверности прогностических данных). Ответить на вопрос, что лучше - выработать новую прогностическую терминологию и перевести на нее прогностические центры или научиться "оцифровывать" неформальные текстовые прогнозы, и при этом получать оценку точности прогностических значений в общепринятых терминах, в данной статье не представляется возможным. Известны, однако, некоторые результаты по разработке методов интерпретации традиционных гидрометеорологических прогнозов [4], что позволяет думать о приоритетной реализации второго пути с перспективой последующего осуществления перехода на новую терминологию.

При рассмотрении проблемы определения количества временных слоев и их распределения во времени следует исходить из того, что "механизмы" компенсации влияния среды могут носить как адаптивный, так и неадаптивный характеры. Поэтому диапазон временных характеристик для оценки состояния гидрометеорологической обстановки ограничен сверху, вообще говоря, сроком эксплуатации соответствующих технических средств, а "спектр" заблаговременностей оценки гидрометеорологической обстановки определяется режимом планирования применения средств (от часов до нескольких лет). Нижняя граница естественным образом ограничена нулем (случай ретроспективного анализа в данной статье не рассматриваются). Очевидно, что временной ряд сеточных слоев БПД в той или иной степени должен отражать отрезок времени от текущего момента до верхней границы временного диапазона. При выборе конкретных шагов по времени необходимо учитывать, с одной стороны, регламент усвоения информации потребителями, с другой - скорость существенного изменения гидрометеорологических параметров, а с третьей - реальные возможности технических средств обработки и передачи данных. Оптимизация выбора шагов по времени с помощью формальных методов, по-видимому, может вызвать затруднения, поэтому предлагается принимать рациональное решение. Вариант такого решения приводится ниже.

Продолжим рассмотрение принципов формирования БПД и остановим свое внимание на процедуре заполнения и обновления базы. Известно, что множество всех типов прогнозов подходе можно разделить на три класса: инерционные, методические и климатические прогнозы [5]. Здесь и далее под инерционным прогнозом будет пониматься помимо стандартной трактовки также и результат интерполяции фактических значений по пространству. Названные классы отличаются друг от друга своими точностными характеристиками с учетом заблаговременности и срока действия прогноза. А именно, если обозначить через  $t$  момент времени, то можно (для одинаковых "стартовых" условий) указать такие заблаговременности  $\tau_{in}$ ,  $\tau_{met}$  и  $\tau_c$ , что при наличии измерений в достаточно малой окрестности точки  $t$  инерционный прогноз наиболее точен в интервале  $[t, t + \tau_{in}]$ ; при  $t \in [t + \tau_{in}, t + \tau_{met}]$  точнее других методический прогноз; при  $t \in [t + \tau_{met}, t + \tau_c]$  предпочтение отдается климатическому прогнозу. В общем случае ситуация несколько сложнее.

Введем следующие обозначения: пусть  $\sigma_{in}^{2i,k}(\cdot)$  – погрешность инерционного прогноза, составленного по  $i$ -му измерению в  $k$ -ой точке пространства,  $i = 1, 2, K, L$ ,  $k = 1, 2, K, L$ ;  $\sigma_{met}^{2q,l}(\cdot)$  – погрешность методического прогноза, составленного  $l$ -ым методом с  $q$ -ым сроком действия,  $l = 1, 2, K, L$ ,  $q = 1, 2, K, Q$ ;  $\sigma_c^2$  – погрешность климатического прогноза. Здесь и далее под погрешностью понимается среднеквадратическая погрешность. Для каждого будущего момента времени  $t + \tau$ ,  $\tau > 0$  множество

$$P_{t+\tau} = \left( \left\{ \sigma_{in}^{2i,k}(t+\tau) \right\}_{\substack{i=1,K,L \\ k=1,K,L}}, \left\{ \sigma_{met}^{2q,l}(t+\tau) \right\}_{\substack{q=1,K,Q \\ l=1,K,L}}, \sigma_c^2 \right)$$

конечно и в нем можно выделить минимальный элемент. Очевидно, что в множество  $P_{t+\tau}$  не включаются "устаревшие" прогнозы, т.е. такие, для которых к моменту  $t + \tau$  срок действия закончился (погрешность превысила погрешность климатического прогноза).

Таким образом, для каждого момента  $t$  заполнение сеточных слоев БПД, соответствующих заблаговременностям  $\tau_1, \tau_2, K, \tau_n$  осуществляется по результатам минимизации множеств  $P_{t+\tau_i}$ ,  $i = 1, 2, K, n$ , т.е. прогнозами, доставляющими минимум множествам  $P_{t+\tau_i}$ . Совокупность элементов множеств  $P_{t+\tau_i}$  постоянно, по мере поступления новой информации и устаревания имеющейся, обновляется.

В результате каждый сеточный слой БПД заполняется наиболее точными из имеющихся на текущий момент в прогностическом центре данными. При этом каждый прогноз сопровождается числовой характеристикой точности. В силу своего построения поля погрешностей для каждого слоя, за исключением, естественно, полей большой заблаговременности (т.е. заведомо в области действия климатического прогноза), могут быть весьма неоднородными: в различных узлах решетки возможны данные всех трех видов прогноза.

Шаг дискретизации по пространству при использовании численных прогностических процедур, как уже было отмечено, следует принять равным шагу сеточной области, используемой в численных расчетных схемах.

Что касается размеров шагов по времени, то в качестве варианта можно предложить следующее распределение временных слоев БПД, полагая, что величина  $t$  отсчитывается дискретно с точностью до часа: на ближайшие 24 ч - через 1 ч, затем через 12 ч – до 3-х сут., затем через 1 сут. до 7 сут., далее - 10, 15, 30 сут. и "бесконечность" - всего 37 слоев.

Таким образом, на каждый момент времени  $t$  в БПД имеется 37 прогностических полей гидрометеорологических данных, соответствующих ближайшему прошедшему часу (0-й слой), ближайшему предстоящему целому часу (1-й слой) и т.д. Каждый час осуществляется циклическое обновление всех слоев в соответствии с изложенным выше принципом максимальной достоверности. Очевидно при этом, что слои с большой заблаговременностью, заполненные климатическими данными, не изменя-



ются. Если новых прогностических и/или фактических данных не поступало, то осуществляется только пересчет показателей точности имеющихся в каждом узле данных в соответствии с ростом погрешностей, причем в тех случаях, когда соотношения погрешностей меняются, выполняется перераспределение данных из одних слоев в другие: менее точные заменяются более точными. Например, когда срок действия инерционного прогноза в некотором слое  $\tau_j$  истекает (т.е. соответствующее значение  $\sigma_{in}^{2i,k}(t+\tau_j)$  становится больше  $\sigma_{met}^{2q,l}(t+\tau_j)$  и/или  $\sigma_c^2$ ), "устаревший" инерционный прогноз заменяется методическим или климатическим прогнозом. При поступлении новой фактической и/или прогностической информации пересматриваются все слои, относящиеся к срокам действия поступивших прогнозов.

Благодаря рассмотренному построению достигается соблюдение изложенного выше принципа: в каждый момент времени в базе прогностических данных хранится наиболее достоверная информация по всему району ответственности прогностического центра на любой наперед заданный момент времени, при этом информация может быть оперативно передана потребителю в цифровом виде.

В заключение отметим, что предложенные в статье основы формирования базы прогностических данных для автоматизированного прогностического центра ориентированы на максимальное удовлетворение потенциальных потребностей в прогнозах гидрометеорологической обстановки широкого круга потребителей и согласуются с практикой составления и распространения прогнозов, принятой в действующих прогностических гидрометеорологических центрах.

Сформулированный обобщенный алгоритм заполнения и обновления БПД предназначен для реализации в центрах, оснащенных высокоавтоматизированной информационной технологией. При конкретном воплощении рассмотренного варианта БПД возможна, естественно, оптимизация структуры базы по критериям избыточности и дублирования данных, однако сам подход к формированию базы прогностических данных, на наш взгляд, достаточно универсален.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мезингер Ф., Аракава А. Численные методы, используемые в атмосферных моделях. - Л.: Гидрометеоиздат, 1979. - 136 с.
2. Машкович С.А. Спектральные модели общей циркуляции атмосферы и численного прогноза погоды. - Л.: Гидрометеоиздат, 1986. - 386 с.
3. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч.1. - Л.: Гидрометеоиздат, 1986. - 702 с.
4. Беляев Б.Н., Иванов Ю.М., Полозов В.В. Об эффективности морских гидрометеорологических прогнозов и возможности их проверки в судовых условиях. // Труды ГГО. - 1971. - Вып. 274. - С. 83-87.
5. Беляев Б.Н. Прикладные океанологические исследования. - Л.: Гидрометеоиздат, 1986. - 144 с.

## МОРСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

ГРНТИ 78.21.39.17.01

### ГИДРОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

**И.А.БЛИНОВ**

(ГМА им.адм.С.О.Макарова)

*Обобщены результаты научных исследований по проблеме “Экология и охрана Мирового океана” и сформулированы некоторые положения общего подхода к решению данной проблемы.*

В основу проведенных ГМА научных исследований заложены следующие предпосылки:

1. Экология представляет прикладную науку о Земле, изучающую взаимодействие живых организмов (биологическая компонента), окружающей среды (геофизическая компонента) и возмущающих факторов.

2. Прибрежная зона моря – весьма сложный объект, в котором непрерывно в пространстве и во времени явственно проявляются результаты взаимодействия человека и внешних геосфер планеты.

3. Локальная экологическая система прибрежной зоны моря (ЛЭС ПЗМ) пространственно ограничена береговой полосой, мористой границей ближнего шельфа и имеет протяженность вдоль генеральной линии берега 100–2000 км. ЛЭС в сложной иерархии экологических систем можно классифицировать как нижнее наиболее простое звено.

4. Фундаментальной теоретической основой ЛЭС является, как это принято в гидрографии, математическая теория поля. Такой подход к делу позволяет исследователю ввести в употребление при изучении биологической компоненты такие понятия как “биологические поля” и их параметры, использовать опыт математического описания и анализа геофизических полей и подготовить необходимые предпосылки для создания обобщенной математической модели, аппроксимирующей весь комплекс явлений и процессов, происходящих в прибрежной зоне моря.

5. Экспериментальные (экспедиционные) исследования осуществляются в рамках новой технологии “Специальные гидрографические исследования (СГИ) прибрежной зоны моря (ПЗМ)”, созданной для изучения параметров объекта гидрографических исследований в пространстве и во времени. СГИ характеризуется предельно возможной автоматизацией процесса съемки и прежде всего грунтовой съемки, широким использованием современных дистанционных измерительных систем, современным математическим и программным сопровождением на всех этапах гидрографических исследований, отказом от физического моделирования полей и процессов в лабораториях и переходом в главном к математическому моделированию с последующей проверкой и корректировкой полученных результатов в ходе экспедиционных исследований.

Существуют три типа задач, которые могут быть сформулированы и реализованы в рамках технологии “СГИ”:

1. Исследование суперпозиции квазистационарных полей.

2. Изучение временных составляющих некоторых полей объекта (в дополнение к традиционным исследованиям).

3. Исследование взаимодействующих полей в четырехмерном пространстве  $(x, y, z, t)$  с целью комплексного изучения процессов, происходящих в ПЗМ под действием внешних возмущений различного происхождения.

Экологические исследования в принципе можно осуществлять в рамках второй и третьей задач. Предпочтительным, на наш взгляд, представляется комплексирование последней. В таком случае проблему ЛЭС ПЗМ можно сформулировать следующим образом.

Необходимо на базе СГИ–технологии всесторонне разработать экологический вариант задачи третьего типа, включая основы теории, математическое моделирование, методологию, технические средства исследований и т.д. Изложенные выше исходные предпосылки легли в основу дальнейших действий. Были оптимизированы или заново разработаны следующие аспекты затронутой проблемы:

- гидрографический подход к экологии ПЗМ;
- формирование математической модели ЛЭС в поле возмущений;
- охрана морской среды в ПЗМ;
- экологические проблемы морей Арктического региона

и др.

Объем публикации не позволяет детально изложить полученные результаты, поэтому ограничимся краткими комментариями и прежде всего по вопросу о математической модели ЛЭС.

При формировании последней учтено влияние ряда полей, образующих геофизическую и биологическую компоненты, в том числе полей глубин  $h = h(\theta, t)$ , грунтов  $L = L(\theta, t)$ , гидродинамическое  $V = V(\theta, t)$  и геофизическое  $G = G(\theta, t)$ , где  $\theta$  – обобщенная координата,  $t$  – время. В качестве “обобщенного” параметра “обобщенного биологического поля” (биологической компоненты) была выбрана концентрация “живого вещества” в воде или грунте  $C = C(\theta, t)$ . Параметр  $C$ , как правило, активно взаимодействует с параметрами геофизической компоненты. Временные масштабы его изменений соизмеримы с изменениями параметров  $h, L, G$  и др. Структуру “обобщенного биологического поля” и его параметра можно изменять в зависимости от местных условий.

К сказанному о содержании геофизической и биологической компоненты ЛЭС следует добавить несколько слов о параметрах так называемых “сопутствующих полей”. Под этим термином подразумеваются факторы, которые обеспечивают жизнедеятельность водных организмов. Сюда же следует отнести физические и химические свойства воды (абиотические факторы), создающие благоприятные условия для существования ЛЭС ( $t^0, S, \rho$  и др.), а также вещества, угнетающие биологическое поле или вызывающие его деградацию и разрушение (загрязнение).

При формировании ЛЭС ПЗМ следует иметь в виду, что в рассматриваемой зоне присутствует очень большое число биологических объектов. Поэтому с целью упрощения структуры многопараметрической математической модели ЛЭС приходится пользоваться известными в прикладной математике приемами: агрегатированием параметров, определением лимитирующих функций или параметров, выделением стационарной и временной составляющих и т.д. С учетом сказанного искомая математическая модель ЛЭС ПЗМ получена в виде системы дифференциальных уравнений в частных производных, характерных для теории поля. Она складывается из двух взаимосвязанных подсистем:

- гидродинамических уравнений типа Рейнольдса, замыкающихся через уравнение деформации дна. В принципе подсистема может быть дополнена уравнением теплопроводности;

– адвективно-диффузионного уравнения или системы уравнений, описывающих пространственно-временные изменения лимитирующего биологического параметра, параметров сопутствующих полей, загрязнений и т.д.

Исходная система позволяет проследить динамику ЛЭС в условиях различных естественных и антропогенных возмущений. Ее решение (особенно численными методами) в принципе не вызывает особых затруднений. Правда, при детальном анализе ситуации появляется необходимость в проведении дополнительной процедуры декомпозиции (интерпретации) данных.

Другой вопрос, который нуждается в дополнительных комментариях, связан с организацией экологических исследований в ПЗМ, включая методологию, технологию и технические средства эксперимента с позиции гидрографии. Как известно, гидрографическая служба (ГС) ВМФ в подавляющем числе морских государств представляет собой хорошо отлаженный механизм, вооруженный современной аппаратурой, обладающий высококвалифицированными кадрами и высоким научным потенциалом, осуществляющий непрерывно круглогодичный мониторинг состояния параметров полей геофизической компоненты ПЗМ. Постоянные опорные пункты ГС расположены с достаточной частотой практически по всему побережью морей РФ. В арктическом регионе сотрудники ГС МТ РФ выполняют процедуры экологического надзора на всей трассе Северного морского пути.

С учетом названных обстоятельств результаты проведенной оценки сложившейся в настоящее время экологической ситуации в ПЗМ РФ позволили сделать, по сути дела, тривиальные выводы.

Во-первых, целесообразно поручить ГС:

- осуществление в рамках технологии СГИ экологических исследований и непрерывного мониторинга биологической компоненты в ПЗМ;
- создание в опорных пунктах банков данных и выполнение на основе имеющейся информации краткосрочных прогнозов состояния ЛЭС;
- выполнение инспекторских функций, принятие участия в экологических экспертизах, издание необходимой экологической информации и т.д.

Во-вторых, поручить ГМА им.адм.С.О.Макарова организовать подготовку на базе специальности 01.29.01 “Гидрография” инженеров-гидрографов с экологическим уклоном.

Естественно, что для реализации этих предложений потребуются определенные финансовые средства. Однако они, на наш взгляд, могут оказаться существенно ниже, чем затраты на любой другой альтернативный проект.

Большой интерес представляет определение возможностей создания экологического варианта технологии СГИ. По этому поводу следует отметить, что наибольшие трудности в данный момент на пути реализации автоматизированной съемки состояния параметров биологической компоненты в ПЗМ связаны с созданием специализированных измерительных систем дистанционного действия и судового автоматизированного исследовательского комплекса (САИК). Анализ существующих дистанционных методов измерений позволяет отдать предпочтение гидроакустическому методу, реализованному в хорошо известных гидрографических и промысловых эхолотах и гидролокаторах.

Ближе всего к выполнению “биологических” измерений несомненно стоят промысловые (рыбопоисковые) приборы, потенциальные возможности которых к более узкой “экологической” специализации далеко не исчерпаны. Однако они не могут предоставить всю необходимую для изучения биологической компоненты информацию и должны быть дополнены другой аппаратурой. Что касается создания САИК “экологической” окраски, то имеющийся в гидрографии опыт работ с геофизическими полями позволяет надеяться, что в этой области серьезных трудностей не возникает. Подтверждают сказанное результаты проведенных ГМА исследований при решении прикладных экологических задач в Северо-Западном, Тихоокеанском и Северном регионах. В целом гидрографический подход к исследованию ЛЭС прибрежной зоны моря можно считать весьма перспективным.

Определенная работа проделана и в области организации подготовки экологически образованных инженерных кадров. В частности, зарегистрирована упоминавшаяся выше специализация 0129.00.01 "Гидрография, экология и охрана Мирового океана". В 1995 г. состоялся первый выпуск инженеров-гидрографов (морских экологов).

ГРНТИ 78.21.37.15.15

### **УЧЕТ ШЕРОХОВАТОСТИ МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ НЕФТЯНЫХ ПЛЕНОК НА МОРЕ**

**А.С. ГРЕБИНСКИЙ,  
В.Ю. ОСАДЧИЙ**

(С.-Пб. филиал Института океанологии им. П.П.Ширшова РАН)

*Получены аппроксимированные общие выражения для приращения излучательной способности морской поверхности на двух ортогональных поляризациях принимаемого излучения при появлении на ней пленки. Полученные выражения дают возможность оптимизации решения обратных задач пассивного дистанционного зондирования моря по наблюдениям излучения и его флюктуаций. На этой основе разделены задачи определения характеристик невозмущенной поверхности и характеристик волнения путем введения в рассмотрение суммы и разности регистрируемых мод излучения*

*Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований (проект №94-05-17727а).*

**Введение.** Интенсивность собственного радиоизлучения морской поверхности (в отсутствие пены) зависит от двух факторов: физических характеристик поверхности раздела (комплексной диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ , температуры и, при наличии пленки, ее толщины) и геометро–статистических характеристик волнения, в частности, функции распределения уклонов на разных пространственных масштабах. Приращение излучательной способности поверхности при появлении на ней нефтяной пленки является следствием двух причин: во–первых, изменением упомянутых физических характеристик поверхности раздела и, во–вторых, изменением геометро–статистических характеристик волнения вследствие сглаживания волн пленкой. При дистанционной диагностике нефтяных загрязнений поверхности возникает необходимость разделения этих двух эффектов, причем дополнительная независимая информация о волнении, как правило, недоступна, поэтому для учета изменения шероховатости поверхности могут быть использованы только результаты дистанционного зондирования.

При СВЧ–наблюдениях конечность размера  $r_a$  антенного пятна приводит к потере информации о характеристиках волнения в области коротких пространственных масштабов  $\wedge \langle r_a$ , поэтому вклад этих масштабов (рябь на крупной волне) в радиояркость остается неопределенным.

Модельные расчеты показывают, что в длинноволновой области ( $\lambda \gg r_a$ ) приращение излучательной способности на ортогональных поляризациях сложным образом зависит от угла визирования, крутизны волны, анизотропии волнения и может менять знак при различных комбинациях этих параметров [1–3]. По этой причине результаты численного расчета модельно зависимы и их трудно использовать для решения обратных задач.

Для преодоления этих трудностей предлагается комплексный метод дистанционного зондирования путем раздельного измерения крупно- и мелкомасштабных характеристик границы раздела с помощью наиболее подходящих для этого различных методов: лидарного – в области малых масштабов ( $\lambda \ll r_a$ ) и СВЧ метода – в области больших масштабов ( $\lambda \gg r_a$ ), с подбором оптимальных условий для каждого из них.

Комплексное использование предлагаемых методов может значительно повысить точность дистанционного зондирования как физических, так и геометрических характеристик морской поверхности и ее загрязнения.

**Геометрия и постановка задачи.** Применим приближение плоских излучающих элементарных площадок [1–3]. В приближении  $\lambda \ll r_a \ll l$  пренебрежем дифракционными и резонансными эффектами и используем коэффициенты излучательной способности  $\mathcal{J}_V, \mathcal{J}_H$  поверхности на двух ортогональных поляризациях под углом  $\alpha$  к ее нормали

$$\mathcal{J}_V = I - \left| \frac{\varepsilon \cos \alpha - \sqrt{\varepsilon - \sin^2 \alpha}}{\varepsilon \cos \alpha + \sqrt{\varepsilon - \sin^2 \alpha}} \right|^2; \quad (1)$$

$$\mathcal{J}_H = I - \left| \frac{\cos \alpha - \sqrt{\varepsilon - \sin^2 \alpha}}{\cos \alpha + \sqrt{\varepsilon - \sin^2 \alpha}} \right|^2 \quad (2)$$

для вертикальной и горизонтальной поляризации, соответственно.

Следуя [3], под  $\varepsilon$  будем понимать вещественную величину, равную модулю комплексной диэлектрической проницаемости  $\varepsilon_1 - i\varepsilon_2$ , что в случае  $\varepsilon_1, \varepsilon_2 \gg l$  не приводит к большим ошибкам расчетов. В декартовой системе координат  $x, y, z$  с невозмущенной поверхностью в плоскости  $x, y$  геометрия задачи определяется двумя векторами: линией визирования – вектор  $\hat{\theta}$  под углом  $\theta$  относительно оси  $z$  в плоскости  $y, z$  и вектором нормали  $\hat{n}$  к площадке с произвольной ориентацией в пространстве. Ориентация площадки задается двумя углами:  $\varphi$  – углом наклона относительно оси  $\hat{z}$  и  $\beta$  – углом скручивания (между плоскостями визирования  $(\hat{\theta}, \hat{z})$  и нормали  $(\hat{n}, \hat{z})$ ). В этих осях угол визирования  $\alpha$  относительно площадки определяется выражением

$$\cos \alpha = \sin \theta \cos \beta \sin \varphi + \cos \theta \cos \varphi. \quad (3)$$

Регистрация линейной поляризации ведется в ортогональном базисе  $B, \Gamma$ , где  $\hat{B}$  лежит в плоскости  $(\hat{z}, \hat{\theta})$  визирования, а  $\hat{\Gamma}$  – ортогонален плоскости  $(\hat{z}, \hat{\theta})$ . Нормальные моды излучения площадки определяются поляризационным базисом  $(\hat{V}, \hat{n})$  относительно нормали  $\hat{n}$ , с вектором  $\hat{V}$  в плоскости  $(\hat{n}, \hat{\theta})$  и  $\hat{n}$  – перпендикулярно этой плоскости.

Связь обоих базисов описывается с помощью дополнительного угла  $\gamma$  между векторами  $\hat{\Gamma}$  и  $\hat{V}$ , определяемого соотношением

$$\cos \gamma = (\hat{\Gamma} \hat{V}) = \sin \varphi \sin \beta / \sin \alpha. \quad (4)$$

При наблюдениях в надир ( $\theta \rightarrow 0$ ) имеем  $\alpha = \varphi, \gamma = \beta + \pi/2$  и

$$\mathcal{J}_\Gamma = \mathcal{J}_V \cos^2 \gamma + \mathcal{J}_H \sin^2 \gamma; \quad (5)$$

$$\mathcal{J}_B = \mathcal{J}_V \sin^2 \gamma + \mathcal{J}_H \cos^2 \gamma. \quad (6)$$

Мы приводим эти известные соотношения, так как в работах [1–3] в них имеются отдельные опечатки.

**Предел малых углов визирования.** Приведенные выражения допускают значительное упрощение в пределе малых углов визирования  $\theta$  и  $\alpha$  с учетом большой величины  $|\varepsilon| \gg I$  для морской воды. В этом случае

$$\lambda / \varepsilon \ll \cos \alpha \ll \varepsilon,$$

и выражения (1), (2) для  $j_V, j_H$  сводятся к следующему виду

$$j_V = \frac{4}{\sqrt{\varepsilon} \cos \alpha}; j_H = \frac{4 \cos \alpha}{\sqrt{\varepsilon}}. \quad (7)$$

В пределе малых углов визирования и пологих волн

$$\cos \theta \approx 1 - \theta^2 / 2; \quad \cos \alpha \approx 1 - \alpha^2 / 2; \quad \cos \varphi \approx 1 - \varphi^2 / 2. \quad (8)$$

Используя приближения (7), (8) в уравнениях (3)–(6) для наблюдаемых  $j_G, j_H$ , получим

$$\Delta j_B = j_0 + \Delta j; \quad j_G = j_0 - \Delta j; \quad j_0 = 4\sqrt{\varepsilon}, \quad (9)$$

где  $j_0$  – излучательная способность гладкой поверхности в надире, а  $\Delta j$  дается как

$$\Delta j = \left( \frac{I}{2} \theta^2 + \frac{I}{2} \varphi^2 - \theta \varphi \cos \beta - \varphi^2 \sin^2 \beta \right) j_0. \quad (10)$$

**Анализ результатов.** Полученные результаты приводят к важному выводу: в приближении малых углов визирования возникает полная антикорреляция волнового приращения излучательной способности на двух регистрируемых ортогональных поляризациях  $\Delta j_B = -\Delta j_G$ .

Это оказывается справедливым независимо от всех геометрических характеристик неоднородностей (ориентации элементарной площадки  $\hat{n}$  относительно направления визирования  $\hat{\theta}$ , ее наклона  $\varphi$ ) и от угла визирования  $\theta$ .

Сказанное означает, что измерение интенсивности излучения как полусуммы регистрируемого излучения на двух ортогональных поляризациях  $j_I = (j_G + j_B) / 2$  непосредственно дает излучательную способность  $j_0$  невозмущенной поверхности  $j_I = j_0$ , несмотря на присутствие всех возмущающих факторов.

Измерение разностного сигнала  $\Delta j = j_p = (j_B - j_G) / 2$  (степени поляризации принимаемого излучения) дает информацию относительно основных геометрических характеристик волнения, содержащихся в (10), для  $\Delta j = j_p$ . Записывая  $\Delta j$  в виде

$$\Delta j = \frac{I}{2} \theta^2 j_0 \left[ 1 + \left( \frac{\varphi}{\theta} \right)^2 - 2 \frac{\varphi}{\theta} \cos \beta - 2 \left( \frac{\varphi}{\theta} \right)^2 \sin^2 \beta \right] \quad (11)$$

приходим к следующим выводам:

- 1) если  $\varphi = 0$  – плоская поверхность, тогда  $\Delta j \sim \theta^2$  хорошо известно,
- 2) если  $\varphi \neq 0$ , то знак  $\Delta j$  зависит от значения угла  $\beta$  (между плоскостями визирования и плоскостью нормали площадки  $(\hat{n}, \hat{z})$ ).

Ансамбль площадок с векторами  $\hat{n}$  в одной плоскости  $(\hat{n}, \hat{z})$  соответствует волне, распространяющейся в направлении проекции вектора  $\hat{n}$  на плоскость  $(x, y)$ , а угол  $\beta$  – углу наблюдения волны ( $\beta = 0$  – в направлении распространения волны,  $\beta = \pi/2$  – поперек). При такой интерпретации из выражения (11) следует, что при  $\beta = 0$  (в направлении волны) величина  $\Delta j$  всегда положительна

$$\Delta j = \frac{I}{2} \theta^2 j_0 \left( 1 - \frac{\varphi}{\theta} \right)^2 > 0. \quad (12)$$

Тогда как при наблюдении поперек направления волны ( $\beta = \pi/2$ ) знак  $\Delta ж$  зависит от соотношения наклона волны и угла визирования и меняет знак при увеличении крутизны волны

$$\Delta ж = \frac{I}{2} \theta^2 ж_0 \left( 1 - \frac{\varphi^2}{\theta^2} \right) < 0 \quad \text{для } \varphi^2 > \theta^2. \quad (13)$$

Эти выводы находятся в полном соответствии с результатами численного анализа [1–3] и объясняют природу найденных в этих и других работах закономерностей.

Для анизотропного волнения анализ  $\Delta ж = \Delta ж(\beta)$  позволяет определять направление распространения волн. Для изотропного по углу  $\beta$  ансамбля площадок имеем

$$\langle \cos \beta \rangle = 0; \quad \langle \sin^2 \beta \rangle = 0,5; \quad \langle \Delta ж \rangle = 0. \quad (14)$$

При прохождении волн через антенное пятно возникают временные флуктуации поляризованного излучения  $ж_p(t) = \Delta ж(t)$ , которые целиком связаны с изменением во времени наклона  $\varphi = \varphi(t)$  элементарной площадки волны в поле зрения. Спектры мощности флуктуаций  $ж_p(t)$  дают непосредственную прямую оценку анизотропной функции распределения уклонов крупномасштабных ( $\lambda \gg r_a$ ) волн. В частности, при наблюдениях в плоскости распространения волны ( $\beta = 0$ ) и малых углах визирования  $\theta^2 \langle \langle \varphi^2 \rangle \rangle$  наблюдения

$$ж_p(t) = ж_0 \frac{I}{2} \varphi^2 \quad (15)$$

дают непосредственно функцию распределения  $\varphi^2$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов А.А., Шестопалов Ю.К. Исследование возможности дистанционного определения геометрических характеристик поверхности с крупными неровностями по СВЧ-радиометрическим измерениям. // Исследование Земли из космоса. 1983. № 4.
2. Власов А.А., Шестопалов Ю.К., Егорова Е.С. Расчет излучательной способности конусообразной поверхности. // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ОТ. 1981. № 2.
3. Власов А.А., Шестопалов Ю.К. О возможности дистанционного определения некоторых параметров морских волн по СВЧ поляризационным измерениям. // Изв.АН СССР. ФАО. 1985. Т.21. №7.

ГРНТИ 78.21.43.15

#### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОДЫ И ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ В МЕЛКОВОДНЫХ БАССЕЙНАХ

**С.И.МАСТРЮКОВ**  
(Гос.НИНГИ МО РФ)

*Дано описание моделей расчета течений и переноса примеси в мелководных бассейнах. На основе анализа результатов численного моделирования в Невской губе и Ладожском озере продемонстрирована работоспособность предложенных моделей. Оценены возможные последствия строительства дамбы на гидрологический и химико-биологический режим Невской губы. Указаны области применения моделей.*

Химико-биологическое загрязнение вод отходами промышленного производства, судоходства, сельского и коммунального хозяйства представляет собой реальную угрозу экологической безопасности ряда регионов страны. В Северо-западном экономическом регионе бассейн, включающий восточную часть Финского залива, р.Неву



и Ладожское озеро является не только важной транспортной артерией, источником водоснабжения, местом массового отдыха, но и основным приемником сточных вод, нефтяного и других опасных видов загрязнения. По мере реализации планов экономического развития С.-Петербурга и Ленинградской области антропогенное воздействие на экологическую систему этого бассейна неизбежно будет возрастать.

В процессе переноса загрязнения существенную роль играет циркуляция вод, без ее учета невозможно представить создание системы контроля экологического состояния водной среды. Циркуляция воды является основным фактором, определяющим не только гидрологический, но и химико-биологический режим рассматриваемого бассейна.

Строительство дамбы в восточной части Финского залива изменило характер течений в Невской губе, что осложнило судовождение в районах судопропускных ворот, и не могло не повлиять на водообмен Невской губы с открытой частью Финского залива. Вместе с тем, несмотря на значение этой проблемы для С.-Петербурга, натурные наблюдения за течениями в Невской губе и восточной части Финского залива в течение последних четырех лет практически не проводились. Сократились и исследования гидрологического режима Ладожского озера.

В этих условиях численное моделирование циркуляции воды и переноса примеси становится не только основным методом исследования гидрологического и химико-биологического режима рассматриваемого бассейна, но и основой системы гидрологического и экологического его мониторинга.

Целью настоящей работы является оценка возможности использования уравнений динамики мелкого моря и переноса примеси для контроля гидрологического и химико-биологического состояния восточной части Финского залива и Ладожского озера. Для расчета циркуляции воды использована система уравнений движения и неразрывности, которая в приближении "мелкой воды" имеет вид [1]

$$dU/dt + U(dU/dx) + V(dU/dy) - fV + g(d\xi/dx) = \tau_x/\rho H - k_2 U|U|/H; \quad (1)$$

$$dV/dt + U(dV/dx) + V(dV/dy) + fU + g(d\xi/dy) = \tau_y/\rho H - k_2 V|U|/H; \quad (2)$$

$$d\xi/dt + d(HU)/dx + d(HV)/dy = 0, \quad (3)$$

где оси  $x, y$  направлены соответственно на восток и север;

$t$  – время;

$U, V$  – осредненные по глубине горизонтальные компоненты скорости течений;

$\xi$  – возмущение уровня свободной поверхности моря;

$H = h + \xi$  – глубина места;

$h$  – расстояние от дна до некоторой поверхности, характеризующей средний уровень моря;

$f = 2 \omega \sin \varphi$  – параметр Кориолиса;

$g$  – ускорение свободного падения;

$\rho$  – средняя плотность морской воды;

$\tau_x, \tau_y$  – компоненты тангенциального напряжения ветра;

$U$  – модуль вектора осредненного по глубине течения;

$k_2$  – коэффициент трения о дно.

Для численного решения системы (1–3) выбраны граничные условия в виде:

– на твердой границе  $\Gamma_c$  (состоящей из участков суши) условие непротекания

$U_n|_{\Gamma_c} = 0$ , где  $U_n$  – составляющая вектора скорости на внешнюю нормаль;

– на жидкой границе  $\Gamma_{ж}$  (отделяющей восточную часть Финском залива от западной)  $U_n|_{\Gamma_{ж}} = \xi \sqrt{g/H}$ ,  $U_t|_{\Gamma_{ж}} = 0$ , если  $U_n < 0$ , где  $U_t$  – тангенциальная составляющая вектора скорости течения;

– на участках впадения (истока) рек  $\Gamma_p$ :  $U_n|_{\Gamma_p} = Q/(\Delta x \times H)$ ,  $U_t|_{\Gamma_p} = 0$ , где  $\Delta x$  – шаг расчетной сетки,  $Q$  – расход речного стока.

В качестве начальных условий задается отсутствие движения воды.

Решение задачи осуществлялось с применением метода переменных направлений по неявной схеме интегрирования, подробно описанной в работе [2].

Ранее путем сравнения результатов моделирования с обобщенными данными натурных измерений, выполненных до строительства защитных сооружений в Невской губе, была показана пригодность изложенной модели для расчета поля течений в Финском заливе. Однако вычислительные ограничения позволили рассчитывать его на расчетной сетке с шагом лишь 2000м, что недостаточно для адекватного воспроизведения поля течений после строительства защитных сооружений.

Моделирование на сеточной области с шагом 1000м, проведенное в данной работе, позволило учесть реальные размеры судопропускных ворот, однако не дало возможность учесть влияние водопропускных отверстий на водообмен в Невской губе, что учитывая их размеры по сравнению с северными и южными воротами можно признать допустимым.

Общий расход Невы задавался равным среднесуточному (2500 м<sup>3</sup>/с). При этом расход Большой Невы – 1500 м<sup>3</sup>/с, Малой Невы – 500 м<sup>3</sup>/с, Большой Невки – 500 м<sup>3</sup>/с. Расчетный шаг по времени был принят равным 15 мин. Отметим, что эта величина более чем на порядок выше допустимого шага по времени при использовании явных численных схем интегрирования системы (1–3) [1]. Поле глубин снималось с карты масштаба 1:200 000, при этом в районах судопропускных ворот глубины задавались таким образом, чтобы площадь поперечного сечения северных ворот была равна 4700 м<sup>2</sup>, а южных – 10200 м<sup>2</sup>, что соответствует текущему состоянию строительства дамбы. Западная граница расчетной области для исключения влияния граничных эффектов (на жидкой границе) перенесена в глубоководную часть акватории. Изменение параметра Кориолиса с широтой не учитывалось. Коэффициент трения о дно, как и в большинстве других работ, принят равным 0.0026 [1]. При наличии необходимых для адаптации модели данных наблюдений этот коэффициент может быть уточнен.

Расчеты проводились до момента фиксации установившегося режима поля течений, которое определялось путем вычисления на каждом временном шаге расхода воды на западной границе расчетной области. Условия считались установившимися, если при нескольких последовательных итерациях расход воды не изменялся. Отметим, что при установившемся режиме расход воды на западной границе расчетной области соответствовал притоку воды из Невы. Время установления ветровой циркуляции в бассейне при скорости ветра в диапазоне 5–15 м/с не превышает 30 ч.

В качестве иллюстрации на рис.1 представлены схемы течений в восточной части Финского залива при наличии там защитных сооружений и без них при северо-западном ветре 10 м/с. Видно, что при наличии дамбы вода из открытой части залива в Невскую губу практически не проникает и тем самым, не "вентилирует" бассейн. Из южных и северных судопропускных ворот выходит по существу одна невяская вода. В общем сохраняется характер водообмена через водопропускные ворота и при других направлениях ветра. Это приводит к тому, что Невская губа превращается в озероподобный бассейн, в связи с чем можно ожидать его распреснения, изменения химико-биологического режима, повышения скорости осадконакопления и связанного с этим изменения береговой черты и рельефа дна. Более того, можно указать районы, где процессы осадконакопления будут идти наиболее интенсивно.

Кроме того обращает на себя внимание сложная картина течений в районе южных судопропускных ворот, где на сравнительно небольшом пространстве резко меняется направление течений, что осложняет судовождение. После соответствующей адаптации и проверки рассматриваемая модель могла бы стать основой расчета

течений в районе судопропускных ворот и элементом системы управления судоходством в этом районе.

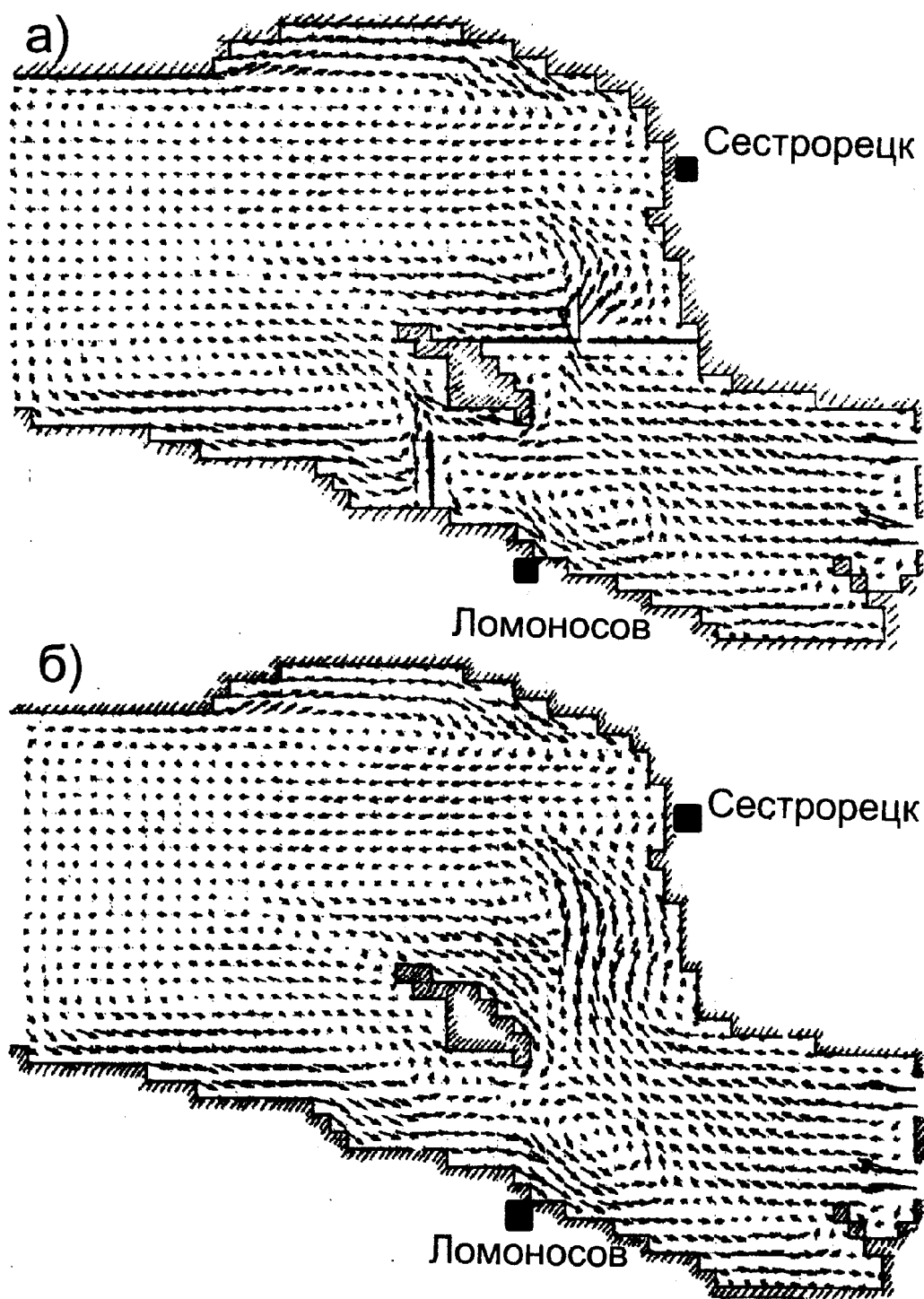


Рис.1. Циркуляция воды в Невской губе при северо-западном ветре 10 м/с:  
← 10 м/с – масштаб изображенных векторов;  
а) при наличии дамбы; б) без дамбы.

Отметим, что данные результаты получены без учета входа в бассейн длинных волн из Балтийского моря, однако при задании на жидкой границе обусловленных ими изменений уровня, рассматриваемая модель может быть использована и для расчета наводнений в С.-Петербурге. Необходимые для его проведения исходные данные могут быть получены по результатам фактических наблюдений за уровнем на западной границе расчетной области или в результате моделирования колебаний уровня во всем Балтийском море на расчетной сетке со значительно большим шагом. Однако эта задача в данной работе не ставилась.

Для расчета переноса примеси использовано двухмерное уравнение, позволяющее учесть процессы горизонтальной адвекции и диффузии примеси. При допущении о консервативности примеси это уравнение имеет вид

$$dS/dt + U(dS/dx) + V(dS/dy) - \alpha(d^2S/dx^2) - \alpha(d^2S/dy^2) = 0, \quad (4)$$

где  $S$  – концентрация примеси,  $\alpha$  – коэффициент горизонтальной турбулентности (диффузии).

В случае неконсервативности примеси, то есть при ее химическом взаимодействии с водой, осаждении, испарении и т.п. ее полная производная по времени и соответственно правая часть уравнения (4) задаются не равными нулю.

Для решения уравнения (4) выбрана явная схема интегрирования, центрированная по пространству, со сдвигом вперед по времени [4].

Такой подход обусловлен простотой названной схемы по сравнению с неявными схемами и менее жесткими ограничениями на шаг по времени по сравнению с явными схемами расчета течений.

Коэффициент горизонтального турбулентного обмена принят, в известной степени, произвольно, однако с учетом размеров бассейна, равным  $50 \text{ м}^2/\text{с}$ .

На рис.2 представлены поля концентрации условной примеси в Невской губе через трое суток после двухдневного сброса в Неву примеси с концентрацией 100 усл.ед. при северо-западном ветре 10 м/с. Отметим существенное влияние защитных сооружений на химико-биологический режим бассейна – при наличии дамбы в Невской губе концентрация примеси в 2–3 раза выше, чем при ее отсутствии (см.рис.2).

В дальнейшем, после уточнения коэффициента горизонтального турбулентного обмена, обобщения данных о характеристиках химического загрязнения, расположении потенциальных источников загрязнения, объемах и видах загрязнения, указанная модель может быть использована как для оперативного обеспечения мероприятий по ликвидации последствий аварий, сбросов загрязняющих веществ, так и для прогнозирования долговременных экологических последствий строительства гидротехнических сооружений, портов, а также при реализации других проектов, так или иначе затрагивающих целостность водной среды региона.

Не менее остро проблема расчета течений и мониторинга экологической обстановки стоит и в отношении Ладоги. Несмотря на закрытие Приозерского целлюлозно-бумажного комбината, его отходы, сосредоточенные в оз. Дроздово, а также золоотвал ТЭС, обеспечивавшей этот комбинат, наряду с другими источниками остаются мощными загрязнителями Ладожского озера. Эти загрязнения, сосредоточенные в донных отложениях заливов и прибрежных районов, под воздействием сгонно-нагонных течений выносятся в Ладогу [4]. Поэтому сведения о структуре течений и колебаниях уровня в названном бассейне необходимы не только для расчета перераспределения химических компонентов, но и для оценки возможности их выноса из мелководных губ и заливов Ладожского озера.

В публикациях, посвященных гидрологическому режиму Ладоги, имеются лишь эпизодические сведения о ветровой циркуляции [5, 6]. Известные данные о плотностных течениях в озере, полученные с использованием динамического метода, не отражают реальную картину течений, поскольку получены без учета действия ветра. Предпринимались попытки построения численных, в том числе трехмерных, моделей течений Ладожского озера [7]. Однако отсутствие необходимых результатов наблюдений затрудняет проверку этих моделей. Поэтому, как правило, оценка их пригодности

ограничивается констатацией соответствия модельных расчетов общепринятым представлениям о ветровой циркуляции в озере.

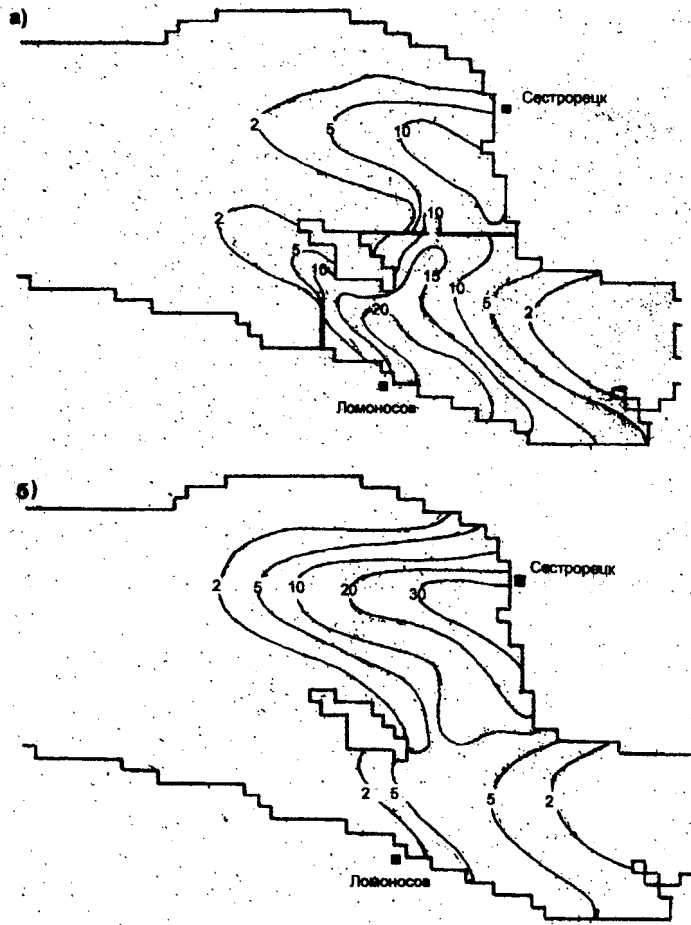


Рис.2. Поле концентрации примеси спустя 3 суток после двухдневного сброса в Неву примеси с концентрацией 100 усл.ед.:  
а) при наличии дамбы; б) без дамбы.

Для проверки рассматриваемой в настоящей статье модели проведен ряд расчетов течений и возвышений уровня при различных комбинациях скорости и направления ветра. Полученные данные о возвышении уровня сравнивались с результатами фактических наблюдений за уровнем в пунктах Осиновец, Петрокрепость и Назия, приведенными в работе [6].

Шаг расчетной сетки по пространству был выбран равным 3.6 км, по времени – 15 мин. Ладожское озеро является глубоководным бассейном. Однако ветровое воздействие охватывает ограниченный по толщине поверхностный слой воды. Будем поэтому считать, что к нему могут быть применены уравнения (1–3), основанные на допущениях теории мелкой воды. За расчетную для поверхностного слоя может быть принята толщина верхнего перемешанного слоя, определяемая тем или иным способом. В данном случае, поскольку моделировалась циркуляция при скорости ветра в диапазоне 9–16 м/с, толщина этого слоя была принята постоянной и равной 20 м. Если же фактическая глубина места в узле расчетной сетки была меньше названной величины, то она и использовалась в качестве расчетного значения.

Расчеты выполнялись до получения установившегося режима течения. Время установления циркуляции в бассейне соответствовало 2–3 сут.

В табл. 1 приведены результаты расчетов и фактических наблюдений за уровнем при различных комбинациях направления и скорости ветра. Ряд обстоятельств не позволяет считать сравнение расчетных и фактических данных вполне корректным. Так, данные фактических наблюдений за уровнем озера и соответствующие данные наблюдений за скоростью ветра относятся к конкретной дате, то есть к одним суткам и, что немаловажно, только к южной части озера. Названное обстоятельство может стать одной из причин расхождений натуральных и расчетных данных. Представляется, что осреднение результатов расчетов и фактических данных по северному (с,св,ссз) и южному (ю,ююв,ююз) направлениям ветра сделает это сравнение более обоснованным.

Таблица 1

Результаты расчетов и фактических наблюдений за уровнем в отдельных пунктах Ладожского озера

Дата проведения наблюдений	Направление и сила ветра, м/с	Значения уровней в отдельных пунктах, см					
		Осиновец		Петрокрепость		Назия	
		факт	расчет	факт	расчет	факт	расчет
3.05	ссв, 12	+16	+14	+17	+21	+25	+23
29.06	с, 10	+12	+11	+13	+16	+22	+18
28.07	всв, 12	+7	+6	+12	+8	+16	+10
8.08	юз, 16	-9	-21	-10	-25	-20	-26
13.09	ссз, 12	+9	+13	+22	+20	+36	+24
12.10	ссз, 10	+7	+9	+30	+14	+21	+16
14.10	ююз, 12	-15	-13	-37	-26	-26	-26
27.10	ююз, 16	-17	-26	-40	-49	-26	-52
16.11	ю, 14	-13	-19	-20	-38	-23	-42
20.11	ююв, 9	-7	-6	-12	-12	-23	-14

В табл.2 представлены полученные осредненные результаты и соответствующая невязка  $\Delta$  между расчетными  $\xi_p$  и фактическими  $\xi_f$  данными о возвышении уровня.

Таблица 2

Результаты оценки невязки расчета сгонно-нагонных колебаний уровня в Ладожском озере

Направление ветра	Невязки расчета в отдельных пунктах, см								
	Осиновец			Петрокрепость			Назия		
	$\xi_f$	$\xi_p$	$\Delta$	$\xi_f$	$\xi_p$	$\Delta$	$\xi_f$	$\xi_p$	$\Delta$
С	+11	+12	+1	+20	+18	-2	+26	+20	-6
Ю	-13	-16	-3	-27	-31	-4	-25	-33	-8

В целом представляется, что полученные результаты проверки расчета сгонно-нагонных колебаний могут быть признаны вполне удовлетворительными. И поэтому можно ожидать, что данная модель удовлетворительно воспроизводит и ветровую циркуляцию в Ладожском озере.

Таким образом выполненные исследования продемонстрировали работоспособность рассмотренной модели. Это позволяет рассчитывать на возможность ее успешного использования при решении задач, связанных с экологическим мониторингом водной среды, обеспечением мероприятий по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, оценкой экологической обстановки и гидрологического режима при реализации тех или иных проектов экономического развития территории, обеспечением судовождения, действий аварийно-спасательной службы. Для создания оперативной методики расчета течений и переноса консервативной примеси необходимо дополнительно разработать блоки задания начальных и граничных условий, включая блок расчета поля ветра по полю давления, блок задания координат, вида и объема загрязнения, блок графического отображения результатов расчета.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольцингер Н.Е. Длинные волны на мелкой воде. Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 160 с.
2. Баклановская В.Ф., Пальцев Б.В., Чечель Н.И. О краевых задачах для системы уравнений Сен-Венана на плоскости. // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1979. Т.19, N3. – С.708–725.
3. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей, т.1. – М: Мир, 1991. – 502 с.
4. Павлов А.Н. и др. Основные черты формирования экологической обстановки Ладожского озера в районе Приозерска. // В сб. “Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера”, СПб.: Всероссийск.геогр.общ., 1993. – С.35–44.
5. Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. – Л: Изд. ЛГУ, 1966. – 315с.
6. Исследование водной системы Ладожское озеро–река Нева–Невская губа и восточная часть Финского залива. // Тр.Гос.гидрологич.института. – 1988. – Вып.321. – 152 с.
7. Моделирование и экспериментальные исследования гидрологических процессов в озерах. – Л.:Наука (АН СССР, Институт озероведения), 1986. – 84 с.

## КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ, СЕМИНАРЫ

ГРНТИ 78.21.41.19;78.21.37.15;78.21.36.17.15

### **ВЫСТАВКА “300 ЛЕТ РОССИЙСКОМУ ФЛОТУ: ТРАДИЦИИ, СОВРЕМЕННОСТЬ ПЕРСПЕКТИВЫ”**

Выставка прошла с 16 по 20 июля 1996 г. в выставочном комплексе ЛЕНЭКСПО в Санкт-Петербурге. Проведенная совместно с выставкой “Катера и яхты — 96”, она была организована в соответствии с решением директора Российского Государственного Морского Центра при Правительстве РФ, 1-го заместителя Главкома ВМФ адмирала И.Касатонова.

В выставке, открыл которую директор Санкт-Петербургского Регионального Морского Центра контр-адмирал А.Родионов, приняли участие ВМА им. адм. Н.Г. Кузнецова, ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, Гос.НИНГИ МО РФ, АОО “Вымпел”, АО “Алмаз” и еще целый ряд хорошо известных фирм и организаций. Представительные экспозиции были подготовлены Центральным Военно-Морским музеем и Ассоциацией судомodelистов Санкт-Петербурга. Особо следует отметить экспонат АО “Петрозавод” – натуральную копию ботика Петра I.

В рамках выставки Региональный Морской Центр организовал круглый стол, на котором специалисты смогли обменяться мнениями по вопросам настоящего и будущего Российского флота. Большой интерес участников вызвало выступление заместителя начальника Гос.НИНГИ МО РФ капитана I ранга С.Алексеева. На примере анализа деятельности Института им. были наглядно продемонстрированы возможности конверсионного подхода при разумном внедрении гражданской тематики в повседневную деятельность специализированной военно-морской научно-исследовательской организации. На практике показано, что экономический эффект от использования технологий двойного применения может обеспечить выживаемость очевидно только в тех случаях, когда речь идет о сложных, высокотехнологических “ноу-хау”.

### **ВТОРАЯ РОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ “СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ НАВИГАЦИИ И ОКЕАНОГРАФИИ” (НО – 95)**

14-17.11.95 г. в Гос.НИНГИ МО РФ состоялась Вторая российская научно-техническая конференция “Современное состояние, проблемы навигации и океанографии” (НО-95), организованная Институтом при поддержке Ленинградского областного правления научно-технического общества судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, Научного совета РАН по проблемам навигации и управления движением, Гос.НИИ “Аэронавигация” РФ с участием Российских Общественного института навигации (РОИН) и Гидрографического общества.

Работа конференции проводилась на пленарном заседании и в шести секциях:

1. Методы, точность и эффективность навигации. Деятельность штурмана.
2. Навигационные системы и комплексы.
3. Спутниковые и наземные радионавигационные системы.
4. Средства навигационного оборудования прибрежной зоны мореплавания, воздушных трасс и портов.
5. Проблемы гидрографии и геофизики при исследовании и использовании полей Мирового океана.
6. Гидрометеорологическое обеспечение морской и воздушной навигации.

На выставке, функционировавшей в период конференции, были представлены действующие и макетные образцы техники.



В работе конференции приняли участие 364 специалиста от 76 организаций, в том числе: от Департаментов морского и воздушного транспорта, Главного управления навигации и океанографии МО, Государственного предприятия министерства транспорта, военных и гражданских академий, научно-исследовательских институтов, высших учебных заведений, промышленных предприятий и конструкторских бюро РФ, а также редакций отраслевых научных журналов.

Участвовали в конференции специалисты стран СНГ и Польши.

На пленарных и секционных заседаниях было заслушано и обсуждено 179 докладов и сообщений; 25 докладов представлены в стендовом варианте.

На заключительном заседании были подведены итоги проделанной работы и **приняты следующие рекомендации:**

1. Продолжить усилия по координации научных исследований и разработок новой техники в области навигации, гидрографии и гидрометеорологического обеспечения подвижных объектов РФ и СНГ, используя все возможные формы взаимодействия научных, промышленных и учебных организаций.

Гос.НИНГИ МО РФ подготовить и направить в Минобороны и Минтранс РФ обращение о необходимости утверждения на Федеральном уровне подготовленных предложений по координации работ в стране:

– “Об утверждении Государственной системы сбора, хранения, обработки и использования океанологических данных”;

– “О порядке разработки, согласования и представления на утверждение программных документов по развитию технических средств навигационного обеспечения подвижных объектов”.

Срок – II кв. 1996 г.

2. В области навигации научные исследования и разработки новой техники сосредоточить на создании и оснащении подвижных объектов интегрированными системами ориентации и навигации на базе широкого использования бесплатформенных инерциальных навигационных систем, унифицированной отечественной приемной аппаратуры спутниковых навигационных систем, электронных навигационных карт.

Исследования и принятие решений осуществлять с учетом необходимости унификации гироскопических элементов, электронных картографических навигационных информационных систем, средств вычислительной техники и микроэлектроники.

Больше уделять внимания проблемным вопросам использования новых физических принципов и явлений в навигации и океанографии.

3. В областях гидрографии и гидрометеорологического обеспечения продолжать проведение совместных работ по созданию автоматизированных гидрографических и океанографических комплексов с широким спектром измерений геофизических параметров, а также по практическому внедрению методов геомагнитной навигации.

Развивать работы по совершенствованию космических методов изучения Мирового океана и дистанционного зондирования гидрометеорологических параметров.

Активизировать работы по созданию банка данных цифровой картографической продукции в соответствии с требованиями стандартов Международной гидрографической организации (S-57).

4. В интересах улучшения положения с развитием системы средств навигационного оборудования:

– поддержать необходимость принятия Закона РФ “О государственном маячном сборе” и изменений организационно-штатной структуры Маячной службы РФ и Гидрографической службы ВМФ;

– начать работы по корректуре и уточнению Российского радионавигационного плана 1993 г. с учетом требований стран СНГ. Гос.НИНГИ МО РФ подготовить соответствующее обращение в комиссию “Интернавигация” с предложениями по организации и срокам выполнения этой работы.

Срок – I кв. 1996 г.

5. Продолжить работы по совершенствованию программ специального высшего образования и подготовки специалистов высшей квалификации, в том числе по серти-

фикации программ специальной подготовки штурманов и гидрографов на федеральном и международном уровнях.

С целью выработки конкретных предложений по сертификации направить от имени Гидрографического общества обращение заинтересованным организациям.

Провести совместное заседание РОИН и Гидрографического общества с обсуждением состояния и дальнейших направлений этой работы.

Срок – II кв. 1996 г.

6. Упорядочить систему сертификации технических средств навигации, гидрографии и гидрометеорологического обеспечения. Проблемы сертификации обсудить на секциях Координационного научного совета при Гос.НИНГИ МО РФ.

7. При решении проблем, связанных с освоением нефтегазовых месторождений на континентальном шельфе, учитывать необходимость проработки вопросов навигационно-гидрографического обеспечения.

Гос.НИНГИ МО РФ продолжить разработку программы и методов гидрографической, геологической и океанографической съемки шельфа с целью обеспечения освоения нефтегазовых месторождений Арктики. Выполнить разработку информационно-управляющей системы навигационно- гидрографического и гидрометеорологического обеспечения проектирования, обустройства и эксплуатации арктических нефтегазовых комплексов.

Гос.НИНГИ совместно с Гидрографическим обществом и РОИН организовать и провести цикл семинаров с обсуждением роли и места навигационно-гидрографического обеспечения в системе решения экологических проблем, в том числе по проблеме транспортной подводной магистрали.

Срок – 1996 – 1997 гг.

8. Гос.НИНГИ МО РФ по результатам работы конференции подготовить предложения по наиболее важным научным разработкам в навигации, гидрографии и гидрометеорологическом обеспечении. Представить предложения в Региональный морской центр (г.С.-Петербург) для участия в заключительных мероприятиях, посвященных 300-летию Российского флота.

Срок – I кв. 1996 г.

9. В целях повышения уровня проводимых в стране НИОКР в области навигации, гидрографии и гидрометеорологии Гос. НИНГИ продолжить работы по созданию межведомственных и межрегиональных баз и банков данных научно-технической информации, подготовить предложения по их функциональному сопряжению с Государственной системой НТИ.

10. Шире использовать журнал “Навигация и гидрография” для выработки единых взглядов специалистов на основные пути совершенствования средств и методов навигации, гидрографии, океанографии, гидрометеорологии, морской картографии и экологии.

Редколлегии журнала “Навигация и гидрография” посвятить один из номеров материалам Второй Российской научно-технической конференции НО-95.

11. Гос.НИНГИ МО РФ обратиться в Военно-топографическое управление МО РФ с просьбой в возможно более короткий срок опубликовать директивный документ, содержащий открытые данные об элементах связи систем координат 1942 г., ЕСК-90 и WGS-84.

Срок – I кв. 1996 г.

12. Одобрить предложение национальной рабочей группы “Балтика”(при С.-Петербургском научном центре РАН и ГУНиО МО РФ) о развитии равномерной сети на морях РФ.

13. Продолжить практику проведения конференций “Современное состояние, проблемы навигации и океанографии”. Третью конференцию провести в 1998 г., увязав сроки ее работы со сроками проведения других федеральных и международных форумов по родственным специализациям.

Рекомендации конференции НО-95 были разосланы для ознакомления специализированным комитетам Правительства РФ, Министерства обороны, Министерства

транспорта и другим заинтересованным организациям, в том числе принимавшим участие в работе конференции.

**ТРЕТЬЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
ПО ИНТЕГРИРОВАННЫМ НАВИГАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ**

Конференция прошла 27 – 29 мая 1996 г. в ГНЦ РФ – ЦНИИ “Электроприбор”. Она была организована Научным Советом РАН по проблемам управления движением и навигации совместно с ЦНИИ “Электроприбор”. В работе конференции приняли участие специалисты 10 государств (России, США, ФРГ, Франции, Великобритании, Испании, КНР, Польши, Венгрии и Украины) и Комиссии DG XIII при Европейском сообществе.

На двух пленарных и шести секционных заседаниях заслушано 43 доклада, из которых – 22 из России (в т.ч. 4 совместных с иностранными специалистами) и 21– зарубежный. В работе конференции приняло участие подавляющее большинство ведущих в области интегрированных навигационных систем отечественных (32) и зарубежных (33) организаций и фирм.

Среди них, в частности, ГУНиО МО РФ, ЦКП ВМФ, Институт проблем механики РАН, РКК “Энергия”, ГНЦ РФ – Гос.НИИ авиационных систем, Раменское ПКБ, НПО автоматики, АОЗТ “Гирооптика”, АООТ “Пермская приборостроительная компания” (Россия); The Charles Stark Lab., US Air Force Aeronautical Systems Center, The Aerospace Corp., Litton, Lockheed, Inertial Engineering (США); University of Bremen и University of Rostoc (ФРГ); SAGEM, LRBA–Service NGI, CNES (Франция); Defence Research Agency (Великобритания); ЦКБ “Арсенал” (Украина).

**ПЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА  
“ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ СПУТНИКОВЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ”**

Конференция и выставка, организованные Российским институтом радионавигации и времени, были проведены в Санкт-Петербурге в период с 20 по 24 мая 1996 г. В них приняли участие более 200 специалистов, представителей стран Восточной и Западной Европы, Америки, Азии и Африки, рассмотревших различные вопросы по разработке и особенностям применения аппаратуры ДСНС.

На конференции было представлено более 100 докладов. Труды конференции, издаваемые организатором – Российским институтом радионавигации и времени – доступны с 1 июня 1996 г.

**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
“СТАНДАРТИЗАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЯ И ФЛОТ”,  
ПОСВЯЩЕННАЯ 300-летию РОССИЙСКОГО ФЛОТА**

Конференция проводится 17–18.09.96 г. Комитетом РФ по стандартизации, метрологии и сертификации совместно с Центром испытаний и сертификации – Санкт-Петербург, Санкт-Петербургским обществом “Знание” России и Академией стандартизации, метрологии и сертификации.

Предусматривается рассмотрение следующих вопросов:

- роль и место стандартизации и метрологии в создании и использовании объектов водного транспорта;
- разработка и внедрение российских и международных стандартов в судостроении;
- применение современных методов управления качеством при проектировании, строительстве и эксплуатации судов;
- метрологическое обеспечение работ на всех стадиях жизненного цикла судостроительной продукции;
- развитие и совершенствование испытательной базы для судостроения;
- подготовка специалистов в области стандартизации, метрологии и сертификации.

Особое внимание на конференции будет уделено сертификации судов и судового оборудования, аккредитации испытательных лабораторий, а также созданию систем качества с использованием семейства международных стандартов ИСО 9000, обеспечивающих гарантии качества для потребителей.

Место проведения конференции: Санкт-Петербург, Литейный пр., 42, Санкт-Петербургское общество “Знание” России.

Телефоны для справок: (812) 251-40-76 или (812) 251-36-68.

**“РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО И ФЛОТ” –  
6-я КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ГЕОГРАФИИ И КАРТОГРАФИРОВАНИЮ ОКЕАНА  
РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА,  
ПОСВЯЩЕННАЯ 300-ЛЕТИЮ РОССИЙСКОГО ФЛОТА**

Русское географическое общество проводит в октябре 1996 г. в Санкт-Петербурге 6-ю конференцию по географии и картографированию океана, посвященную 300-летию Российского флота, на тему “Русское географическое общество и флот”.

На конференции предлагается обсудить следующие вопросы:

- исторические связи РГО и флота;
- сотрудничество РГО с гидрографической службой ВМФ и другими организациями морского профиля;
- РГО и морская картография;
- роль флота и РГО в исследованиях и освоении ресурсов и пространств Мирового океана;
- роль отдельных выдающихся деятелей русского флота, РГО и ученых-мореvedов других организаций и ведомств, много сделавших для связи, взаимодействия и сотрудничества РГО и флота и являвшихся действительными членами РГО;
- перспективы дальнейшего сотрудничества РГО и флота.

Адрес для более подробных справок:

190000, г. Санкт-Петербург, пер. Гривцова, 10

Тел. 7(812) 315-85-35

Факс 7(812) 315-63-12

Для телеграмм: Санкт-Петербург География

e-mail root @ pub.geogr.lgu.spb.su

**XX -ая ЮБИЛЕЙНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ,  
ПОСВЯЩЕННАЯ ПАМЯТИ Н.Н.ОСТРЯКОВА**

27–28 ноября 1996 г. ГНЦ РФ – ЦНИИ “Электроприбор” намечает провести очередную конференцию, посвященную памяти выдающегося конструктора гироскопических приборов Н.Н.Острякова.

На ней предполагается рассмотреть состояние и перспективы развития морского, авиационного и ракетно-космического гироскопического и навигационного приборостроения. Планируется также вручение премии им. Н.Н.Острякова, о возобновлении присуждения которой приняли решение Госпромоборонпром России и Академия навигации и управления движением.

В программу конференции предполагается включить доклады по следующим вопросам:

1. Гироскопические чувствительные элементы.
2. Гироскопические системы.
3. Обработка навигационной и геофизической информации.
4. Квантовые навигационные устройства.
5. Радиоастрооптические и гравиметрические средства коррекции навигационных систем.
6. Авторулевые, лаги, магнитные компасы и магнитометрические измерители.
7. Конструирование, технология, метрология, надежность гироскопических навигационных приборов и систем.

Оргкомитет приглашает специалистов принять участие в работе конференции и выступить на ней с докладами. При этом необходимо иметь в виду, что особый интерес представят обзорные доклады по работам, выполненным за последние 2 года.

Адрес и телефоны для справок:

Россия, 197046, Санкт-Петербург, ул.Малая Посадская, 30, ЦНИИ “Электроприбор”. Тел. (812) 238-82-10; 238-81-57.

**“НАВИГАЦИОННАЯ ТЕХНИКА 3-го ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ” –  
52-я ЕЖЕГОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ИНСТИТУТА НАВИГАЦИИ США**

Конференцию, организованную при совместном финансировании Института навигации и Лаборатории им.Чарльза Дрейпера, планировалось провести 19–21.06.96 г. в Бостоне (шт.Массачусетс). В информационном письме, предварительно направленном возможным участникам предстоящего форума, была в самом общем виде, по секционно, сформулирована подлежащая обсуждению тематика. Ее направленность обусловлена тем, что по мере приближения нового тысячелетия главными вопросами в навигации, по мнению организаторов конференции, станут следующие:

- каковы будут новые требования к навигационной аппаратуре;
- какие технологии имеются для их рекомендации;
- какие технологии необходимо разрабатывать;
- какую (в связи с вышеизложенным) деятельность следует финансировать.

На 17 секциях предполагалось заслушать 119 докладов (от 5 до 8 на каждой секции), в том числе 11 российских сообщений от 8-ми отечественных организаций, в частности, ГНЦ ЦНИИ “Электроприбор”, Гос.НИИ авиационных систем и др.

Две секции отведены вопросам военной навигации и одна – морской.

Из числа заявленных на них докладов можно отметить следующие:

- Демонстрация точности управляемого сбрасывания (десантирования) с воздуха с использованием навигационной системы GPS/ИНС.
- Научно-техническая разработка навигации необитаемых подводных аппаратов ВМС США.

– Предварительная демонстрация электронной прокладки на борту подводных лодок ВМС США.

– VF: решение для всепогодного морского порта.

От России на секцию "Морская навигация" был представлен доклад М.Чичинадзе ("Дельфин") – "Гирокомпасы XXI века и их место в навигации".

### **НОВАЯ СЕКЦИЯ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ ОБЩЕСТВЕ СУДОСТРОИТЕЛЕЙ**

В соответствии с решением Первой российской научно-технической конференции "Современное состояние, проблемы морской и воздушной навигации", проходившей с 10 по 12 декабря 1992 г. в Гос.НИНГИ, президиум Ленинградского областного правления НТО судостроителей им. акад.А.Н.Крылова на заседании 22 декабря 1992 г. сформировал секцию "Морская навигация, гидрография, геофизика и гидрометеорология" и утвердил председателем секции заслуженного деятеля науки и техники Российской Федерации, лауреата Государственной премии, д.т.н., проф. Б. Е. Иванова и ученым секретарем секции к.т.н. О.М.Митрофанову.

Задачей секции является объединение специалистов соответствующей отрасли для обмена опытом и научно-технической информацией, выработки общих взглядов и направлений развития отрасли. В работе участвуют многие ученые, преподаватели и инженеры Санкт-Петербурга. Много внимания было уделено реализации рекомендаций первой российской научно-технической конференции "Современное состояние, проблемы морской и воздушной навигации". В марте 1994 г. проведена научная школа "Астронавигация-94", а в ноябре 1995 г. секция приняла активное участие во Второй российской научно-технической конференции "Современное состояние, проблемы навигации и океанографии".

При секции организован постоянный семинар "Средства и методы морской навигации, гидрографии, геофизики и гидрометеорологии", действующий под руководством ее председателя. Секретарь семинара и секции Н. П. Бодаревская.

Вопросы гидрометеорологии и океанографии в семинаре ведет д.т.н., проф. Б.Н.Беляев, инерциальной навигации – Г.И.Емельянцева, радионавигации – к.т.н. Ю.И.Базаров, астронавигации – к.т.н. Н.А.Минаев.

Вопросы гидрографии, геофизики, геодезии и общие вопросы навигации курирует руководитель семинара.

Желающие принять участие в работе секции могут обратиться к председателю секции (тел.217-97-09) или ее секретарю (тел.219-97-76).

## СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

ГРНТИ 78.09

### **ЧЕРНОМОРСКИЙ ФЛОТ ПРИ М.П.ЛАЗАРЕВЕ (ОТРЫВКИ ИЗ ВОСПОМИНАНИЙ АДМИРАЛА И.А.ШЕСТАКОВА “ПОЛВЕКА ОБЫКНОВЕННОЙ ЖИЗНИ”)<sup>4</sup>**

*Описываются крейсерские операции Черноморского флота по блокированию Кавказского побережья в 30–40-х гг. прошлого века. Характеризуется поддержка действий сухопутных войск.*

*Материал подготовлен к печати В.В.Козырем. Допущены отдельные купюры по тексту авторской рукописи; при этом язык оригинала, в основном, сохранен практически без изменения.*

Тотчас после Адрианопольского мира с Турцией (1829 г.) наше правительство объявило восточный берег Черного моря в блокаде, которую англичане не признавали до фактического доказательства ее действительности. Впрочем, блокады не было, а была “собственных берегов стража”, как самим нам приказывали накрепко называть наблюдение за Кавказским побережьем. Дело в том, что при начальном учреждении наблюдения по всему берегу мы стояли только в Анапе и Сухуми. Вскоре устроили укрепление в Гаграх, но форт обратили в острог штрафованных и гарнизон буквально не смел выказывать из казарм носу. Промежуток между Анапой и Гаграми в 300 верст несомненно принадлежал горцам, но Европу хотели отуманить. Так сложили и объявление о недоступности кавказского берега: об умножении же нашего на нем владычества стали заботиться только в конце тридцатых годов.

От Черноморского флота содержалась у берега постоянная эскадра, располагавшаяся в Сухуми, как безопасном убежище, на многих якорях, потихоньку гноившая там паруса и снасти и с почестями предававшая земле и воде бесчисленные жертвы горячек и лихорадок, зарождавшихся в местных миазмах и широко разраставшихся в грязном бездействии на кораблях.

С 1836 г. крейсерство приняло другой характер. Велено было держать под парусами постоянных крейсеров на близких дистанциях, одинаково летом и зимой. Новая эра началась удачно взятием английской шхуны “Vixen”.<sup>5</sup>

Каковы бы ни были употребляемые средства – и опыт доказал ошибочность их – император крепко стоял за внешнее достоинство России. Очень хорошо помню, с какой британской наглостью шкипер шхуны, и не только грубый шкипер, но и сам хитростный Бель<sup>6</sup>, разделив участь экипажа, утверждали, что вслед за объяснениями правительства шхуну отпустят немедленно. Случилось иначе, и “Vixen” до самого севастопольского погрома вместо политических агентов Запада к горцам перевозила масло и сало для надобностей маяков и адмиралтейств.

Крейсерство велось с неуклонной точностью и хотя, конечно, не прекратило совершенно подвоза, но послужило отличной школой мореплавания. Северные моря по условиям природы недоступны в зимнее время. Черное же море представляет незамерзающий бассейн со всеми суровыми особенностями северных морей. В декабре, январе и феврале к бурям, постоянно выметающим море с осени до весны, присоединяется чисто северная стужа. Снасти и паруса коченеют и самые суда обмерзают до

<sup>4</sup> Продолжение. Начало см. журнал “Навигация и гидрография”, 1995 г., №1, с.122–125. (Прим. ред.)

<sup>5</sup> Шхуна под командованием шкипера-англичанина была захвачена русским крейсером у берегов Абхазии. Она занималась контрабандой оружия и переброской на Кавказ различного рода авантюристов, побуждавших горцев к войне с русскими. (Прим. В.К.)

<sup>6</sup> Подданный Великобритании, долго проживавший у черкесов. Вначале они его почитали, но когда увидели, что обещанная им английская помощь не исполняется, чуть было не приняли за изменника и шпиона и, наконец, он рад был, что успел убраться целым и оказался на шхуне “Vixen”. (Прим. В.К.)

того, что при ослаблении сил экипажа, ускоренном морозом, подвергаются гибели. Всем нам памятна плачевная участь тендера “Струя”<sup>7</sup>, вдавленного в пучину массой приставшего к нему льда. Это случилось ночью, при таком реве ветра, что стоявшие вблизи суда не слышали выстрелов, возвещавших бедствие, и видели только их пламя. Впоследствии подняли из воды эту чудовищную гробницу 50 человек и по хронометру командира, остановившемуся в роковой момент, узнали точное время небывалого крушения. Вообще крейсерство у Бреста английских эскадр в период французских революционных войн<sup>8</sup> считается самым трудным подвигом из числа многих, выпавших на долю моряков. Но англичане имели огромный флот, позволявший частые смены крейсеров, и не подвергались таким жестоким климатическим условиям. Нас же посылали на 6–7 месяцев и разделяли на две смены между негостеприимным морем и портами, в которых свирепствовала злая лихорадка и влячилась самая унылая, безотрадная жизнь. О пароходных сообщениях с плодородными новороссийскими губерниями тогда еще не думали; консервы только что начинали пробивать свой животворный путь к обреченным на пищу желудкам и стоили весьма дорого. Кавказ не прошел еще через производительные руки графа М.С.Воронцова.<sup>9</sup> Раскинутые по берегу форты нередко жили нашей флотской помощью и не могли чего-либо нам уделывать. Даже за офицерским столом освежались чайками, катранами и считали за истинный пир, когда подавалось тугое мясо буйволов. Прогулки – никакой, и единственное развлечение матросов состояло в кратковременном съезде в импровизированные на зачумленном берегу парусиновые бани.

При таких физических и нравственных лишениях только крепкие духом могли выносить тяготевшую над ними судьбину. Вымирали целые команды, например, на фрегате “Архипелаг”, где меня посылали с вахты ночью не наблюдать, соответственно принятому порядку, за бодрствованием часовых у фонарей, а отбирать мертвых от умиравших в рядах несчастных, устлавших палубу – и это при зловонии трюма, нечищеного со времени спуска на воду, и при таком бедственном положении, что фрегат от течи в корпусе едва не потонул в виду берега.

С 1833 г. условия несколько изменились. Дерзнули нарушить положение: матросам стали отпускать теплую одежду, лимонный и имбирный сок, сбитень и другие предохранительные средства. Офицерам назначали двойное жалование и двойные порции, что при совершенном недостатке местной промышленности и сообщений с южными нашими портами было крайне необходимо. Главное же держали экипажи в непрерывной деятельности. Занятое до утомления тело и вечно бодрствовавший с определенной целью дух не были способны к размышлениям, которые при отсутствии развлечений и единообразии скуки непременно навели бы сплин, предрасполагающий к недугам.

Употребление средств, несмотря на относительную скудность их, имело благотворные результаты при господствующем настроении. Скоро стали ходить на Кавказ не одни *enfants perdus*.<sup>10</sup> Стало стыдно возвращаться в Севастополь с недочетом в людях и командира, допуская развитие болезни, кроме начальственных исследований, от которых ему нездоровилось, окончательно хоронили в общем мнении архонты Графской пристани. Во всем этом не было равнодушия к матросу, в котором упрекали нас магнаты устланных коврами петербургских канцелярий.

Не легко давалась опытность на кавказском побережье. Не удовольствиями прививалась любовь к делу на этих скалах, то манивших роскошью почти тропической растительности, то отталкивающих полярной угрюмостью. Мне особенно памятна осень и зимние месяцы, проведенные в отряде, вверенном А.Т.Конотопцеву.<sup>11</sup> В лице эскадренного начальника провидение послало нам соперника безрадостной зимней природы. В страшный холод велись летние порядки: палубы гладились и, как Ко-

<sup>7</sup> 12-пушечный тендер затонул в Новороссийске в 1848 г. со всем экипажем во время боры. (Прим. В.К.)

<sup>8</sup> Первой в 1792–1797 гг., второй в 1798–1800 гг., третьей в 1805 г. и четвертой в 1806–1807 гг. (Прим. В.К.)

<sup>9</sup> С 1844 по 1853 гг. являлся Главнокомандующим войск на Кавказе и Наместником Кавказским. (Прим. В.К.)

<sup>10</sup> По смыслу – “пропащие ребята”.

<sup>11</sup> Контр-адмирал, командир 1-й бригады 5-й флотской дивизии ЧФ; впоследствии адмирал, Председатель аудиториата штаба ЧФ и портов. (Прим. В.К.)



нотопцев выражался, подбрасывались (т.е. обрезались махры, взъерошенные мытьем с камнем). Всякая одежда кроме форменных сюртуков (пальто тогда не были еще придуманы), строго воспрещались и адмирал показывал в том легкий для него пример. Увесистое туловище, пришедшее мне на память, когда я в первый раз увидел гиппопотама в лондонском зоологическом саду, было с избытком ограждено от стужи милостивой природой. Мудрец, до обморока боявшийся Лазарева, держал нас в бессменном крейсерстве. Бывало подходишь к скверному порту после отвратительной трехнедельной сатурналии по леденеющим волнам, а у входа тебя уже встречают шлюпки с адмиралтейского фрегата “Флора”, наполненные водой и провизией. Пошлешь про себя попечительному начальству пригоршню благословений и снова отправляешься снова вдоль берега.

Но в кавказских походах была и доля поэзии. Я сказал уже, что наша власть над побережьем была чисто номинальная. Турецкие контрабандисты приставали в долинах, перерезающих прибрежный кряж. Легко избегая преследования крейсеров, они вытаскивали свои суда на берег и только изредка случалось нам подоспеть вовремя и помешать выгрузке удачными выстрелами. Еще реже, вследствие настойчивых предписаний не терять даром людей, решались мы выбрасывать на берег кучу смельчаков с зажигательным снадобьем и жечь контрабандиста, уже считавшего себя в безопасности. Подобные паллиативные меры не имели иных результатов, кроме водворения на крейсерах привычки к бдительности. Собственно же кавказскую войну они нимало не двигали. Занятие удобных для пристанища пунктов указывалось здравым смыслом и вначале производилось двумя способами. Изведавший Кавказ Вельяминов<sup>12</sup> отправлялся с Северной линии<sup>13</sup> на перевал к поморью. В то же время морем на судах с юга закавказские войска подходили к назначенным для занятия пунктам. Так началось в 1837 г. систематическое занятие береговой полосы. Впоследствии, убедившись в сравнительной легкости десантов, прибегали исключительно к высадкам. В них флот приобрел некоторую славу не подвигами храбрости, а точностью и истинно патриотическим рвением, с которым помогал сухопутным силам.

В 1838 г. восемь судов единовременно погибли на грозном берегу со значительной потерей в людях, не оставляя своих постов на флангах высаженных отрядов или подвозя им все нужное<sup>14</sup>.

В этом повальном крушении было много эпизодов хладнокровного мужества, выставленных адмиралом Лазаревым столь живо и верно, что государь велел предать дело воле божьей без всяких следствий и еще благодарил моряков за самоотвержение. Но не все разбивались с одинаковым искусством, хотя причина крушения была та же, и ближайшее начальство, всегда справедливое к оценке действий подчиненных, разобрало каждое разбитие по щепочке. Выказавшие знание дела были награждены; остальным, лишившимся судов по несчастному обстоятельству, не встретилось уже случайности вновь командовать и жутко досталось им на Графской пристани.

Итак, с 1837 г. монотонный свист кавказского крейсерства начинают по временам разнообразить игривые звуки боевой тревоги. Первым десантным предприятием командовал сам главный начальник кавказского корпуса барон Г.В.Розен.<sup>15</sup>

К 22 июня в Сухум-Кальском рейде собрались фрегаты : “Анна”, “Штандарт”, и “Агатополь”, бриг “Аякс”, люгер “Глубокий”, тендеры “Легкий” и “Струя”, транспорты “Ахиллес”, “Чапман” и несколько купеческих судов для принятия отряда из полков Мингрельского, Тифлисского и Грузинского гренадерского. Полки были в двухбатальонном составе и при них до 600 закавказских милиционеров. Скоро перевозные средства увеличились прибытием фрегата “Архипелаг”, корвета “Ифигения”, брига “Поллукс”,

<sup>12</sup> Генерал-лейтенант, участник экспедиции против кавказских горцев. С 1831 по 1838 гг. командовал войсками Кавказской линии, являлся Начальником Кавказской области. (Прим. В.К.)

<sup>13</sup> Неточность автора – на самом деле “Кавказская линия” – военный кордон по р. Кубани, Малке и Тереку. (Прим. В.К.)

<sup>14</sup> Неточность автора – на самом деле семь судов, погибших в ночь с 30 на 31 мая от сильного юго-западного шторма у абхазского побережья. (Прим. В.К.)

<sup>15</sup> Генерал-адъютант; с 1831 по 1837 гг. состоял командиром Отдельного Кавказского корпуса и Главноуправляющим гражданской частью и пограничными делами. (Прим. В.К.)

шхун “Гонец” и “Вестовой”. Но с приращением сил не вырос до уровня обстоятельств командовавший эскадрой добрый старец С.А.Эсмонт<sup>16</sup>. Да кажется и другой старец, Розен, пугал себя воображаемыми затруднениями.

Начали тем, что адмирал с начальником штаба Кавказского корпуса Вальховским отправились предварительно осмотреть местность будущего подвига, на которую взглянул уже своим смышленным взглядом командир мой Е.В.Путятин, следуя к сборному пункту из Севастополя с фрегатом “Агатополь”. Ко 2 июля недоумения и колебания высшего начальства одолены были преимущественно ретивым Е.В.Путятиным, и мы отправились к Адлеру, забравши войско. Все суда были, конечно, парусные и прихоти атмосферы задержали нас до 7-го числа. В этот день мы подошли к пункту атаки.

Мыс Адлер образовался от наносов р. Мзымты, впадавшей в море пятью рукавами после быстрого бега по самой широкой из прибрежных кавказских долин. Местность покрыта сравнительно мелким лесом, но по северной окраине долины тянулся девственный бор, перевитый ползучими растениями и представлявший непроходимую чащу. Горцы очень хорошо поняли, что мы захотим стать твердой ногой у самой речки, но не будем пытаться высадиться у нее. Мелководье около устья не позволяло судам приблизиться на действенный выстрел для очищения нужного войску пространства. Северная окраина долины, поросшая вековым лесом, представляла наиболее удобную местность для приближения судов, хотя десанту предстояло здесь больше опасности. Извергаемые волнами песок и голыш, встречая препятствие в теснившихся к самому берегу сплоченных дубах и гигантском орешнике, образовали прочный вал, за которым горцы засели в ожидании непрошенных гостей. Эскадра медленно приближалась к берегу и наш нетерпеливый командир еще на ходу приготовил шлюпки для принятия войск. На других судах “поспешали тихо” и предпочли совершить эту операцию уже на якоре. Эскадра вытянулась в линию и открыла огонь. Десант собирался, между тем, за судами и когда берег был достаточно обстрелян, двинулся к нему, паля из шлюпочных орудий. Путятин распорядился высадкой на быстрой гичке и пристал значительно прежде прочих. Удивительно, что горцы не наказали его за смелость, тем более, что в самый высаживавшийся отряд, состоявший из 600 чел., сделали залп, которым убили одного солдата.

Столько толковали о густоте населения Адлера, о воинственности его, в особенности о существовании среди его отчаянных абреков, что мы ожидали страшного отпора. Оказалось однако, что первая попытка стоила нам потери только одного человека. Шлюпки отвалили за новым войском, а высаженное построилось в колонну на узкой полосе щебня, между лесом и морем. Его тотчас оградил цепью стрелков 4-го батальона Мингрельского полка под командой дежурного штаб-офицера Альбрандта, известного кавказского храбреца. 4-я карабинерская рота того же полка была выделена из колонны на помощь стрелкам и послана в лес под начальством князя Туманова. Здесь представилось новое доказательство к каким важным последствиям ведут на войне самые ничтожные ошибки. Вместо того, чтобы вести подкрепление кучей, Туманов тотчас за валом рассыпал его и заиграл “вперед”. Стрелки Альбрандта, принявши сигнал, двинулись далее в лес; тумановские пробрались сквозь них, торопясь помочь собратьям, а альбрандтовские, в свою очередь, принимая выстрелы товарищей за горские, углублялись далее и далее. В результате друзья и недруги перемещались между собою. Черкесы влезли на деревья и оттуда низали наших беспощадно. Бывший в этом десанте Бестужев–Марлинский, сказавши “Альбрандт безумствует, пойду приведу его в себя” или что-то в этом роде (в общем разговоре и трескотне выстрелов хорошенько я не мог расслышать, хотя стоял очень близко), перешагнул за вал и исчез в лесу. Наконец, чисто физическое утомление пробиравшейся между пнями и колючками цепи остановило ее. Из посланных в лес воротилось 587 чел. Четыре офицера остались в числе жертв. Бестужев также не возвращался. Солдаты рассказывали, будто двое несли его, раненного, и были застигнуты черкесами, изрубившими одного из но-

<sup>16</sup> Контр-адмирал, командир 2-й бригады 5-й флотской дивизии ЧФ. Впоследствии командир Дунайской флотилии и портов. (Прим. В.К.)

сильщиков. Другой бежал, оставя еще дышавшую жертву. Спасшегося даже указывали и слушали от него различные подробности. Но самое основание рассказа было невероятно. Каким образом человека довольно тучного, как Бестужев, могли нести двое в оплетенном гибкими лозами лесе? Впоследствии входили в сообщение с горцами, сулили им деньги, но о Бестужеве не знают ничего верного до сей поры. Вот мой простой, записанный в тот же вечер на биваке рассказ о преждевременном конце Марлинского.

Собравшийся отряд двинулся по кромке леса к самому мысу и вечером наши огни играли уже в шумной речке. На другой день с обычной церемонией главнокомандующий заложил укрепление Св.Духа, перекрестил мыс Адлер а Константиновский – и русский доморощенный механик скоро привел роскошную долину в свойский порядок. Прочие подробности об укреплении занятого пункта, вероятно, мало интересны и я распространился о высадке потому только, что она была первая и стоила таланта нуждающейся в талантах России.

Желая скорее получить эполеты<sup>17</sup>, легче покупавшиеся военным ухарством, нежели мирным трудолюбием, я оставался при сухопутном отряде два месяца и горевал вместе с тифлисцами над бесполезной потерей сотни храбрых, нанесенной нам черкесами 18 июля уже за Мзымтой вследствие того, что начальство, ожидавшее прибытия государя, хотело показать ему воздвигнутое якобы волшебством укрепление и послало всех на работу, ограждая самой жиденькой цепью.

Безжалостная лихорадка унесла более тысячи жертв, но такие подробности в реляциях не писались и нас скоро отблагодарили наградами, в том числе меня солдатским Георгием. С большим удовольствием ношу я этот крест, напоминающий скоротечную, беззаботную, не зараженную никакими расчетами юношескую жизнь.

По поводу изменений, совершаемых воспитанием в человеческой природе, упоминаю эпизод той же кавказской войны. При занятии одного из прибрежных пунктов я участвовал, уже офицером, в морском батальоне, которому назначено было занять гору над долиной, где высадилось войско. Насколько мы отличились, не значитя в моих записках. Упоминается только в них, что были убитые и раненные и что Н.Н.Раевский<sup>18</sup> велел назвать гору “Морской”. Подробно у меня занесено следующее происшествие. Отступавшие черкесы оставили раненного. Пробегая мимо него, гардемарин, безумный мальчик лет 19, выстрелил в несчастного из пистолета и был на месте преступления нами высечен. Больно и грубо выказывала себя наша человечность, но были несомненные признаки ее присутствия.

Осмотреть возникшее на костях погребенных жертв укрепление помешало Николаю Павловичу бурная погода, когда в сентябре, сделавши смотр Черноморскому флоту, он проходил место наших подвигов перед путешествием на Кавказ, где кавказцы скоро убедились, что грозны не одни Кази-Мулла<sup>19</sup> и Хаджи-Берзек<sup>20</sup>.

1840 г. был особенно памятен на кавказском берегу, уже уставленном многими укреплениями. Образовалась Черноморская береговая линия и для нее особенное управление в Керчи. Начальником был назначен Н.Н.Раевский. Линия уже имела свои транспорты и пароходы, связанные с флотом единственно персоналом, который доставлялся по указаниям линейного начальства. Охраняющая берег эскадра продолжала отделяться от флота и положение ее значительно облегчилось, так как вся транспортровка отошла к кавказской флотилии.

Приемы перевозочной службы совершенно иные, нежели чисто военной. Наряду со случайностями, образующими хороших моряков, усваивается купеческая медлен-

<sup>17</sup> Быть произведенным в 1-й офицерский морской чин. Для чего тогда еще юнкеру И.А.Шестакову необходимо было совершить подвиг и быть награжденным солдатским георгиевским крестом. (Прим. В.К.)

<sup>18</sup> Генерал-лейтенант, сын известного героя Отечественной войны 1812 г. Н.Н.Раевского. С 1837 г. Начальник 1-го Отделения Черноморской прибрежной линии, а с 1839 по 1841 г. – Начальник всей Черноморской береговой линии. (Прим. В.К.)

<sup>19</sup> Один из самых отважных и предприимчивых горских предводителей, действовавший против русских войск в конце 20-х – начале 30-х годов. Погиб в 1832 г. при взятии русскими аула Гимры. (Прим. В.К.)

<sup>20</sup> Предводитель горского племени убыхов в борьбе против русских в 1840 г. Стал во главе кавказских племен, населявших северо-восточное побережье Черного моря. Отличался исключительной предприимчивостью и неукротимой ненавистью к русским. (Прим. В.К.)

ность и вкрадываются купеческие воззрения. Скоро кавказская флотилия приняла особый характер, совершенно отчуждавший ее от флота. Несколько труженников постоянно работали между укреплениями. Большинство же обзавелось в Керчи хозяйством, снижало расположение незнакомого с делом сухопутного начальства и открывало в древней Пантикапее<sup>21</sup> новую Колхиду, забывая старую, для которой флотилия собственно и была создана. Сам Раевский женился, стал нуждаться в обществе и охотно окружал себя моряками и семействами их, увеличивавшими суету в его гостиных.

Весной 1840 г. Хаджи-Берзек сумел соединить горное население и направить его к одной цели. Прибрежные укрепления, которым сообщалась керченская явность, были большей частью забраны и разорены. Подвиги частной храбрости навели блеск на это мрачное обстоятельство. Тем не менее плоды трехлетних усилий были уничтожены и предстояло возобновить их с быстротой, доказать горцам ничтожность их попыток и остановить успехи, которые могли весьма легко повести к общему на Кавказе взрыву.

Все силы флота и 16-я дивизия 5-го корпуса, стоявшая в Крыму, были употреблены для восстановления пострадавшего нашего влияния. Сам М.П.Лазарев, представлявший дотоле легкие отличия подчиненным адмиралам, взял на этот раз дело в свои опытные руки и, сглаживая личным влиянием шероховатости, возникшие между флотом и армией вследствие неудач, в дружеском сообществе с пробудившимся начальником линии приступил к поправлению береговых дел. Главкомандующий на Кавказе Е.А.Головин<sup>22</sup> также принял в этом участие. Отнятые пункты были снова заняты и вместо прежних укреплений воздвигнуты более прочные, способные устоять против покушений горцев.

Во вторичном занятии берега участвовали исключительно полки, не привыкшие ни к местности, ни к передвижению морем. Нам приходилось осязая невыгоду таких сравнительных новобранцев и не раз вздыхать по бодрым кавказцам, усвоившим уже море и его прихоти. Но мало-помалу наловчились и крымцы. Постоянные перевозки на кораблях для военных действий и неизбежных смотров скоро ознакомили их со всеми подробностями десантных экспедиций, так что дивизию забирали в несколько часов. Остряки–мичманы уверяли, что для этого не требовалось никаких приготовлений; стоило только послать корабельных боцманов по солдатским казармам просвистеть “по кораблям марш” – и всякий обозный или амуничный ящик находил надлежащее уже место, каждый солдат занимал знакомый куток. Действительно десантное дело в Черноморском флоте было доведено до той чуждой суетливости быстроты, без которой успех подобных предприятий всегда гадателен.

Временная неудача 1840 г. обернулась, таким образом, прочным утверждением нашей власти на берегу и в 1841 г., когда Раевский был уже заменен И.Р.Анрепом<sup>23</sup>, нужно было придумать особые комбинации, чтоб напомнить о существовании береговой линии и притягивать к ней милостивое монаршее воззрение. Преимущественно с этой извинительной при существовавшей обстановке целью, частью же с намерением уничтожить влияние на убыхов Хаджи–Берзека в исходе сентября новый начальник линии собрал на Адлере довольно значительный отряд. Экспедиция представляла особый способ сочетания сухопутных действий с морскими и потому перед прощанием с моей кавказской службой я обрисую ее несколькими чертами.

Если предположить, что попытка Анрепа имела серьезную цель, то следовало идти от Адлера к Сочи горами. Только на этом пути можно было наказать чувствительно дерзких убыхов и вместе с тем проложить дорогу через населенные непокорным племенем места. Так вначале и решили, но забывши, что в войне, в особенности горной, быстрота – первое условие успеха, провели значительное время на Адлере в сборе и дали возможность горцам узнать о намерении нашем и принять все меры. Настал, наконец, момент движения. До Анрепа дошли слухи, что избранный им путь укреплен и загорожен препятствиями до такой степени, что его отряд неминуемо делается жерт-

<sup>21</sup> Древнее название Керчи.

<sup>22</sup> Генерал от инфантерии, с 1837 по 1842 гг. командовал на Кавказе Отдельным Корпусом русских войск. (Прим. В.К.)

<sup>23</sup> Генерал-адъютант, генерал от кавалерии граф Анреп–Эльмпт с 1842 по 1849 гг. являлся начальником Черноморской береговой линии.

вой. Об экспедиции были уже сделаны донесения; отказаться от нее не позволяло самосохранение от “друзей”, и генерал решился тянуться от Адлера к Сочи окраиной берега, призвав на помощь контр-адмирала М.Н.Станюковича<sup>24</sup> с крейсировавшей у берега эскадрой.

До речки Мыццы отряд двигался без всякой тревоги, встречая препятствие единственно в узкости побережья, но за Мыццой дела приняли иной вид. Хаджи-Берзек, оставя укрепленную им горную линию, стал на прибрежных высотах и приготовился наказать противника, решившегося бороться с его влиянием. Шествие отряда по узкой покрытой щебнем и песком колее, под крутыми скатами, с *impedimento*<sup>25</sup> в виде стада рогатого скота представляло повисшим на смежных вершинах убыхам выбор жертв. Без помощи эскадры, как сам Анреп признавал впоследствии, Хаджи-Берзек поднялся бы в глазах приверженцев на новую громадную грудку русских костей – и помощь эта была оказана адмиралом Станюковичем со свойственным ему знанием дела и пылом возбужденного самолюбия. Корабли опережали войско на версту или полторы, метя прибрежные вершины сокрушительными выстрелами. Часть эскадры следовала позади войска и непрерывным огнем не позволяла горцам собираться в тылу его. Рядом с авангардом шли шлюпки, устилавшие картечью путь непосредственно впереди войска, и в таком же отношении к арьергарду помещались другие шлюпки. У кордебаталии<sup>26</sup> выстраивались в порядке перевозные баркасы, на которые подбирали раненых и убитых. Прилепившись таким образом к эскадре, сухопутный отряд прошел в двое суток каких-нибудь 14 верст, конечно с потерей, но урон казался ничтожным в сравнении с тем, который имел бы место без распорядительности Станюковича, а главное без великости русского бога. Дивная погода позволяла нам рассчитывать с уверенностью.

Временные привалы представляли зрелище, напоминавшее иорданские караваны. Поморье было так узко, что многие солдаты стояли в воде; в них через цепь, расположенную в полгоры, строчили горцы из метких винтовок. Скот, одуревший от суматохи и безводья с самой Мыццы, тискался между тем, что должно быть рядами, а шумная конная милиция давила целых, раненых и убитых. Арьергард охраняли шлюпки с нашего брига “Фемистокл”, порученные мне, как старшему офицеру. Не одно громкое спасибо посылал мне командовавший арьергардом К.К.Данзас – бывший секундонт Пушкина. Горцы особенно налегали, когда отряд проходил ущелье, пользуясь удобством местности, и против ущелий солдаты падали десятками. В последнем – перед Сочи – убыхи особенно сильно тиснули. Данзас вел колонну мерным шагом, и я, в свою очередь, закричал ему: “Бегом!” Солдаты послушались и вслед за ними мы засыпали ущелье картечью пяти карронад.

Дошло, наконец, до Сочи, недосчитавшись более 500 чел., наше нерадостное шествие. Видным плодом экспедиции было занятие горы, командовавшей Сочи, с которой Хаджи-Берзек бомбардировал перед тем укреплением; но результата этого горздо проще и безопаснее можно было достичь, действуя из самой Сочи.

Не было ни дефиле, ни успеха, разве весьма относительного. Никто не ожидает точности в официальных реляциях. Степень искажения истины по самолюбию или чувству самосохранения зависит от правил пишущего. Есть, однако ж, пределы, полагаемые тем же чувством заботливости о себе, напоминающем о возможности несогласия соучастников с взглядами оправдывающегося деятеля. Впоследствии, коротая крейсерство, я составил для “Морского сборника” статью “Короткий галс в прошедшее”, в которой правдиво, но весьма умеренно изложил обстоятельства перехода. Анреп уже не командовал линией. Сочли однако нужным послать статью на его рецензию, и она явилась, преобразованная с милой шуткой в выноске. Редакция “была уверена, что исправления участником увенчат ее занимательность”. Цензура – немой оратор, поражающий весьма действительным, хотя и бессловесным доводам.

<sup>24</sup> Командир 2-й бригады 5-й флотской дивизии ЧФ. Впоследствии адмирал, член Адмиралтейств – Совета. Отец известного русского мариниста К.М.Станюковича. (Прим.В.К.)

<sup>25</sup> Два значения – препятствие и войсковой обоз

<sup>26</sup> Средняя, главная часть флота (авангард–кордебаталия–арьергард)

\* \* \*

Смерть застигла адмирала 21 ноября 1888 г. в Севастополе. Без всяких натяжек император Александр III говорил, что “Для государства и для флота в особенности это огромная потеря и трудно заменимая”. Адмирал Иван Алексеевич Шестаков, при жизни признанный как русский писатель, первый почетный гражданин Владивостока, кавалер многих российских и иностранных орденов, единственный из российских морских министров совершивший кругосветное путешествие, похоронен в Севастополе в храме Св.Владимира вместе со своими учителями и наставниками: М.П.Лазаревым, П.С.Нахимовым, В.И.Истоминим, В.А.Корниловым и др.

Предлагая читателям журнала одну из глав воспоминаний И.А.Шестакова, мы полагаем, что каждый по достоинству оценит этот интересный по содержанию труд.

Ваши замечания и предложения по данному материалу просьба направлять как в редакцию, так и непосредственно В.В.Козырю (по адресу: 197341, С.-Петербург, ул.акад.Королева, д.19, кв 637).

## ЗА РУБЕЖОМ

ГРНТИ 78.25.31.35.29.31.29.31

### СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ НАЗЕМНЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЗА РУБЕЖОМ

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

*Характеризуются состояние и перспективы развития наземных РНС Loran-C, Omega, Десса, Geolog и Spot. Описываются основные зарубежные системы управления движением морских объектов. Кратко анализируются достоинства новых моделей и модификаций приемоиндикаторов РНС для морских потребителей производства ведущих зарубежных фирм.*

До настоящего времени, несмотря на интенсивное внедрение на движущихся объектах аппаратуры спутниковых навигационных систем (СНС), достаточно актуальным остается использование потребителями средств РНС наземного базирования. Причем при анализе современного состояния последних прежде всего целесообразно рассмотреть системы определения координат места. Затем можно будет охарактеризовать системы управления движением судов, основным источником информации в которых являются высокоточные РНС ближнего радиуса действия. Завершает настоящий обзор раздел, посвященный описанию наиболее распространенных образцов бортовой приемоиндикаторной аппаратуры наземных РНС.

**Системы определения координат места.** Наиболее широкое распространение в международном пользовании для навигационного обеспечения подвижных объектов различного назначения получили импульсно-фазовая РНС дальней навигации Loran-C, ее модификации Accifix (США) и Pulse-8 (Великобритания) а также английская фазовая РНС средней дальности Десса. Хорошо известна и уже заканчивающая свой срок службы американская РНС дальней навигации Omega.

РНС Loran-C еще в 1974 г. получила в США и Канаде статус государственной системы обеспечения прибрежного судоходства. Эта система имеет также широкое распространение в Европе, на Ближнем и Дальнем Востоке.

В состав цепочки РНС Loran-C могут входить от трех до пяти наземных станций, расположенных на территории одной страны, или в разных государствах. Соответственно с этим цепи РНС Loran-C могут быть национальными или международными.

В 1991 г. на Североамериканском континенте были введены в действие две новые цепи Loran-C, что окончательно завершило формирование радионавигационного поля по всей территории США. Рассматривался вопрос о строительстве дополнительных станций в Канаде и Северо-западной Европе. Предполагалось, что сеть станций единой Европейской системы Loran-C должна быть создана в 1995 г. и введена в эксплуатацию с 1996 г.

В настоящее время в Индии построены и введены в эксплуатацию две новые цепочки РНС Loran-C, зоны действия которых обеспечат подходы к портам Калькутты и Бомбея. Расширена зона действия Корейской цепи и введены в действие три цепи в Китае с целью полного покрытия радионавигационным полем всей прибрежной зоны страны.

В большинстве государств РНС Loran-C используются в стандартном (разностно-дальномерном) режиме с дальностью действия около 1800 км. Излучаемая мощность станций составляет 250–800 кВт, высота антенн 80–190 м., точность определения места объектов 100–270 м. Повышение ее до 10–50 м может быть достигнуто за счет применения дифференциального метода.

По состоянию на начало 1996 г. РНС Loran-C продолжает расширяться и развиваться на основе современных технологий и обеспечивать навигацию для военных и гражданских потребителей. Однако, начиная с 1995 г., США поэтапно сокращают финансирование обслуживания цепей, размещенных за пределами страны. Они будут переданы в распоряжение государств, на территории которых расположены. В соответствии с Федеральным радионавигационным планом 1994 г., предполагается тем не менее продолжать эксплуатацию системы до 2000 г. Дальнейшее продление ее действия будет зависеть от удовлетворения требований пользователей, которые не могут быть удовлетворены другими РНС наземного базирования или космическими системами.

Кроме стационарных цепочек РНС Loran-C, излучающих мощные радиосигналы и находящихся под государственным контролем, на базе ее аппаратуры разработаны и широко используются различными ведомствами системы мини-Loran с небольшой мощностью излучения – Accufix (США), Pulse-8 (Великобритания) и др. Такие системы являются легко транспортабельными и служат для определения места подвижных объектов на сравнительно небольших площадях.

Системой дальней навигации является также американская РНС ОНЧ-диапазона Omega, включающая 8 передающих станций, излучающих сигналы в диапазоне частот 10,2 - 13,6 кГц. Система обеспечивает непрерывную всепогодную навигацию военных и гражданских потребителей практически в глобальном масштабе и широко используется судами в открытых районах Мирового океана, самолетами на трансконтинентальных авиалиниях как отдельно, так и в комплексе с другими навигационными системами. Ответственность за работу системы в целом несет подразделение Береговой охраны США – Центр навигационной системы Omega, расположенный в г. Александрия (шт. Вирджиния)

РНС Omega обеспечивает погрешность определения места объекта 2 – 5 миль (3,7 – 7,5 км,  $P=0,95$ ), что удовлетворяет требованиям морских судов для океанской фазы плавания. Дифференциальный метод повышает точность определения места подвижного объекта до 0,45 – 1,8 км, в зависимости от удаления от пункта контроля. Согласно Федеральному плану Министерство обороны США с 1 января 1995 г. в основном прекратило использование РНС Omega. Срок ее эксплуатации пока продлен только до окончания 1997 фин.г. (т.е. до 30.09.97 г.) и будет зависеть от финансирования и поддержки системы потребителями [2].

В судовождении при плавании вблизи берегов и в узкостях используются низкочастотные РНС средней дальности действия. Наибольшее распространение среди этого класса систем получила РНС Десса (Великобритания) с частотной селекцией сигналов. В настоящее время эксплуатируется около 30 цепей РНС Десса, рабочие зоны которых покрывают прибрежные воды европейских государств, Японии и других стран.

В состав каждой цепи обычно входят четыре наземных станции: одна ведущая и три ведомых. Дальность действия системы не превышает 700 км. Погрешность определения координат места составляет 25-400 м, в зависимости от времени суток и удаления от станций.

В настоящее время завершена модернизация наземного оборудования РНС Десса. Прошли модернизацию цепи РНС, расположенные в Швеции, Финляндии, Дании, Германии, Нидерландах и Великобритании. Соглашением между Британским управлением маяков и фирмой Racal Marin предусматривается использование РНС Десса до 2014 г. (с условием возможного пересмотра срока в 2004 и 2009 гг.).

Во многих странах мира эксплуатируется довольно большой набор средневолновых РНС, обеспечивающих высокоточное определение места подвижных объектов на средней дальности (до 1000 км). Особый интерес представляют системы типа Geolog и Spot со сложным сигналом, для которых характерна независимость дальности действия от времени суток за счет полного подавления пространственной волны. Уровни сигналов в этих системах ниже уровней естественных радиозумов, что обеспечивает скрытность работы систем и высокую их помехозащищенность. Системы ра-



ботают как в разностно-дальномерном так и в дальномерном режимах, имеют дальность действия свыше 700 км днем и ночью и точность определения координат места 2–20 м, а также широкий спектр излучаемого сигнала (порядка десятых долей мГц). Системы могут иметь не более 20 пользователей, работающих в дальномерном режиме при трех передающих станциях.

Ближняя навигация может обеспечиваться, в частности, хорошо известной системой Syledis (Франция) с рабочей дальностью действия до трех расстояний прямой видимости и с точностью определения координат места 1-3 м. Она используется в Северном море, Мексиканском заливе, на Среднем Востоке и в Восточной Европе. В настоящее время в мире эксплуатируется около 4000 комплектов данной системы. После модернизации, проведенной фирмой Sersel, удалось на 50% снизить стоимость и уменьшить массогабаритные характеристики Syledis. Одновременно до 150 км была увеличена ее дальность действия.

**Системы управления движением морских объектов.** Районы с высокой интенсивностью судоходства характеризуются повышенной навигационной аварийностью. По данным многолетних наблюдений именно на них приходится около 74% мировых аварий. Одной из основных причин столкновений является различие в оценке ситуации на сближающихся судах. Чтобы решение на расхождение было единственно правильным, кроме соблюдения требований морской практики, необходим объективный контроль с берега за местонахождением и маневрированием судов.

Впервые принципиально эта задача была решена в 1948 г. при оснащении порта Ливерпуль береговой системой управления движением судов, построенной на базе использования РЛС. В последующие годы подобными системами был оборудован еще ряд крупных морских портов. Опыт их эксплуатации показал высокую эффективность снижения аварийности судоходства. Так, по данным порта Роттердам, среднегодовая аварийность судов на подходах к нему после установки подобной системы снизилась в 5 раз, несмотря даже на 10 % увеличение портового грузооборота.

Технические средства систем управления движением состоят из средств сбора, обработки, преобразования, отображения и передачи информации, а также средств документирования. В состав средств сбора информации, помимо РЛС может входить и другая техническая аппаратура: телевизионная, визуальная и т.д. Системы радиолокации при этом остаются главным источником получения необходимой информации.

В последние годы наряду с системами управления движением судов на базе РЛС получили развитие системы, в которых основным средством сбора информации являются высокоточные РНС ближнего действия: Accufix, Pulse-8, Syledis, Hy-Fix, Mini-Ranger и др. Они используются, как правило, в обращенном режиме, который предусматривает обработку радионавигационной информации в береговом центре управления движением с последующей передачей навигационных данных и элементов электронной карты потребителям. В частности, высокую оценку специалистов получила система Accufix, с 1982 г. обслуживающая Суэцкий канал. Она создана на базе трехстанционной цепи РНС Mini-Logan и является основным звеном системы управления движением, в которую дополнительно включена одна обзорная береговая РЛС и пять контрольных станций для определения дифференциальных поправок РНС.

Бортовая аппаратура рассматриваемых систем может быть установлена стационарно или доставляться лоцманом. Навигационная информация в реальном масштабе времени воспроизводится на фоне цифровой карты в береговом центре управления и одновременно отображается на судовом мониторе. Судоводитель на экране наблюдает ориентированный относительно фарватера контур судна на фоне элементов гавани.

Наиболее совершенными системами управления морским движением на базе радионавигации являются системы фирмы Sersel серии Syleport (созданы на основе высокоточной РНС Syledis), которыми в настоящее время оборудованы около 50 портов различных стран. Одна из последних модификаций этой системы Syleport-30, сообщение о разработке которой появилось в 1989 г. Она построена на базе РНС Syledis, использующей беззапросный принцип определения навигационного параметра. Это значительно расширило возможности системы.

**Бортовая приемоиндикаторная аппаратура наземных РЛС.** Анализ материалов по созданию и эксплуатации бортовой приемоиндикаторной аппаратуры наземных РНС показывает, что работы в этой области ведутся по:

- развитию серийного производства наиболее удачных ранее созданных моделей и расширению оснащения ими подвижных объектов различных потребителей;
- внедрению в разработку новых модификаций последних достижений науки и техники;
- повышению степени стандартизации отдельных блоков аппаратуры и их характеристик вне зависимости от объектов и режимов эксплуатации;
- использованию бортовой радионавигационной аппаратуры при решении нетрадиционных навигационных задач (режим грубого захода на посадку, слежение за сухопутными транспортными средствами и др.).

Разработкой и производством бортовой аппаратуры импульсно-фазовой РНС Loran-C занято более 25 фирм США, Канады, Японии и стран Западной Европы: Micrologic, Trimbl Navigation, Morrow, Furuno и др. На начало 90-х годов насчитывалось уже более 150 моделей приемоиндикаторов, свыше 400 000 комплектов которых находилось в эксплуатации. Самым многочисленным классом потребителей бортовой аппаратуры РНС Loran-C продолжал оставаться морской флот (военный и гражданский). Сообщалось о разработке в 1987–1991 гг. новых моделей и модификаций приемоиндикаторов РНС для морских потребителей, в том числе: Commander Loran фирмы Micrologic (США); LRX-22P фирмы MLR Electronique (Франция); Raynav-570 фирмы Raytheon Marine (США).

Основные тактико-технические характеристики приемоиндикаторов системы Loran-C:

- погрешность определения места ..... 100–270 м;
- сопрягаемые средства ..... автопрокладчик, авторулевой;
- масса ..... 18 кг.

Одно из ведущих мест среди фирм-разработчиков морской приемоиндикаторной аппаратуры РНС Loran-C занимает американская компания Micrologic. Диапазон ее разработок широк – от приемоиндикатора повышенной мощности Commander Loran до ручной модели Sportnav.

Первый из них был выпущен в 1988 г. и представляет собой наиболее сложную модель, способную отслеживать на порядок более слабые сигналы РНС, чем это делают обычные приемоиндикаторы, одновременно работая по двум цепям и обрабатывая до десяти линий положения. Кроме того, этот приемоиндикатор снабжен системой Energy Track, которая производит слежение за двумя периодами в импульсе и, тем самым, позволяет принимать и обрабатывать как поверхностные, так и пространственные сигналы.

В приемоиндикаторе Commander предусмотрена возможность уменьшения погрешности определения места и увеличения дальности приема поверхностных сигналов. Например, определение периода правильного разрешения многозначности фазовых измерений, проводящееся с использованием метода максимального правдоподобия, позволяет на 200–300 миль увеличить дальности приема поверхностных сигналов. Применение фильтра Калмана повышает точность определения места. Приемоиндикатор имеет герметичный корпус. На растровом дисплее информация отображается в четыре строки суммарным объемом 80 знаков. Предусмотрена регулировка угла наклона экрана. В памяти приемоиндикатора хранится информация о более чем

14000 навигационных огней и буя, расположенных на побережье США (предусмотрена возможность изменения банка данных).

Одна из последних моделей приемоиндикатора Sportnav (торговая марка Voyager) – портативный (ручной) вариант приемоиндикатора массой около 800 г. имеет встроенную телескопическую антенну и может работать автономно около 25 ч. Предусмотрено программирование маршрута по 100 маршрутным точкам. Все функции выполняются автоматически, включая поиск, опознавание и выбор цепи РНС Logan-C, автоматическую выдачу первоначальных координат места, а также поправок за распространение и магнитное склонение. Приемоиндикатор с водонепроницаемым корпусом обладает положительной плавучестью.

Одной из наиболее современных разработок приемоиндикаторной аппаратуры РНС Десса являются модели МК-53 и МК-53G фирмы Racal (Великобритания). Обе они имеют встроенный вычислитель для преобразования показаний декаметров в географические координаты, используя режим перекрестной синхронизации, что позволяет сохранить работоспособность системы на границе рабочей зоны и повысить точность определения места. Приемоиндикатор МК-53G работает не только по РНС Десса, но и по спутниковой навигационной системе NAVSTAR. Предусмотрена возможность корректировки данных РНС Десса с использованием информации от спутниковой системы. Навигационная информация от обеих систем одновременно может быть выведена на видеопрокладчик CVP-3500, сопрягающийся с аппаратурой.

Последняя разработка фирмы Racal по РНС Pulse-8 – приемоиндикатор МК-7, с 1990 г. поставляемый вместо устаревшей модели МК-4. Микропроцессорная технология построения его позволила улучшить качество обработки сигнала и повысить точность определения места до 5–10 м. В приемоиндикаторе МК-7 производится слежение за двумя периодами радиоимпульса, что дало возможность уменьшить влияние ионосферного сигнала. Предусмотрена обработка линий положения от двух независимых цепей. При этом сигналы всех станций могут быть обработаны одновременно. Итоговые данные выводятся через 5 независимых каналов. Имеется вывод на ПЭВМ.

Работа приемоиндикатора МК-7 с использованием двух цепочек РНС Pulse-8-II, Logan-C или обеих систем вместе как в разностно-дальномерном, так и в дальномерном режимах позволяет повысить точность определения места, особенно в тех районах, где плох геометрический фактор одной цепи системы. Имеется устройство для декодирования информации о дифференциальных поправках СНС NAVSTAR и встроенная батарея для обеспечения питанием в течение 20 мин (на случай выхода из строя основного источника питания). Предусмотрена звуковая и визуальная сигнализация о плохих условиях приема сигналов.

Разработкой и производством бортовой аппаратуры РНС Omega занималось около 20 фирм, в том числе Tracor Inc., Litton Aero Products, Global System (США), Crouzet (Франция), Canadien Marconi (Канада) и др. Всего насчитывается свыше 50 моделей и модификаций приемоиндикаторов РНС Omega. Гарантийный срок работы большинства из них составляет 3 года. Общее количество различных объектов с установленной бортовой аппаратурой системы, по состоянию на начало 1993 г., превышало 26000 ед.

В ВМС США приемная аппаратура РНС Omega используется практически на всех классах кораблей, выполняющих задачи в открытых морских районах.

Основные тактико-технические характеристики приемоиндикаторов РНС Omega:

- погрешность определения координат места ..... 2100–4300 м (P=0,68);
- сопрягаемые средства ..... аппаратура СНС;
- масса ..... 14–18 кг.

Ряд фирм интенсивно ведет разработку комплексированных приемников наземных и спутниковых радионавигационных систем. Так в приемоиндикаторе Navgrafic-II (Trimble, США), работающем по системам Logan-C и NAVSTAR, отображение навигационной информации осуществляется на встроенном видеопрокладчике. Объем памяти запоминающего устройства рассчитан на 500 путевых точек и 50 путевых маршрутов, предусмотрена работа в дифференциальном режиме. Приемник GP — двух-

канальный мультиплексный, слежение может осуществляться одновременно за 7 спутниками. Электронные карты вводятся с помощью кассет ПЗУ. Маршруты и путевые точки описываются именем, номером и символами.

Приемоиндикатор MNS-2000G фирмы Racal работает по системам Loran-C, Omega, Decca, Transit, NAVSTAR и состоит из двух блоков: процессора 5541 и совмещенных приемников 5540 и 80367 наземных и спутниковых радионавигационных систем. При отсутствии возможности приема сигнала ИСЗ СНС NAVSTAR автоматически обеспечивается прием и обработка сигналов наземных РСН или СНС Transit. Объем памяти запоминающего устройства рассчитан на 100 путевых точек или 9 маршрутов.

**Заключение.** Несмотря на бурное развитие спутниковых навигационных систем с высокими точностными характеристиками определения места объектов, в настоящее время остается достаточно актуальным использование потребителями РСН наземного базирования. В некоторых случаях, а именно – управление движением на базе электронных карт–, комплексированное использование навигационной информации СНС и РСН наземного базирования во многом способствует решению задач безаварийного плавания практически в любом районе Мирового океана.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный Радионавигационный План США 1994 г.
2. Федеральный Радионавигационный План США 1992 г.

ГРНТИ 78.21.41:78.21.39.17

### ОРГАНИЗАЦИЯ И СРЕДСТВА НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЯПОНИИ

**П.С.ВОЛОСОВ,  
С.А.РУДАС**  
(Гос.НИНГИ МО РФ)

*На основании анализа зарубежных данных приводятся сведения об организации и структуре японской гидрографической службы. Характеризуется структура Гидрографического департамента Управления Береговой охраны Японии (УБОЯ) – ведущего государственного ведомства, ответственного за навигационно-гидрографическое обеспечение в национальном масштабе. Отслеживается корабельный состав научно-исследовательских судов гидрографических служб УБОЯ и ВМС Японии, основные сведения по которым приводятся в табличной форме.*

*Описывается программа работ Японского морского научно-технического центра (НТЦ) – государственной организации, играющей ведущую роль в выполнении НИОКР по исследованиям Мирового океана. Тактико-технические характеристики научно-исследовательских судов и подводных аппаратов из отряда приписанных к НТЦ плавсредств сведены в таблицы.*

**Введение.** В соответствии с “Законом о средствах навигации” от 1949 г., единственным административным органом, ответственным за развитие и управление средствами навигации и гидрографии в стране, является Управление Береговой охраны Японии (УБОЯ – Japan Maritime Safety Agency), включенное в структуру общенационального Министерства транспорта. Основную роль в навигационно-гидрографическом обеспечении, а также проведении соответствующих океанографических и гидрометеорологических исследований в рамках общенациональных интересов играют специализированные службы УБОЯ, а также ВМС и профильные национальные научно-технические центры. Разработки по совершенствованию судового навигационного оборудования

проводятся под эгидой Японского морского регистра (ЯМР), официально представляющего интересы страны в ИМО.

Кроме того, часть НИОКР выполняется по линии высшей школы, причем различные университеты и НИИ проводят эти работы как в интересах определенных ведомств и фирм, так и по собственным научным программам. При тех или иных исследованиях Мирового океана ряд специально построенных или арендуемых для этой цели плавсредств используется некоторыми крупными частными компаниями.

Характер проводимых исследований и их генеральную направленность определить затруднительно в силу закрытости необходимой информации. По косвенным данным (в частности, на основании анализа состава технических средств и перспективных разработок по ним), можно однако предположить об особой заинтересованности в проведении глубоководных донных исследований, имеющих конечной целью освоение залежей полезных ископаемых на тихоокеанском грунте (железо-марганцевые конкреции и т.д.), прогнозирование подвижек земной коры и т.п.

**Управление Береговой охраны.** Является одной из структур Министерства транспорта. Главные задачи УБОЯ – пограничная служба, охрана рыболовства и национальных интересов в прибрежной экономической зоне, борьба с контрабандой и проведение спасательных операций, навигационное обеспечение безопасности мореплавания, океанографические и гидрометеорологические исследования.

Личный состав УБОЯ насчитывает более 12 тыс. чел., почти 22% из которых составляют офицеры (1995 г.).

Штаб-квартира Управления расположена в Токио. В ее состав входят следующие основные департаменты:

- пограничной охраны;
- спасательной службы;
- обеспечения навигационной безопасности мореплавания;
- гидрографический.

В числе специализированных отделов последнего – океанографический.

УБОЯ располагает двумя собственными учебными заведениями, отвечающими за профильную подготовку личного состава – Академией БО (г. Куре) и Школой БО (г. Майдзурю).

На центральный аппарат Управления БО в Токио замыкается 11 районных управлений. В их составе насчитывается в общей сложности 66 местных бюро УБОЯ, 54 морские станции и 26 отдельных подразделений, 14 морских авиастанций, 10 районных центров связи, 3 центра управления судоходством, 111 гидрографических участков и 1 специальная спасательная станция, а также 4 гидрографических обсерватории [1, 2].

**Корабельный состав навигационно-гидрографических служб.** В составе корабельных сил УБОЯ, по данным на 1995 г., числилось более 550 вымпелов (включая почти 50 катеров и плавсредств службы экологического мониторинга). Из них 85 ед. относятся к департаменту обеспечения навигационной безопасности мореплавания, а 12 находятся в подчинении гидрографического департамента.

Основную часть сил департамента обеспечения навигационной безопасности мореплавания составляют 25–30 -т малые и 60–400 -т средние тендеры обслуживания средств навигационного ограждения (60 и 11 ед. соответственно). Больших (по японской терминологии) судов – водоизмещением более 500 т – всего четыре (табл.1).

Тактико-технические характеристики 5 ОИС и ГС гидрографического департамента приведены там же. Характерная особенность всех этих ИС – включение в состав их специализированного оборудования гидрофонных кос для сейсмического профилирования морского дна и получения данных о подстилающих геологических структурах. При этом высокоавтоматизированные судовые системы сбора и обработки геологической, а также и гидрографической информации позволяют осуществлять названные операции в реальном масштабе времени [1, 3].

Таблица 1

## Основные тактико-технические характеристики навигационно-гидрографических судов Управления Береговой охраны Японии

№ п/п	Класс и тип судна	Количество судов в серии, ед.	Наименование и бортовой номер	Год ввода в строй	Водоизмещение нормальное, т	Главные размерения, м	Скорость полного хода, уз	Дальность плавания, мили (при скорости, уз)	Тип ЭУ и мощность ГД, л.с.	Численность экипажа (в том числе ученые), чел.	Примечание
1.	Судно обеспечения маячной службы "Tsushima"	1	"Tsushima" LL01	1977	1950	75,0x12,5x4,2	15,5	10000 (15)	ДУ, 4200	54	Оборудовано НПУ. Используется также в качестве ИС.
2.	Лощманское судно "Hokuto"	3	"Hokuto" LL11 "Kaio" LL12 "Ginga" LL13	1979 1980 1980	700 ÷ ÷	55,0x10,6x2,7 ÷ ÷	12 ÷ ÷	3900 (12) ÷ ÷	ДУ, 1030 ÷ ÷	31 ÷ ÷	— ÷ ÷
3.	ОИС "Shoyo"	1	"Shoyo" HL01	1972	2200	81,7x12,6x4,2	17	11000(14)	ДУ, 4800	58 (23)	Базируется на Токио. Полностью оснащено для производства всех видов океанографических работ. Оснащено СНС MX702 SATNAV и РНС LORAN-C. Несет 6-т гидрографический катер.
4.	ОИС "Takuyo"	1	"Takuyo" HL02	1983	3000	96,0x14,2x4,6	17	12000 (16)	ДУ, 6090	60 (24)	Базируется на Токио. Оборудовано НПУ. Имеет пассивную успокоительную систему. Оснащено СНС и РНС LORAN-C. Несет два 12-м гидрографических катера.
5.	ГС "Tenyo"	1	"Tenyo" HL04	1986	770	56,0x9,8x2,9	13	5400 (12)	ДУ, 1300	43 (18)	Базируется на Токио. Имеет пассивную успокоительную систему. Несет 10-м гидрографический катер.
6.	ГС "Meiyo"	2	"Meiyo" HL03  "Kaiyo" HL05	1990  1993	550  ÷	60,0x10,5x3,1  ÷	15  ÷	5280 (11)  ÷	ДУ, 3000  ÷	31 (13)  ÷	Оборудованы НПУ. Имеют пассивную успокоительную систему. ГД установлены на резиновых виброамортизаторах. В корме по правому борту установлено устройство спуска/подъема гидрографической аппаратуры.

Остальные 7 из упомянутых выше 12 ед. данного департамента – гидрографические катера: 5 типа "Akashi" HS31 постройки 1973-1977 гг. водоизмещением по 21 т (скорость хода 9 уз, экипаж 7 чел.) и 2 типа "Hamashi" HS21 постройки 1991-1993 гг. водоизмещением по 42 т (скорость хода 15 уз, экипаж 10 чел.).

#### **Номенклатура бортового навигационно-гидрографического оборудования исследовательских судов гидрографического департамента.**

Примерный состав навигационно-гидрографического и океанографического оборудования судов исследовательского флота Японии рассмотрим на примере ОИС "Такуйо" и ГС "Меiuо".

Несмотря на то, что между вводом их в состав флота перерыв в 10 лет (1983 г. и 1993 г., соответственно, см.табл.1), они оснащены примерно одинаково. Различия касаются только марок некоторых видов аппаратуры и, частично, фирм-изготовителей.

Большая часть РЭА японского производства, хотя системы сбора и обработки информации созданы на базе ЭВМ фирмы Hewlett-Packard (США). Разница лишь в том, что на более современном ГС "Меiuо" в этой системе применены помимо матричных жесткие и оптические диски для хранения данных.

Для обеспечения плавания суда оснащены гирокомпасом с авторулевым, доплеровским гидроакустическим лагом, цифровым эхолотом и двумя РЛС (диапазонов Х и S). На "Меiuо" установлен также видеопроектор.

К основному оборудованию обеспечения гидрографической, геологической и океанографической съемки относятся:

- комплексная система навигации, состоящая из двух приемников СНС GPS, двух приемников РНС Logan-C, цезиевого генератора частоты и управляющей ЭВМ;
  - система сбора и обработки данных с проектором (планшетом-построителем);
  - батиметрическая система Seabeam;
  - промерный эхолот (на "Меiuо" дополнительно применен компенсатор вертикальной качки);
  - цифровая морская система сейсмического профилирования донных структур с воздушными акустическими генераторами и 12-канальной линейной буксируемой ГАС типа "Коса";
  - протонный магнитометр;
  - морская гравиметрическая система;
  - система измерения проводимости, температуры и плотности воды.
- На ГС "Меiuо" кроме того добавлены:
- многослойный доплеровский профилометр течений;
  - система анализа приливных и океанских течений;
  - автоматическая система картографирования данных.

На гидрографических (промерных) катерах этих судов используются эхолоты и аппаратура электронной системы определения координат Trisponder. На катере ГС "Меiuо" добавлена автоматическая система сбора данных гидрографической съемки.

Палубное оборудование обоих судов, наоборот, в значительной степени различается. Это определяется разницей не только в размерах самих судов, но также в их назначении и в возможных районах работ. Если на ОИС "Такуйо" установлены лебедка с 12000-м тросом переменного сечения диаметром 7,3 – 10,0 мм (для взятия проб грунта), 2 океанографические лебедки с 12000-м тросом переменного сечения (диаметр 3,3 – 5,7 мм) и 1 океанографическая лебедка с 6000 м армированного кабеля для работы с системой измерения проводимости, температуры и плотности воды, то ГС "Меiuо" оснащено двумя лебедками – одна с 3000 м обычного троса диаметром 6 мм, а другая с 2200 м армированного кабеля. Соответственно используются и палубные краны меньшей грузоподъемности.

Исходя из данных сравнения оборудования этих судов и общей тенденции совершенствования навигационно-гидрографической техники в мире, можно предположить, что дальнейшее изменение состава средств обеспечения работ на судах исследовательского флота Японии будет происходить лишь путем замены устаревших образцов на технику новых поколений.

**Военно-морские силы.** Состав находящихся под военно-морским флагом вспомогательных судов, назначением которых является выполнение океанографических исследований в оборонных интересах, приведен в табл.2. Судя по имеющимся косвенным данным они, по-видимому, расписаны по основным военно-морским базам и находятся в оперативном подчинении профильного подразделения штаба ВМС. Исключение в этом отношении могут составлять ледокол "Shirase", ориентированный главным образом на обеспечение японских антарктических исследований, а также СМПВ типа "Hibiki", используемые в качестве одного из элементов системы дальнего гидроакустического наблюдения. Планирование деятельности названных объектов по-видимому носит более межведомственный характер, чем остальных судов, перечисленных в табл.2 [1, 2, 4].

Ледокол "Shirase" является самым крупным судном японского исследовательского флота. В состав оборудованного на его борту научного комплекса входят пять основных лабораторий, из которых четыре (камеральной обработки, геодезическая, океанографическая и морской биологии) размещены на первой палубе, в кормовой оконечности и одна (физики верхних слоев атмосферы) – в надстройке. Кроме того, в средней части корпуса на третьей палубе в гирокомпасном помещении выгорожен гравиметрический пост, а в надстройке размещен метеокомплекс (лаборатория, посты анализа метеоданных и информационный).

Ледокол имеет на борту три вертолета постоянного базирования, в том числе два тяжелых СН-53 грузоподъемностью до 10 т и один малый, разведывательный ОН-6. В состав кранового оборудования входят четыре крана (2х12 т, 1х8 т и 1х6 т). Грузовместимость судна – 1000 т (включая перевозимое топливо).

СМПВ типа "Hibiki" оборудованы буксируемыми линейными ГАС американского производства. ГПБА этих станций имеет длину 800 м и буксируется с помощью кабельтроса протяженностью 1800 м. Заглубление антенны составляет 150–450 м.

Более подробные данные по названным объектам приведены в [5, 6, 7].

**Японский морской научно-технический центр (Japan Marine Science and Technology Center).** Расположен в Йокосуке. Проводит обширные океанографические и гидрометеорологические исследования. Работает над созданием перспективных средств изучения и освоения океана. Располагает собственной экспериментальной и научно-производственной базой.

По предпоследней 10-летней программе исследования шельфа на 1977-1986 фин. гг. плановые правительственные ассигнования были утверждены для него в объеме 20 млрд. иен (69,2 млн. дол. по среднему курсу на начало января 1977г.). Они предназначались в обеспечение исследований течения Курисио, сооружения искусственной рыбной банки и последовательного создания ряда технических объектов.

На первом этапе (1977-1981 гг.), начатом в апреле 1977 г., предусматривалась постройка [6]:

- подводной лаборатории на глубине 300 м;
- обитаемого 3-х местного ПА Shinkai-2000 глубиной погружения 2000 м и его судна-носителя "Natsushima" с окончанием строительства в 1980 г. (затем перенесено на октябрь 1981 г.).

Общая стоимость работ – 27,1 млрд.дол. Фактический период ввода в эксплуатацию комплекса – 1981-1983 гг.



Таблица 2

**Основные тактико-технические характеристики вспомогательных судов ВМС Японии,  
предназначенных для сбора океанографических данных и/или гидрографических работ**

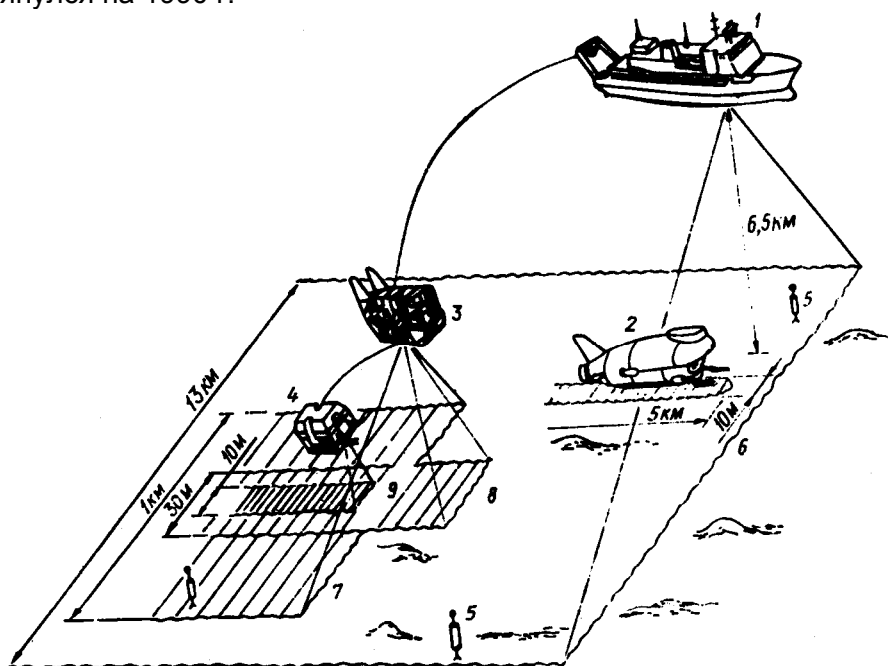
№ п/п	Класс и тип судна	Количество судов в серии, ед.	Наименование и бортовой номер	Год ввода в строй	Водоизмещение стандартное / полное, т	Главные размерения, м	Скорость полного хода, уз	Дальность плавания, мили (при скорости, уз)	Тип ЭУ и мощность ГД, л.с.	Численность экипажа (в том числе ученые), чел.	Примечание
1.	ГС "Akashi"	1	"Akashi" AGS5101	1969	1420/	74,0x13,0x4,3	16	16500 (14)	ДУ, 3200	75 (10)	Имеет сильно развитое РЭВ для радиоперехвата. Оборудовано НПУ. Несет на борту не менее 2 гидрографических катеров (длиной до 10 м).
2.	ОИС "Futami"	2	"Futami" AGS5102	1979	2050/3175	97,0x15,0x4,2	17	.	ДУ, 4000	105	Оборудованы НПУ. Несут на борту по одному дистанционно-управляемому мини-ПА RCV-22, предназначенному в том числе для подводных гидрографических исследований.
			"Wakasa" AGS5104	1986	÷	÷	÷	÷	÷	÷	
3.	ГС "Suma"	1	"Suma" AGS5103	1982	1180/	72,0x12,8x3,4	15	.	ДУ, 3250	64	Несет на борту 11-м гидрографический катер.
4.	Ледокол "Shirase"	1	"Shirase" AGB5002	1982	11600/ 17600	134,0x28,0x9,2	19	25000 (15)	ДЭУ, 53900	234 (60)	Полностью оснащен для проведения исследований воздушной и морской сред. Имеет 3 вертолета корабельного базирования. Используется в основном при проведении антарктических экспедиций.
5.	Судно-катамаран (СМПВ) гидроакустического наблюдения "Hibiki"	2	"Hibiki" AOS5201	1991	2850/	67,0x29,0x7,5	11	3800 (10)	ДЭУ, 6700	40	Аналогичны СМПВ подобного рода ВМС США типа T-AGOS-19. Предназначены для использования в качестве судов дальнего гидроакустического обнаружения. Оснащены протяженной буксируемой гидроакустической антенной типа "Коса". Передача всех данных осуществляется через ИСЗ для обработки на береговой центр в Йокосуке. Экипаж головного судна имеет в своем составе американских гражданских специалистов.
			"Harima" AOS5202	1992	÷	÷	÷	÷	÷	÷	

Вместе с тем к середине 80-х годов НТЦ удалось ввести в строй еще одно исследовательское судно-носитель ПА – крупнейший в мире полупогружной катамаран – СМПВ “Kaijo” валовой вместимостью 2800 рег.т [5].

Оно предназначено для проведения многопрофильных высокоточных исследований, включая поиск залежей ископаемых и изучение биологических ресурсов океана, а также для проведения работ, связанных с созданием новой подводной (в том числе водолазной) техники. Катамаран может принимать на борт привязной НПА Dolphin-3K с управлением по ВОЛС и оборудован двумя декомпрессионными камерами – палубной и погружной (на глубины до 300 м). В средней части судна установлен полноповоротный 11,5-т кран, а в корме – П-образная 22-т склоняющаяся грузовая балка и несколько менее крупных спуско-подъемных устройств. Удержание на точке с точностью до 10 м или 5% от глубины акватории обеспечивается первой системой динамического позиционирования японского производства.

На втором этапе (1982-1987 гг.) была запланирована постройка более сложной системы – обитаемого ПА Shinkai-6000 глубиной погружения 6000 м и его судно-носителя “Yokosuka” [6].

Общая стоимость этого комплекса была определена в 7 млрд.иен (24,2 млн.дол. по среднему курсу на январь 1977 г.) – по 3,5 млрд.иен для каждого объекта. В ходе работ требуемая глубина погружения перспективного ПА, получившего новое обозначение Shinkai-6500 (рисунок), была увеличена до 6500 м. Фактический срок его готовности оттянулся на 1990 г.



Состав глубоководной системы с ПА Shinkai-6500:

- 1 – судно-носитель “Yokosuka”; 2 – ПА Shinkai-6500; 3 – контейнер-носитель привязного НПА;  
 4 – привязной НПА с глубиной погружения 10000 м; 5 – акустический ответчик; 6 – полоса обзора золота с многолепестковой ХН; 7 – полоса обзора ГАС бокового обзора; 8 – полоса обзора ТВ-камеры, делающей моментальные съемки; 9 – полоса детального обзора ТВ-камеры.

В результате всех этих, а также дополнительных работ НТЦ к настоящему времени располагает собственной научно-исследовательской флотилией в составе нескольких крупных исследовательских судов-носителей ПА и отрядом подводных аппаратов, рассчитанных на эксплуатацию на глубинах до 10000 м.

Основные тактико-технические характеристики их приведены в табл.3 и табл.4 соответственно. (В последнюю включены данные также по нескольким исследовательским ПА, принадлежащим частным фирмам) [3, 5–7].

Таблица 3

**Основные тактико-технические характеристики научно-исследовательских судов обеспечения ПА,  
приписанных к Японскому морскому научно-техническому центру**

№№ п/п	Наименование судна (принимаемых на борт ПА)	Год ввода в строй	Водоизме- щение/ дедвейт, т (валовая вмести- мость, рег.т)	Главные размерения, м	Скорость полного хода, уз	Дальность плавания, мили (при скорости, уз)	Тип ЭУ и мощность ГД, л.с.	Численность экипажа (в т.ч. иссле- дователи), чел.	Примечание
1.	“Natsushima” (НПА Dolphin–3К, ОПА Shinkai 2000)	1981	· (1553)	67,4x13,0x3,6	12,0	·	ДУ, 1720	55(25)	Оборудовано ГБО.
2.	“Kaijo” (НПА Dolphin–3К)	1985	3000/860 (2800)	61,6x28,0x6,3	14,2	·(13)	ДЭУ, 7500	69 (40)	Катамаран типа СМГВ. Имеет дина- мическую систему позиционирования с 8 ПУ.
3.	“Yokosuka” (НПА Dolphin–10К, ОПА Shinkai 6500)	1990	·/4440	105,2x16,0x4,5	16,7	9500	ДУ, 6000	57 (30)	Из 30 исследовате- лей 18 чел. – персо- нал обслуживания ПА и гидронавты.

Таблица 4

## Основные тактико-технические характеристики японских исследовательских подводных аппаратов

№№ п/п	Тип ПА	Наименование ПА(судна обеспечения)	Год ввода в строй	Масса в воздухе (полезная нагрузка), т	Максимальная глубина погружения, м	Скорость хода, уз	Экипаж (в т.ч. исследователи), чел.	Назначение	Владелец
1.	Привязной, необитаемый	Dolphin-3K (“Natsushima” и “Kaijo”)	1987	0,4(0,05)	3300	3,0	–	Гидрографические исследования.	Японский морской НТЦ
2.	Привязной, необитаемый	Dolphin-10K (“Yokosuka”)	1993–1994(?)	.	10000	3,0	–	Донные исследования.	Японский морской НТЦ
3.	Самоходный, обитаемый	Shinkai 2000 (“Natsushima”)	1983	23,3(0,10)	2000	3,0	3(1)	Донно-поисковые работы, био- и сейсмологические исследования.	Японский морской НТЦ
4.	Самоходный, обитаемый	Shinkai 6500 (“Yokosuka”)	1989	25,8(0,20)	6500	2,5	3	Геофизические исследования, поиск месторождений полезных ископаемых, исследования морской флоры и фауны.	Японский морской НТЦ
5.	Самоходный, обитаемый	Hakuyo	1971	6,6(0,36)	300	3,5	3(2)	НИР в интересах рыболовства, инспекция подводных кабельных трасс и трубопроводов.	Компания Shin Nippon Kaiji Co.Ltd.
6.	Привязной, необитаемый	SCEWS	1974	.	~70	.	–	Взятие донных проб и гидрографические работы.	Компания Hitachi Zosen Corp.
7.	Привязной, необитаемый	Seabed Robot	.	10,0	500	.	–	Подводные наблюдения и строительные работы.	Компания Komatsu Ltd.

Наиболее современное судно НТЦ "Yokosuka" спроектировано как носитель глубоководной исследовательской системы в составе ОПА Shinkai-6500 и НПА Dolphin-10K с управлением по ВОЛС. Последний предназначен в первую очередь для изучения месторождений полезных ископаемых, морской флоры и фауны, а также проведения геофизических исследований на глубинах, которые ранее были доступны только с помощью батискафа.

Схема работы системы показана на рисунке. Ее предварительная отработка проводилась в середине 80-х годов на базе менее сложного (для глубин 2000–3000 м) исследовательского комплекса в составе ОПА Shinkai-2000 и привязного НПА Dolphin-3K на борту судна-носителя "Natsushima".

Для хранения ОПА Shinkai-6500 на верхней палубе "Yokosuka" оборудован ангар длиной около 40 м. В кормовой оконечности судна установлен П-образная склоняющаяся 33-т балка и в дополнение к нему – вспомогательное спуско-подъемное оборудование. Спуск и подъем ОПА возможен на волнении до 4 баллов при скорости хода до 4 уз. При этом сам аппарат находится в специальном контейнере, который он покидает или возвращается, находясь в воде (см. рисунок) [5].

В целом приведенные данные свидетельствуют о приоритетной ориентации НТЦ на глубоководные, в том числе придонные, исследования. Подтверждением тому служит и проводившаяся Центром еще в середине 80-х годов разработка подводного робота, способного выполнять заданные ему работы без команд с поверхности.

**Заключение.** В настоящее время в распоряжении государственных гидрографических организаций Японии насчитывается не менее 15 ОИС и ГС, средний срок службы которых немногим превышает 10 лет. Наиболее современные из них находятся в составе УБОЯ (ГС типа "Meiyo" постройки 1990–1993 гг., см. табл.1), а также ВМС (СМПВ типа "Hibiki" постройки 1991-1992 гг., см. табл.2) и научно-исследовательской флотилии Японского морского НТЦ (НИС "Yokosuka" постройки 1990 г., носитель ОПА Shinkai-6500 и НПА Dolphin-10 K, см. табл.3 и 4).

Названный центр по всей видимости является ведущей национальной научно-исследовательской лабораторией в области изучения Мирового океана.

В рамках проводимых этим центром НИОКР сформировался комплексный подход к созданию технических средств изучения Мирового океана. Первоначальный этап его реализации по отмеченной выше программе работ Японского морского НТЦ в период 1981–1990 гг. привел к последовательному созданию ряда все более усложняющихся систем судно-носитель/ПА – "Natsushima", "Kaijo", "Yokosuka" (см. табл.3, 4).

Во второй половине 80-х годов началась отработка концепции, по которой выполнение океанографических исследований могло бы выполняться 4–5 роботизированными крупными гидрографическими катерами, управляемыми по радио с океанографического судна-носителя. В 1988 г. сообщалось о натурной проверке элементов подобного комплекса на Тихоокеанском театре. В дальнейшем предполагалось создать специализированные плавсредства – автоматы водоизмещением порядка 100 т, оснащенные необходимой исследовательской аппаратурой и управляемые с океанографического судна-матки. На этом судне с командой численностью 20–30 чел. планировалось иметь также вертолеты постоянного базирования.

В соответствии с комплексной программой создания высокорентабельных перспективных судов с сокращенным экипажем японским Регистром ведется отработка концепции автоматизированных транспортных судов ОМВО-шипс (One Man Bridge Operated Ships), управляемых с мостика одним человеком.

С учетом соответствующих документов международных организаций ЯМР разработаны минимальные требования к оборудованию ходовых мостиков судов класса ОМВО-шипс и установлены два специальных знака – BRS и BRS-1 – в символике судна, дающих право на управление судном одним человеком в открытом море. Наличие BRS-1 требует дополнительной установки на мостике системы внешних звуковых сигналов и позволяет управление также и в прибрежных районах [11]. В общую номенклатуру средств навигационного оборудования для ходовых мостиков включены: 2 радио-

локатора, САРП, гирокомпас, лаг, эхолот, электронная система определения координат (РНС и/или СНС), авторулевой, автоматический приемник NAVTEX.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jane's Fighting Ships 1994-95.
2. Jane's Fighting Ships 1992-93.
3. Lloyd's Register of Offshore Units, Submersibles & Underwater Systems 1993-94.
4. В.А.Коваленко и М.Н.Остроумов. Справочник по иностранным флотам. Воениздат, 1971.
5. Судостроение за рубежом, 1982, N 9, с. 91-92; 1983, N 5, с. 75-80; 1984, N 2, с. 111-116; 1985, N 3, с. 99; N 4, с. 90; 1986, N 4, с. 99-100; 1988, N 11, с. 90-92; 1991, N12, с.7-12; 1992, N 3, с. 5-24; 1995, №11-12, с.9-11.
6. Экспресс-информация "Зарубежное судостроение", 1977, N 24, с. 13-14; 1979, N 9, с. 6-8.
7. Информация для руководства, ЦНИИ "Румб", 1991, N13, док.222.
8. The International Hydrographic Review, 1985, VII, vol.LXII, N2.
9. Военно-морские силы иностранных государств. Справочник. Воениздат, 1988.
10. International Hydrographic Bulletin, 1991, II, p58-62; 1994, V, p.293.
11. Судостроение, 1995, №11-12, с.9-11.

## ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ

ГРНТИ 78.25.25.01.09

### 295 ЛЕТ ВВМУ им. М.В.ФРУНЗЕ

**В.Г.БУЛАВЧИК**  
(ВВМУ им.М.В.Фрунзе)

*Описывается история училища, достижения его выпускников.*

Гордость военно-морского флота страны – Высшее военно-морское училище им. М.В.Фрунзе – первое светское учебное заведение России и одно из старейших в Европе. Свое историческое начало оно берет от Школы математических и навигационных наук, основанной по Указу Петра I 25 января 1701 г. и преобразованной затем в Морской кадетский корпус. За без малого 300-летнюю историю своей жизни Училище выпустило целую плеяду выдающихся флотоводцев и военачальников, известных мореплавателей и первооткрывателей, блестящих ученых, видных деятелей литературы и искусства, прославивших свою Родину и ее Военно-Морской Флот.

В мировую и отечественную историю навеки вписаны имена таких выдающихся флотоводцев, как адмиралы В.Я.Чичагов, Ф.Ф.Ушаков, Д.Н.Сенявин, М.П.Лазарев, В.А.Корнилов, П.С.Нахимов, Г.И.Бутаков, Л.М.Галлер, А.Г.Головко, Ф.С.Октябрьский, Л.А.Владимирский, В.Ф.Трибуц, внесших существенный вклад в развитие военно-морского искусства.

Многие географические открытия сделаны воспитанниками Училища – "русскими колумбами", среди которых И.Кошелев, М.С.Гвоздев, И.Ф.Крузенштерн, Ф.Ф.Беллинсгаузен, М.П.Лазарев. Выдающимися первооткрывателями и исследователями были А.И.Чириков, Д.Я. и Х.П.Лаптевы, С.И.Челюскин. На карту мира нанесены более 280 имен наших питомцев.

Огромен вклад выпускников Училища в развитие мировой и отечественной науки. Широко известными как у нас в стране, так и за рубежом академиками стали морские офицеры А.С.Шишков, Ф.П.Врангель, М.Ф.Рейнеке, Ю.М.Шокальский, А.Н.Крылов, А.И.Берг. Училище закончили видные военные ученые-теоретики Г.Г.Кушелев, В.М.Головнин, Н.Л.Кладо. Новаторами в морском деле, изобретателями новых образцов военно-морской техники стали А.И.Нагаев, А.А.Попов, К.П.Пилкин, А.К.Мякишев, К.Ф.Шульц.

Лучшие представители флота, воспитанники Морского кадетского корпуса, участвовали в русском революционном движении. Среди них декабристы А.П.Арбузов, Н.А. и М.А.Бестужевы, М.К.Кюхельбекер и лейтенант П.П.Шмидт.

Среди выпускников Училища – писатели, художники, композиторы, щедро обогатившие русскую культуру. В своем творчестве многие из них поднялись до вершин мирового уровня и создали шедевры, ставшие предметами национальной гордости.

Выдающимися деятелями России были живописцы А.П.Боголюбов и В.В.Верещагин, этнограф и составитель "Толкового словаря живого Великорусского языка" В.И.Даль, писатели К.М.Станюкович, В.И.Семенов, С.А.Колбасьев, Л.С.Соболев, А.Лебедев. Великим композитором с мировым именем стал морской офицер Н.А.Римский-Корсаков.

Некоторые воспитанники Корпуса, получив военно-морское образование, нашли иное призвание, прославив своими делами Россию. Широкую известность получили блестящий дипломат Е.В.Путятин и заводчик Н.И.Путилов. Всемирная слава принадлежит изобретателю самолета А.Ф.Можайскому и известному конструктору вертолетов и промышленнику И.И.Сикорскому.

Вечным примером для многих поколений моряков будут служить подвиги морских офицеров, героически павших в боях на море и обессмертивших свои имена. Среди них Д.С.Ильин, Н.П.Римский-Корсаков, А.А.Домашенко, В.И.Миклуха, В.Ф.Руднев, Г.Ф.Керн, А.С.Сергеев, К.К.Юрасовский, Е.А.Ванин. Около 80 выпускников Училища удостоены звания Героя Советского Союза, в их числе И.А.Бурмистров, Н.П.Египко, И.А.Колышкин, С.П.Лисин, В.П.Лушин, В.П.Ольховиков. Ряд выпускников, среди которых А.Н.Крылов, А.И.Берг, Л.С.Соболев, Н.И.Боравенков, В.П.Рыков стали Героями Социалистического Труда.

Мощный научный потенциал передового морского военно-учебного заведения России на протяжении всей его истории создан заботами работавших здесь профессоров Г.Фарварсона, Л.Ф.Магницкого, Л.Эйлера, П.Я.Гамалеи, М.М.Беспятова, Н.А.Сакеллари, М.А.Петрова и целого ряда других ученых.

Высококвалифицированные педагогические кадры традиционно являются главным нашим достоянием. По укомплектованности учеными Училище занимает передовые позиции среди высших учебных заведений МО РФ. Сейчас в его стенах трудятся более 20 докторов наук и профессоров, свыше 110 кандидатов наук и доцентов. Благодаря их усилиям сформированы и успешно функционируют мощные научно-педагогические школы.

Кропотливым трудом многих поколений преподавателей и инженерно-технического персонала создана собственная многофункциональная учебно-научная и материальная база, отдельные элементы которой являются лучшими не только в ВМФ, но и в России.

Училище занимает ведущие позиции по исследованию проблем боевой подготовки, подготовки и распределения кадров, военной истории, тактики ВМФ, средств и методов военной навигации, военной гидрографии, гидрометеорологии, океанографии и геофизики. Высокий уровень специальной подготовки позволяет нашим воспитанникам постоянно добиваться не только высоких показателей в боевой подготовке, но и успешно делать служебную карьеру. Страна и флот по праву гордятся выпускниками-фрунзенцами – высокообразованными, компетентными, преданными России морскими офицерами.

В послевоенный период Главнокомандующими советским ракетно-ядерным океанским ВМФ были выпускники Училища адмиралы С.Г.Горшков и В.Н.Чернавин. Флотами в этот период командовали его питомцы Н.И.Виноградов, В.А.Касатонов, С.М.Лобов, Г.М.Егоров, Н.Д.Сергеев, В.В.Михайлин, В.А.Фокин, Л.А.Владимирский, Н.Н.Амелько, А.П.Михайловский, В.Г.Егоров.

Архитектурным памятником XVIII в., охраняемым государством, является принадлежащий Училищу комплекс зданий Васильевского острова. Главный корпус с фасадом на Неву создан архитектором Ф.И.Волковым в 1796–1798 гг.

Уникальным памятником города и России является Столовый зал – гордость Морского корпуса. Не имеющий ни одной колонны, он является большой архитектурной редкостью. К числу архитектурных достопримечательностей комплекса зданий Училища относится и Компасный зал, круглый в плане, с четырьмя полукруглыми нишами. Паркетный пол зала, выполненный в виде картушки магнитного компаса, имеет не только художественное, но также и историческое значение.

Большую историко-культурную ценность представляет Картинная галерея, созданная в середине XIX в. В ее собрании 116 картин, акварелей, гравюр и рисунков, две трети которых являются подлинниками. Уникальны картины, выполненные известными русскими живописцами И.К.Айвазовским, А.П.Боголюбовым, К.В.Круговихиным, Л.Д.Блиновым, У.Ф.Каменевым.

Огромное воспитательное воздействие на курсантов оказывает основанный в XVII в. музей Училища, Он отражает практически всю его историю. К настоящему времени в 5 залах музея собрано около 2000 экспонатов.

Одной из старейших и крупнейших в стране является библиотека Училища, история создания которой восходит к 1769 г. Уже в 1827 г. в ней насчитывалось 8519 томов. Сегодня в наших фондах находится более миллиона единиц хранения. Общена-



родную ценность представляет фонд старой книги, в котором собраны многие литературные раритеты Российского флота.

Училище активно занимается общественной деятельностью по ряду направлений. Оно стало инициатором создания общероссийской общественной организации "Ассоциация офицеров Российского Флота", основными целями которой является патриотическое воспитание и укрепление традиций флота, содействие росту престижа военно-морской службы.

В тесном сотрудничестве ведется работа с Молодежной Морской Лигой, которая ежегодно собирает победителей морских клубов России и проводит их сборы.

Училище официально утверждено в качестве Центра по подготовке и проведению мероприятий празднования 300-летия Российского флота в Санкт-Петербурге.

Многогранная общественная деятельность Училища служит патриотическому воспитанию молодежи, возрождению нравственности, этики и морали, распространению идей маринизма в России, а также военно-морской профориентации молодежи.

Училище пользуется большой известностью и популярностью не только у нас в стране, но и за рубежом. Ежегодно его посещают от 25 до 40 иностранных делегаций.

Перспективы развития нашего учебного заведения тесно связаны с интеграцией в многоуровневую структуру Высшей школы России, а также с объективной необходимостью подготовки всесторонне образованных, хорошо знающих международное морское право и иностранные языки морских офицеров. Будущее Училища во многом будет определять не только уровень боевой готовности и международный статус национального Военно-Морского Флота, но и в целом авторитет России, как великой морской державы.

ГРНТИ 78.25.25.01.09

### **120 ЛЕТ ГОСУДАРСТВЕННОЙ МОРСКОЙ АКАДЕМИИ им. адм. С.О.МАКАРОВА**

**И.А.БЛИНОВ**

(ГМА им. адм.С.О.Макарова)

*Описывается история создания ГМА им.адм.С.О.Макарова. Характеризуется ее научный потенциал и роль в подготовке кадров для Российского флота. Особо выделяются моменты деятельности Академии, связанные с освоением Севморпути.*

Большинство историков морского флота считают днем рождения ГМА им. адм.С.О.Макарова 19 мая 1876 г., когда император Александр II подписал указ о создании при Санкт-Петербургском яхт-клубе мореходных классов для подготовки штурманов каботажного и дальнего плавания. Дальнейший путь развития морского образования в России отмечен следующими вехами: «Мореходные классы Санкт-Петербургского яхт-клуба» (1876 г.) → «Санкт-Петербургское училище дальнего плавания им. императора Петра I (1902 г.) → «Петроградский техникум водных путей сообщения» (1921 г.) → «Ленинградское высшее мореходное училище» (1944 г.) → «Ленинградское высшее инженерное морское училище им. адм. С.О.Макарова» (1954 г.) → «Государственная морская академия им. адм. С.О.Макарова» (1990 г.). Следует отметить, что в период с 1935 по 1954 гг. к основной направленности специальной подготовки добавилось направление, возникшее в связи с необходимостью исследования и освоения Северного морского пути (СМП) Арктического региона.

Как известно, история СМП неразрывно связана с именами отечественных исследователей XVII–XX вв. Прославленные русские землепроходцы, моряки и ученые, чьи имена нанесены на карты многих морей и океанов, своими открытиями значительно обогатили мировую географическую науку и заложили основы российской гидро-

графии и океанографии. Сама мысль о покорении СМП родилась в России. Понимая значение северной транспортной магистрали, передовые люди и государственные деятели страны – Петр I, Ломоносов, Макаров, Менделеев и другие – настойчиво призывали повернуться лицом к Северу и обратить серьезное внимание на его освоение с помощью флота, использовать СМП для связи между западными и восточными регионами.

Касаясь затронутой проблемы, М.В.Ломоносов писал: «Могущество и слава Русские будут прирастать Северным Ледовитым океаном и Сибирью ... . Северный океан есть пространное поле, где усугубиться может Российская слава, соединенная с беспримерною пользою через изобретение восточно-северного мореплавания в Индию и Америку ... ».

Однако плановые, систематические исследования арктических морей начались по сути дела только в тридцатых годах нашего столетия. Для успешного решения проблемы освоения СМП в 1932 г. было создано Главное управление Северного морского пути при СНК СССР, одной из структурных единиц которого являлось Гидрографическое управление (ГУ) СМП. В своем постановлении правительство так сформулировало основную задачу ГУ СМП: «Проложить окончательно морской путь от Белого моря до Берингова пролива, оборудовать этот путь, держать в исправном состоянии и обеспечить безопасность плавания по этому пути».

Если учесть, что площадь арктических морей, подлежащих изучению, составляет более 3 млн.кв.км, а протяженность береговой линии этих морей около 20 тыс.км, то становится ясным – какую огромную работу предстояло выполнить полярной гидрографии, начинавшей свою деятельность в Арктике практически на голом месте. Естественно, что при реализации намеченных планов предстояло преодолеть множество трудностей проблемного характера и среди них – вопрос о подготовке квалифицированных специалистов с высшим морским образованием. Для преодоления «кадровых» затруднений в 1935 г. постановлением СНК СССР в Ленинграде было открыто первое высшее морское техническое учебное заведение – Гидрографический институт ГУ СМП.

В состав его преподавательского состава были приглашены ведущие ученые Ленинграда и Москвы. Первыми заведующими кафедрами стали Г.С.Максимов (гидрография), А.П.Ющенко (геодезия), Н.А.Сакеллари (кораблевождение), Н.Н.Матусевич (астрономия), П.Д.Белоновский (математика), ставший первым директором Института. Преподавание отдельных дисциплин вели академик О.Ю.Шмидт, члены-корреспонденты АН СССР А.А.Иванов, Б.П.Хлюстин, А.А.Паскин, Н.И.Евгенов, С.А.Советов, А.П.Белобров, Б.М.Яновский, Б.И.Никифоров, В.В.Каврайский и другие выдающиеся ученые и профессионалы морского дела.

Таким образом была создана научно-практическая база для дальнейшего развития и совершенствования высшего морского образования.

Подготовка инженеров-гидрографов в Институте прервалась войной. После ее окончания в 1945 г. на базе Гидрографического института было создано Высшее арктическое морское училище (ВАМУ) им. адм.С.О.Макарова в составе трех факультетов: гидрографического, судоводительского и гидрометеорологического. В 1954 г. состоялось объединение двух высших морских учебных заведений (ЛВМУ и ВАМУ) в Ленинградское высшее инженерное морское училище им. адм.С.О.Макарова, которое затем было преобразовано в Государственную морскую академию им. адм. С.О.Макарова (1990 г.).

В настоящее время Академия имеет 6 выпускающих факультетов с очной и заочной формами обучения: судоводительский, судомеханический, электромеханический, радиотехнический, арктический<sup>27</sup> и международного транспортного менеджмента.

Только один арктический факультет за прошедшие 60 лет подготовил более 3000 специалистов, в том числе 1350 инженеров-гидрографов, 35 инженеров-гидрографов-морских экологов, 1018 инженеров океанологов, 627 инженеров -метеорологов. Из них

<sup>27</sup> Заочного обучения не имеет.

– 38 докторов наук, 362 кандидата наук, 8 лауреатов Государственных премий, 5 заслуженных деятелей науки и техники РФ, 7 Героев Советского Союза и Социалистического труда.

Академия располагает высококвалифицированными кадрами, научный потенциал которых представляют: 50 докторов наук и профессоров, 150 кандидатов наук и доцентов, перспективный состав преподавателей различных специальностей. Она имеет три специализированных докторских Совета, аспирантуру и докторантуру, уникальные лаборатории, тренажерные центры и специализированные центры, береговую учебную базу на о. Зап. Березовый.

## ABSTRACTS OF PUBLISHED ARTICLES<sup>28</sup>

**Scientific investigations in the field of marine navigation in Russia.** Makoda V.S., Fedotov A.V. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P.9-13.

*History of Russian marine navigation investigations are described. Some of the most formidable achievements mentioned.*

**Perspective development of navigation, hydrography and oceanography methods and aids.** Makoda V.S. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 14-19.

*Marine navigation, hydrography and oceanography methods and aids are examining. Basic aspects of "Complexes programmes for navigation support ..." (up to 1990 and 2000 years) and State program "Russian Radionavigation plan" are describing.*

*Priority of inertial navigation systems and Unitised Radionavigation Field developments emphasized. Up to date technical achievements of perspective navigation, hydrography and oceanography means are enumerating.*

**Marine aids to navigation contemporary situation, problems and perspectives in Russian Federation.** Antakov A.V. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 19-21.

*Statistical data about situation with RF MOD Lighthouse's navigation support equipment are listed. Financial and technical problems for perspective developments of Russian marine aids to navigation system are analyzing. Possible ways for these problems solution are considered.*

**Marine observation revival is a strategic problem of fundamental science and practice.** Abalakin V.K., Bogdanov V.I., Buianzhe Yu.D., Medvedev M.Yu., Neronov N.N., Solodov V.A., Troshkov G.A. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P.22-25.

*The problem of restoration marine supporting net at the example of Baltic sea is investigating. Basic directions of works for including in the Program of creation the National level measuring net are formulated.*

**Navigation genesis dialectics.** Baskin A.S. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P.26-31.

*An attempt is made to philosophic generalization of time navigation genesis, which should precede scientific and applied research. An effective science management can not be achieved without knowledge about it's development and future forecasting. Otherwise the probability of mistaken decisions is much more.*

**One possible way for marine navigation means creation using the Earth physical fields.**

Maleev P.I. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P.31-35.

*Possibility using of torcion fields in navigational interests are envisages.*

**About diploma certification for "Hydrography" and "Meteorology" profession.** Leonova O.O., Shchennikov D.L. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P.35-36.

*Problems of national and international high educational diploma certification for "Hydrography" and "Meteorology" specialization are considered. Possible ways for their solution are outlined.*

**Basic proposal for navigation by the geomagnetic field.** Guzevich S.N. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 37-43.

*The power approach to solve the navigation problems is described. On this base the new equations for observation error were received depending on observation track length (profile), space characteristics and parameters of measured geomagnetic field.*

---

<sup>28</sup> Редакция П.С.Волосова, С.А.Рудаса

**Creation, testing and drawing on experience with ECDIS for the Navy.** *Dzyuba V.G., Panov A.G.* Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P.44-45.

*The based technical politics principles of RF MOD Hydrographic Department and State RNHI for create Naval electronic navigational information systems. The first results of system testing, developed to Department order, and experience of its practical using are analised.*

**Problems and opportunities of navigation positioning in multisatellite communication systems.** *Yasko S.A., Chupin D.Yu.* Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P.46-52.

*Features of solving the navigation problem by multisatellite communication systems are considered. Despite the second generation of satellite navigation systems are operating, significance of solving the delivered problem not only to provide communication with unknown allocation user, but also for his own purposes are simphasired. This determines the decision accuracy requests. Imitation modelling results and conclusions about application expediency of an investigated method with condition vector expansion for increase the accuracy of navigating determinations are presented.*

**One method for distance estimation of unmanned objects positions.** *Kokorin V.I., Protsenko L.M.* Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 52-55.

*Method of remote objects' position determination is considered. It bases on the most total use of signal information content, that overradiated by supporting stations. The objects' position determination for various practical using conditions are analized. There is shown that rms position deviation don't exeed some units of meter.*

**About some characteristics of evaluations for ship's positioning root mean square errors.** *Belyaev B.N., Sorokin A.I.* Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 56-58.

*An influence of some rms ship's position errors on their probalistic properties is analized. Some practical recommendations are given.*

**About using Laplace model errors in navigation.** *Gruzdev N.M.* Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 59-62.

*An essence of the Laplace's distributive law is examined, the methodical errors its using under conditions with known constant variance is investigated, a comparision of Laplacian and Gaussian error models are carried out. A conclusion about the theoretical illegality and practical inexpediency of change (in common case) the normal distributive law by Laplacian distributive law is formulated.*

**Accuracy evaluation for positioning using Laplace distribution,** *Ivanov B.E.* Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 66-72.

*The dependences of various position determination errors on two navigation paremeters, errors of which have the Laplace distribution, are received.*

**About information support integration of navigation, stabilization and control tasks for marine mobile objects.** *Alekseev S.P., Emelyantsev G.I.* Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 73-76.

*The current information support of ships and marine vessels navigation, stabilization and traffic control problems is analised. Based on use common all-ships orientation and navigation integrated systems these-problems solving is envisaged.*

**Methods for calculating of surface vessel integrated navigation systems efficiency.** *Emelyantsev G.I., Moiseev E.S., Solntsev A.N.* Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P.77-83.

*Methods for navigation complexes informatic efficiency indices calculation are offered. The possibilities ship's navigation aids structure optimization and the numerical estimation receiving for establishment their conformity to technical tasks requirement on the early design phases are shown.*

**About preliminary evaluation of some echosounders parameters.** *Vinogradov K.A.* Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 84-85.

*The expressions for estimation limited values of the characteristics antenna pattern width, sounding impulse duration and echosounder preamplifier passband, depending on demanded Instrumental error and echosignal proper detection probability, are adduced.*

**Taking into account the plural faultiness for determination of single repair kit structure for integrated navigation systems.** Krasovsky V.S. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P.86-90.

*An approach to quantitative estimation of single repair kit structure for integrated navigation system (INS) is worked out. The recommendations to initial data determination for computation of the repair kits under battle and emergency damages are given.*

**About quality evaluation of projected integrated navigation system.** Brodsky P.G., Ledenev N.I., Florova T.N. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P.91-94.

*The opportunity of manufacture recommendations on choosing the most rational variant of technical structure SINS on prognostic models base using the sequential extreme combinatory tasks decision method is offered and justified. The numerical example is adduced.*

*The article is intended for experts, engaging by questions of valuation ship's integrated navigation systems design.*

**Marine Fleet requirements to radionavigation support.** Zurabov Yu.G., Mishchenko i.N. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 95-104.

*The international and national requirements to vessels navigation support under various conditions and possibility satisfaction them using satellite navigation systems GLONASS and NAVSTAR in standard and differential modes are examined.*

**Modelling accuracy problem of radiation pressure on cosmic vehicles hulls in ephemeristical maintenance SONS GLONASS.** Butenko V.V., Kuropyatnikov A.D. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 104-107.

*The article is dedicated to SCNS GLONASS ephemerical support accuracy increase problem in part of high accuracy acceleration modelling, arisen under Sun radiation pressure influence on navigation space vehicles motion.*

**The a priori estimation of complex radionavigation systems availability.** Komin V.Ya., Koshulnikov A.R. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 108-114.

*The article is devoted to estimation problems of the complex radionavigation systems availability on the basis of common logical probabilistic method. The a priori estimation of these systems availability for the forecast conditions is carried out. Comparative estimation of the real radionavigation systems availability and advanced common radionavigation field's system is given.*

**Phase method of Satellite Navigation System's signals.** Reznichenko V.I., Shashkov A.A. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 115-119.

*The interferometric method of the objects orientation by satellite navigation system data is considered. The concept of the geometrical factor for determination of the object orientation parameters is formulated, formulas dependence are concluded.*

**The use of satellite data about geoid heights for estimation of submarine relief.** Zubchenko E.S. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 120-123.

*Digital filtering techniques is used for bathymetry prediction and detection of seamount. Geoid heights along tracks of the home space geodetic system and corresponding bathymetry is taken on regions of the Somalia hollow and south-west of Reykjanes ridge. The error of mean square of prediction made up 136 m or 4% of mean depth. The recognition signal was obtained for the seamount with height » 1 km and depth above its top » 2 km.*

**Instrumental and methodical provision of near-bottom boundary layer parameters measurements.** Kushnir V.M. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 123-128.

*The precision measuring instruments, created for execution of research and prospecting works in near-bottom boundary layer, are considered. The dates of researches on the shelves, in regions of the depth slope and in the deep-water part of the Black Sea are adduced. The opportunity of geothermal flow determination on hydrophysical measurement dates is shown.*

**Underwater permeable vehicle type SMP-07.** Krasnov V.N. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P.129-132. *The design of UWV permeable type 07 is described. Its operational performances are defined.*

**About determinating the areas on Mercator charts.** Sorokin A.I. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 133-135.

*Methods of determinating the areas on Mercator charts by means the compasses and calculations are considered.*

**About the distribution law hydrometeorological forecasts errors.** Gaiakhov V.L., Dmitriev V.G. Navigation and Hydrography.- 1996, №2. P. 136- 141.

*The paper is concerned with a problem of approximation forecast errors distribution. It was shown that usually used normal distribution does not specificate real forecast errors distribution. As an alternative the  $\beta$  - distribution is offered and theoretical base of its applying is given. The technique of definition the main  $\beta$  - distribution parameters values gets a possibility for this distribution using in practice. Theoretical propositions was verificated by numerical experiments with undepended real empirical data of weather forecasts.*

**Forming principles for prognostic data base in automated forecasted centre.** Dmitriev V.G. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 141-145.

*The paper is concerned with principles and general accumulation and reaccumulation algorithm for forecast hydrometeorological data base with respect to new information technology in future forecast centres with high automatisation level that serve the regional systems activity are depended of hydrometeorofogical parameters. This paper consists the theoretical base and gives a direction of development for information technologies especially in data base formation aspect.*

**Hydrography and ecology.** Blinov I.A. Navigation and Hydrography. - '1996, №2. P. 146-149. Results of scientific researches problem "Ecology and World Ocean protection" are summarized. Some states of general approach to this problem resolving are formulated.

**Consideration of the sea surface roughness for remote sensing of oil films on the sea surface .** GrebinskyA.S., Osadchy V.Yu. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 149-152.

*Analytical general expressions approximations are derived for sea surface microwave emissivity increase under the force of oil film. The expressions obtained give a possibility for making some conclusions on the general characters of forming the sea surface self emission. Practical recommendations are given for solving the inverse problems using the data on the emission and its fluctuations on the two orthogonal linear polarisations. The solution is significantly symplified due to the existense correlations between emissivity increases on two polarisations, giving the problems separation possibility for determinning characteristics of undisturbed surface and surface roughness taking into the consideration sums and differences emission modes measured.*

*The work was supported by Russian Foundation for Basic Researches (project NB94-05-17727a).*

**Modelling circulation of water and admixture carring in shallow water basins.** Mastryukov S.I. Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 152-159.

*Models of currents calculating and admixture carring are described. On the base of analysis results for numerical modelling Neva peninsula and Ladoga lake such proposed models workability are demonstrated.*

*Possible' consequences of dam building on hydrology and chemicbiology regime for Neva peninsula are evaluated. Fields of models application are pointed out.*

**Black Sea Fleet in M.P. Lazarev's period (fragments from admiral N.A.Shestakov's memoirs "Half century of ordinary life").** Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 167-174.

*Cruisers operations of Black Sea fleet on Caucasian shore blocking in last century 30^40-th years are described. The support of I and forces are characterized.*

*This material is prepared for printing by V. V.Kozyr. Some cuts of original text are permitted; this way in general the language of original text is retained practically without any changes.*

**State and growth trend of land-based radionavigation systems abroad.** *Makoda V.S., Tregubov V.S., Zakharov Yu.I.* Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 175-180.

*State and growth trend of land-based radionavigation systems Loran-C, Omega, Decca, Geolog and Spot are defined. Main foreign marine objects traffic control systems are described. Quality of new foreign firms models and modifications RN-receiving indicators for marine users are shortly analysed.*

**Organization and means for navigation-hydrographical support in Japan.** *Volosov P.S., Rudas S.A.* Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 180-190.

*Information about organization and structure of Japan hydrographic service are adduced based on foreign data analysis. Structure of Japan Maritime Safety Agency (JMSA) hydrographic department - the main governmental department, which is responsible for national navigational/hydrographic support - are described. R&D-ships composition of JMSA and Japan Navy hydrographic services are investigated. Principle characteristics of those ships adduced in tables forms.*

*Program of Japan Marine Science Centre (JMSC) works - governmental organization, which has a leading position in R&D World ocean fulfillment - are described. R&D-ships and underwater vehicles technical characteristics of those JMSC detachment tabulated.*

**295 years of M.V.Frunze Navy High School.** *Bufavchik V.G.* Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 191-193.

*History of the oldest Russian Naval College and achievements of its famous graduates are described.*

**120 years adm.S.O.Makarov State Marine Academy.** *Blinov I.A.* Navigation and Hydrography. - 1996, №2. P. 193-195.

*History of adm.S.O.Makarov SMA is described. Its scientific potential and role in training of personnel for Russian Marine Fleet are defined. Features of SMA activities which connected with Arctic Route exploration are picked out especially.*



## 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. При подготовке текста статьи средствами текстовых редакторов **LEXICON, MultiEdit, «Слово и дело»** и др. (подставляющих символ конца абзаца в каждую строку) не использовать элементы оформления текста средствами перечисленных редакторов (жирный шрифт, курсив, формулы и т.п.), формулы представлять в виде оригинал-макетов. Кодировка - **ASCII**.

9. 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**.

10. В редакцию представляются дискета 3,5” с текстом статьи, аннотации и рефератом и их распечатки (дискета возвращается автору).

11. Материалы, отправляемые посредством электронной почты, направлять на адрес **E-mail: editor@nhi.spb.ru** в виде предварительно компрессированных 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 1997 г.**

Для оформления годовой подписки на 2 номера журнала необходимо перевести до 1 февраля 1997 г. 40000 руб. + НДС на р/с 36000340772 в филиале ОПЕРУ-2 АО ПСБ к/с 700161136 ЦРКЦ ГУ ЦБ РФ МФО 161035; 44030736; ИНН 7801020940 в/ч 62728, указав в квитанции об оплате – “За подписку на журнал”.

**НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ, 1996, №2**

**Редакторы: А.И.Баранов, С.А.Рудас  
Компьютерное оформление В.И.Скалон**

Подписано в печать 30.07.96  
№262

Заказ

Пер. №013267 от 26.01.95  
Комитет РФ по печати

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