ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

ИЗДАЕТСЯ С 1995 ГОДА

27
2008

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санкт-Петербург

Главный редактор
д. т. н., проф. С. П. Алексеев

Редакционная коллегия:

д. т. н., проф. А. Н. Добротворский (первый заместитель главного редактора);
д. в. н., проф. П. Г. Бродский (заместитель главного редактора);
д. т. н. П. И. Малеев (научный редактор); к. г.-м. н. И. Ю. Бугрова (редактор);
В. Ю. Бахмутов (ответственный за выпуск);
д. т. н., проф. Б. Н. Беляев; к. т. н. М. Л. Богданович;
д. в. н., проф. А. И. Исмаилов; д. в. н. В. А. Катенин;
к. т. н. Н. И. Леденев; д. т. н., к. т. н. С. И. Мастрюков;
д. в.–м. н., проф. А. П. Михайловский; д. т. н., проф. Н. Н. Неронов;
д. т. н., проф. В. И. Пересыпкин; акад. РАН В. Г. Пешехонов;
к. в. н. Ю. В. Румянцев; чл.-кор. РАН А. Е. Сазонов;
чл.-кор. РАН А. И. Сорокин; к. т. н. С. В. Яценко

**© Государственный научно-исследовательский
навигационно-гидрографический институт
Министерства обороны Российской Федерации**

2008

THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC INSTITUTE

NAVIGATION AND HYDROGRAPHY

PUBLISHED SINCE 1995

27

2008

RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE

Saint-Petersburg

Editor-in-chief
S. P. Alekseyev, DSc, professor

Editorial board

A. Dobrotvorsky (first vice-editor-in-chief), DSc, professor;
P. Brodsky (vice-editor-in-chief), DSc, professor;
P. Maleyev, DSc (science editor);
I. Bugrova (editor), CandSc; V. Bakhmutov (the issue manager);
B. Belyaev, DSc, professor; M. Bogdanovich, CandSc; A. Ismailov, DSc, professor;
V. Katenin, DSc; N. Ledenev, CandSc; S. Mastryukov, CandSc;
A. Mikhaylovsky, DSc, professor; N. Neronov, DSc, professor;
V. Peresypkin, DSc, professor; V. Peshekhonov, DSc, Acad. RAS;
Yu. Rumyantsev, CandSc; A. Sazonov, CM RAS;
A. Sorokin, DSc, CM RAS; S.Yatsenko, CandSc

© The State Research Navigation-Hydrographic Institute
Russian Federation Ministry of Defence

2008

С О Д Е Р Ж А Н И Е

С. П. Алексеев.
Роль и место ГНИНГИ Минобороны России в решении задач навигационно-гидрографического обеспечения морской деятельности Российской Федерации (к 70-летию ГНИНГИ МО РФ) 9

НАВИГАЦИЯ

Б. И. Лобойко.
Защита современных спутниковых навигационных систем от помех..... 20

В. И. Резниченко, П. И. Малеев, М. Ю. Смирнов.
Спутниковая коррекция параметров ориентации морских объектов 25

В. В. Гаврилов, Г. К. Данилова, В. И. Лапшина.
Решение навигационной задачи по данным измерения радиальных дальностей объекта относительно среднеорбитных навигационных спутников..... 33

Б. Е. Иванов, А. А. Якушев.
О свойствах погрешности определения места по трем линиям положения 40

Б. Е. Иванов, А. А. Якушев.
Определение места по двум расстояниям на базе навигационных ориентиров..... 47

ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

Ю. Н. Жуков.
К вопросу о представлении в автоматизированных системах географических координат, измеренных с погрешностью 53

И. В. Лаврова, С. И. Мастрюков, Е. К. Ульянец, Н. В. Червякова.
Результаты расчета ветро-волнового режима Баренцева, Норвежского и Гренландского морей 61

К. Г. Ставров, О. А. Гасников, В. И. Гусева, Л. Ф. Пушкина, М. Н. Соболева, Е. А. Усольцева, Е. В. Сувернева.
Технология создания информационно-справочной системы по параметрам среды арктических морей 68

Э. С. Зубченко.
Навигационная поверхность – новая форма цифровой модели для представления данных съемки рельефа дна в интересах повышения безопасности мореплавания 77

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

В. А. Катенин.
К вопросу об оценке потенциала и творческой активности сотрудников научно-исследовательской организации 94

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

В. В. Старожицкий.
Незабываемый полет 100

К. Я. Богомазов, Ю. Г. Хлыпало.
Освоение навигационных комплексов на подводных лодках Северного флота в губах Оленья и Сайда.....105

Ю. Н. Жуков.
Основные события в истории исследования приливов (I в. до н. э. – XIX в.) 119

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ.....129

C O N T E N T S

S. P. Alekseyev.
The role and place of GNINGI, the Ministry of Defence of Russia, in solving the problems of navigation-hydrographic support for the maritime activities of the Russian Federation (On the occasion of the 70-th anniversary of GNINGI, RF MoD)..... 9

NAVIGATION

B. I. Loboiko.
Protection of the present-day satellite navigation systems from interference 20

V. I. Reznichenko, P. I. Maleyev, M. Y. Smirnov.
The satellite correction of orientation parameters for marine objects..... 25

V. V. Gavrilov, G. K. Danilova, V. I. Lapshina.
Solution of the navigation problem using the measurement data of the radial ranges of an object relative to the medium-altitude navigation satellites 33

B. E. Ivanov, A. A. Yakushev.
On properties of position fixing errors by three position lines..... 40

B. E. Ivanov, A. A. Yakushev.
Fixing the position by two ranges on the base of navigational marks 47

HYDROGRAPHY AND MARINE CARTOGRAPHY

Y. N. Zhukov.
On the presentation of geographic co-ordinates having a measurement error in automated system 53

I. V. Lavrova, S. I. Mastryukov, E. K. Ulyanets, N. V. Chervyakova.
Results of calculation of the wind-wave regime in the Barents, Norwegian and Greenland Seas 61

K. G. Stavrov, O. A. Gasnikov, V. I. Guseva, L. F. Pushkina, M. N. Soboleva, E. A. Usoltseva, E. V. Suverneva.
Technology of creating the information-reference system using the parameters of the Arctic seas environment..... 68

E. S. Zubchenko.
Navigation surface – a new form of digital model for presenting the bottom relief survey data to increase the safety of navigation 77

GENERAL ISSUES

V. A. Katenin.
The estimate of the potential and creative ability of the research organization employees..... 94

PAGES OF HISTORY

V. V. Starozhitsky.
Unforgettable flight.....100

K. Y. Bogomasov, Y. G. Khlypalo.
Mastering the navigation suites in submarines of the North Fleet in Olenya and Saida bays.....105

Y. N. Zhukov.
The main events in the history of the tides studies.....119

INFORMATION ABOUT AUTHORS.....129

ГРНТИ 78.25.31

РОЛЬ И МЕСТО ГНИНГИ МИНОБОРОНЫ РОССИИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (к 70-летию ГНИНГИ МО РФ)

С. П. АЛЕКСЕЕВ
(ГНИНГИ МО РФ)

Рассмотрены и обобщены история развития и результаты научно-производственной деятельности ГНИНГИ МО РФ со дня основания 10 марта 1939 г. Показаны и обоснованы роль и место Института в решении задач навигационно-гидрографического обеспечения оборонной и экономической деятельности Российской Федерации на море.

Важную составную часть программы строительства океанского флота, принятой в СССР в 1938 г., представляло навигационно-гидрографическое обеспечение ВМФ. Для решения этой задачи необходим был единый орган, который бы координировал все вопросы разработки технических средств навигации и гидрографии, методов использования этих средств и технологий гидрографических работ.

Таким органом стал Научно-испытательный гидрографическо-штурманский институт РК ВМФ (НИГШИ), сформированный на базе научно-исследовательского бюро Гидрографического управления РК ВМФ 10 марта 1939 г. во исполнение приказа Народного комиссара ВМФ.

Деятельность сотрудников института в предвоенный период позволила оснастить боевые корабли ВМФ отечественными штурманскими приборами.

В период войны сотрудники института продолжили работу по созданию технических средств и методов навигации. В промышленности разрабатывалась первая отечественная радионавигационная система «Координатор». Всего за время войны на вооружение было принято более 20 и закончена разработка более 10 образцов новой техники.

В послевоенный период 1950-1960 гг., наряду с поиском путей создания новых средств навигации, Институт работал и в направлении изучения опыта НГО боевых действий в годы Великой отечественной войны и создания технологий НГО боевого траления и съемки рельефа дна.

С середины 1950-х годов в нашей стране началось создание ракетно-ядерного флота. Строительство атомных многоцелевых и ракетных подводных лодок, способных длительное время находиться в плавании и использовать оружие из подводного положения, выдвинуло ряд принципиально новых требований к техническим средствам навигации. Необходимо было:

– повысить точность вырабатываемых навигационных параметров (координат места и курса без всплытия в надводное положение и в условиях интенсивного маневрирования);

– обеспечить кораблевождение и применение оружия в удаленных районах Мирового океана, в том числе в высоких широтах вплоть до приполюсных;
– вырабатывать и выдавать в приборы корабельной автоматики навигационные и динамические параметры (курс, путевой угол, абсолютную скорость, углы качки и др.).

Научные исследования Института в этот период осуществлялись по трем основным направлениям:
– обоснования путей развития новых технических средств навигации (навигационного оборудования театров) и совершенствование имеющихся средств;
– обоснования и разработки тактико-технических заданий на создание навигационных комплексов;
– разработки методических документов по использованию навигационных комплексов для кораблевождения и применения оружия.

В конце 50-х годов были теоретически разработаны принципы построения корабельных инерциальных навигационных систем, абсолютных гидроакустических (доплеровских) лагов, спутниковых навигационных систем, радионавигационных систем различного назначения. Специалистами Института и Гидрографической службы ВМФ для района высоких широт были созданы карты в квазигеографической системе координат, разработаны методические рекомендации и руководства по навигационному обеспечению плавания в этих широтах. Совместно с другими научными учреждениями всего за два года удалось заложить научно-технический фундамент и к началу 1960 г. подготовить этап практического создания спутниковой навигационной системы.

С 1958 по 1961 гг. в Институте был выполнен целый ряд научных исследований, в результате которых разработаны тактико-технические задания на создание новых лагов для подводных лодок, гидролокационных пассивных отражателей, гидроакустического эхотрала, геодезического радиодальномера, гироскопического курсоуказателя, обеспечивающего плавание вблизи полюса, систем дневного видения звезд, бесконтактного проблескового аппарата и др. Тогда же был подготовлен справочник по влиянию гидрометеорологических факторов на подводные лодки, противолодочные корабли и технические средства навигации, а также альбом сезонных характеристик слоя скачка плотности воды в северных частях Атлантического и Тихого океанов; методические указания по использованию гидрологических данных при проектировании и эксплуатации гидроакустических систем; раздел монографии «Гидрографические условия базирования сил флота в Арктике». Разработаны методики проведения гидрографических и гидрометеорологических работ в Северном Ледовитом океане, в том числе новый способ изучения рельефа дна океана с привлечением сейсмозондирования и аэрофотомагнитной съемки; наставления, руководства, инструкции по использованию морских средств навигации и океанографии, составлению прогнозов погоды, определению маневренных элементов надводных кораблей и подводных лодок,

аэрофотосъемке неизученных районов в высоких широтах, консервации и расконсервации штурманского вооружения и др.

В 1961 г. при сокращении Вооруженных Сил СССР Институт был объединен с одним из научно-исследовательских учреждений ВМФ, однако последующее расширение в первой половине 1960-х годов военного кораблестроения и возрастающие требования общего мореплавания привели в 1963 г. к необходимости восстановления Института как самостоятельного учреждения. Руководство работой по восстановлению и реорганизации Института осуществлял контр-адмирал Ю. И. Максюта, возглавлявший Институт с 1964 по 1978 гг. В этот период был сформирован большой коллектив энтузиастов, увлеченно работающих над решением поставленных задач. Успеху дела немало способствовало выделение из непрерывно расширявшегося круга задач наиболее важных и концентрация на них внимания ведущих специалистов. Сложность этой работы заключалась в том, что в 1964 г., когда Институт был воссоздан и расширен, в его состав влилась большая группа молодых специалистов, которые при достаточно высокой теоретической подготовке, полученной в Военно-Морской академии и на специальных курсах офицерского состава, не имели, однако, достаточного опыта плавания на новых кораблях.

В период 1964–1970 гг. был выполнен целый ряд важных научно-исследовательских работ; испытаны и приняты на вооружение новые морские средства навигации и океанографии; внедрены новые методы навигационно-гидрографического обеспечения, в том числе плавания подводных лодок подо льдами Северного Ледовитого океана, разработаны способы навигации по рельефу дна и геофизическим полям. Впервые в СССР были разработаны теоретические основы использования цифровой картографической информации в автоматизированных навигационных системах и показаны ее перспективы. Сотрудники Института приняли участие в 12 дальних походах экспедиционных судов и кораблей ВМФ.

В 1970-е годы Институт заявил о себе как о зрелом, полностью сформировавшемся научно-исследовательском учреждении, способном решать в интересах Военно-Морского Флота и страны в целом самые сложные задачи в области навигации, гидрографии, гидрометеорологии и океанографии. Следует особо подчеркнуть огромную помощь в формировании и развитии Института, которую оказывала Гидрографическая служба ВМФ, ее начальник адмирал А. И. Рассохо и его заместитель контр-адмирал В. Д. Шандабылов.

23 ноября 1967 г. состоялся запуск первого отечественного навигационного спутника «Космос-192». В 1972 г. началась опытная эксплуатация первой отечественной низкоорбитной спутниковой навигационной системы. В создании этой системы Институту принадлежит особая роль. Институт был инициатором и первопроходцем в деле создания спутниковой навигации. На него легли основные трудности по преодолению первоначального скептицизма, косности, боязни конкуренции со стороны приверженцев традиционных навигационных средств коррекции места.

Особенно плодотворным для научных исследований стал период 1971–1975 гг. За эти годы в Институте было выполнено 209 научных исследований,

разработано 91 методическое пособие и завершен ряд опытно-конструкторских работ. В частности, в эти годы были разработаны теоретические основы комплексных гидрографических исследований, созданы первые в стране автоматизированные гидрографические и инерциальные навигационные комплексы, гравиметрические и магнитометрические приборы, новые типы карт (экранные, фотокарты, составленные по материалам аэрокосмической съемки, и др.), создано навигационное обеспечение первых глубоководных аппаратов, исследовательские глубоководные аппараты и т. д. Успешному решению стоявших перед Институтом задач способствовали деловые контакты с различными научно-исследовательскими учреждениями, предприятиями и организациями страны. Достаточно сказать, что над созданием морских средств навигации и океанографии в начале 1970-х годов работали 244 организации из 18 министерств, государственных комитетов и учреждений страны. Были разработаны рекомендации по комплексному сбору и обработке материалов океанографических исследований, по составу технических средств обработки наблюдений для океанографических исследовательских судов и подразделений Гидрографической службы ВМФ. Специалисты Института в 20 дальних походах экспедиционных судов и кораблей ВМФ провели экспериментальные исследования в 13 районах Атлантического и Тихого океанов.

В 1976–1980 гг. продолжала нарастать интенсивность научных исследований. В эти годы был выполнен большой объем научно-исследовательских работ, в результате которых составлено более 120 методических пособий и обоснован ряд ТТЗ на новые морские средства навигации и океанографии. Следует особо подчеркнуть, что в 1978 г. Институту впервые было доверено возглавить в масштабе всей страны научно-исследовательскую работу по обоснованию Комплексной программы навигационного обеспечения всех видов Вооруженных сил, гражданских министерств и ведомств до 1990 г. В этой работе приняли участие 15 научных организаций страны. Реализация предложенного проекта Комплексной программы позволила бы как минимум в два раза повысить эффективность навигационного обеспечения различных потребителей. К сожалению, представленный в Правительство проект Программы не получил юридического статуса и не был реализован.

Одновременно Институтом был проведен ряд научно-исследовательских работ, целью которых являлось:

– создание подсистемы навигационно-гидрографического обеспечения морской ракетной системы стратегического назначения;
– составление первой в стране программы развития средств и методов морской геодезии в интересах ВМФ и народного хозяйства;
– обоснование требований к навигационному вооружению новых типов кораблей с динамическими принципами поддержания.

Впервые была доказана возможность и целесообразность создания автоматических управляющих навигационных комплексов; исследованы варианты построения высокоорбитных спутниковых навигационных систем, обеспечивающих глобальное, непрерывное, всепогодное, высокоточное

определение трех координат места и скорости объектов. Исследованы вопросы вычисления параметров гравитационного поля Земли в Мировом океане по измеренным значениям аномалий силы тяжести с точностью, необходимой для эффективного использования оружия и технических средств навигации ВМФ. Обоснована необходимость разработки средств и методов компенсации влияния геофизических и геодезических неопределенностей на точность выработки навигационных параметров. Исследованы возможности построения измерителей скорости судна на основе новых физических принципов. Многие перспективные морские средства навигации и океанографии были созданы и приняты на вооружение ВМФ благодаря не только таланту конструкторов и разработчиков, но и высокому профессионализму и настойчивости представителей Института, осуществлявших военно-научное сопровождение выполнявшихся НИР и ОКР и активно участвующих в испытаниях. Наиболее плодотворным было сотрудничество, при котором разработчики и представители Института выступали не просто как исполнители и контролеры, но и как соавторы и единомышленники.

Деятельность Института в 1980-е годы заключалась, кроме того, в расширении научно-технического сопровождения возросшего числа НИР и ОКР в промышленности, а также в разработке целевых комплексных программ развития навигации и гидрографии.

В 1981-1985 гг. было составлено более 170 методических пособий и ряд ТТЗ на новые морские средства навигации и океанографии. Над созданием морских средств навигации и океанографии и разработкой методов их использования работало свыше сотни промышленных предприятий, организаций АН СССР и академий союзных республик, 27 министерств и государственных комитетов. За этот период Институтом обоснованы предложения в проект Основных направлений развития навигационной техники до 2000 г.; определена техническая политика в области создания навигационных комплексов нового поколения; разработаны методы комплексного исследования Мирового океана с помощью автоматизированных систем в интересах ВМФ и народного хозяйства, предложен проект Программы комплексных исследований Арктики и развития технических средств ее изучения и освоения. Разработаны также целевые комплексные программы развития автономных средств навигационных комплексов подводных лодок и надводных кораблей, высокоточных средств коррекции и технических средств изучения морей и океанов.

В 1986-1990 гг. научные исследования и разработка новых средств навигации и океанографии осуществлялись по четырем долгосрочным комплексным программам, предусматривавшим создание:

– корабельных (бортовых) морских средств навигации, и в первую очередь автономных средств, на базе инерциальных систем для выработки навигационных и геодезических параметров;

– технических средств навигационного оборудования театров, обеспечивающих гарантированную безопасность плавания всех кораблей и судов в прибрежных водах, на подходах к портам и непосредственно в пунктах базирования;

– методов изучения и картографирования квазистационарных полей Мирового океана, способствующих существенному повышению производительности и автоматизации этих работ для удовлетворения требований оружия и безопасности плавания;

– глобальной системы океанологического обеспечения, технических средств и методов оперативного гидрометеорологического обеспечения действий сил флота.

По перечисленным проблемам Институтом выполнено 190 научно-исследовательских работ. В результате были обоснованы и сформулированы предложения в основные программы развития технических средств навигации, гидрографии и гидрометеорологии.

В 1988 г. в связи с реорганизацией научных учреждений ВМФ в состав Института был включен научно-исследовательский океанографический центр МО, основными задачами которого являлись разработка методов сбора, систематизации и автоматизации обработки материалов гидрометеорологических и геофизических исследований; методов анализа гидрометеорологической и геофизической изученности Мирового океана; предложений по проведению океанографических исследований; методов обеспечения кораблей, штабов, гидрометцентров ВМФ режимной и прогностической информацией о среде; а также создание банка океанографических данных. С использованием этого банка данных и современной вычислительной техники стало возможным на качественно новой основе решать задачи гидрометеорологического обеспечения ВМФ.

В связи с возросшим научным потенциалом Института в 1988 г. в нем был образован специализированный совет по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора наук.

В 1991–1993 гг. в связи с политическими и экономическими изменениями в стране Институт расширил сферу своей деятельности на чисто гражданские приложения методов и средств навигации, гидрографии и гидрометеорологии. В этих условиях исключительное значение приобрело специальное Постановление Правительства Российской Федерации «О совершенствовании научных исследований» от 19 июня 1994 г. № 711, которым Институт был преобразован в Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт МО РФ (ГНИНГИ МО РФ) и определен головной в стране научно-исследовательской организацией, ответственной за обоснование и разработку технической политики в области навигации, морской картографии, океанографического обеспечения обороны и экономики страны. На Институт возложено решение общегосударственных научных и практических задач по обеспечению общего мореплавания, спасению жизни человека на море, изучению и использованию Мирового океана. Фактически ГНИНГИ МО РФ стал единственным научным учреждением, координирующим вопросы навигации подвижных объектов, гидрографии, морской картографии и океанографического обеспечения в интересах как военных, так и гражданских ведомств. Вслед за повышением статуса Института был осуществлен переход от выпуска внутриведомственных институтских трудов к изданию научно-технического журнала «Навигация и гидрография». Институтом

организованы и проводятся раз в два-три года три Всероссийские конференции по проблемам морской навигации и океанографии, в которых принимают участие представители Министерств, ведомств и научных организаций Российской Федерации и ряда зарубежных государств.

С момента придания Институту статуса «государственного» в ГНИНГИ МО РФ развернуты приоритетные направления конверсионной деятельности по решению общегосударственных задач на международном, федеральном и региональном уровнях, в том числе по:

– осуществлению международного проекта «ГОДАР», проводимого под контролем МОК ЮНЕСКО;
– сотрудничеству с министерством обороны США в области военной океанографии, в соответствии с заявлением комиссии Черномырдина-Гора по технологическому и экономическому сотрудничеству.

Институтом разработаны:

– Федеральный Российский радионавигационный план;
– Федеральный план развития средств навигационного оборудования прибрежных зон России;
– Федеральная программа цифрового картографирования Мирового океана;
– Федеральная научно-техническая программа «Развитие гравиметрических работ в России»;
– Федеральная целевая комплексная программа «Мировой океан».

Заслуги сотрудников Института высоко оценены Правительством страны и командованием ВМФ. Указом Верховного Совета СССР от 2 февраля 1984 г. Институт награжден Орденом Трудового Красного Знамени. За выдающийся вклад в разработку технических средств и методов НГО званиями лауреатов Ленинской премии были удостоены Ю. И. Максюта и В. Д. Теплов, а лауреатами Государственной премии стали И. М. Безуглый, В. П. Заколодяжный, Б. Е. Иванов, В. А. Климонтович, А. И. Косниковский, Ю. В. Ладинский, В. С. Макода, Л. К. Овчинников, Ю. А. Обухов, С. П. Ростовцев, Н. И. Сигачев, А. И. Сорокин, Е. Ф. Суворов, И. И. Тузов, А. М. Червяков, В. А. Фуфаев. Премией Ленинского Комсомола были удостоены К. А. Виноградов, В. М. Герасимов, Г. И. Емельянцев, А. Н. Илясов И. Ф. Корниенко, Н. А. Минаев, Б. А. Осюхин. Премией Правительства Российской Федерации в области науки удостоены: С. П. Алексеев, В. Г. Бахмутский, Н. Н. Неронов, Н. А. Нестеров, В. А. Титлянов.

Звания «Заслуженный деятель науки и техники» удостоен А. В. Лаврентьев, четыре сотрудника удостоены звания «Заслуженный деятель науки» (Б. Н. Беляев, Г. И. Емельянцев, Б. Е. Иванов, Н. Н. Неронов.).

В разные годы Институт возглавляли: капитан 1 ранга Н. И. Сигачев (1939–1946), контр-адмирал Ю. В. Ладинский (1946–1952), капитан 1 ранга В. В. Алексеев (1952–1956), контр-адмирал А. С. Алексеев (1956–1960), контр-адмирал Ю. И. Максюта (1964–1978), контр-адмирал А. В. Федотов (1978–1988), контр-адмирал В. С. Макода (1989-1999), контр-адмирал С. П. Алексеев (с 1999 г. по настоящее время).

С 14 марта 2000 г. Институт имеет юридический статус Федерального Государственного унитарного предприятия.

Обобщая деятельность штатных подразделений Института за последние годы, следует отметить, что специалистами управления навигации проведен ряд исследований и работ, направленных на разработку путей движения и средств навигационного оборудования в рамках проектов «Сахалин-1», «Сахалин-2», в районе Штокмановского газоконденсатного месторождения, в районе полуострова Ямал, портов Северо-Запада РФ: Усть-Луга, Приморск, Высоцк.

Проведена большая работа по заказу «Росатома» по обеспечению безопасной проводки радиоактивных отсеков утилизированных подводных лодок в районе СРЗ «Нерпа» Северного флота.

Все перечисленные исследования и работы имеют большое значение для обеспечения безопасности общего мореплавания и навигационной безопасности плавания кораблей ВМФ в этих районах.

Специалисты-гидрографы участвуют в комплексных океанографических исследованиях, выполняемых как другими российскими организациями, так и по международным программам.

Примером может служить ежегодная океанографическая российско-американская экспедиция в Беринговом проливе и Чукотском море по программе «РУСАЛКА».

Результаты океанографических исследований обеспечивают пополнение банков картографических и океанографических данных ВМФ новой информацией, которая используется для создания и корректуры навигационных морских карт, пособий для плавания, разработки руководств по учету влияния параметров морской среды на эффективность применения оружия и технических средств ВМФ.

Особое место в деятельности Института занимает проект Северо-Европейского газопровода. В настоящее время выполняются работы по подготовке морского участка трассы Северо-Европейского газопровода, имеющего стратегическое значение для развития экономики России в части поиска затопленного химического оружия и взрывоопасных предметов.

В период 2007-2008 гг. вся трасса должна была быть очищена от опасностей техногенного происхождения. Решение этой задачи не имеет аналогов в мировой практике ни по сложности, ни по объему, ни по «экологической» ответственности.

Использование информационных ресурсов Института внесло решающий вклад в определение внешней границы континентального шельфа России в Арктике в соответствии с постановлением Правительства РФ от 16.06.97 №717 «О порядке утверждения перечней географических координат точек, определяющих линии внешних границ континентального шельфа Российской Федерации».

Благодаря деятельности ГНИНГИ МО РФ удалось обосновать приращение площади континентального шельфа РФ в Арктике на 1,2 млн. кв км.

Прогнозные запасы углеводородов в указанном районе составляют 4,9 млрд. т условного топлива.

Специалисты Института участвуют в проектах федеральной целевой программы «Мировой океан», в том числе в Подпрограмме «Создание Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО)», решая задачи по разработке военного контура Единой государственной системы информации о Мировом океане.

В рамках Подпрограммы «Военно-стратегические интересы России в Мировом океане» проводится реконструкция внутренних помещений Института для размещения Единого центра данных океанографических и гидрографических исследований Мирового океана, строительство абонентских пунктов информационно-вычислительных сетей и оптических линий связи.

Создание Единого центра данных является одним из наиболее важных направлений работы Института. Основная задача проекта – перейти на современные технологии ведения баз данных, развить информационное взаимодействие с организациями Минобороны России и других министерств и ведомств с целью интеграции информационных ресурсов в интересах обороны и экономики страны.

Необходимо подчеркнуть, что в период реформирования военно-научного комплекса РФ за счет диверсификации деятельности Института удалось обеспечить его устойчивое функционирование, безусловное решение всех поставленных задач и наращивание научно-производственного потенциала. В Институте трудятся более 80 докторов и кандидатов наук.

В заключение хотелось бы отметить, что создание перспективных технических средств навигации, гидрографии и гидрометеорологии стало возможным только на основе использования современной вычислительной техники и результатов фундаментальных научных исследований. Такие исследования проводились как в академических, так и в прикладных институтах и позволили совершить ряд революционных сдвигов в области навигации и гидрографии. В результате Институту при поддержке УНиО МО совместно с промышленностью удалось обосновать и решить ряд крупных научно-технических проблем, таких как:

– создание современных корабельных инерциальных навигационных систем и комплексов;
– разработка и внедрение спутниковых навигационных систем;
– создание абсолютных доплеровских гидроакустических лагов;
– начало планомерной съемки геофизических полей Земли на основе разработки прецизионной съемочной аппаратуры и глобальных высокоточных средств определения места;
– разработка и создание ряда автоматизированных комплексов площадной съемки рельефа дна и поиска подводных объектов с целью обеспечения безопасности мореплавания, изучения строения морского дна и разведки минеральных ресурсов в диапазоне глубин 0–5000 м;
– разработка и внедрение технических средств и методов, позволяющих представлять, хранить и обрабатывать картографическую информацию в цифровом виде.

В целом потенциал института позволяет осуществлять эффективную научно-техническую поддержку деятельности органов государственного и военного управления. Примерами такой поддержки являются:

– Концепция навигационно-гидрографического обеспечения морской деятельности Российской Федерации;

– Военный контур Единой системы информации об обстановке в Мировом океане;

– обоснование Комплексной системы безопасности в составе Единой государственной стратегии освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа РФ;

– обоснование внешней границы континентального шельфа в Арктике;

– предложения по размещению вспомогательной производственной базы и объектов обустройства Штокмановского газоконденсатного месторождения в зоне ответственности Северного флота;

– нормативная база обеспечения безопасности работ от рисков, обусловленных опасностями техногенного происхождения.

Работы, проведенные Институтом за 70 лет его существования, позволили успешно решить задачи НГО и ГМО ВМФ в период Великой Отечественной Войны, в послевоенное время и в период развития ракетно-ядерного флота, обеспечили изучение Мирового океана в интересах ВМФ и экономики страны.

Результаты деятельности Института на современном этапе, направленные на решение задач НГО оборонной и экономической деятельности на море, обеспечивают эффективное решение военных задач, а также эффективное освоение ресурсов и пространств Мирового океана.

Научно-технический потенциал, созданный задел, разумное сочетание необходимости и возможности решения задач в данной области определяют дальнейшие перспективы Института.

ЛИТЕРАТУРА

1. История гидрографической службы Российского флота // ГУНиО МО. – СПб, 1997. – Т. 2. – С. 227–239.
2. Федотов А. В. Из истории Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института МО РФ // Навигация и гидрография. – 1995. – №1. – С. 117–121.
3. Макода В. С., Федотов А. В. 60-летие Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института Министерства обороны Российской Федерации // Навигация и гидрография. – 1998. – № 7. – С. 14–21.
4. Алексеев С. П. Стратегия развития Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института МО РФ // Навигация и гидрография. – 2000. – №10. – С. 7–15.
5. Алексеев С. П., Добротворский А. Н., Бродский П. Г. Диверсификация научной деятельности как принципиальная особенность развития ГНИНГИ на современном этапе // Навигация и гидрография. –2008. – №26. – С. 7–13.

THE ROLE AND PLACE OF GNINGI, THE MINISTRY OF DEFENCE OF RUSSIA, IN SOLVING THE PROBLEMS OF NAVIGATION-HYDROGRAPHIC SUPPORT FOR THE MARITIME ACTIVITIES OF THE RUSSIAN FEDERATION (ON THE OCCASION OF THE 70-TH ANNIVERSARY OF GNINGI , RF MOD)

S. P. Alekseyev
(GNINGI, RF MoD)

The history of development and results of the scientific-production activities of GNINGI, RF MoD, beginning from the date of its establishment, March 10 1939 are considered and summarized. The role and place of the Institute in solving the problems of navigation-hydrographic support for the defence and economic activities of the Russian Federation at sea are shown and substantiated.

НАВИГАЦИЯ

ГРНТИ 78.31.26

ЗАЩИТА СОВРЕМЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОТ ПОМЕХ

Б. И. ЛОБОЙКО
(ГНИНГИ МО РФ)

Дана краткая характеристика помеховых воздействий на спутниковые навигационные системы и аппаратуру потребителей, перечислены основные направления по разработке мероприятий по их защите от помех.

Современные спутниковые навигационные системы ГЛОНАСС (Россия) и GPS (США) по своим эксплуатационно-техническим характеристикам представляют собой измерительный инструмент для высокоточного глобального координатно-временного и навигационного обеспечения систем и средств военного и гражданского назначения.

В самом начале разработки концепции построения спутниковых навигационных систем (СНС) главное требование состояло в минимизации их уязвимости, реализации всей совокупности функциональных возможностей и значительном увеличении числа военных и гражданских потребителей. На последующих этапах создания систем были существенно расширены требования по возможности их использования многочисленными гражданскими потребителями, отдельные требования которых в ряде случаев значительно превышают требования военных.

Одновременно с момента разработки систем изменились и условия их использования, усложнилась электромагнитная обстановка, в том числе за счет следующих факторов:

– роста общего количества радиоэлектронных систем и средств (РЭС) наземного, морского, воздушного и космического базирования, повышения плотности их размещения и концентрации частот в отдельных участках радиоэлектронного спектра, в том числе в диапазоне частот спутниковых НС 1,0–2,0 ГГц;

– увеличения уровней излучаемых мощностей передатчиками отдельных радиоэлектронных систем, расширения их спектров за счет использования широкополосных сигналов;

– высокого уровня нежелательных излучений передатчиками некоторых РЭС через антенну и помимо нее.

В диапазоне частот $L1$ наибольшую опасность для аппаратуры потребителя (АП) представляют излучения систем персональной спутниковой связи (ПСС). Частоты этих систем располагаются в непосредственной близости

или совпадают с частотами СНС ГЛОНАСС. В диапазоне частот $L2$ мешающее воздействие на нормальное функционирование аппаратуры потребителей могут оказывать сигналы некоторых радиолокационных станций, средств воздушной навигации и др.

Значения выделенных частот для ПСС, а также уровни основных нежелательных излучений вызывают серьезное беспокойство о возможности нормального функционирования АП совместно с терминалами ПСС. Возникает естественная необходимость комплексного решения проблемы их электромагнитной совместимости.

Как показывает анализ основных и нежелательных излучений терминалов ПСС, их значения в ряде случаев превышают пороговые (критические) уровни аппаратуры потребителей. Это может привести и приводит к перегрузке входных каскадов и появлению множества комбинационных составляющих в приемном тракте.

Серьезную опасность для аппаратуры потребителей представляют и преднамеренные помехи, создаваемые при противодействии или диверсионных актах. Механизм воздействия таких помех определяется мощностью и частотно-временными параметрами. В качестве преднамеренных, необходимо отметить три вида помех; узкополосные (по сравнению со спектром радионавигационного сигнала), узкополосные со сканированием по всему спектру радиосигнала и широкополосные, спектр которых перекрывает спектр радиосигнала.

Значительную угрозу входным каскадам приемных устройств аппаратуры потребителей могут представлять поражающие электромагнитные факторы (ЭМФ) в виде коротких СВЧ-излучений большой мощности, создаваемых мощными радиолокационными станциями (РЛС), работающими промышленными СВЧ-установками и т. п. или формируемых целевым назначением. Наиболее уязвимыми при действии мощных СВЧ-излучений являются элементы входных каскадов приемных устройств, имеющие в составе матричные структуры.

Эффект функционального поражения таких структур в зависимости от параметров СВЧ-излучений может привести к следующим последствиям [1]:

– необратимым (невосстанавливаемым) отказам;

– временным (восстанавливаемым) отказам, в виде «ослепления», приводящим к ускоренному «старению» матричных структур.

Восстанавливаемые отказы могут быть как с сохранением, так и с деградацией (ухудшением) параметров аппаратуры потребителей после восстановления работоспособности. Временной интервал выхода аппаратуры потребителей из строя может изменяться в широких пределах от единиц миллисекунд до десятков минут. Причиной невосстанавливаемых отказов в большинстве случаев является тепловой пробой матричных структур входных устройств аппаратуры потребителей, при этом одновременно учитывается влияние электрического пробоя.

Для оценки помехоустойчивости необходимо определиться с критерием (т. е. признаком, по которому производится оценка) и показателем (т. е. числовой характеристикой) помехоустойчивости.

В системах связи в качестве критерия помехоустойчивости используется вероятность правильного приема переданной информации. Однако в СНС навигационная информация заключена не в излучаемом сигнале, а является результатом определенного взаимного расположения спутника и пользователя, что проявляется в соответствующих характеристиках (параметрах) принимаемого сигнала. СНС предназначены для определения навигационных параметров пользователя (координат, курса, скорости и т. п.), поэтому помехоустойчивость навигационной аппаратуры пользователя естественно связать с погрешностями измерения этих параметров, вызванными воздействием помех. Поскольку под помехоустойчивостью радиоэлектронной системы понимается ее способность выполнять функциональные задачи с требуемым качеством при воздействии радиопомех, то навигационную аппаратуру потребителей (НАП) принято рассматривать как устройство, предназначенное для приема и измерения навигационного параметра. При наличии помех в измеренном значении навигационного параметра появляется погрешность. В качестве критерия помехоустойчивости принимается вероятность P того, что погрешность вырабатываемых НАП навигационных параметров Q при наличии помех не превзойдет некоторого значения $Q_{\text{ДОП}}$, заданного в нормативно-технической документации, т. е. $P\{Q<Q_{\text{ДОП}}\}$. Поэтому величину вероятности P выбирают равной 0,95 либо 0,997. Ясно, что величина Q возрастает с ростом интенсивности помехи, поэтому в качестве показателя помехоустойчивости можно принять минимальное отношение сигнал/помеха, при котором еще выполняется условие ($Q<Q_{\text{ДОП}}$) с требуемой вероятностью.

Однако и теория, и опыт разработки НАП показывают, что обработка принимаемого с борта навигационного спутника сигнала обязательно должна включать в себя слежение за несущей частотой и задержкой (за счет времени распространения) сигнала. В качестве следящих систем используются специальные системы фазовой автоподстройки частоты и следящие измерители дальности, у которых существует ярко выраженный пороговый эффект. Этот эффект заключается в том, что при увеличении интенсивности помехи происходит незначительное возрастание погрешности измерения навигационного параметра, а при некоторой (пороговой) интенсивности помехи происходит срыв слежения за полезным сигналом. Следовательно, в качестве показателя помехозащищенности целесообразно принять минимальное, так называемое защитное (пороговое), отношение $K_{\text{ПОР}}$ мощностей $P_{\text{с}}$ и помехи $P_{\text{п}}$ на входе НАП, при котором не происходит срыв слежения за полезным сигналом: $K_{\text{ПОР}} = (P_{\text{с}}/P_{\text{п}})_{\text{ПОР}}$.

Для расчета отношения $P_{\text{с}}/P_{\text{п}}$ на входе НАП необходимо вычислить либо сами мощности $P_{\text{с}}$ и $P_{\text{п}}$, либо напряженность электрического поля полезного сигнала $E_{\text{с}}$ и напряженность электрического поля помехи $E_{\text{п}}$, поскольку [2]:

$$\frac{P_{\text{с}}}{P_{\text{п}}} = \left(\frac{E_{\text{с}}}{E_{\text{п}}}\right)^2 . \qquad (1)$$

Будем полагать, что индекс «с» относится к сигналу, индекс «п» – к помехе, индекс «к» – к НАП.

Так как прием сигнала от навигационного спутника производится из космического пространства, а потери на пути его распространения незначительны, то для полезного сигнала с достаточной степенью точности можно воспользоваться формулой идеальной передачи [3]:

$$E_{\text{с}} = \frac{0{,}173\sqrt{P_{\text{пс}} D_{\text{с}}}}{R_{\text{ск}}}, \text{ В/м}, \qquad (2)$$

где $P_{\text{пс}}$ – мощность передатчика сигнала навигационного спутника, кВт,

$R_{\text{ск}}$ – расстояние от навигационного спутника (передатчика) до потребителя НАП, км;

$D_{\text{с}}$ – коэффициент направленного действия передающей антенны навигационного спутника.

Согласно работе [4] расчет мощности полезного сигнала на входе НАП производится по формуле

$$P_{\text{с}} = \frac{E_{\text{с}}^{\,2}}{120\pi}\frac{\lambda^2}{4\pi}, \text{ Вт}, \qquad (3)$$

где λ – рабочая длина волны, м (0,19 м для частоты $L1$).

Для удобства расчетов, величины мощностей в ваттах часто переводят в децибелы относительно ватта по формуле

$$P = \log(P[\text{Вт}]). \qquad (4)$$

Расчет мощности помехи $P_{\text{п}}$ производится аналогично мощности полезного сигнала (3):

$$P_{\text{п}} = \frac{E_{\text{п}}^{\,2}}{120\pi}\frac{\lambda^2}{4\pi}, \text{ Вт}. \qquad (5)$$

Следует особо отметить, что до настоящего времени строго не определена совокупность показателей для оценки помехоустойчивости аппаратуры потребителей различного целевого назначения в основных режимах работы (поиск, захват и сопровождение) при действии непреднамеренных и преднамеренных помех.

Поскольку СНС уже функционируют, и потребитель практически не имеет возможности что-либо изменить в их построении, необходимо предусматривать мероприятия по повышению помехоустойчивости на этапе разработки и создания новой аппаратуры.

На этапе разработки новой НАП следует принимать следующие меры:

1. Обнаружение и распознавание помех. Необходимо, чтобы потребитель в любое время мог обнаружить ухудшение условий навигационных определений за счет возрастания интенсивности помех.

2. Установка на НАП антенных систем с управляемой диаграммой направленности, что является основным решением для повышения помехоустойчивости в настоящее время.

3. Создание специальных дополнительных схем подавления помех – фильтров, развязок, алгоритмов обработки и т. д.

4. Комплексирование и совместная обработка информации СНС с информацией инерциальных и других навигационных систем и устройств.

Тем не менее проблема обеспечения помехоустойчивости спутниковых НС вообще и аппаратуры потребителей, в частности на сегодняшний день, не решена. Требуется поиск новых, а также пересмотр уже известных путей для решения проблемы повышения помехоустойчивости. Это должны быть системные мероприятия и схемно согласованные с ними технические решения, направленные на совершенствование структуры системы и основных устройств приемоизмерительной аппаратуры потребителей, включая средства оперативного контроля за целостностью и достоверностью навигационной информации, а также контроль за процессами и результатами воздействия помех и управления устройствами защиты от них.

Результаты продолжительной по времени эксплуатации системы GPS в различных условиях, включая боевые действия на Ближнем Востоке и в войне против Югославии, позволили сделать выводы о необходимости ее модернизации. В настоящее время в США ведутся разработки и широко обсуждаются планы модернизации системы GPS в интересах как военного, так и гражданского применений, в процессе модернизации системы предусматривается улучшение таких характеристик как целостность, доступность, устойчивость, в том числе помехоустойчивость и автономность.

Принимая во внимание состояние орбитальной группировки навигационных спутников системы ГЛОНАСС, уровень производства отечественной аппаратуры потребителей и ее использование в гражданских и военных транспортных, связных и других технологиях, основные направления и содержание работ по обеспечению помехоустойчивости системы ГЛОНАСС должны носить комплексный характер и координироваться из единого центра.

Следует особо обратить внимание на разработку, экспериментальную проверку и оценку эффективности, внедрение в перспективные разработки новых способов и технических средств для обеспечения требуемой помехоустойчивости базовых моделей аппаратуры потребителей для сложных условий ее функционирования, включая непреднамеренные и преднамеренные помехи.

Таким образом, необходимо разработать требования к модернизации навигационных спутников с учетом увеличения их технического ресурса и автономности функционирования, повышения бортовой энергетики, выделение дополнительной частоты для массовых гражданских потребителей и новых структур навигационных сигналов повышенной скрытности и помехоустойчивости.

На уровне аппаратуры потребителей нужно вести работы по:

– исследованию и разработке методов оценки помехоустойчивости и электромагнитной совместимости существующей и перспективной аппаратуры потребителей;

– разработке способов и средств повышения помехоустойчивости существующей и перспективной аппаратуры потребителей, поиску новых структур аппаратуры, ее основных устройств, устойчивых к воздействию различного рода помех.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антипин В. В., Годовицын В. А. и др. Влияние мощных импульсных микроволновых помех на полупроводниковые приборы и интегральные микросхемы // Зарубежная радиоэлектроника. – 1995. – № 1. – С. 37–53.
2. Вершков М. В. Судовые антенны.- Л. :. Судостроение, 1972. – 423 с.
3. Черный Ф. Б. Распространение радиоволн. – М.: Сов. Радио, 1972. – 457с.
4. Колосов М. А., Арманд Н. А. и др. Распространение радиоволн при космической связи. – М.: Связь, 1969. – 152 с.

PROTECTION OF THE PRESENT-DAY SATELLITE NAVIGATION SYSTEMS FROM INTERFERENCE

B. I. Loboiko
(GNINGI, RF MoD)

The brief characteristics of interference influencing the satellite navigation systems and user equipment are presented. The main trends intended to develop the measures in order to protect them from interference are stated.

ГРНТИ 78.25.31

СПУТНИКОВАЯ КОРРЕКЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОРИЕНТАЦИИ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ

В. И. РЕЗНИЧЕНКО,
П. И. МАЛЕЕВ,
М. Ю. СМИРНОВ
(ГНИНГИ МО РФ)

Рассмотрен новый «координатный» метод спутниковой коррекции курса и углов качек морского объекта. Результаты моделирования поправок курса в широтах от 0° до 80° показали потенциально высокую точность выработки поправки курса, независимость точности выработки курса от широты места и зависимость от взаимного расположения выбираемых для коррекции спутников и объекта, что позволяет оптимизировать выбор спутников.

Данные об угловом положении морского объекта относятся к важнейшим параметрам, необходимым для кораблевождения и использования оружия. Инерциальные системы (ИНС), гирокомпасы и другие гироскопические системы, используемые в настоящее время для их определения, не в полной мере удовлетворяют предъявляемым требованиям. К тому же точность выработки ими курса снижается с повышением широты местоположения объекта (о чем свидетельствуют, в

частности, результаты всеширотных испытаний гирокомпасов [1]), а также под действием качек и маневрирования объекта. С другой стороны, заметные климатические изменения последних лет сделали более доступными высокоширотные регионы Мирового океана, интересные, в частности, с точки зрения освоения нефтегазовых месторождений в Арктическом бассейне, что повысило требования к навигационной аппаратуре объектов, плавающих в этом районе.

Снижение погрешности в выработке параметров ориентации объекта возможно путем совместного использования гироприборов и приемной аппаратуры спутниковой навигационной системы (СНС), за счет спутниковой коррекции.

В настоящее время известен ряд методов спутниковой коррекции параметров ориентации, в частности, курса объекта (дальномерный, доплеровский, угломерный, фазовый) [2]. Известны примеры спутниковой коррекции гирокомпасов с косвенным управлением [3]. Однако их применение в реальных условиях встречает ряд серьезных, до конца не преодоленных трудностей.

Ниже излагается новый, «координатный» метод определения параметров ориентации морского объекта. Метод условно назван координатным, так как позволяет определять параметры ориентации объекта по данным СНС о координатах спутников в топоцентрической и связанной системах координат.

Для представления координатного метода рассмотрим следующую ситуацию. Пусть морской подвижный объект с центром масс M перемещается относительно Земли (рис. 1) по произвольной траектории. В точке M имеют начало горизонтная топоцентрическая координатная система $M\xi\eta\zeta$ и система координат $Mxyz$ с осями, связанными с объектом. 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 рассматриваемым объектам это могут быть углы горизонтальной (υ, γ) и азимутальной (ψ) ориентации объекта.

На рис. 1 показаны также два навигационных спутник $СП_1$ и $СП_2$ спутниковой навигационной системы, положение которых в системе координат $M\xi\eta\zeta$ определено величиной соответствующего вектора визирования $\overline{r_C}$ и двумя углами – азимутом α и высотой β.

Определение ориентации по сигналам СНС предполагает использование информации, поступающей со спутников, для выработки параметров ψ, υ, γ.

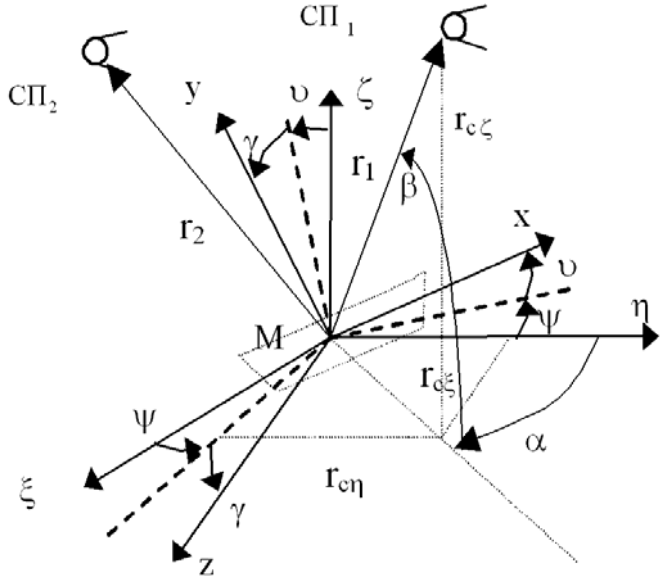

Рис. 1. Геометрическая схема координатного метода

Если пренебречь весьма малым в сравнении с расстояния до спутников отстоянием центральной антенны от центра масс объекта, то в системе $Mxyz$ положение спутника можно определять величиной соответствующего вектора визирования $\left|\overline{r_c}\right|$, либо проекциями вектора на соответствующие оси (r_{cx}, r_{cy}, r_{cz}). В топоцентрической системе координат Mξης положение спутника определяется координатами $r_{c\xi}$, $r_{c\eta}$, $r_{c\varsigma}$. Вся перечисленная информация, характеризующая положение спутника, вырабатывается в процессе обсервации по сигналам СНС.

Использование данных СНС для определения ориентации объекта возможно, если известна связь углов ψ, υ, γ с данными, полученными в процессе обсервации. Такая связь выявляется при рассмотрении выражений для проекций векторов визирования спутника на оси трехгранников $M\xi\eta\zeta$ и $Mxyz$ (рис. 1). В рассматриваемом случае эти выражения соответствуют матричной зависимости:

$$\begin{bmatrix} r_{cx} & r_{cy} & r_{cz} \end{bmatrix}^T = B \cdot \begin{bmatrix} r_{c\eta} & r_{c\varsigma} & r_{c\xi} \end{bmatrix}^T, \qquad (1)$$

где r_{cx}, r_{cy}, r_{cz} – координаты спутника в системе $Mxyz$;

$r_{c\eta}$, $r_{c\varsigma}$, $r_{c\xi}$ – координаты спутника в системе $M\xi\eta\zeta$.

$$B = \begin{bmatrix} \cos\psi\cos\upsilon & \sin\upsilon & -\sin\psi\cos\upsilon \\ \sin\psi\sin\gamma - \cos\psi\sin\upsilon\cos\gamma & \cos\upsilon\cos\gamma & \cos\psi\sin\gamma + \sin\psi\sin\upsilon\cos\gamma \\ \sin\psi\cos\gamma + \cos\psi\sin\upsilon\sin\gamma & -\cos\psi\sin\gamma & \cos\psi\cos\gamma - \sin\psi\sin\upsilon\sin\gamma \end{bmatrix} -$$

преобразующая матрица, соответствующая рассматриваемой геометрии [4].

По данным гироприборов вырабатываются текущие значения углов ориентации корабля, которые содержат погрешности.

Приборные значения углов крена, дифферента и рыскания можно представить выражениями:

$$\psi_a = \psi + \Delta\psi;\ \upsilon_a = \upsilon + \Delta\upsilon;$$
$$\gamma_a = \gamma + \Delta\gamma, \qquad (2)$$

где $\psi_a, \upsilon_a, \gamma_a$ – приборные значения углов;
ψ, υ, γ – истинные значения углов;
$\Delta\psi, \Delta\upsilon, \Delta\gamma$ – погрешности выработки углов.

Поскольку углы ψ, υ, γ и $\psi_a, \upsilon_a, \gamma_a$ отображают ориентацию истинного и приборного положения трёхгранника $Mxyz$ в горизонтной системе осей, их взаимное положение можно (для случая малого рассогласования координатных систем) описать матрицей направляющих косинусов [5]:

$$C = I - A,$$

где I – единичная матрица;

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \Delta\vartheta & -\Delta\psi \\ -\Delta\vartheta & 0 & \Delta\gamma \\ \Delta\psi & -\Delta\gamma & 0 \end{bmatrix} \qquad (3)$$

– кососимметрическая матрица погрешностей выработки углов ориентации автономными средствами.

С учётом формулы (3) выражение (1) принимает вид:

$$\left[r_{cx} r_{cy} r_{cz} \right]^T = C B_A \left[r_{c\eta} r_{c\zeta} r_{c\xi} \right]^T, \qquad (4)$$

где B_A – матрица направляющих косинусов B, содержащая приборные значения углов ориентации.

Таким образом, получена векторно-матричная зависимость (4), однозначно отражающая связь текущих приборных значений углов $\psi_a, \upsilon_a, \gamma_a$ и информации корабельной аппаратуры СНС $\left(r_{c\eta}, r_{c\zeta}, r_{c\xi}, r_{cx}, r_{cy}, r_{cz}\right)$ со значениями погрешностей автономных измерений углов ($\Delta\psi$, $\Delta\upsilon$, $\Delta\gamma$), подлежащих коррекции.

Выражение (4) с учётом матрицы CB_A достаточно сложно. Однако при решении практических задач можно допустить, что углы ψ, υ, γ изменяются в пределах ($0° \div \pm 5°$), когда можно представить $\cos x \approx 1$, $\sin x \approx x$, $x^2 \approx 0$. Тогда матрица CB_A принимает вид:

$$CB_A \cong \begin{bmatrix} \psi_a \Delta\psi + \vartheta_a \Delta\vartheta + 1 & -\gamma_a \Delta\psi - \Delta\vartheta + \vartheta_a & \Delta\psi - \gamma_a \Delta\vartheta - \psi_a \\ \Delta\vartheta - \psi_a \Delta\gamma - \vartheta_a & \vartheta_a \Delta\vartheta + \gamma_a \Delta\gamma + 1 & -\psi_a \Delta\vartheta - \Delta\gamma + \gamma_a \\ -\Delta\psi - \vartheta_a \Delta\gamma + \psi_a & -\vartheta_a \Delta\psi + \Delta\gamma - \gamma_a & \psi_a \Delta\psi + \gamma_a \Delta\gamma + 1 \end{bmatrix}. \qquad (5)$$

С учетом формулы (5) математическое описание связи спутниковой и автономной информации (4) отображает значительный диапазон реальных условий работы аппаратуры на морском объекте и может быть использовано для построения алгоритма вычисления и коррекции погрешностей приборов автономного определения параметров ориентации.

Учитывая необходимость определения ориентации объекта в пространстве по сигналам не менее двух спутников, можно записать выражение(4) в векторно-матричной форме (5) в виде системы линейных уравнений для неизвестных значений погрешностей автономных средств определения углов:

$$\begin{bmatrix} \psi_a r_{1\eta} - \gamma_a r_{1\varsigma} + r_{1\xi} & \upsilon_a r_{1\eta} - r_{1\varsigma} - \gamma_a r_{1\xi} & 0 \\ 0 & r_{1\eta} + \upsilon_a r_{1\varsigma} - \psi_a r_{1\xi} & -\psi_a r_{1\eta} + \gamma_a r_{1\varsigma} - r_{1\xi} \\ -r_{1\eta} - \upsilon_a r_{1\varsigma} + \psi_a r_{1\xi} & 0 & -\upsilon_a r_{1\eta} + r_{1\varsigma} + \gamma_a r_{1\xi} \\ \psi_a r_{2\eta} - \gamma_a r_{2\varsigma} + r_{2\xi} & \upsilon_a r_{2\eta} - r_{2\varsigma} - \gamma_a r_{2\xi} & 0 \\ 0 & r_{2\eta} + \upsilon_a r_{2\varsigma} - \psi_a r_{2\xi} & -\psi_a r_{2\eta} + \gamma_a r_{2\varsigma} - r_{2\xi} \\ -r_{2\eta} - \upsilon_a r_{2\varsigma} + \psi_a r_{2\xi} & 0 & -\upsilon_a r_{2\eta} + r_{2\varsigma} + \gamma_a r_{2\xi} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta\psi \\ \Delta\upsilon \\ \Delta\gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r_{1\eta} - \upsilon_a r_{1\zeta} + \psi_{a1\xi} + r_{1x} \\ \upsilon_a r_{1\eta} - r_{1\zeta} - \gamma_a r_{1\xi} + r_{1y} \\ -\psi_a r_{1\eta} + \gamma_a r_{1\zeta} - r_{1\xi} + r_{1z} \\ -r_{2\eta} - \upsilon_a r_{2\zeta} + \psi_a r_{2\xi} + r_{2x} \\ \upsilon_a r_{2\eta} - r_{2\zeta} - \gamma_a r_{2\xi} + r_{2y} \\ -\psi_a r_{2\eta} + \gamma_a r_{2\zeta} - r_{2\xi} + r_{2z} \end{bmatrix} \qquad (6)$$

Дальнейшие преобразования позволяют получить расчетные формулы для неизвестных ($\Delta\psi$, $\Delta\vartheta$, $\Delta\gamma$).

Преобразования уравнений (6) состоят в выполнении следующих действий.

1. Выбор соответствующих пар уравнений системы (6) для первого и второго спутников относительно переменных ($\Delta\psi$, $\Delta\vartheta$), ($\Delta\psi$, $\Delta\gamma$), ($\Delta\vartheta$, $\Delta\gamma$).

2. Решение каждой пары полученных уравнений для неизвестных $\Delta\psi$, $\Delta\vartheta$, $\Delta\gamma$.

Для азимутального канала выработки поправки получаем:

$$\Delta\psi = \frac{r_{1\eta} r_{2\varsigma} + \gamma_a r_{1\eta} r_{2\xi} - \psi_a r_{1\xi} r_{2\varsigma} + \upsilon_a r_{1x} r_{2\eta} - r_{1x} r_{2\zeta} - \gamma_a r_{1x} r_{2\xi} + r_{1\varsigma} r_{2\eta} + \gamma_a r_{1\xi} r_{2\eta} - \psi_a r_{1\varsigma} r_{2\xi} + \upsilon_a r_{1\eta} r_{2x} - r_{1\varsigma} r_{2x} - \gamma_a r_{1\xi} r_{2x}}{\upsilon_a r_{1\xi} r_{2\eta} - \psi_a r_{1\eta} r_{2\zeta} - r_{1\xi} r_{2\zeta} - \upsilon_a r_{1\eta} r_{2\xi} + \psi_a r_{1\varsigma} r_{2\eta} + r_{1\varsigma} r_{2\xi}}. \qquad (7)$$

Для горизонтных каналов выработки корректирующей информации расчетные формулы принимают вид:

$$\Delta\upsilon = \frac{-\upsilon_a r_{1\eta} r_{2\xi} + \psi_a r_{1\varsigma} r_{2\eta} + r_{1\varsigma} r_{2\xi} - \psi_a r_{1y} r_{2\eta} + \gamma_a r_{1y} r_{2\varsigma} - r_{1y} r_{2\xi} + \upsilon_a r_{1\xi} r_{2\eta} - \psi_a r_{1\eta} r_{2\varsigma} - r_{1\xi} r_{2\varsigma} + \psi_a r_{1\eta} r_{2y} - \gamma_a r_{1\varsigma} r_{2y} + r_{1\xi} r_{2y}}{\gamma_a r_{1\eta} r_{2\zeta} - r_{1\eta} r_{2\xi} - \upsilon_a r_{1\varsigma} r_{2\xi} - \gamma_a r_{1\varsigma} r_{2\eta} + r_{1\xi} r_{2\eta} + \upsilon_a r_{1\xi} r_{2\zeta}}; \qquad (8)$$

$$\Delta\gamma = \frac{-\gamma_a r_{1\eta} r_{2\zeta} + r_{1\eta} r_{2\xi} + \upsilon_a r_{1\zeta} r_{2\xi} - r_{1\eta} r_{2z} - \upsilon_a r_{1\zeta} r_{2z} + \psi_a r_{1\xi} r_{2z} + \gamma_a r_{1\zeta} r_{2\eta} - r_{1\xi} r_{2\eta} + r_{1z} r_{2\eta} - \upsilon_a r_{1\xi} r_{2\zeta} + \upsilon_a r_{1z} r_{2\zeta} - \psi_a r_{1z} r_{2\xi}}{-r_{1\eta} r_{2\zeta} + \psi_a r_{1\xi} r_{2\zeta} - \gamma_a r_{1\eta} r_{2\xi} + r_{1\zeta} r_{2\eta} - \psi_a r_{1\zeta} r_{2\xi} + \gamma_a r_{1\xi} r_{2\eta}} \quad (9)$$

Анализ расчетных формул поправок к параметрам ориентации позволяет определить объем необходимой для расчета информации. Эта информация включает полный набор текущих приборных значений углов крена (γ_a), дифферента (υ_a), курса (ψ_a) объекта от гироприборов и полный набор текущих значений координат двух навигационных спутников в топоцентрической ($r_{c\eta}$, $r_{c\zeta}$, $r_{c\xi}$) и связанной с объектом (r_{cx}, r_{cy}, r_{cz}) системах координат (c=1,2).

Формирование основных элементов ($r_{c\eta}$, $r_{c\zeta}$, $r_{c\xi}$) расчетных формул выработки поправок осуществляется алгоритмами приёмной аппаратуры СНС. Высокая точность и надежность определения координат спутников в штатном режиме функционирования СНС гарантируется высокими эксплуатационными характеристиками глобальной навигационной системы.

Процедура вычисления координат навигационных спутников в системе, связанной с объектом (r_{cx}, r_{cy}, r_{cz}), может осуществляться алгоритмами фазового метода определения ориентаци на основе формулы (1). В этом случае точность определяется методическими и инструментальными погрешностями фазоизмерительных каналов.

Более просто использовать другой алгоритм вычисления элементов (r_{cx}, r_{cy}, r_{cz}), использующий наличие приборных значений углов ψ_a, υ_a, γ_a (1). Эти значения можно использовать как элементы матрицы B (1) для вычисления координат навигационных спутников. Работоспособность алгоритма подтверждена результатами математического моделирования и гарантируется высокой точностью штатных режимов функционирования гироприборов.

Для оценки возможностей координатного метода проведено математическое моделирование процесса коррекции курса. При этом использована математическая модель СНС ГЛОНАСС в штатном составе орбитальной группировки.

В качестве примера на поверхности Земли в плоскости меридиана выбраны восемь контрольных точек, в которых решается задача определения поправки курсоуказания. В контрольных точках приемная аппаратура принимает сигналы СНС, вырабатывает данные о координатах видимых навигационных спутников и осуществляет выбор спутников. После выбора пары спутников, пригодных для определения ориентации, и приема автономной измерительной информации вычисляются текущие значения поправки курсоуказания.

Результаты моделирования приведены в таблице, которая содержит численные значения погрешности автономного определения курса $\psi 1 \ldots \psi 3$ в диапазоне широт φ=0°… 80° на интервале времени t = 4800–4820 с. Процесс коррекции осуществляется по сигналам двух навигационных спутников, номера которых приведены в таблице. Результаты коррекции представлены вычисленными значениями поправки курса $\Delta\psi 1 \ldots \Delta\psi 3$ и погрешностями выработки поправок $\delta\psi 1 \ldots \delta\psi 3$ угл. мин. Анализ данных Таблицы свидетельствует о высокой потенциальной точности выработки поправок

Таблица 1

Результаты моделирования процесса выработки поправки курсоуказания

t, с	φ, град.	Ψ1, мин.	δΨ2, мин.	ΔΨ2, мин.	Ψ2, мин.	δΨ2, мин.	ΔΨ2, мин.	Ψ3, мин.	δΨ3, мин.	ΔΨ3, мин.	№ КА	
											1	2
4800	0	0	0	0	17,189	17,963	-0,775	34,377	37,404	-3,027	3	24
4810	0	0	0	0	17,189	17,961	-0,773	34,377	37,397	-3,02	3	24
4820	0	0	0	0	17,189	17,959	-0,771	34,377	37,39	-3,013	3	24
4800	10	0	0	0	17,189	17,181	0,008	34,377	34,344	0,034	3	22
4810	10	0	0	0	17,189	17,181	0,007	34,377	34,344	0,033	3	22
4820	10	0	0	0	17,189	17,182	0,007	34,377	34,345	0,032	3	22
4800	20	0	0	0	17,189	17,218	-0,03	34,377	34,495	-0,117	3	22
4810	20	0	0	0	17,189	17,219	-0,03	34,377	34,495	-0,118	3	22
4820	20	0	0	0	17,189	17.219	-0.03	34.377	34.496	-0,119	3	22
4800	30	0	0	0	17,189	17,247	-0,058	34,377	34,61	-0,232	3	22
4810	30	0	0	0	17,189	17,247	-0,058	34,377	34,61	-0,232	3	22
4820	30	0	0	0	17,189	17,247	-0,058	34,377	34,61	-0,233	3	22
4800	40	0	0	0	17,189	17,485	-0,296	34,377	35,569	-1,192	3	20
4810	40	0	0	0	17,189	17,484	-0,295	34,377	35,565	-1,188	3	20
4820	40	0	0	0	17,189	17,483	-0,294	34,377	35,561	-1,184	3	20
4800	50	0	0	0	17,189	16,241	0,948	34,377	30,42	3,958	1	20
4810	50	0	0	0	17,189	16,244	0,945	34,377	30,433	3,944	1	20
4820	50	0	0	0	17,189	16,247	0,942	34,377	30,447	3,93	1	20
4800	60	0	0	0	17,189	17,200	-0,011	34,377	34,421	-0,044	4	22
4810	60	0	0	0	17,189	17,200	-0,011	34,377	34,42	-0,043	4	22
4820	60	0	0	0	17,189	17,200	-0,011	34,377	34,419	-0,042	4	22
4800	70	0	0	0	17,189	17,230	-0,041	34,377	34,542	-0,165	4	21
4810	70	0	0	0	17,189	17,230	-0,041	34,377	34,542	-0,164	4	21
4820	70	0	0	0	17,189	17,230	-0,041	34,377	34,541	-0,164	4	21
4800	80	0	0	0	17,189	17,255	-0,066	34,377	34,643	-0,266'	4	21
4810	80	0	0	0	17,189	17,255	-0,066	34,377	34,643	-0,265	4	21

курса по данным СНС координатным методом. Исключается зависимость точности работы навигационного прибора от широты места потребителя. Решение задачи коррекции осуществляется в реальном масштабе времени. В то же время очевидна связь точности коррекции и взаимного расположения навигационных спутников и объекта, что позволяет оптимизировать выбор спутников.

Наибольшая точность может быть получена при использовании двухчастотного режима ($L1$ и $L2$) спутниковой навигационной системы.

По результатам проведённых исследований можно сделать вывод о высокой эффективности рассмотренного метода выработки параметров ориентации морского объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев А. А., Кокорин В. И. и др. Результаты высокоширотных испытаний современных российских морских компасов. Труды международной конференции по интегрированным навигационным системам.– СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2004. – С.137–139.
2. Резниченко В. И., Мониев А. А. Определение курса по сигналам спутниковых навигационных систем. – СПб.: 2004. – 88 с.
3. Резниченко В. И. Гирокомпас с внешней коррекцией. – М.: Официальный бюллетень «Изобретения». –1996. – №19.
4. Ривкин С. С. Статистический синтез гироскопических устройств. – Л.: Судостроение, 1970. – 205 с.
5. Броксмейер Ч. Ф. Системы инерциальной навигации. – Л.: Судостроение, 1967. – 210 с.

THE SATELLITE CORRECTION OF ORIENTATION PARAMETERS FOR MARINE OBJECTS

V. I. Reznichenko,
P. I. Maleyev,
M. Y. Smirnov
(GNINGI, RF MoD)

The new «co-ordinate» method of satellite correction of the course and motion (heel, roll, yaw) angles for a marine object is considered. The results of modeling the corrections to the course in the latitudes from 0° to 80° have shown the potentially high accuracy of generating the corrections to course, independence of the course generation accuracy of the latitude, and the dependence of the mutual locations of the satellites selected for the correction and the object, which allows the selection of the satellites to be optimized.

ГРНТИ 733.34.37.39.05

РЕШЕНИЕ НАВИГАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЛЬНЫХ ДАЛЬНОСТЕЙ ОБЪЕКТА ОТНОСИТЕЛЬНО СРЕДНЕОРБИТНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ

В. В. ГАВРИЛОВ,
Г. К. ДАНИЛОВА,
В. И. ЛАПШИНА
(ГНИНГИ МО РФ)

В статье представлено решение навигационной задачи, основанное на методе Гаусса – методе преобразования совокупности угловых координат спутника к его радиусам–векторам в инерциальной системе координат. На основе этого метода предложено решение задачи определения местоположения объекта по измерениям дальностей «объект – спутник» в три близкие момента времени. Показано, что координаты объекта определяются с достаточной точностью при значительных систематических погрешностях в измеряемых дальностях, вызванных в основном расхождением шкал времени объекта и спутников, что обусловливается особенностями алгоритма. Рассмотренный подход к решению навигационной задачи позволяет использовать от одного до трёх спутников, что особенно актуально в горных районах, в городах с высотными зданиями, в условиях помех и т. п.

В среднеорбитной спутниковой системе навигации применяются в основном методы определения координат объекта, основанные на измерениях дальностей до навигационных спутников.

При этом координаты спутника и объекта связаны геометрическим соотношением

$$\rho_i = \left[(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2 + (z_i - Z)^2 \right]^{1/2}, \qquad (1)$$

где ρ_i – дальность «спутник – объект», $i \geq 3$

x_i, y_i, z_i – известные координаты спутника в инерциальной системе координат,

X, Y, Z – координаты местоположения объекта на поверхности Земли в той же системе координат.

Линеаризуя соотношение (1) относительно расчетных положений объекта, получаем исходную систему уравнений для определения искомых поправок.

В работе [1] приведены результаты исследований по оценке точностных характеристик алгоритмов более полного извлечения координатной информации при совместных кодовых и доплеровских измерениях,

систематические погрешности которых включены в вектор оцениваемых параметров при линеаризации соответствующих измерений типа (1).

Однако такой подход не является единственным. Известно, что в небесной механике определение первоначальной орбиты планеты или спутника Земли производится методом Гаусса по трем угловым наблюдениям, произведенным с известного пункта [2, 3] в три момента времени.

Решение обратной задачи, т.е. определение местоположения объекта с использованием этого метода представляет несомненный практический и теоретический интерес. Пусть в моменты времени t_1, t, t_2 имеем инерциальные Декартовы координаты навигационного спутника (считаем их достаточно точными):

$(x_1, y_1, z_1), (x, y, z), (x_2, y_2, z_2)$

и координаты объекта в той же системе координат:

$(X_1, Y_1, Z_1), (X, Y, Z)\ (X_2, Y_2, Z_2)$.

Требуется найти поправки к координатам объекта по измерениям дальностей ρ_i ($i=1\div3$) до трех навигационных спутников в три момента времени t_1, t, t_2.

Сущность подхода Гаусса заключается в следующем.

Обозначим через $\bar{e}_{1i}, \bar{e}_i, \bar{e}_{2i}$ направляющие косинусы с объекта на навигационный спутник в моменты t_1, t, t_2.

Условия нахождения трех геоцентрических положений навигационного спутника в плоскости, проходящей через центр Земли, позволяют составить уравнения [1]:

$$\left.\begin{aligned} e_{1x}n_1\rho_1 - e_x\rho + e_{2x}n_2\rho_2 &= n_1X_1 - X + n_2X_2 \\ e_{1y}n_1\rho_1 - e_y\rho + e_{2y}n_2\rho_2 &= n_1Y_1 - Y + n_2Y_2 \\ e_{1z}n_1\rho_1 - e_z\rho + e_{2z}n_2\rho_2 &= n_1Z_1 - Z + n_2Z_2 \end{aligned}\right\}, \qquad (2)$$

где ρ_1, ρ, ρ_2 – дальности «объект – спутник»;

n_1 и n_2 – отношения площадей треугольников, заключенных между радиусами-векторами спутника $\bar{r}_1, \bar{r}, \bar{r}_2$ в три момента времени.

n_1 и n_2 определяются по соотношениям [1]:

$$n_1 = \frac{x\,y_2 - x_2\,y}{x_1\,y_2 - x_2\,y_1}, \quad n_2 = \frac{x_1\,y - x\,y_1}{x_1\,y_2 - x_2\,y_1}.$$

Для получения системы уравнений, определяющих поправки к местоположению объекта, необходимо систему уравнений (2) линеаризовать относительно этих поправок. При этом направляющие косинусы «спутник – объект» будут:

$$e_v = \frac{v_c - V}{\rho}, \qquad (3)$$

где символ v_c обозначает координаты x_c, y_c, z_c спутника, а V – координаты объекта X, Y, Z .

Учитывая, что $V = V+\Delta V$, e_v можно представить в виде

$$e_v = \frac{v_c - V - \Delta V}{\left[(x_c - X - \Delta X)^2 + (y_c - Y - \Delta Y)^2 + (z_c - Z - \Delta Z)^2\right]^{1/2}} \quad . \qquad (4)$$

Линеаризуя (4) относительно поправок ΔV, ΔX, ΔY, ΔZ, будем иметь:

$$e_{vист} = e_v - \frac{\Delta V}{\rho} + \frac{e_v e_x}{\rho}\Delta X + \frac{e_v e_y}{\rho}\Delta Y + \frac{e_v e_z}{\rho}\Delta Z, \qquad (5)$$

где e_v – расчетные значения компонент направляющих косинусов;

ρ – расчетное значение дальности «объект – спутник»;

ΔX, ΔY, ΔZ – искомые поправки к координатам объекта в инерциальной системе координат;

$e_{vист}$ – истинное значение компоненты направляющих косинусов.

Подставляя (5) в систему уравнений (2), получим систему уравнений для трех наблюдаемых спутников в три близкие момента времени:

$$\begin{aligned} &a_{j1}\Delta X_1 + a_{j2}\Delta Y_1 + a_{j3}\Delta Z_1 + a_{j4}\Delta X + a_{j5}\Delta Y + \\ &a_{j6}\Delta Z + a_{j7}\Delta X_2 + a_{j8}\Delta Y_2 + a_{j9}\Delta Z_2 = b_j, \end{aligned} \qquad (6)$$

где $j = 1 \div 9$.

$$b_j = -n_1 V_1 + V - n_2 V_2 - A\rho_1 e_{v1} + B\rho e_v - C\rho_2 e_v; \qquad (7)$$

$$A = n_1 \frac{\rho_1^u}{\rho};\ B = \frac{\rho^u}{\rho};\ C = n_2 \frac{\rho_2^u}{\rho_2}, \qquad (8)$$

где ρ^u – измеренные значения дальностей.

Коэффициенты $a_{j1},..., a_{j9}$ зависят только от значений A, B, C и расчетных значений дальностей и направляющих косинусов.

Благодаря тому, что в выражениях (6), (7) ρ^u и ρ расчетное входит как отношение ρ^u/ρ, систематическая погрешность в ρ^u значительно подавляется.

Коэффициенты a_{ji} – легко выводятся и в целях сокращения записи не приводятся.

Непосредственное решение системы (6), состоящей из девяти уравнений и девяти неизвестных, позволит определить искомые поправки к инерциальным координатам положения объекта, однако для неподвижного объекта число неизвестных можно уменьшить до трёх.

Поэтому будем искать поправки к широте, долготе и высоте объекта.

Местоположение неподвижного на Земном эллипсоиде объекта в инерциальной системе координат определяется из соотношений [3]:

$$X_n = G_1 \cos\varphi \cos\Theta, \tag{9}$$

$$Y_n = G_1 \cos\varphi \sin\Theta, \tag{10}$$

$$Z_n = G_1 \sin\varphi, \tag{11}$$

где

$$G_1 = \frac{a_e}{\sqrt{1-(2f-f^2)\sin^2\varphi}} + h;$$

$$G_2 = \frac{(1-f)^2 a_e}{\sqrt{1-(2f-f^2)\sin^2\varphi}} + h;$$

$$\Theta = \Theta_{g0} + \Omega(t-t_0) + \lambda_E;$$

φ – широта;

λ_E – восточная долгота;

a_e – большая полуось эллипсоида вращения модели фигуры Земли;

f – сжатие, равное разности большой *a* и малой *b* полуосей эллипсоида вращения модели фигуры Земли, деленной на большую полуось: $f = \dfrac{a-b}{a}$;

Θ_{g0} – гринвичское звездное время для 0^h *UT* (всемирного времени) как функция юлианской даты;

Ω – угловая скорость вращения Земли;

h – геодезическая высота над поверхностью эллипсоида.

Из соотношений (9) – (11) определим зависимость поправок к прямоугольным инерциальным координатам потребителя от поправок к широте, долготе и высоте.

Для этого линеаризуем соотношения (9), (10), (11) относительно поправок к расчетным координатам объекта. В результате получаем:

$$\Delta X = a_1\ \Delta\varphi + a_2\,\Delta\lambda + a_3\,\frac{\Delta h}{G_1}; \tag{12}$$

$$\Delta Y = a_4\,\Delta\varphi + a_5\,\Delta\lambda + a_6\,\frac{\Delta h}{G_1}; \tag{13}$$

$$\Delta z = a_7\,\Delta\varphi + a_8\,\frac{\Delta h}{G2}, \tag{14}$$

где

$$\left.\begin{aligned} &a_1 = -X\,\mathrm{tg}\varphi,\ a_2 = -Y,\ a_3 = X;\\ &a_4 = -Y\,\mathrm{tg}\varphi,\ a_5 = X,\ a_6 = Y;\\ &a_7 = Z\,\mathrm{ctg}\varphi,\ a_8 = Z. \end{aligned}\right\} \tag{15}$$

С учетом соотношений (12), (13), (14), (15) систему линейных уравнений (6) можно привести к виду:

$$A_{j1}\Delta\varphi + A_{j2}\Delta\lambda + A_{j3}\Delta h = b_j, \quad j = 1 \div 9. \tag{16}$$

Запишем ее в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ A_{91} & A_{92} & A_{93} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta\varphi \\ \Delta\lambda \\ \Delta h \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_9 \end{pmatrix}. \tag{17}$$

Исходя из принципа метода наименьших квадратов [4] решение системы (17) получим в виде:

$$\begin{pmatrix} \Delta\varphi \\ \Delta\lambda \\ \Delta h \end{pmatrix} = (W^T W)^{-1} W^T \begin{pmatrix} b_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_9 \end{pmatrix}, \tag{18}$$

где матрица $W = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ A_{91} & A_{92} & A_{93} \end{pmatrix}$;

W^T – транспонированная матрица W;

$(W^T W)^{-1}$ – обращенная матрица произведений $W^T W$.

Для исследования точностных характеристик определения местоположения объекта по измерениям дальностей до трех среднеорбитных спутников было проведено моделирование решения навигационной задачи рассмотренным методом. Предполагалось, что спутники расположены в трех равномерно разнесенных по экватору плоскостях. Для демонстрации возможностей рассматриваемого метода решения навигационной задачи оптимизация расположения спутников не использовалась. Измерения производились в момент видимости трех спутников в каждой из плоскостей. В начальный момент погрешности эфемерид спутников составляли вдоль орбиты 3м, по радиусу вектору – 5м, по трансверсали – 1м.

Расчетное местоположение объекта полагалось с координатами $\varphi_c = 60°$, $\lambda_c = 30°$, «истинное» местоположение – $\varphi_u = 60°+60'$, $\lambda_u = 30°+120'$, $h = 0$, что соответствует начальной погрешности места в 124,45 км. Из системы (18) определялись искомые поправки $\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$, $\Delta h/G$ и их погрешности относительно «истинного» местоположения, $\Delta\xi$ – северная и $\Delta\eta$ – восточная погрешности определения местоположения $\Delta M = \sqrt{\Delta\xi^2 + \Delta\eta^2}$. Измерения проводились в моменты t_0, $t+1^m$, t_0+2^m.

В табл. 1 приводятся результаты моделирования при различных значениях систематических погрешностей в измеренных дальностях, вызванных в основном расхождением шкал времени наземного объекта и спутников, по измерениям до трех спутников в указанные выше моменты.

Таблица 1

Результаты моделирования погрешностей местоположения объекта по трём спутникам

		ИТЕРАЦИИ											
	Систем. погр.	1				2				3			
№	$\Delta\rho$ (м)	$\Delta\xi$ (м)	$\Delta\eta$ (м)	$\frac{\Delta h}{R}$	ΔM (м)	$\Delta\xi$ (м)	$\Delta\eta$ (м)	$\frac{\Delta h}{R}$	ΔM (м)	$\Delta\xi$ (м)	$\Delta\eta$ (м)	$\frac{\Delta h}{R}$	ΔM (м)
1	10	1393	1056	4,06e-4	1748	1,2	1	6,04e-4	1,5	0,6	0,66	1,3e-7	1
2	50	1396	1056	4,06e-4	1750	1,8	0,4	8,5e-7	2	1,8	0,4	8,5e-7	2
3	100	1396	1056	4,06e-4	1751	4	3	2,8e-6	4	3,3	2,6	2,1e-6	3
4	500	1409	1059	4,2e-4	1763	15	2,5	1,8e-5	16	15	2,3	1,2e-5	16
5	1000	1425	1061	4,3e-4	1778	31	6	2,4e-5	31	30	6	2,4e-5	31
6	10000	1716	1112	6,5e-4	2045	302	70	2,45e-4	310	301	70	2,4e-4	301

Анализ данных табл. 1 показывает, что при систематических погрешностях в измеренных дальностях до 500 м можно получить приемлемое определение местоположения объекта, для чего необходимо провести не менее трех итераций. Однако высота объекта над геоидом определяется неадекватно, что не отражается на определении поправок к широте и долготе.

В табл. 2 приводятся результаты моделирования определения местоположения объекта по одному спутнику при тех же условиях, что и в табл. 1.

Анализ данных табл. 2 показывает, что при систематических погрешностях в дальностях порядка 10 м можно получить приемлемый результат, при бóльших погрешностях результат ухудшается и может быть использован для приблизительного улучшения местоположения.

В табл. 3 приведены результаты моделирования определения местоположения объекта по двум спутникам, при тех же условиях. Анализ данных табл. 3 показывает, что при систематических погрешностях в дальностях менее 500 м можно получить приемлемый результат, а при систематической погрешности 10000 м происходит расхождение процесса итераций.

Таблица 2

Результаты моделирования погрешностей местоположения объекта по одному спутнику

		ИТЕРАЦИИ											
	Систем. погр.	1				2				3			
№	$\Delta\rho$ (м)	$\Delta\xi$ (м)	$\Delta\eta$ (м)	$\frac{\Delta h}{R}$	ΔM (м)	$\Delta\xi$ (м)	$\Delta\eta$ (м)	$\frac{\Delta h}{R}$	ΔM (м)	$\Delta\xi$ (м)	$\Delta\eta$ (м)	$\frac{\Delta h}{R}$	ΔM (м)
1	10	5920	1481	9,3e-4	6102	9	5	1,4e-6	11	4,5	2	5,5e-7	5
2	50	5950	1506	9,3e-4	6138	51	35	7,5e-5	6	44	33	6,6e-6	55
3	100	5989	1537	9,4e-4	6183	103	72	1,5e-5	127	93	71	1,42e-5	117
4	500	6299	1789	9,8e-4	6548	525	374	7,6e-5	645	490	373	7,5e-5	617
5	1000	6687	2104	1,04e-3	7010	1043	752	1,5e-4	1294	988	752	1,5e-5	1242
6	10000	13818	7878	2,09e-3	1590	7380	7,7	1,5e-3	1067	1020	772	1,6e-4	1279

Таблица 3

Результаты моделирования погрешностей местоположения объекта по двум спутникам

		ИТЕРАЦИИ											
	Систем. погр.	1				2				3			
№	$\Delta\rho$ (м)	$\Delta\xi$ (м)	$\Delta\eta$ (м)	$\frac{\Delta h}{R}$	ΔM (м)	$\Delta\xi$ (м)	$\Delta\eta$ (м)	$\frac{\Delta h}{R}$	ΔM (м)	$\Delta\xi$ (м)	$\Delta\eta$ (м)	$\frac{\Delta h}{R}$	ΔM (м)
1	10	1520	580	4,3e-3	1627	228	81	5e-5	243	1	0,6	9,2e-8	1,2
2	50	1521	581	4,3e-3	1628	237	82	5,1e-5	250	7	0,2	7,2e-7	7
3	100	1522	581	4,3e-3	1629	247	8	5,2e-5	261	17	1	1,7e-6	17
4	500	1530	581	4,4e-3	1637	332	87	6e-5	344	50	61	1,6e-5	80
5	1000	1540	581	4,3e-3	1647	439	9	7e-5	448	208	11	2,02e-5	210
6	10000	1725	589	4,5e-3	1823	2350	194	2,5e-4	2358	2118	112	2,04e-4	2120

На основании изложенного представляется целесообразным провести исследования, направленные на дальнейшее совершенствование предложенного метода по оптимизации выбора навигационных спутников, интервалов измерений и т. д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубинко Ю. С., Данилова Г. К., Лапшина В. И., Никитин О. В. Использование избыточности совместных кодовых и фазовых измерений для более полного извлечения навигационной информации. (Решение задачи при числе видимых спутников менее четырёх). // Навигация и гидрография. – 2003, № 17 – С. 68 – 78.
2. Субботин М. Ф. Введение в теоретическую астрономию. М.: «Наука»,1968. – 800 С.
3. Эскобал П. Методы определения орбит. М.: «Мир», 1970. – 471 С.
4. Стренг Г. Линейная алгебра и ее применения. М.: «Мир», 1980. – 454 С.

SOLUTION OF THE NAVIGATION PROBLEM USING THE MEASUREMENT DATA OF THE RADIAL RANGES OF AN OBJECT RELATIVE TO THE MEDIUM ALTITUDE NAVIGATION SATELLITES

V. V. Gavrilov,
G. K. Danilova,
V. I. Lapshina
(GNINGI, RF MoD)

The solution of the navigation problem based on the Gauss method, which is the method of transformation of the angular co-ordinates set of a satellite into its radii-vectors in the inertial co-ordinate system is proposed. Using this principle, the solution of the problem of fixing the position of the object by measurement of the object-satellite ranges at three close time moments is proposed.

It is shown that the co-ordinates of the object are determined with sufficient accuracy in the presence of considerable systematic errors in the ranges being measured that are caused mainly by the difference in the time scales of the object and satellites due to the specific features of the algorithm.

This approach to solution of the navigation problem enables from one to three satellites to be used, which is especially important in mountaineous areas, city canyons, in the presence of interference etc.

ГРНТИ 78.21.41.19

О СВОЙСТВАХ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПО ТРЕМ ЛИНИЯМ ПОЛОЖЕНИЯ

Б. Е. ИВАНОВ,
А. А. ЯКУШЕВ
(ГНИНГИ МО РФ)

В статье определен вид изолинии плотности распределения погрешности места, полученного по трем линиям положения при последовательном использовании в качестве модели их погрешностей нормального, равномерного распределений и распределения Лапласа. При тех же условиях решена задача оценки средней квадратической погрешности определения места по заданному направлению.

1. Наиболее представительной характеристикой погрешности определения места является изолиния ее плотности распределения. При определении места по двум линиям положения, погрешности которых подчиняются нормальному распределению, такой изолинией является эллипс погрешностей [1]. В случае, когда погрешности подчиняются распределению Лапласа, вместо эллипса появляется параллелограмм [2]. Если погрешность одной линии положения подчиняется равномерному распределению, а погрешность другой линии положения – нормальному распределению или распределению Лапласа, то в качестве изолинии плотности распределения погрешности места выступают два параллельных отрезка [3]. Если же

погрешности обеих линий положения подчиняются равномерному распределению, то такой изолинии вообще не будет.

Другой важной характеристикой является средняя квадратическая погрешность (СКП) определения места по заданному направлению. В работе [1] для случая определения места по двум линиям положения выведены формулы для оценки такой СКП, справедливые для любого закона распределения погрешностей. На основе этих формул определяются большая a и малая b полуоси среднего квадратического эллипса погрешностей и их ориентировка. По этим данным можно вычислить СКП m по любому заданному направлению [1]

$$m = \sqrt{a^2 \cos^2 \alpha + b^2 \sin^2 \alpha}, \qquad (1)$$

где α – угол между направлением большой оси эллипса и заданным направлением.

Формула (1) соответствует уравнению подеры среднего квадратического эллипса погрешностей. В работах [4, 5] показано, что при любом законе распределения погрешностей, кроме нормального закона, изолиния плотности распределения погрешности места не соответствует эллипсу погрешностей, а величины a и b являются наибольшей и наименьшей СКП по направлению и не соответствуют полуосям эллипса погрешностей. В то же время в этом случае СКП по заданному направлению может вычисляться по формуле (1), которая соответствует уравнению подеры эллипса. Только этот эллипс не является эллипсом погрешностей, а играет вспомогательную роль и необходим только для определения подеры.

При использовании двух линий положения место получается без контроля. Для контроля и повышения точности штурманы стремятся при любой возможности определять место по трем и более линиям положения. Однако для этого случая вид изолинии плотности распределения погрешности места еще не изучен, его требуется определить. Такая задача решается ниже. При ее решении будет использоваться принцип, на основе которого в работах [1–3] определены изолинии плотности распределения погрешности места, полученного по двум линиям положения.

2. Пусть по трем линиям положения ЛП-1, ЛП-2 и ЛП-3 определено место в прямоугольной системе координат xOy (см. рисунок). При этом ось x совпадает с ЛП-3, а градиенты g_1 и g_2 навигационных параметров составляют с градиентом g_3 и осью y углы A_1 и A_2 соответственно. Линии положения имеют случайные погрешности u_1, u_2 и u_3, которые характеризуются СКП m_1, m_2 и m_3 соответственно. В результате обсервованное место корабля не будет совпадать с истинным местом O.

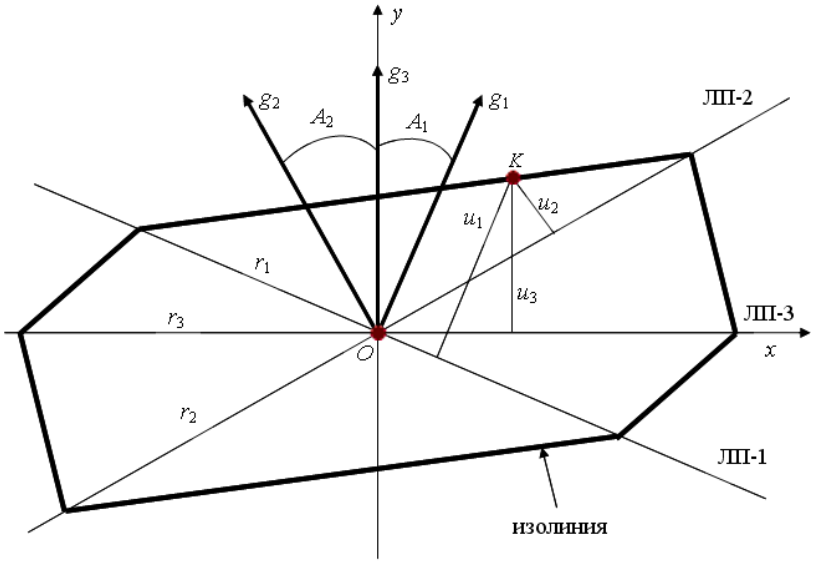

Рис. 1. Изолиния плотности распределения погрешности определения места по линиям положения ЛП-1, ЛП-2 и ЛП-3 с погрешностями u_1, u_2 и u_3, подчиняющимися распределению Лапласа, и с градиентами навигационных параметров g_1, g_2 и g_3 соответственно

Рассмотрим случай, когда погрешности подчиняются *нормальному распределению*. При решении поставленной задачи следует рассматривать событие совместного появления погрешностей u_1, u_2 и u_3. Тогда на основе теоремы произведения вероятностей и формулы плотности нормального распределения из работы [6] можно получить уравнение изолинии плотности распределения погрешности места в общем виде

$$\frac{u_1^2}{2m_1^2}+\frac{u_2^2}{2m_2^2}+\frac{u_3^2}{2m_3^2}=c, \qquad (2)$$

где c – постоянная величина, которая при двух линиях положения соответствует отношению полуосей заданного и среднего квадратического эллипсов погрешностей.

Из рисунка можно найти выражения для погрешностей в точке K

$$\left.\begin{aligned} u_1 &= y\cos A_1 + x\sin A_1;\\ u_2 &= y\cos A_2 - x\sin A_2;\\ u_3 &= y. \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

Подставив выражения (3) в равенство (2), после преобразования получим искомое уравнение для нормального распределения

$$
\begin{aligned}
&(m_2^2 m_3^2 \cos^2 A_1 + m_1^2 m_3^2 \cos^2 A_2 + m_1^2 m_2^2) y^2 + \\
&+ (m_2^2 m_3^2 \sin^2 A_1 + m_1^2 m_3^2 \sin^2 A_2) x + \\
&+ (m_2^2 m_3^2 \sin 2A_1 - m_1^2 m_3^2 \sin 2A_2) xy = 2cm_1 m_2 m_3.
\end{aligned} \tag{4}
$$

В соответствии с работой [7] выражение (4) соответствует уравнению эллипса.

Если место будет определяться по четырем и более линиям положения, то в левую часть формулы (2) добавляется необходимое число слагаемых $\frac{u_i^2}{2m_i^2}$. В этом случае вид изолинии плотности распределения погрешности места остается прежним. Таким образом, подтверждается положение из работы [1] о том, что при определении места по трем и более линиям положения с учетом нормального распределения погрешностей получается эллипс погрешностей.

Рассмотрим случай, когда погрешности подчиняются *распределению Лапласа.* Тогда аналогично предыдущему случаю и с учетом плотности распределения Лапласа из работы [6] получим уравнение изолинии плотности распределения погрешности места в общем виде

$$
\sqrt{2}\left(\frac{|u_1|}{m_1} + \frac{|u_2|}{m_2} + \frac{|u_3|}{m_3}\right) = c. \tag{5}
$$

Подставив формулы (3) в равенство (5), после преобразования получим искомое уравнение для распределения Лапласа:

$$
p_i y + q_i x = \frac{c}{\sqrt{2}} m_1 m_2 m_3, \tag{6}
$$

где p_i и q_i – коэффициенты.

Следует заметить, что в случае использования распределения Лапласа как смешанного распределения, правая часть равенства (6) должна умножаться на $\sqrt{\pi}$ [1].

Формула (6) соответствует уравнениям шести прямых линий, каждая из которых находится в соответствующем угле, образованном линиями положения. Углам присвоен номер i от 1 до 6. Нумерация углов ведется против часовой стрелки. Первый номер относится к углу, в котором имеется положительная часть оси y. Коэффициенты p_i и q_i равны

$$\left.\begin{aligned}
&p_1 = m_2 m_3 \cos A_1 + m_1 m_3 \cos A_2 + m_1 m_2; q_1 = m_2 m_3 \sin A_1 - m_1 m_3 \sin A_2;\\
&p_2 = -m_2 m_3 \cos A_1 + m_1 m_3 \cos A_2 + m_1 m_2; q_2 = -m_2 m_3 \sin A_1 - m_1 m_3 \sin A_2;\\
&p_3 = -m_2 m_3 \cos A_1 + m_1 m_3 \cos A_2 - m_1 m_2; q_3 = q_2;\\
&p_4 = -p_1; q_4 = -q_1; p_5 = -p_2; q_5 = -q_2; p_6 = -p_3; q_6 = -q_3.
\end{aligned}\right\} \quad (7)$$

Последовательно решим уравнение (6) совместно с уравнениями линий положения, которые с учетом рисунка выражаются зависимостями $y = -x\mathrm{tg}A_1$, $y = x\mathrm{tg}A_2$ и $y=0$. После преобразования получим расстояние r_j (j=1, 2, 3), отсчитываемое по j-ой линии положения от точки O до пересечения с прямой линией, заданной уравнением (6),

$$\left.\begin{aligned}
&r_1 = \frac{c}{\sqrt{2}} m_1 m_2 m_3 \Big/ \left[m_1 m_3 \sin A_2 \cos A_1 + \sin A_1 (m_1 m_3 \cos A_2 + m_1 m_2)\right];\\
&r_2 = \frac{c}{\sqrt{2}} m_1 m_2 m_3 \Big/ \left[m_2 m_3 \sin A_1 \cos A_2 + \sin A_2 (m_2 m_3 \cos A_1 + m_1 m_2)\right];\\
&r_3 = \frac{c}{\sqrt{2}} m_1 m_2 m_3 \Big/ \left[m_2 m_3 \sin A_1 + m_1 m_3 \sin A_2\right].
\end{aligned}\right\} \quad (8)$$

Анализ формул (6) – (8) показал, что изолиния плотности распределения погрешности места для распределения Лапласа представляет собой шестиугольник, вершины которого лежат на линиях положения на расстоянии r_j от точки O, а противоположные стороны многоугольника равны и параллельны друг другу.

Используя выражения (6) и (7) и формулу для угла пересечения двух прямых линий из работы [7], получим внутренний угол Q_j пересечения сторон шестиугольника на j-ой линии положения:

$$\left.\begin{aligned}
&Q_1 = \mathrm{arctg}\frac{p_1 q_2 - p_2 q_1}{p_1 p_2 + q_1 q_2};\\
&Q_2 = \mathrm{arctg}\frac{p_3 q_4 - p_4 q_3}{p_3 p_4 + q_3 q_4};\\
&Q_3 = \mathrm{arctg}\frac{p_2 q_3 - p_3 q_2}{p_2 p_3 + q_2 q_3}.
\end{aligned}\right\} \quad (9)$$

Сумма внутренних углов шестиугольника равна 720°. При $m_1 = m_2 = m_3$ и $A_1 = A_2 = 60^{\circ}$ шестиугольник становится правильным – все стороны становятся равными друг другу, а внутренние углы принимают значение, равное 120°.

Если место будет определяться по n линиям положения, то в левую часть формулы (5) добавляется необходимое число слагаемых $\frac{|u_i|}{m_i}$. В этом

случае число углов пересечения линий положения составит $2n$, а изолиния плотности распределения погрешности места будет представлять собой многоугольник с $2n$ сторонами. Можно предположить, что при $n \to \infty$ названная изолиния будет приближаться к эллипсу погрешностей.

Рассмотрим случай, когда погрешности подчиняются *равномерному распределению*. Тогда область действия погрешностей будет представлять собой многоугольник, образованный в результате пересечения трех полос, ширина каждой из которых соответствует удвоенной наибольшей погрешности линии положения. Если не считать стороны указанного многоугольника, то изолинии плотности распределения погрешности места вообще не будет. Данное положение можно распространить и на большее число линий положения. В таком случае область действия погрешностей будет представлять собой многоугольник, образованный в результате пересечения большего числа полос.

3. Если при определении места по двум линиям положения получена формула для СКП места по заданному направлению, которая справедлива для любого закона распределения погрешностей, то при определении места по трем линиям положения этого нет. Определение места и оценка его точности по трем линиям положения основывается на методе наименьших квадратов, который позволяет получить наиболее вероятное место и его наибольшую точность при условии нормального распределения погрешностей [1]. При этом условии задача нахождения СКП места по заданному направлению сводится к использованию известной процедуры определения места по трем линиям положения и вычислению искомой СКП по формуле (1). Такая задача при других законах распределения погрешностей ранее не рассматривалась. Это будет сделано ниже.

Пусть в результате обсервации получены три линии положения со случайными погрешностями u_1, u_2 и u_3, которые характеризуются СКП m_1, m_2 и m_3 соответственно. Градиенты навигационных параметров составляют с меридианом углы A_1, A_2 и A_3 соответственно. Решим задачу определения СКП места по заданному направлению двумя путями.

Во-первых, по процедуре определения места по трем линиям положения, описанной в работе [1], находятся полуоси среднего квадратического эллипса погрешностей и их ориентировка, а затем по формуле (1) вычисляется СКП места по заданному направлению.

Во-вторых, эта задача решается методом статистического моделирования погрешностей, подчиняющихся нормальному, равномерному распределениям и распределению Лапласа. Для этого на персональном компьютере по алгоритмам из работ [8, 9] генерируются случайные погрешности u_1, u_2 и u_3. Затем по процедуре, описанной в работе [1], находятся случайные погрешности δx и δy определения места по осям x и y соответственно и определяется случайная погрешность δ по заданному направлению

$$\delta = \delta y \cos A + \delta x \sin A,$$

где A – угол между осью y и заданным направлением.

Для удобства сравнения результатов, полученных двумя подходами, угол A представляется в виде суммы $A=A_o+\alpha$, где A_o – угол между осью y и большой полуосью эллипса, который получен ранее по процедуре, описанной в работе [1].

Генерирование погрешностей u_1, u_2 и u_3 выполняется 100000 раз. В результате получается массив погрешностей δ, который используется для вычисления СКП места по заданному направлению.

Сравнение значений СКП места по заданному направлению, которые были получены двумя подходами при различных законах распределения погрешностей, показало, что разность между этими значениями составляет менее одного процента. Это позволяет заключить, что формула (1) справедлива для любого закона распределения погрешностей при определении места по трем линиям положения, а не только по двум линиям положения. В качестве примера в таблице приводятся эти значения в зависимости от угла α, полученные при $m_1=1$, $m_2=2$, $m_3=3$, $A_1=0^o$, $A_2=60^o$ и $A_3=140^o$.

Значения СКП места по заданному направлению, полученные по формуле (1) и методом статистического моделирования, в зависимости от угла α

α	СКП места по заданному направлению			
	по формуле (1)	методом статистического моделирования		
		равномерное распределение	нормальное распределение	распределение Лапласа
0°	2,084	2,086	2,080	2,070
15°	2,028	2,029	2,025	2,015
30°	1,865	1,866	1,863	1,855
45°	1,617	1,617	1,616	1,609
60°	1,323	1,322	1,322	1,317
75°	1,056	1,055	1,056	1,051
90°	0,940	0,939	0,938	0,935

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. При определении места по трем линиям положения изолиния плотности распределения погрешности места соответствует эллипсу погрешностей (для нормального распределения) и шестиугольнику (для распределения Лапласа). Для равномерного распределения такой линии просто не существует.

Данное положение можно распространить и на n линий положения с одним уточнением – для распределения Лапласа эта изолиния соответствует многоугольнику с $2n$ сторонами.

2. Для всех законов распределения при определении места по трем линиям положения, так же, как и по двум линиям положения, СКП места по заданному направлению может вычисляться по формуле (1), которая соответствует уравнению подеры эллипса. Указанный эллипс будет являться средним квадратическим эллипсом погрешностей только для нормального распределения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондрашихин В. Т. Определение места судна. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1989. – 230 с.
2. Иванов Б. Е. Оценка точности определения места при использовании распределения Лапласа // Навигация и гидрография. – 1996. – № 2. – С. 66–72.
3. Иванов Б. Е. Особенности оценки точности определения места при использовании навигационного створа // Навигация и гидрография – 1999. – № 9. – С. 37–43.
4. Иванов Б. Е. О критерии точности определения места // Геодезия и картография. – 2006. – № 1. – С. 5–10.
5. Иванов Б. Е. Об оценке точности определения места корабля // Морской сборник. – 2007. – № 2. – С. 48–50.
6. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы. Пер. с англ. – М.: Наука, 1968. – 720 с.
7. Привалов И. И. Аналитическая геометрия. Учебник для высших технических учебных заведений. Изд. 25-е, стеретип. – М.: Физматгосиздат, 1960. – 299 с.
8. Соболь И. М. Метод Монте-Карло. Изд. 4-е, доп. и перераб. – М.: Наука, 1985. – 80 с.
9. Иванов Б. Е. Моделирование погрешностей, подчиняющихся распределению Лапласа // Навигация и гидрография – 1998. – № 6. – С. 38–40.

ON PROPERTIES OF POSITION FIXING ERRORS BY THREE POSITION LINES

B. E. Ivanov,
A. A. Yakushev
(GNINGI, RF MoD)

The kind of isoline of distribution density for the error of position obtained by three position lines when using successively their normal, uniform distribution errors and Laplace distribution errors as a model is determined. Under the same conditions, the problem of estimating the rms error of position fixing by the set direction is solved.

ГРНТИ 78.21.41.19

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПО ДВУМ РАССТОЯНИЯМ НА БАЗЕ НАВИГАЦИОННЫХ ОРИЕНТИРОВ

Б. Е. ИВАНОВ,
А. А. ЯКУШЕВ
(ГНИНГИ МО РФ)

В статье предложен способ определения места по двум расстояниям на базе навигационных ориентиров, основанный на нелинейном программировании. Возможность реализации способа обоснована методом статистического моделирования.

При определении места по двум расстояниям особая ситуация возникает тогда, когда корабль находится на базе или вблизи базы навигационных ориентиров. Если корабль находится непосредственно на базе, то место невозможно определить, т. к. изолинии не пересекаются. Если же корабль находится вблизи базы навигационных ориентиров, то место может находиться как по одну, так и по другую сторону от базы, а угол пересечения изолиний будет значительно меньше критического угла,

принятого равным 30°. Особенность данной ситуации связана не только с определением места, но и с оценкой его точности. В работе [1] предложен способ оценки точности определения места по двум расстояниям на базе навигационных ориентиров, а сама задача определения места в этой области до сих пор не решена.

Следует отметить, что указанная область характеризуется пониженной точностью определения места. В связи с этим в ней не рекомендуется планировать действия кораблей. Однако район плавания кораблей определяется не только исходя из требований навигации. В военное время (и, как исключение, в мирное время) место корабля может определяться в случае «неудачного» расположения навигационных ориентиров при малых углах пересечения изолиний [2]. Такие случаи на практике случались неоднократно. В качестве навигационных ориентиров могут выступать радиолокационные отражатели на маяках, знаках и буях, береговые радионавигационные станции, гидроакустические маяки. К таким ориентирам можно отнести и навигационные спутники в случае, когда при определении места они располагаются в одной орбитальной плоскости.

В связи с вышеизложенным целесообразно решить задачу определения места по двум расстояниям на базе навигационных ориентиров, что и делается ниже.

Пусть корабль на курсе K пересекает базу навигационных ориентиров S_1 и S_2 в системе прямоугольных координат xOy (рис. 1). При этом ось x направлена по параллели на восток, а ось y – по меридиану на север. Азимут с первого навигационного ориентира S_1 на второй S_2 равен A, а расстояние между ними $S_1S_2=b$. На этом рисунке линия пути корабля обозначена сплошной стрелкой. Для определения места по двум расстояниям предлагается способ, который включает следующие действия.

1. В качестве исходных данных используются n измеренных расстояний $\check{r}_{1i}$ и $\check{r}_{2i}$ до навигационных ориентиров S_1 и S_2 в точках C_i (i=1, 2, 3, …, n) и данные счисления относительно начальной точки C_o обсервации.

2. По данным счисления рассчитываются программный путь корабля (на рис. 1 обозначен штриховой стрелкой) относительно заданной начальной точки C^*_o и расстояния r^*_{1i} и r^*_{2i} до навигационных ориентиров S_1 и S_2 в точках C^*_i по формулам

$$\left.\begin{aligned} r^*_{1i} &= \sqrt{\left(\frac{b}{2} + y^*_i \cos A + x^*_i \sin A\right)^2 + \left(y^*_i \sin A - x^*_i \cos A\right)^2}\,; \\ r^*_{2i} &= \sqrt{\left(\frac{b}{2} - y^*_i \cos A - x^*_i \sin A\right)^2 + \left(y^*_i \sin A - x^*_i \cos A\right)^2}\,, \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

где x^*_i и y^*_i – координаты текущей точки C^*_i на программном пути.

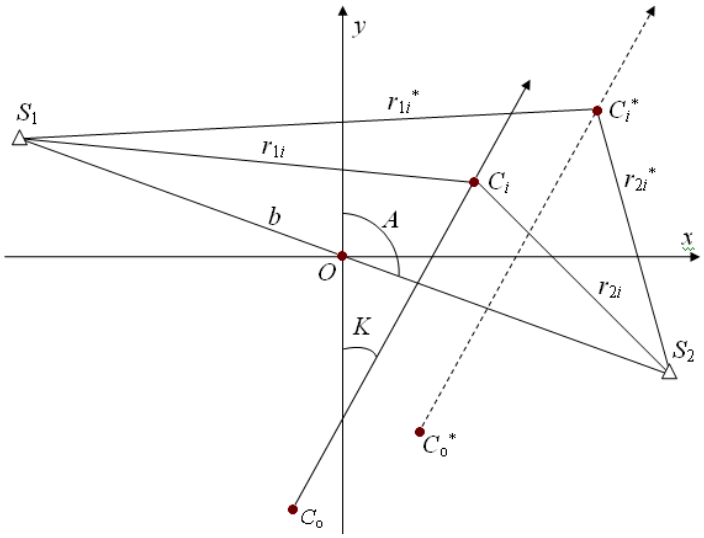

Рис. 1. Расположение истинного пути корабля (сплошная стрелка) и программного пути (штриховая стрелка) при определении места по двум расстоянием r_{1i} и r_{2i} до навигационных ориентиров S_1 и S_2

3. Определяется целевая функция σ для нелинейного программирования

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[(\breve{r}_{1i} - r_{1i}^*)^2 + (\breve{r}_{2i} - r_{2i}^*)^2\right]}. \qquad (2)$$

Целевая функция (2) характеризует меру близости программного и фактического путей корабля с учетом погрешностей измерения расстояний.

4. Начальная точка C^*_o программного пути попеременно совмещается с узлами сетки, имеющей шаг Δ_1 (рис. 2). Для каждого узла рассчитывается целевая функция (2). Определяется узел O_1, в котором целевая функция имеет наименьшее значение. Затем область вокруг узла O_1 покрывается сеткой с более мелким шагом Δ_2. Для каждого узла новой сетки рассчитывается целевая функция (2), что позволяет определить узел O_2 с наименьшей целевой функцией. Затем область вокруг узла O_2 покрывается еще более мелкой сеткой, и выполняются те же действия. Число таких циклов определяется необходимой точностью решения задачи.

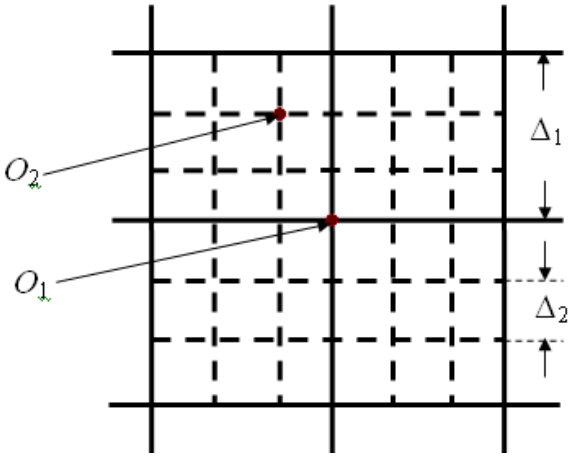

Рис. 2. Сетки с шагом Δ_1 и Δ_2 и узловыми точками O_1 и O_2, в которых целевая функция имеет наименьшие значения при соответствующем шаге

5. Координаты узловой точки с наименьшей целевой функцией (2), полученной в последнем цикле, принимаются за искомые координаты начальной точки линии пути корабля.

Возможность реализации предложенного способа проверена методом статистического моделирования. Для этого навигационные ориентиры располагались симметрично на оси x. Расстояние между ними b=50 км. Длина линии пути корабля принималась равной L=200 м, по ней через ΔL=10 м фиксировались точки C^*_i, в которых измерялись расстояния до навигационных ориентиров со средней квадратической погрешностью (СКП) m от 0,1 м до 10 м в каждом варианте. Отрезок L располагался симметрично оси x на различных удалениях от начало осей координат xOy. Измеренные расстояния вычислялись по формулам

$$\left.\begin{aligned} \breve{r}_{1i} &= r_{1i} + \delta_{1i}; \\ \breve{r}_{2i} &= r_{2i} + \delta_{2i}, \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

где r_{1i} и r_{2i} – истинные расстояния до навигационных ориентиров S_1 и S_2;
δ_{1i} и δ_{2i} – случайные погрешности измерения расстояний.
С учетом рис. 1 истинные расстояния равны

$$\left.\begin{aligned} r_{1i} &= \sqrt{\left(\frac{b}{2} + x_o + \Delta L(i-1)\sin K\right)^2 + \left(y_o + \Delta L(i-1)\cos K\right)^2}; \\ r_{1i} &= \sqrt{\left(\frac{b}{2} - x_o - \Delta L(i-1)\sin K\right)^2 + \left(y_o + \Delta L(i-1)\cos K\right)^2}, \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

где x_o и y_o – координаты начальной точки C_o.

По алгоритмам из работы [3] на персональном компьютере генерировались случайные погрешности δ_{1i} и δ_{2i}, с учетом которых по формулам (1) – (4) определялось место корабля предложенным способом. В качестве примера на рис. 3 показаны значения целевой функции в узлах сетки с шагом 10 м. Координаты места x_o=210 м и y_o=-100 м относятся к узлу с наименьшей целевой функцией, равной 9,0 м.

Yo \ Xo	170.	180.	190.	200.	210.	220.	230.	240.	250.	260.	270.
-50.	34.6	26.7	20.1	16.3	17.5	22.9	30.5	38.9	47.8	57.	66.3
-60.	35.4	27.	19.5	14.5	14.8	20.3	28.	36.7	45.8	55.1	64.5
-70.	36.	27.3	19.2	13.1	12.5	18.	26.1	34.9	44.1	53.6	63.1
-80.	36.5	27.5	19.	12.1	10.7	16.3	24.6	33.6	43.	52.5	62.
-90.	36.8	27.7	19.	11.5	9.4	15.2	23.7	32.8	42.2	51.8	61.4
-100.	36.9	27.8	19.	11.3	9.	14.8	23.3	32.5	42.	51.6	61.2
-110.	36.8	27.7	19.	11.5	9.5	15.2	23.7	32.8	42.2	51.8	61.4
-120.	36.5	27.6	19.1	12.2	10.7	16.3	24.6	33.6	43.	52.5	62.
-130.	36.	27.3	19.2	13.2	12.6	18.1	26.1	34.9	44.2	53.6	63.1
-140.	35.4	27.	19.6	14.6	14.9	20.3	28.1	36.7	45.8	55.1	64.5
-150.	34.7	26.8	20.1	16.4	17.6	23.	30.5	39.	47.9	57.	66.3

Рис. 3. Изменение целевой функции в метрах в зависимости от координат x_o и y_o начальной точки

Для каждого положения начальной точки C_o и каждого значения СКП m измерения расстояний создано 1000 моделей решения задачи. В результате получена СКП M определения места для каждого варианта. Изменение СКП M в зависимости от координаты x_o начальной точки C_o и СКП m измерения расстояний показано на рис. 4 сплошной линией для K=0, штриховой линией для K=45° и точечной линией для K=90°.

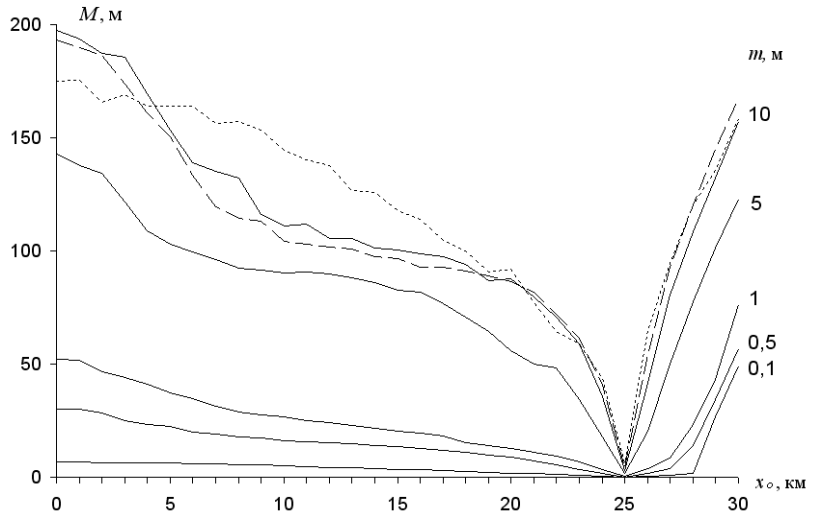

Рис. 4. Изменение СКП M определения места в зависимости от координаты x_o начальной точки C_o и СКП m измерения расстояний

Из рис. 4 видно, что при увеличении x_o СКП M сначала уменьшается, достигает наименьшего значения при x_o=25 км, а затем увеличивается. При этом скорость увеличения больше модуля скорости уменьшения. Такой характер изменения СКП M можно объяснить тем, что при приближении к навигационному ориентиру S_2 кривизна второй изолинии увеличивается. Это создает более благоприятные условия для определения места предложенным способом. В то же время при x_o>25 км кривизна первой изолинии существенно уменьшается, что создает менее благоприятные условия для определения места, чем при x_o<25 км.

Кроме того, расчеты показали, что наибольший вклад в величину M дает СКП определения координаты y. Соотношение между СКП координаты y и СКП координаты x составляет от 50 до 500 при x_o<20 км. СКП координаты x не превышает 2 м.

На основании вышеизложенного можно заключить, что предложенный способ для определения места по двум расстояниям на базе навигационных ориентиров может использоваться.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Б. Е., Иванчихин С. А. Оценка точности определения места по двум расстояниям вблизи базы станций // Записки по гидрографии. – 1997. – № 240. – С. 27–34.
2. Федотов А. В., Иванов Б. Е. Особенности и новые аспекты военной навигации // Тезисы докладов Второй российской научно-технической конференции «Современное состояние, проблемы навигации и океанографии». – СПб.: ГНИНГИ МО РФ, 1995. – С.12–13.
3. Соболь И. М. Метод Монте-Карло. Изд. 4-е, доп. и перераб. – М.: Наука, 1985. – 80 с.

FIXING THE POSITION BY TWO RANGES ON THE BASE OF NAVIGATIONAL MARKS

B. E. Ivanov,
A. A. Yakushev
(GNINGI, RF MoD)

The method of fixing the position by two ranges on the base of navigational marks that is based on nonlinear programming is proposed. The possibility to implement this is substantiated by the statistical modeling method.

ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

ГРНТИ 551.508.9

К ВОПРОСУ О ПРЕДСТАВЛЕНИИ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КООРДИНАТ, ИЗМЕРЕННЫХ С ПОГРЕШНОСТЬЮ

Ю. Н. ЖУКОВ
(ГНИНГИ МО РФ)

Предлагается специальная форма представления чисел для хранения и сравнения географических координат геопространственных объектов в автоматизированных системах.

В настоящее время использование цифровых вычислительных средств при гидрографических и картографических работах стало обычной практикой. В результате этого геопространственная информация хранится, обрабатывается и поступает от внешних источников в цифровом электронном виде. Это позволяет усовершенствовать традиционные технологии работ, используя вычислительные мощности автоматизированных средств, но требует учитывать специфические свойства представления и преобразования информации в ЭВМ.

Основой гидрографических и картографических данных является информация о географических координатах геопространственных объектов. Географические координаты измеряются с некоторой погрешностью. Причем эта погрешность практически для каждого объекта своя. Например, при промерных работах многолучевым эхолотом погрешность измерения координат зависит от угла наклона звукового луча. В базах геопространственных данных обычно хранится информация о географических координатах, которые получены разными способами и средствами с погрешностями, различающимися по величине на несколько порядков. В подавляющем большинстве в этих базах не содержится информация о погрешностях при определении географических координат объектов. Этим нарушается требование к измерительной информации: любые инженерные измерения обязаны сопровождаться информацией о погрешности измерений.

Использование разноточных координат в конкретных автоматизированных задачах обработки геопространственной информации приводит к многочисленным трудностям. Понятие разноточности можно понимать в двух смыслах. В одном – как несоответствие между действительной точностью измерения и представлением этого измерения в цифровой форме, то есть несоотвествие между количеством обеспеченных

точностью значащих цифр и количеством значащих цифр в представленном результате, в другом – как несоответствие в точности двух сравниваемых значений координат.

Первый вариант разноточности проявляется, в частности, когда электронные данные результатов гидрографических промерных работ, выполненные различными организациями, представляются в 280 ЦКП ВМФ. В них географические координаты представлены в различных форматах: либо в угловой мере, либо в десятичных градусах, либо в некоторой смешанной системе – первая часть (градусы, минуты или градусы, минуты, секунды) в угловой мере, а остальная часть в десятичном представлении. При этом число десятичных знаков также различно и не определяется погрешностью измерения координат. Анализ результатов промеров многолучевым эхолотом показывает, что географические координаты иногда приводятся в в десятичных градусах с дробной частью, представленной девятью (!) десятичными знаками. Если считать, что в этих работах погрешность измерения соответствовала величине одного последнего десятичного разряда, то в линейной мере эта величина имеет порядок в одну десятую миллиметра. Какими средствами достигли таких точностей в измерениях географических координат? Этой точности нельзя получить даже с помощью спутниковой системы! Результаты измерений обязаны быть представлены в цифровой форме с количеством значащих цифр, соответствующем погрешности измерений. Как следует из сказанного выше, это требование в представлении результатов гидрографических работ не соблюдается. Избыток значащих цифр при представлении измеренной информации приводит к увеличению объемов передаваемой информации, увеличению требуемых объемов постоянной памяти для ее хранения и оперативной памяти при ее обработке и самого времени обработки. Все это приводит к неоправданным экономическим затратам.

Второй вариант разноточности проявляется при автоматизированной обработке геопространственной информации, в задачах автоматизированной генерализации геопространственных данных, в определении взаимного пространственного расположения объектов, в том числе расстояний между объектами и так далее. В подобных задачах требуется сравнивать два разноточных числа. Для их решения нужно иметь соответствующий алгоритм сравнения и величину погрешности каждого из сравниваемых чисел. Однако автору не известны ни в литературе, ни в программном обеспечении ГИС-технологий какие-либо конкретные алгоритмы и способы учета разноточности координат в такого рода задачах.

В основе решения проблемы разноточных числовых данных лежит противоречие между непрерывным и дискретным. Географические координаты абстрактно определяются в непрерывном пространстве и представляются в виде действительных чисел. На практике действительные числа представляются (аппроксимируются) рациональными числами – дискретным множеством. В свою очередь рациональные числа записываются чаще всего в десятичной форме, что еще больше огрубляет теоретическую модель непрерывности географических координат.

Даже если известно конкретное значение погрешности координат, то в десятичном представлении нельзя построить подходящий алгоритм округления десятичных чисел. Это связано с тем, что погрешность аппроксимации действительных чисел рациональными существенно неравномерна – фрактальна.

Источником возникновения разноточности данных является и процедура обмена информации между ЭВМ с различными техническими характеристиками. Для представления значений географических координат обычно используются числа в формате плавающей точки. Поэтому географические координаты, записанные первоначально в градусной мере (рациональными числами), при вводе в ЭВМ переводятся в десятичное представление. Обычно для хранения географических координат используется формат с максимальной разрядностью, доступной для используемой ЭВМ, что приводит к числам с большим количеством десятичных разрядов, не обеспеченных точностью измерений, и к иллюзии высокоточности хранимых координат. Это, например, проявляется в данных о координатах, представляемых в 280 ЦКП ВМФ, о которых говорилось выше.

Таким образом, при представлении географических координат в ЭВМ в формате с плавающей точкой соответствующие числовые значения имеют неоправданно высокую точность, а действительная погрешность обычно не определена. Все географические координаты представляются десятичными числами с одинаковым числом десятичных разрядов. Количество разрядов определяется не погрешностью измерений географических координат, а разрядностью процессора используемой ЭВМ. Одинаковая разрядность представления географических координат создает иллюзию правомерности выполнения картометрических задач с использованием наборов геопространственных данных, имеющих различную точность географических координат. Это проявляется, например, в задаче поиска ближайшего геопространственного объекта к некоторой географической точке, в задаче упорядочивания точечных объектов по широте и долготе и тому подобных. Пусть, например, измеренное значение долготы для объекта A равно $\lambda_A = 1^\circ 20'$ с погрешностью $\pm 0.5'$, а значение долготы для объекта B равно $\lambda_B = 1^\circ 20' 01''$ с погрешностью $\pm 2''$. Формально можно найти разность долгот положения объектов ($|\lambda_A - \lambda_B| = 0^\circ 0' 1''$). Однако, эта разность не имеет смысла, так как интервал погрешности значения долготы объекта A включает в себя весь интервал погрешности долготы объекта B (рис. 1), а значение λ_A включено в интервал погрешности для объекта B.

Вышеизложенное свидетельствует об актуальности нахождения способов совместной обработки в автоматизированных системах геопространственных данных с координатами, имеющими различную точность.

Представляется, что для разрешения рассматриваемой проблемы, следует использовать такой способ совместной обработки разноточных данных, который позволял бы хранить как значение оценки географических координат, так и информацию об ее погрешности в единой записи. Причем

сама форма этой записи должна позволять эффективно осуществлять требуемые операции сравнения координат.

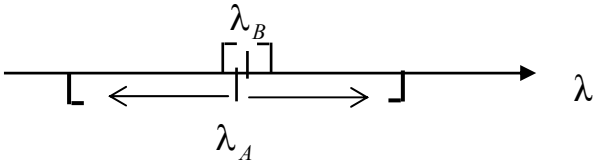

Рис. 1. Взаимное расположение измеренных долгот двух объектов и соответствующих интервалов погрешности

Подходящими кандидатами на роль искомого способа являются два подхода. Это «интервальный анализ» [1] и способ на основе системы счисления Штерна-Броко [2].

Интервальное вычисление является специальным случаем вычислений над множеством, а теория множеств лежит в основе интервального анализа. Основной инструмент, используемый в интервальном анализе, основан на очень простой идее окружения вещественных чисел интервалами. При этом появляется возможность получить гарантированную оценку результатов компьютерных вычислений прямым переходом к интервальным переменным в классических численных алгоритмах, применяемых обычно в вычислениях с числами с плавающей точкой.

В интервальном анализе интервал x определяется как непустое подмножество действительных чисел

$$x = \left[\underline{x}, \overline{x}\right] = \left\{x \in R : \underline{x} \le x \le \overline{x}\right\},$$

где $\underline{x}$ – нижняя граница, а $\overline{x}$ – верхняя граница интервала x над множеством действительных чисел R. Алгоритмы интервального анализа позволяют вычислить границы результата операции с интервалами. Основные арифметические операции в интервальном анализе определены следующим образом.

$$x + y = \left[\underline{x} + \underline{y}, \overline{x} + \overline{y}\right],$$

$$x - y = \left[\underline{x} - \overline{y}, \overline{x} - \underline{y}\right],$$

$$x \times y = \left[\min\left\{\underline{x}\underline{y}, \underline{x}\overline{y}, \overline{x}\underline{y}, \overline{x}\overline{y}\right\}, \max\left\{\underline{x}\underline{y}, \underline{x}\overline{y}, \overline{x}\underline{y}, \overline{x}\overline{y}\right\}\right],$$

$$\frac{1}{x} = \left[1/\overline{x}, 1/\underline{x}\right], \text{ если } \underline{x} > 0 \text{ или } \overline{x} < 0,$$

$$\frac{x}{y} = x \times 1/y.$$

Существует другой подход к решению рассматриваемой задачи. Он основан на замечательном способе построения множества всех неотрицательных дробей m/n с взаимно простыми целыми m и n, который носит название дерево Штерна-Броко, поскольку был открыт независимо друг от друга немецким математиком Морицем Штерном и французским часовщиком Ахиллом Броко. Суть этого способа состоит в том, чтобы начать с двух дробей $\left(\frac{0}{1}, \frac{1}{0}\right)$, а затем повторить необходимое количество раз операцию:

вставить $\frac{m+m'}{n+n'}$ между двумя соседними дробями $\frac{m}{n}$ и $\frac{m'}{n'}$.

Так, например, первый шаг дает одну новую вставку между $\frac{0}{1}$ и $\frac{1}{0}$:

$$\frac{0}{1}, \frac{1}{1}, \frac{1}{0};$$

следующий шаг добавляет две:

$$\frac{0}{1}, \frac{1}{2}, \frac{1}{1}, \frac{2}{1}, \frac{1}{0}.$$

последующий шаг добавляет четыре:

$$\frac{0}{1}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3}, \frac{1}{1}, \frac{3}{2}, \frac{2}{1}, \frac{3}{1}, \frac{1}{0};$$

затем добавляется 8, 16 и т. д. новых вставок. Всю совокупность вставок можно представить в виде бесконечного бинарного дерева, верхние уровни которого выглядят, как представлено на рис. 2.

Дерево Штерна-Броко можно рассматривать как систему счисления для представления рациональных чисел, поскольку каждая положительная несократимая дробь встречается в нем лишь один раз. Все математические и алгоритмические свойства представления чисел в системе Штерна-Броко занимают слишком много места, поэтому ограничимся лишь минимально необходимыми пояснениями.

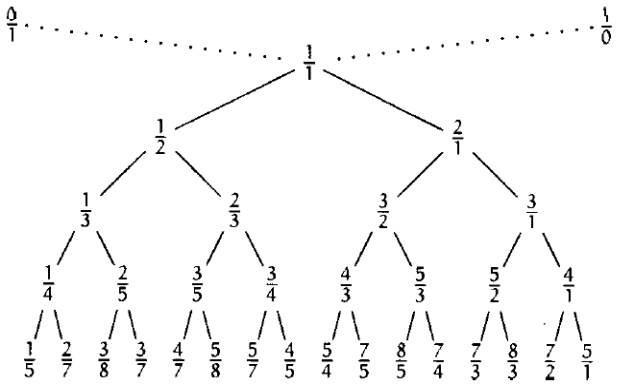

Рис. 2. Верхние уровни дерева Штерна-Броко

Эффективная форма записи чисел в этой системе счисления строится следующим образом. Воспользуемся символами L и R для идентификации левой и правой ветви при продвижении вниз по дереву от корня к некоторой определенной дроби; тогда строка символов L и R будет однозначно идентифицировать местонахождение дроби в этом дереве. Так, $LRRL$ означает продвижение вниз влево от $\frac{1}{1}$ к $\frac{1}{2}$, затем вправо к $\frac{2}{3}$, еще раз вправо к $\frac{3}{4}$, и, наконец, влево к $\frac{5}{7}$. Строку $LRRL$ можно рассматривать как представление дроби $\frac{5}{7}$. При таком подходе каждая положительная дробь получает единственное представление в виде строки символов L и R.

Существуют простые рекурсивные алгоритмы построения строк из L и R для заданного рационального числа, алгоритмы определения рационального числа по заданной строке из L и R, а также алгоритмы сложения чисел, представленных строками L и R.

В системе счисления Штерна-Броко отсутствуют иррациональные числа, но зато присутствуют все «близкие» к ним рациональные числа. Например, иррациональному числу e соответствует строка символов L и R:

$$RRLRRLRLLLLRLRRRRRRLRLLLLLLLLRLR\ldots.$$

Эту бесконечную строку можно рассматривать как представление числа e в системе счисления Штерна-Броко, точно так же как число e можно представить в виде бесконечной десятичной дроби $2.718281828459\ldots$ или в виде бесконечной двоичной дроби $(10.101101111110\ldots)_2$.

Важнейшее преимущество дерева Штерна-Броко состоит в том, что оно не просто включает все рациональные числа – оно включает их в упорядоченном виде, и, кроме того, все дроби с малыми числителями и знаменателями располагаются выше всех менее простых дробей.

Количество символов, необходимое для представления числа с заданной точностью, практически равно числу разрядов в двоичном представлении этого числа с той же точностью.

Очевидно, что для представления в автоматизированных системах географических координат, измеренных с погрешностью, предпочтительней использовать способ, основанный на системе счисления Штерна-Броко в виде символьных строк, чем интервальное исчисление.

Это обусловлено следующим:

– Символьное представление чисел в системе Штерна-Броко является одним из естественных форм представления чисел наравне с другими более известными формами, такими как, цепные дроби и позиционные системы. Более того, система Штерна-Броко по эффективности представления чисел сравнима с системой цепных дробей. В системе Штерна-Броко представимы в конечном виде все рациональные числа, что не реализуется привычной десятичной системой счисления, например, дробь одна треть представима в системе Штерна-Броко точно, а в десятичной системе только приближенно. В то же время интервальное исчисление не является какой-либо системой счисления.

– Запись числа в символьной системе Штерна-Броко содержит информацию не только об измеренном значении, но и неявно содержит информацию о погрешности представления числа. Действительно, последовательность символов в представлении числа определяют все соответствующие узлы в дереве Штерна-Броко. Для наинизшего узла можно найти его соседей, как по вертикали, так и по горизонтали, что и позволяет оценить точность представления числа и перейти к представлению с другой точностью. Алгоритмы нахождения ближайших и последующих чисел известны и очень эффективны с вычислительной точки зрения. Например, известен быстрый способ нахождения n-ой дроби, основанный на нумерации положительных рациональных чисел Калкина-Вилфа-Ньюмана [3].

– Если представить символьную запись числа в системе Штерна-Броко в бинарном виде, то объем требуемой памяти будет меньше, чем при интервальном представлении.

– Все алгоритмы работы с символьными представлениями чисел в системе Штерна-Броко являются эффективными – рекурсивными, в отличие от алгоритмов интервального анализа.

– Иерархическая графовая структура системы Штерна-Броко дает возможность осуществления быстрого поиска близких чисел, представленных с различной погрешностью, так как этому соответствует различное число символов в представлении Штерна-Броко. Меньшее количество символов в представлении – большая погрешность. Это свойство системы Штерна-Броко позволяет простым способом представить число, заданное с некоторой погрешностью, числом с большей погрешностью путем простого сокращения отбрасывания последних символов. В десятичном представлении такой операции осуществить нельзя. Наличие указанного свойства в системе Штерна-Броко позволяет на ее основе осуществлять генерализацию точечных геопространственных объектов.

В качестве примера эффективности применения системы Штерна-Броко опишем простое правило сравнения рациональных чисел, основанное на представлении их последовательностью символов L и R в системе Штерна-Броко. Решение сводится к дополнению более короткой строки некоторыми символами, например, M (исходя из того, что в алфавите M находится между L и R) так, чтобы обе строки стали одинаковой длины, а затем применить словарное упорядочение. К примеру, самые верхние уровни дерева упорядочены так: $LL < LM < MM < RL < RM < RR$.

Отметим, что система Штерна-Броко – это одна из огромного множества различных систем представления чисел. Все системы, лучше или хуже, дают возможность представить числа. Они все равноправны, если не рассматривать прикладные аспекты использования, но каждая из них имеет свои индивидуальные свойства, с помощью которых решение конкретной практической задачи может быть более удобным и эффективным. Например, широкое использование общепринятой позиционной десятичной системы связано с тем, что ручное выполнение арифметических операций достаточно просто. В нашем случае преимущество использования системы Штерна-Броко для решения задачи представления географических координат, измеренных с погрешностью, определяется тем, что свойства этой системы позволяют эффективно решать поставленную задачу. Все вышесказанное позволяет рекомендовать систему Штерна-Броко для применения в автоматизированных системах геопространственных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жолен Л., Кифер М., Дидри О., Вальтер Э. Прикладной интервальный анализ. – М.: Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2005. – 468 с.
2. Грэхем Р., Кнут Д., Паташник О. Конкретная математика. – М.: Мир; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 703 с.
3. Айгнер М., Циглер Г. Доказательства из Книги. – М.: Мир, 2006. – 256 с.

ON THE PRESENTATION OF GEOGRAPHIC CO-ORDINATES HAVING A MEASUREMENT ERROR IN AUTOMATED SYSTEM

Y. N. Zhukov
(GNINGI, RF MoD)

A special form of presenting the digits to store the geographic co-ordinates of geospatial objects in the automated systems is proposed.

ГРНТИ 37.25.21

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ВЕТРО-ВОЛНОВОГО РЕЖИМА БАРЕНЦЕВА, НОРВЕЖСКОГО И ГРЕНЛАНДСКОГО МОРЕЙ

И. В. ЛАВРОВА,
С. И. МАСТРЮКОВ,
Е. К. УЛЬЯНЕЦ,
Н. В. ЧЕРВЯКОВА
(ГНИНГИ МО РФ)

В статье изложены результаты расчета ветро-волнового режима (скорости ветра, высоты волны) Баренцева, Норвежского и Гренландского морей по спектрально-параметрической модели ААНИИ. Они верифицированы путем сравнения с данными судовых наблюдений и опубликованными сведениями о ветровом режиме. Полученные результаты хорошо и могут быть использованы при создании атласа волнового режима Баренцева, Норвежского и Гренландского морей.

Недостатком практически всех известных пособий по волновому режиму Баренцева, Норвежского и Гренландского морей [1–4] является то, что сведения о режиме волнения представлены в них по очень крупным акваториям. Это связано с тем, что при обработке данных судовых наблюдений за волнением для увеличения объема выборки приходится увеличивать размер района, по которому эта выборка производится.

В некоторых случаях выборка осуществляется с учетом особенностей волнового режима [2], но чаще нарезка районов, по которым проводится обобщение и/или представление данных, производится формально [1, 3, 4]. Поскольку режим волнения в отличие от режима ветра существенно зависит, в частности, от глубин и морфометрических особенностей бассейна, то более высокое пространственное разрешение информации о волновом режиме будет предпочтительным.

С этой точки зрения наилучшими потенциальными возможностями обладают численные модели волнения. Современные модели имеют хорошее пространственное разрешение, некоторые из них детально верифицированы и рекомендованы для практического применения [5, 6]. Наличие данных реанализа полей приземного давления за достаточно длительную историческую ретроспективу позволяет, используя эти модели, восстановить временной ход характеристик волнения на значительных акваториях за многие десятилетия и путем обработки этих результатов по каждому узлу расчетной сетки получить оценки волнового режима с хорошим пространственным разрешением.

В настоящей работе для подготовки массива данных о волнении на акватории Норвежского, Гренландского и Баренцева моря использована спектрально-параметрическая модель волнения ААНИИ [5, 6], переданная в НИЦ ГНИНГИ для использования [6]. Модель хорошо верифицирована [6] и

рекомендована для применения на практике гидрометеорологического обеспечения Центральной методической комиссией Росгидромета.

В состав расчетных характеристик входят:

$H50w$ –средняя высота ветрового волнения;

$T50w$ – период ветрового волнения;

$D50w$ – направление ветрового волнения;

$H50s$ – высота волн зыби;

$T50s$ – период волн зыби;

$D50s$ – направление волн зыби;

$H50a$ – суммарная высота волн;

$T50a$ – суммарный период волн;

HsA – суммарная значительная высота волн;

ff – скорость ветра;

dd – направление ветра.

Поскольку в России при обеспечении мореплавания традиционно используется высота волнения 3% обеспеченности, был выполнен и ее расчет. Для расчета высоты волнения заданной обеспеченности i использована соответствующая формула из работы [7]:

$$h_{i\%} = \overline{h} \cdot K_{hi\%}, \qquad (1)$$

где $K_{hi\%} = \left\{ \frac{4}{\pi}(1+0.4h_n)(-\ln i + 4.605) \right\}^{1-h_n/2}$;

$h_n = \overline{h} / d$;

d – глубина места;

$\overline{h}$ – средняя высота волны.

Глубины задавались по данным международного архива глубин ETOPO [9]. Расчет выполнен без учета приливных колебаний уровня.

Волнение рассчитывалось с учетом среднемесячного положения кромки льда, которое в расчетный период определялось по объединенной многолетней базе данных ААНИИ о границах льда сплоченностью 5 баллов и более [6]. Поэтому число расчетных точек не являлось постоянным.

Поле ветра рассчитано по архиву полей приземного давления Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF). Исходные данные представляют собой преобразованное из grib-файлов приземное давление [6]. Это вырезка пояса в северном полушарии от 85° до 55° с временным шагом 6 часов и пространственным шагом 2,5° за период 1975–2002 гг.

Расчет выполнен для каждого узла расчетной области за период с января 1975 по декабрь 2002 года для синоптических сроков, 0, 6, 12 и 18 часов.

Для обработки расчетных данных было решено использовать возможности СУБД Access. Поскольку предельный объем эффективной обработки информации этой СУБД ограничен 1 Гб, а объем расчетной

информации превысил 10 Гб, в базу включили информацию на более редкой сетке. Расположение точек, информация о которых отобрана для базы данных, приведено на рис. 1. В открытых районах акватории сетка разрежена, в прибрежных – использованы все расчетные точки, что позволяет достаточно подробно отображать характеристики волнового режима.

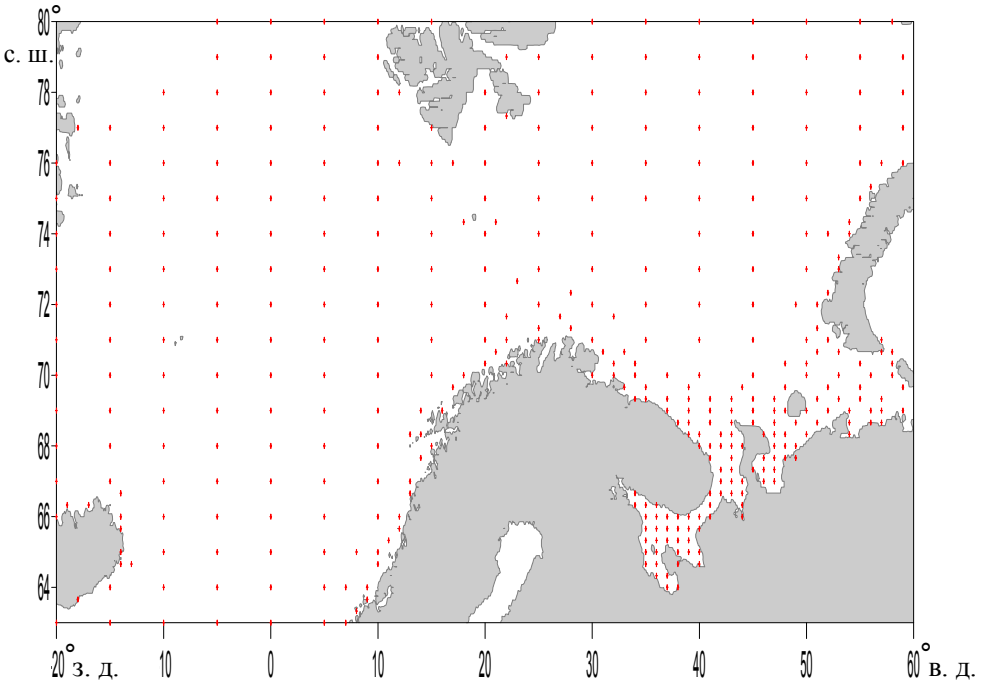

Рис. 1. Расположение точек, в которых информация о параметрах ветра и волнения включена в базу данных (398 расчетных точек)

Результаты моделирования за 28 лет были обработаны и получены оценки характеристик волнового режима на заданной акватории для каждого месяца года. В качестве примера на рис. 2 приведены результаты расчета повторяемости высоты волнения 3% обеспеченности 3 м и более для января. На рисунке видно, что данное поле имеет хорошее пространственное разрешение, в том числе и в прибрежной зоне, что особенно важно.

Затем было выполнено сравнение результатов оценки волнового режима, полученных с использованием численного моделирования, с оценками, опубликованными в наиболее известных пособиях [1, 2] и оценками, полученными путем обработки базы данных судовых метеорологических наблюдений НИЦ ГНИНГИ МО за период с 1955 по 2000 гг.

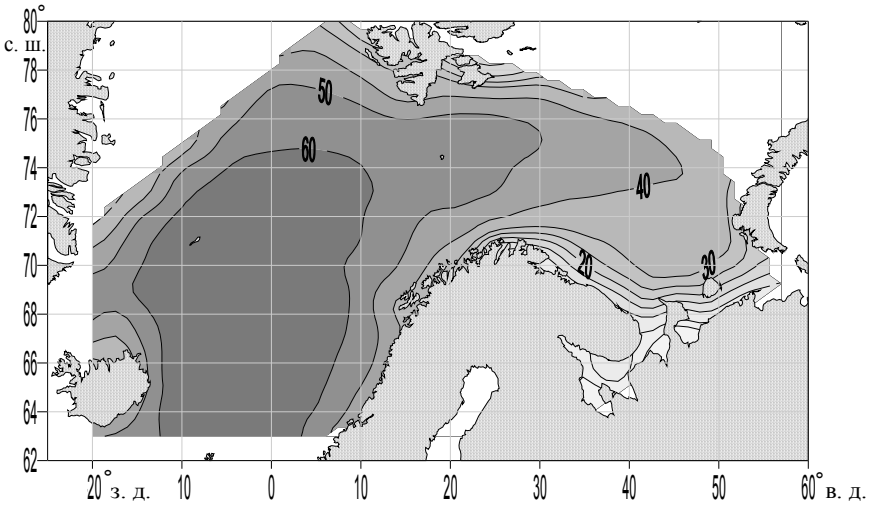

Рис. 2. Изолинии повторяемости (в процентах) высот волн 3 м и более в январе

Ниже приведены результаты сравнения оценок волнового режима для акватории Баренцева моря по четырем сравнительно однородным районам, представленным на рис. 3 [2].

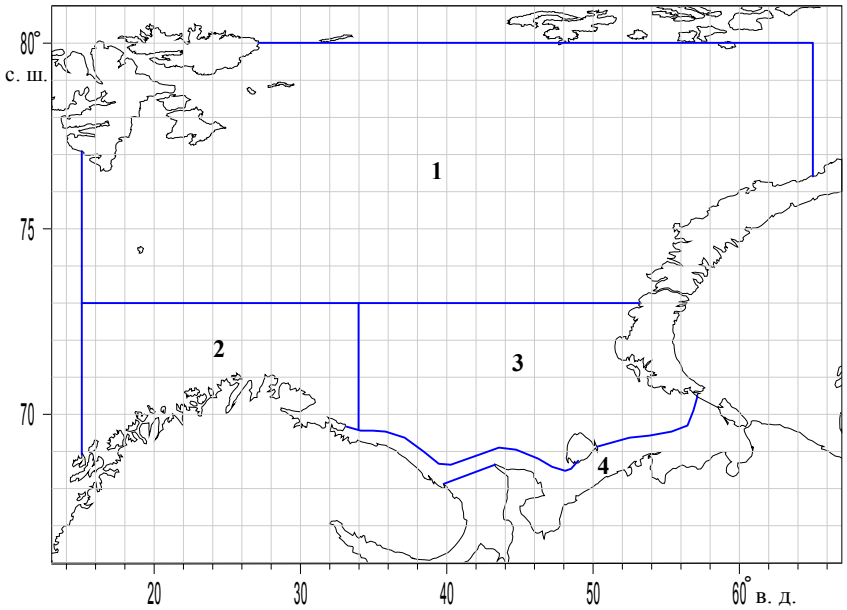

Рис. 3. Выбранные границы сравнительно однородных районов Баренцева моря [2]

Наиболее показательной характеристикой режима ветра и волнения является повторяемость этих величин по градациям. Поэтому были вычислены повторяемости скорости ветра по расчетным данным модели ААНИИ, по данным судовых наблюдений и справочным данным для четырех районов для 12 месяцев. Для первого и четвертого районов на рис. 4

приведены распределения повторяемости скорости ветра для апреля, августа и ноября.

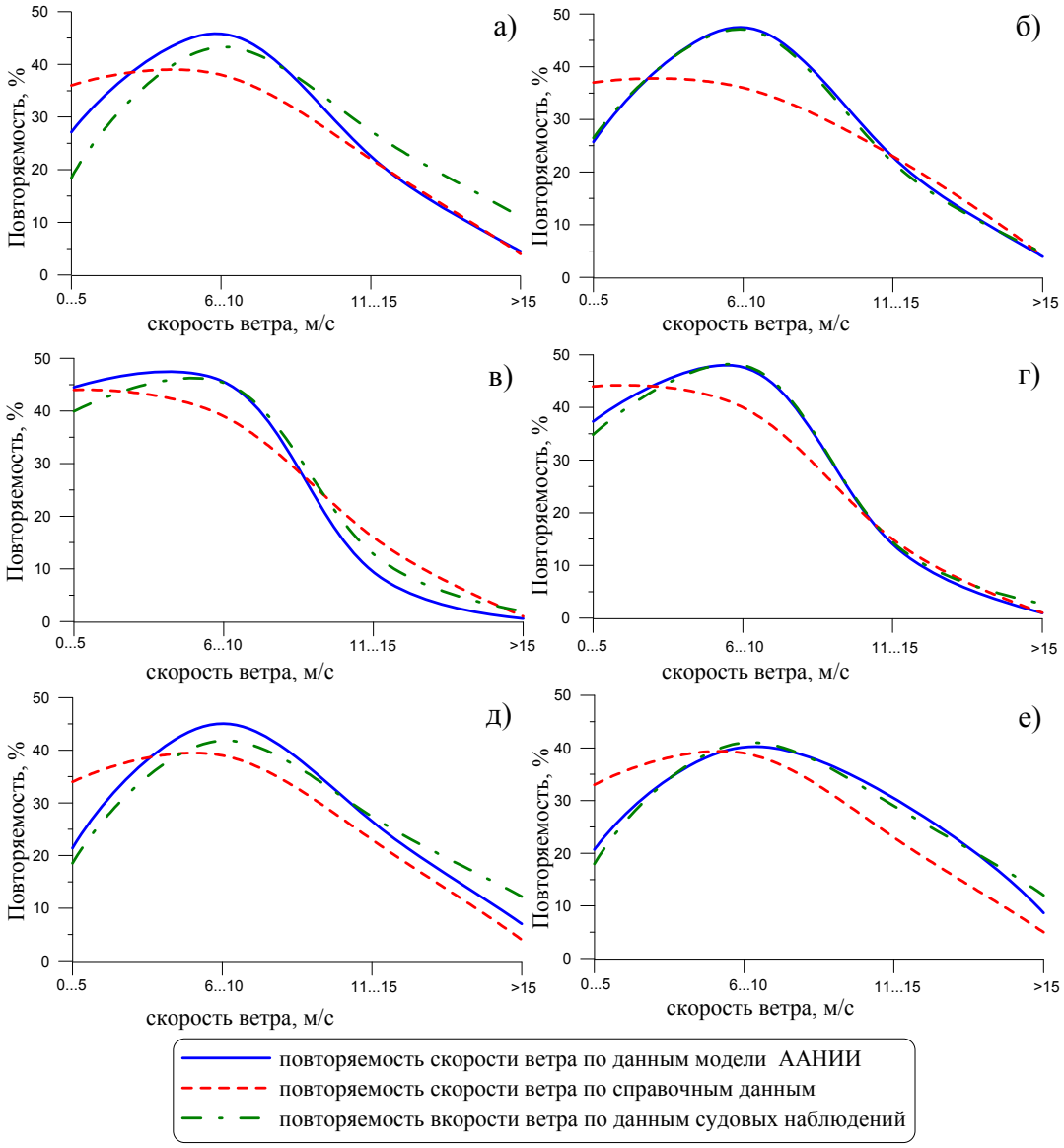

Рис. 4. Повторяемость скорости ветра по данным модели ААНИИ, справочным данным [2] и данным судовых наблюдений для первого (а, в, д) и четвертого (б, г, е) районов для апреля (а, б), августа (в, г) и ноября (д, е).

Сравнение показало, что повторяемости ветра по градациям скорости, полученные по модели ААНИИ на основе данных реанализа полей давления, с одной стороны, и данных судовых наблюдений из базы данных НИЦ ГНИНГИ МО, с другой, при скоростях ветра до 5 м/с отличаются примерно на 15%, а при скорости ветра 6 м/с и более отличаются менее чем на 10%. Такой уровень соответствия следует признать весьма высоким. Невязки по

сравнению со справочными данными выше и особенно заметны при малых скоростях ветра.

Далее рассчитаны повторяемости высоты волнения 3% обеспеченности по градациям. Результаты моделирования также сопоставлены со справочными данными и данными судовых наблюдений для четырех районов для 12 месяцев. Повторяемость высоты волнения по градациям для первого и четвертого районов для апреля, августа и ноября представлены на рис. 5.

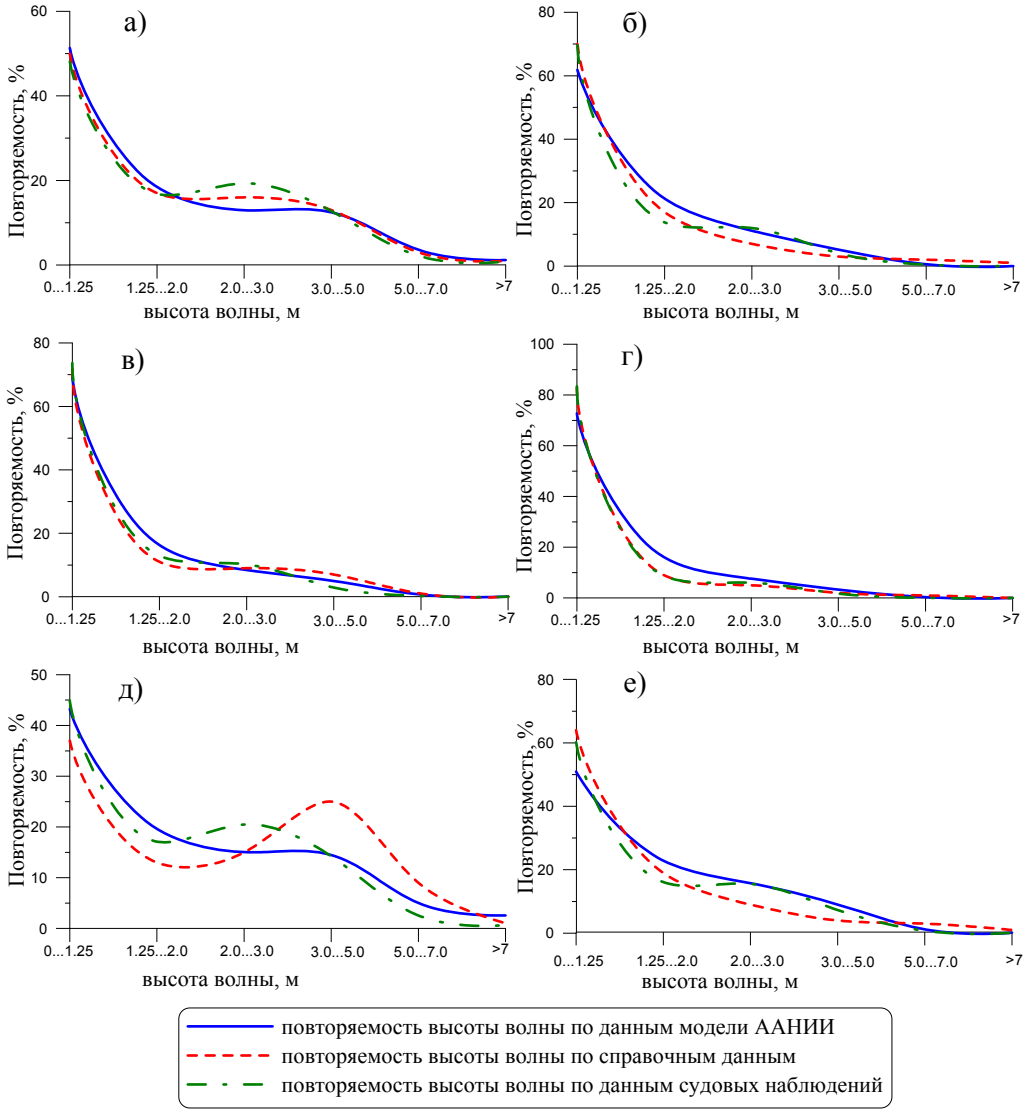

Рис. 5. Повторяемость высоты волны по данным модели ААНИИ, справочным данным [2] и данным судовых наблюдений для первого (а, в, д) и четвертого (б, г, е) районов для апреля (а, б), августа (в, г) и ноября (д, е)

Прежде чем анализировать полученные результаты, оценим погрешности, декларируемые авторами упомянутого справочного пособия, и спектрально-параметрической модели ААНИИ.

В упомянутом выше справочном пособии [2] для перехода от результатов визуальных наблюдений за волнением к высотам волнения 3% обеспеченности использованы эмпирические связи. Погрешность визуальных наблюдений в целом имеет невысокую точность. Так, при средней высоте совокупности визуальных наблюдений, равной 10 м, средняя высота соответствующей высоты волнения 3% обеспеченности составляет 9 м при среднеквадратической погрешности 2,5 метра. Т. е. при уровне обеспеченности 66%, если визуально определенная высота волнения составила 10 м, истинная высота ветрового волнения 3% обеспеченности будет лежать в пределах 6,5–11,5 м. Следовательно, среднеквадратическая погрешность исходных данных, использованных при составлении пособия, составляет 27–30%.

Поэтому рассчитывать на идеальное совпадение результатов моделирования с опубликованными данными не приходится.

Анализ графиков повторяемости высот волн 3% обеспеченности, полученных на основе численного моделирования, справочных данных и данных судовой метеорологии для четырех районов Баренцева моря для 12 месяцев, показывает, что наибольшие невязки между повторяемостью высот ветрового волнения до 10% отмечено для высот волн более 2 м для первого района в период с октября по март. В остальных районах разница не превышает 5% – и степень соответствия результатов оценки волнового режима можно признать вполне удовлетворительной.

Согласованность результатов, полученных на основе численного моделирования, с данными предыдущих обобщений по однородным районам следует признать достаточно высокой.

Это обстоятельство, а также, то, что при использовании модели имеется возможность повысить временное разрешение результатов обобщения волнового режима и представить сведения с хорошим пространственным разрешением, говорят о возможности включения результатов моделирования параметров ветра и волнения по спектрально-параметрической модели ААНИИ в Атлас гидрологических условий Баренцева, Норвежского и Гренландского морей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Регистр Союза ССР. Справочные данные по режиму ветров и волнения на морях, омывающих берега СССР (под ред. Л. Р. Спадони). – Л.: Морской транспорт, 1962. – 320 с.
2. Регистр СССР. Ветер и волны в океанах и морях. Справочные данные (под ред. И.Н. Давидана). – Л.: Транспорт, 1974. – 358 с.
3. Лоция Баренцева моря. Ч. 2 .Изд. ГУНиО МО, адм. .№1112, 1983. – 280 с.
4. Режимные сведения о волнении Баренцева, Норвежского и Гренландского морей (под ред. К. М. Сиротова). – Мурманск: Изд-во ГУГМС, 1965. – 110с.
5. Давидан И. Н., Лавренов И. В., Пасечник Т. А., и др. Математическая модель и метод оперативных расчетов ветрового волнения на морях СССР // Метеорология и гидрология. – 1988. – № 11. – С. 81–90.
6. Лавренов И. В. Математическое моделирование ветрового волнения в пространственно-неоднородном океане. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1998. – 500 с.
7. Лаппо Д. Д., Стрекалов С. С., Завьялов В. К. Нагрузки и воздействия волн на гидротехнические сооружения. Л.: Изд. ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева, 1990. – 432 с.

RESULTS OF CALCULATION OF THE WIND-WAVE REGIME IN THE BARENTS, NORWEGIAN AND GREENLAND SEAS

I. V. Lavrova,
S. I. Mastryukov,
E. K. Ulyanets,
N. V. Chervyakova.
(GNINGI, RF MoD)

The results of calculation of the wind and wave regime (wind velocity, wave height) in the Barents, Norwegian and Greenland Seas, using the spectral-parametric model of RIAA (Research Institute of the Arctic and Antarctic) are presented. They are verified by comparison with the ship observation data and the published information about the wave regime. The results obtained are in good agreement and can be used when creating the wave regime atlas of the Barents Norwegian and Greenland Seas.

ГРНТИ 47.37.32

ТЕХНОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНОЙ СИСТЕМЫ ПО ПАРАМЕТРАМ СРЕДЫ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

К. Г. СТАВРОВ,
О. А. ГАСНИКОВ,
В. И ГУСЕВА,
Л. Ф. ПУШКИНА,
М. Н. СОБОЛЕВА,
Е. А. УСОЛЬЦЕВА,
Е. В. СУВЕРНЕВА
(ГНИНГИ МО РФ)

Статья посвящена проблеме автоматизации информационного навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения организаций и ведомств. Представлена технология создания информационно-справочной системы по параметрам природной среды арктических морей на базе геоинформационных систем.

Достоверное и надежное информационное обеспечение морской деятельности на акватории в значительной мере определяет эффективность и безопасность общего мореплавания, проведения ресурсных исследований на континентальном шельфе, выполнения научных исследований и рекомендаций по применению технических средств флота, а также решения ряда других практических задач в конкретном регионе, в частности, в бассейне Северного Ледовитого океана (СЛО).

Бассейн СЛО в настоящее время представляет собой объект пристального интереса ведущих государств мира как регион всестороннего научного изучения и практического освоения [1].

Для Российской Федерации арктический регион занимает исключительное положение в экономике страны в связи с наличием

значительных месторождений газа, газоконденсата, нефти на арктическом шельфе и прибрежных территориях. В последние годы исключительную актуальность для Российской Федерации приобрела проблема определения и научного обоснования положения внешней границы континентального шельфа в Северном Ледовитом океане в соответствии с Конвенцией ООН по морскому праву [2, 3].

Благодаря многолетней активной деятельности России по комплексному изучению бассейна СЛО и прилегающих морей получены уникальные по своему содержанию и объему материалы наблюдений и их обобщений. Расширение круга решаемых прикладных задач в регионе, все возрастающие требования к повышению надежности и экономической эффективности учета влияния параметров среды при принятии решений требуют более полной актуализации накопленных результатов исследований. Применение новых технологий с использованием средств вычислительной техники и связи, реализующих информационные процессы, позволило выполнить комплексную обработку и интерпретацию накопленных за десятилетия материалов исследований в полном масштабе, подготовить и представить широкому кругу потребителей навигационно-гидрографическую и гидрометеорологическую информацию в виде комплексной многоплановой информационно-справочной системы (ИСС) по параметрам морской среды. Целевое назначение ИСС – диагностика, контроль и анализ гидрографических и гидрометеорологических условий в арктических морях для обеспечения морской деятельности в этих районах.

Выделим те характерные особенности занятых в освоении Севера отраслей народного хозяйства, которые необходимо учитывать при разработке технологии создания информационной системы по параметрам среды арктических морей. В целом они типичны для представителя семейства больших организаций и составляют предмет анализа именно в этом качестве:

– масштабы и распределенная структура большинства организаций;
– организационно-управленческая структура: организации и учреждения самостоятельны в выработке и проведении технической политики автоматизации управления;
– разнообразие парка вычислительных средств, сетевого оборудования и, в особенности, базового программного обеспечения;
– эксплуатация в отраслях большого количество разнообразных приложений специального назначения, созданных на основе различного базового программного обеспечения;
– различные требования к информационной продукции как по составу и количеству, так и по форматам представления.

При этом следует учитывать, что задачи повышения эффективности гидрографического и гидрометеорологического обеспечения морской деятельности на акватории в современных условиях подразумевают повышение оперативности и эффективности взаимодействия между различными организациями-потребителями навигационно-гидрографической и гидрометеорологической информации. Это может быть обеспечено только

путем создания системы комплексного информационного обеспечения на базе создания интегрированного банка данных по параметрам среды арктических районов (ИБД), сочетающего централизованные системы сбора, хранения, обобщения и распространения информации с децентрализованной системой принятия решений оперативного и тактического характера, делегированной учреждениям-потребителям на местах.

Система предоставления данных в этих условиях может быть построена на основе подписки к ИБД на определенный вид информации, реализованной в виде специализированной ИСС [4, 5].

Данный подход был реализован в ходе выполнения работ по ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы по приоритетному направлению “Рациональное природопользование”». Объектом исследований являлось создание макетного образца информационно-справочной системы по проблемам природной среды для обеспечения морской деятельности в арктическом районе.

Технология создания ИСС включает следующие этапы:

– формирование единой картографической основы на районы морей СЛО;
– разработка программного интерфейса информационно-справочной системы на моря СЛО;
– формирование геоинформационных тематических слоев для включения в ИСС;
– создание макетного образца ИСС на районы Баренцева, Норвежского и Гренландского морей;
– проведение испытаний и апробация макетного образца ИСС.

Указанные задачи решались на основе сформированного в ФГУП «ГНИНГИ Минобороны РФ» интегрированного банка данных, который, в свою очередь создавался с использованием центрального информационного архива гидрометеорологической и геофизической информации (ЦАХИ) (рис. 1). Использовалась как фактографическая, так и документальная информация, которая представлялась на единой для всей информации картографической основе. Карт-основы масштабов 1:500 000, 1:200 000 и 1:10 000 формировались на основе электронных карт морей России, созданных в ГНИНГИ МО РФ по навигационным картам картографо-гидрографического фонда Гидрографической службы ВМФ [6] с привлечением дополнительных данных из других источников. Набор слоёв карт-основы содержит сертифицированные в УНиО МО РФ слои, которые несут основную информацию о морях и океанах, как то: береговая линия, граница исключительной экономической зоны, изобаты, особые отметки глубин и др., а также не сертифицированные в УНиО МО РФ слои, выполняющие вспомогательную функцию, такие как административные границы государств, столицы, порты, железные дороги и пр.

Одни и те же слои формировались для каждой карт-основы отдельно в зависимости от её масштаба. Это позволило получать наборы сформированных в слои данных, отвечающие требуемой степени точности.

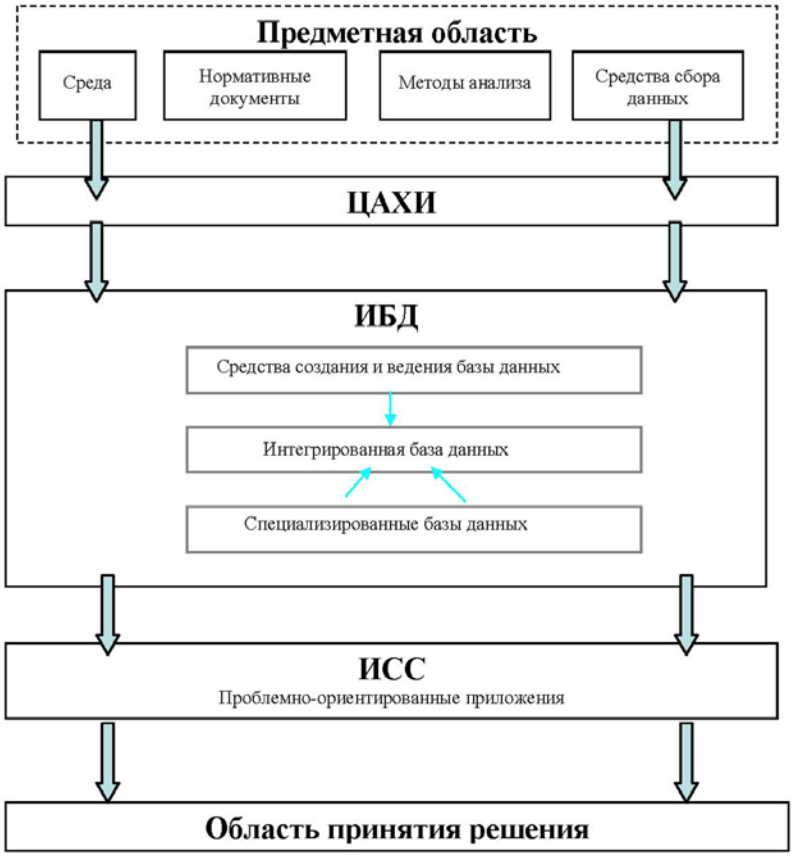

Рис.1. Схема разработки и использования ИСС

Можно выделить четыре вида информации циркулирующей в системе ИБД:

– оперативная (поступившая от различных источников);
– задержанная (в течение года хранится, обрабатывается, согласуется, используется для целей мониторинга);
– историческая (помещенная в базы данных);
– специализированная (отобранная по запросам).

Тематическим слоем для формируемой ИСС являлась любая информация о параметрах природной среды арктических морей, имеющая координатную привязку. К ним относились:

– геоинформационные тематические слои, построенные путем оцифровки карт;
– геоинформационные тематические слои, построенные на основе использования специализированных баз данных;
– геоинформационные тематические слои, построенные на основе использования документальной информации.

Технология создания геоинформационных слоев первого типа включала три этапа: сканирование, векторизацию и атрибутацию объектов.

При сканировании производился контроль сохранения всей необходимой информации, включающий корректировку цветовой палитры для сохранения изображений, имеющих недостаточную яркость объектов, и наиболее точного отображения объектов, различающихся между собой незначительными оттенками цвета.

На втором этапе выполнялась векторизация, включающая отбор информативных объектов для создания тематических слоев и их перевод в векторную форму. Это позволило работать с атрибутивной информацией объектов, представляя ее на экране в соответствии с принятым кодификатором [7], а также накладывать объекты друг на друга, создавая их комплексное описание.

На этапе атрибутации для каждого тематического слоя определялся состав атрибутов, его структура и способ отображения на картографической основе. В качестве атрибутивного описания использовалась информация в числовом, текстовом, графическом форматах или в виде гиперссылок на соответствующие документы.

Слои параметров гидрографических и гидрометеорологических полей в виде пространственного распределения значений их статистических характеристик, осредненных по квадратам 1 град. X 2,5 град. (слои районирования), созданы средствами ArcView. Исходными данными для их формирования служили специализированные базы данных, которые после соответствующей обработки конвертировались в шейп-файлы и подключались к ИСС.

Обобщение данных осуществлялось по единой для всех параметров сетке квадратов (размером 1° по широте и 2,5° по долготе) и месяцам года. Указанные размеры квадратов выбраны по результатам анализа изученности района с учетом пространственного искажения, вызванного сферичностью Земли.

По всем параметрам рассчитывались основные статистические характеристики, которые приводились к центрам квадратов. Визуализация данных в ИСС осуществлялась как посредством табличного представления информации по каждому квадрату, так и в виде цветовой индикации квадратов на карт-основе. При выборе цвета исходили из диапазона значений, к которому принадлежит соответствующая атрибутивная характеристика объекта. Выбор градаций осуществлялся с учетом изменчивости параметра, количества наблюдений с определением интервального статистического ряда согласно формуле Стерджеса [8] и возможности использования цветовой шкалы для проведения сравнительного анализа однородных тематических слоев.

Для систематизации документальных данных использовалась информационная модель в виде гипертекста [9], реализованная в ИСС как гиперссылки на различные нормативные, описательные и регламентирующие документы. Такая модель идеально подходит для систематизации текстовой, графической и мультимидийной информации.

Подготовку тематических слоев данного вида составляют следующие этапы:

1. Отбор информации по заданному району, анализ, удаление избыточных и сомнительных данных.
2. Сканирование документов.
3. Распознавание текстовых документов, цветовая и тоновая коррекция для графических документов.
4. Районирование акватории моря с целью выделения однородных в описательном плане районов и создание тематического слоя описательных объектов.
5. Создание системы гиперссылок на документы.

Интеграция информационных слоев осуществлялась на множестве уровней: на уровне ключа, атрибута, на описательном, структурном уровне и т. д. Общие данные и общая обработка данных консолидированы и являются единообразными для всех данных, которые обладают структурным сходством.

Разработанная ИСС предназначена для реализации процессов принятия решения в системах мониторинга различного назначения и уровня потребителя.

Созданный макет ИСС по параметрам среды Баренцева, Норвежского и Гренландского морей реализован в среде СУБД Access и ГИС ArcView 3.3. ГИС ArcView, разработанная компанией ESRI и реализованная в программном продукте Arc/Info для работы с геопространственными данными, в настоящее время является наиболее развитой и используемой в большинстве организаций. Параметры системы обеспечивают большой выбор проекций и координатных систем, импорт большинства известных обменных форматов, позволяют использовать расширенную модель графических данных, а также штатные средства проверки графических данных на соответствие топологической модели. Система проста, удобна в работе и является оптимальной по соотношению производительность/цена.

Структура ИСС по параметрам природной среды арктических районов представляет собой иерархическую конструкцию, состоящую из разделов и подразделов, отдельно представленных для каждого моря. Единым неделимым объектом системы является объект, обладающий геопространственной привязкой и семантическим описанием. Объекты группируются в слои, которые в свою очередь могут быть собраны в разделы определенной тематической направленности. Формирование тематических разделов носит междисциплинарный характер, их состав зависит от целевых запросов потребителей. На рис. 2 представлена обобщенная схема ИСС по параметрам природной среды с названиями разделов, включенных в данную систему. Тематическое наполнение подразделов может отличаться в зависимости от спектра исходных данных, использованных при составлении ИСС.

Работа с ИСС строится в интерактивном режиме, позволяющем создавать пространственные запросы с помощью внутреннего генератора запросов и проводить стандартные для пакетов ГИС манипуляции с данными: отображение/скрытие слоев, изменение масштаба, порядка представления и

поиска информации, использование гиперссылок (можно добавить из документации). Основными элементами пользователя являются панели меню, кнопки, радиокнопки, панели инструментов.

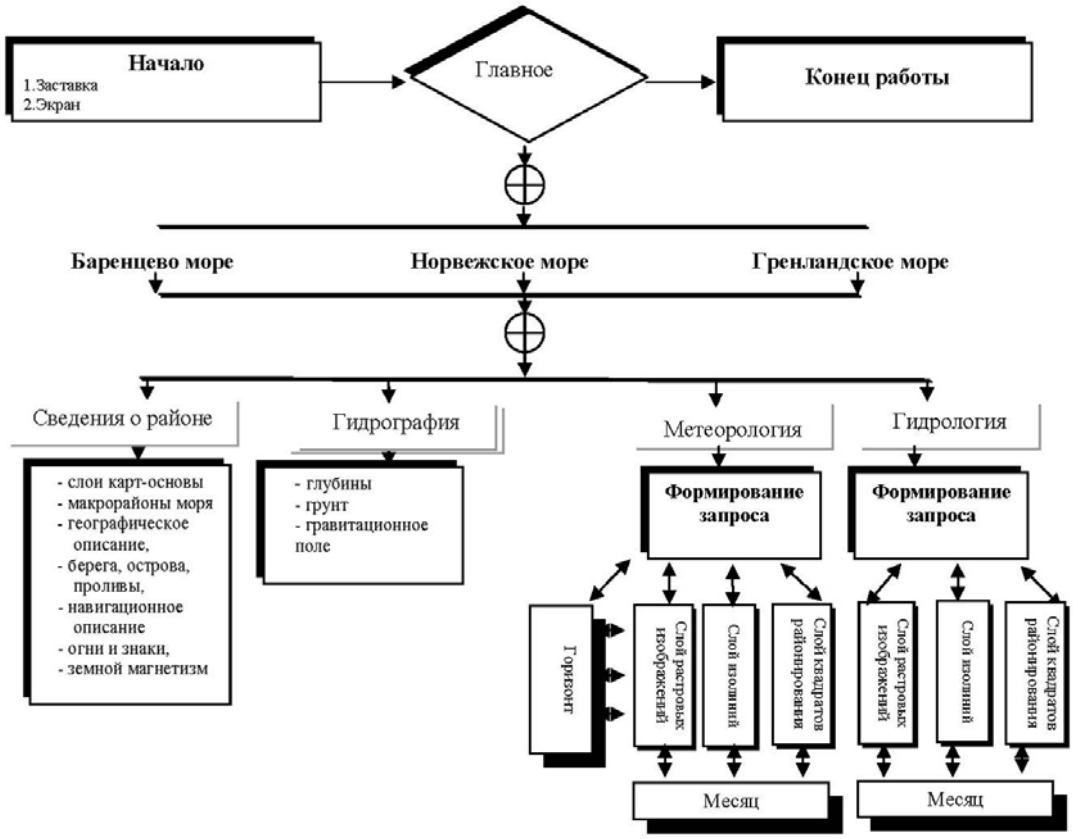

Рис.2. Структура ИСС

Поскольку со стороны пользователей возможны многовариантные виды запросов, то реализуются они путем формирования тематических групп. Механизм формирования тематических групп является эффективным средством анализа и дальнейшего манипулирования либо по отдельности, либо совместно с другими группами.

Пользователю системы представляется возможность сформировать тематическую группу из слоев четырех видов:

– слоя растровых изображений;
– слоя районирования;
– слоя изолиний;
– слоя дополнительной информации.

Информация отображается на единой цифровой картографической основе (проекция – Меркатора, масштаб исходных данных от 1:10000 до 1:500000).

Общая схема подготовки и реализации ИСС представлена на рис. 3. Система является открытой, позволяет легко подключать дополнительные информационные объекты.

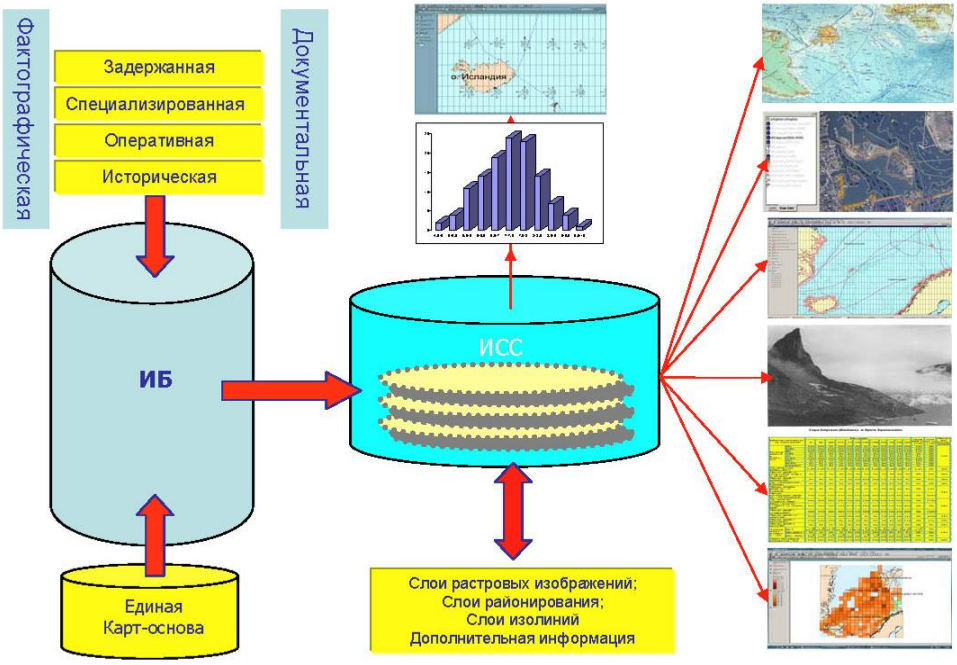

Рис. 3. Общая схема подготовки и реализации ИСС

Макетный образец прошел испытания и включен в каталог инновационных разработок ФЦП по приоритетному направлению «Рациональное природопользование» за 2008 г. [10].

В настоящее время осуществляется модернизация разработанного программного продукта, связанная с переходом на новую программно-аппаратную платформу. Предполагается формировать ИБД на основе СУБД Oracle, а в качестве базовой основы для ИСС использовать ГИС ArcMap 9.3.

Внедрение в практику морской деятельности на акватории Арктического бассейна комплексной многоплановой ИСС по параметрам морской среды существенным образом повысит эффективность и качество решения практических задач различных отраслей экономики и обороны страны.

Работы по созданию макетного образца информационно-справочной системы могут стать основой создания аналогичных ИСС для других морей арктического бассейна, а также внедрения интегрированных баз данных в перспективные комплексы освещения обстановки на море, подготовки нормативных, технических и организационно-методических документов, которые используются при разработке, производстве и эксплуатации ИСС о параметрах природной среды, разработке новых и корректировке действующих нормативно-методических межведомственных документов, регламентирующих порядок информационного обеспечения о состоянии природной среды Мирового океана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морская доктрина Российской Федерации на период до 2020 года: Распоряжение Президента РФ от 27 июля 2001 г. № Пр-1387. // Сб. Национальная морская политика Российской Федерации. СПб, Изд. ГУНИО МО РФ, 2002. – С. 3–25.
2. Морское право. Официальный текст Конвенции ООН по морскому праву с приложениями и предметным указателем. Заключительный акт третьей Конференции ООН по морскому праву. Вводная часть, относящаяся к Конвенции и Конференции. – Нью-Йорк: Организация Объединенных Наций, 1984. – С. 1–226.
3. Алексеев С. П. Основные направления технической политики в области навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения морской деятельности на современном этапе / Тр. VI Российской научно-технической конференции «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии» («НО-2007») – СПб: ГНИНГИ, 2007. – С. 4–12.
4. Туманов В. И., Маклакова С. В. Проектирование реляционных хранилищ данных. – М.: Диалог-МИФИ, 2007. – 333 с.
5. Гасников О. А., Гусева В. И., Ставров К. Г. К вопросу о создании интегрированного банка данных по параметрам среды арктических районов. Тез. докл. итоговой конф. по результатам ФПЦ «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы» за 2008 г. по приоритетному направлению «Рациональное природопользование» 4–5 декабря 2008 г. – М.: Роснаука, 2008. – С. 36–37.
6. Каталог карт и книг. Северный Ледовитый океан. – СПб, Изд. ГУНиО МО, 2006.
7. Гасников О. А. Кодификатор пространственных объектов Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) // Навигация и гидрография , 2008, №26. – С. 81–90.
8. Закс Л. Статистическое оценивание. Пер. с нем. В. Варыгина. Под ред. Ю. Адлера, В. Горского. – М.: Статистика, 1976. – 598 с.
9. Морозов В. П., Тихомиров В. П., Хрусталёв Ю. И. Гипертексты в экономике. Информационная технология моделирования: – М.: Финансы и статистика, 1997. – 256 с.
10. Исследование и разработка методов обработки и использования океанографических данных для обеспечения морской деятельности в арктических районах // Каталог инновационных разработок ФПЦ «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы» по приоритетному направлению «Рациональное природопользование». – М.: «НП ИНКО», 2008. – С. 22–24.

TECHNOLOGY OF CREATING THE INFORMATION-REFERENCE SYSTEM USING THE PARAMETERS OF THE ARCTIC SEAS ENVIRONMENT

K. G. Stavrov,
O. A. Gasnikov,
V. I. Guseva,
L. F. Pushkina,
M. N. Soboleva,
E. A. Usoltseva,
E. V. Suverneva
(GNINGI, RF MoD)

The problem of automation of navigation-hydrographic and hydrometeorological information support for organizations and departments is considered. The technology of creating the information-reference system using the parameters of the Arctic seas environment based on the geoinformation systems is presented.

ГРНТИ 78.25.31.35.29.29

НАВИГАЦИОННАЯ ПОВЕРХНОСТЬ – НОВАЯ ФОРМА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ СЪЕМКИ РЕЛЬЕФА ДНА В ИНТЕРЕСАХ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ

Э. С. ЗУБЧЕНКО
(ВМА им. Кузнецова Н. Г.)

Изложена концепция новой формы представления данных съемки рельефа дна в виде цифровой модели, объединяющей данные об измеренных глубинах с подробностью, достигнутой при съемке, и данные о неопределенности оценки значений глубин, включенных в модель, получившую у зарубежных гидрографов название «навигационная поверхность». Рассматриваются технологии построения такой цифровой модели и метод ее генерализации при построении на ее основе производных моделей рельефа дна судоходных акваторий.

В настоящее время гидрографические службы (ГС) ведущих стран мира (так же, как и ГС ВМФ) не имеют универсальной базы данных (БД), содержащей доступную информацию о глубинах, отличной от данных, полученных в результате цифрования бумажных навигационных морских карт (НМК) или планшетов промера, которые содержат только изобаты, соответствующие навигационному предназначению карты, составляемой по результатам съемки. Новые картографические продукты могут быть созданы либо путем использования данных новой съемки более высокой разрешающей способности, либо путем выполнения кропотливого согласования разнообразных исторических первоисточников.

Концепция нового подхода к созданию цифровой модели для управления, хранения данных съемки рельефа дна и создания производных картографических продуктов в интересах обеспечения безопасности судоходства и других прикладных задач разработана в 2001 г. Ш. Смитом из NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration – Национальное управление по океану и атмосфере) США, а предложенный тип модели назван автором «навигационной поверхностью» (НП) [1]. По своей сути данный подход, как будет показано ниже, может рассматриваться как новый принцип картографирования рельефа дна судоходных акваторий.

Управление Прибрежной съемки (Office of Coast Survey) NOAA, ведающее съемкой прибрежных и территориальных вод США и созданием НМК на эти акватории [2] уже использует концепцию НП при обработке и представлении данных съемки и навигационного картографирования благодаря главному достоинству НП – представлению рельефа дна с самой высокой разрешающей способностью, достигаемой при съемке [1].

Данный подход используется ГС Канады, чтобы создать третье поколение цифровых навигационных карт [3].

По определению автора концепции НП – база данных и набор инструментальных средств с целью создания и использования батиметрических моделей для навигации. Модель представляет в каждом регулярном узле сетки глубину и погрешность ее оценки (в современной стандартизированной терминологии – неопределенность оценки глубины). [3]. Замена терминов «точность» и «ошибка (погрешность)» термином «неопределенность» вызвана тем, что «ошибка (погрешность)», определяемая как разность между измеренным и истинным значениями, вследствие невозможности знания истинного значения не может быть установлена. Поэтому неопределенность – статистическая оценка вероятной величины ошибки. Этот термин стал использоваться в измерении как официальный (см., например, «Guide to the expression of uncertainty in measurement» ISO/IEC 98 [4] и «International Vocabulary of Metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)» ISO/IEC 99 [4]).

В цитируемом документе [4] введен также термин «поверхность неопределенности», который определяется как модель рельефа дна, описывающая неопределенность глубины в узлах регулярной сетки по непрерывной области на район съемки. Основанием для включения этого термина в качестве официального послужило то, что многие коммерческие пакеты программ компьютерной статистической обработки батиметрии, например, CUBE, QINSy, способны генерировать «поверхность неопределенности», объединяемую с батиметрией, используя или оценки суммарных ошибок измерения глубины и ее положения, или применяя статистическую оценку в пределах ячеек сетки на район съемки. Поверхность неопределенности – один из методов количественной оценки качества выполненной съемки рельефа дна (в дальнейшем для краткости – съемки).

Современные гидроакустические системы съемки: многолучевые эхолоты (МЛЭ), интерференционные гидролокаторы бокового обзора и многоантенные эхолоты (эхотралы с антеннами вертикального излучения и приема) позволяют получать данные о рельефе дна с высокой подробностью. Например, при съемке акватории с глубинами 20 м с помощью МЛЭ, имеющего угловое расстояние между приемными лучами 1,5º, подробность съемки соответствует регулярной сетке с размером ячейки 1 м $\times$ 1 м. Использование данных о рельефе дна с таким уровнем пространственного разрешения могло бы существенно повысить эффективность использования крупнотоннажных судов в прибрежной зоне, а также эффективность изучения и освоения прибрежных морских акваторий.

Существующая технология отображения рельефа на НМК основана на принципе отбора наименьших глубин и на принципе построения модели рельефа дна, разрешающая способность которой определяется масштабом НМК, а не стремлением наиболее подробно отобразить рельеф дна. Следствием этого является потеря с большими затратами полученных при съемке детальных данных, которые могли бы быть использованы и для многих других (не только навигационных) практических целей.

Недостатком существующей технологии составления НМК является также отсутствие дифференциации представляемых на карте данных о рельефе в зависимости от их неопределенности.

Концепция представления данных съемки в виде НП рассматривается как альтернатива традиционному методу представления информации о рельефе дна (на НМК) для создания баз батиметрических данных, сохраняющих самый высокий уровень детальности, достигнутый при съемке, и обеспечивающих получение на их основе разнообразной производной картографической продукции. При этом в дополнение к глубинам как составителю карты, так и пользователю данными о рельефе дна предоставляется информация в виде неопределенностей глубин. Такой подход позволяет интегрировать в БД батиметрическую информацию из различных источников. В основе концепции – представление рельефа дна в виде цифровой модели, которая оптимизируется для обеспечения безопасности навигации и одновременно сохраняет пространственную разрешающую способность, полученную при съемке [5]. Новый метод построения цифровой модели рельефа дна (ЦМРД) исключает субъективность существующего метода отбора глубин для нанесения их на НМК и состоит в создании из данных съемки статистической модели рельефа дна, названной НП. Модель представляет глубины и неопределенности их значений в узлах детальной регулярной пространственной сетки. Общее значение неопределенности вычисляется как сумма погрешностей среднего значения ближайших глубин, экстраполируемых в данный узел сетки, и предвычисленной неопределенности (погрешности) каждой измеренной глубины. Вычисленное для каждого узла значение неопределенности глубины становится интегральной частью ЦМРД. Модель затем оптимизируется, чтобы сохранить наименьшие глубины над значимыми деталями рельефа дна.

Новый метод одинаково применим для данных, полученных различными современными техническими средствами съемки: однолучевыми, многолучевыми и многоканальными эхолотами, авиационными лазерными батиметрическими системами.

При построении НП используются все данные измерений глубин и их координат, представляемых в виде набора площадок с глубинами на них, отличающимися на заранее устанавливаемую величину.

Методика, используемая для основного процесса построения ЦМРД, заключается в присвоении веса измерению при осреднении в узел сетки в зависимости от размера площадки (следа), с которой производился прием отраженного дном ультразвукового сигнала эхолота и угла наклона приемного луча эхолота, как осуществлено, например, в программном пакете HIPS фирмы CARIS [1]. Данная методика обеспечивает построение наиболее вероятной поверхности, и не преследует цели сохранения наименьших глубин.

Для простоты и соответствия структуре получаемых при съемке данных, при построении НП используется регулярная сетка с шагом, аппроксимирующим номинальный размер следа луча эхолота на дне в районе съемки. Не исключается возможность применения переменного шага сетки – на тех участках съемки, где наиболее вероятная НП, неадекватная задаче обеспечения требований безопасности навигации, шаг сетки ЦМРД в интересующем месте должен быть соответствующим образом изменен. От

правила использования глубин в регулярной сетке отступают в случае естественной (например, скала) или искусственной (например, затонувшее судно или конструкция) навигационной опасности на дне. Тогда в модель должны включаться наименьшая измеренная над опасностью глубина, а также измерения высокой определенности (например, прямое измерение, сделанное водолазом над выявленным подводным препятствием).

Один из способов вычисления неопределенности заключается в расчете погрешности каждой измеренной МЛЭ глубины с учетом характеристик используемого эхолота и морской среды во время съемки. Вычисленные погрешности используются в качестве меры неопределенности. Разработана соответствующая процедура для объединения этих данных в автоматизированный процесс создания как модели глубины, так и модели неопределенности из необработанных данных съемки МЛЭ, например, программный пакет CUBE – Combined Uncertainty and Bathymetry Estimation) [5]. В местах съемки, где выполнено многократное зондирование той же самой площади морского дна, модель предвычисленной погрешности становится функцией числа измерений глубины около узла. За счет осреднения измеренных значений глубины предвычисленная погрешность может быть уменьшена.

Рассмотрим принцип отбора глубины для включения в модель (генерализацию глубин) при построении НП на примере обработки данных съемки МЛЭ.

Предложенный для этого в работе [5] алгоритм заключается в следующем. На вход алгоритма поступают измеренные МЛЭ глубины, и с помощью алгоритма производится оценка истинной глубины в узлах сетки, построенной на район съемки. В каждый узел алгоритм присваивает вычисленную оценку наиболее вероятного значения глубины и корень квадратный дисперсии *апостериорного распределения* этой глубины. По мере поступления новых данных алгоритм обновляет эти значения. Чтобы исключать помехи или отклонившиеся значения глубин, в алгоритме предусмотрена процедура, с помощью которой поступающие значения глубины сравниваются с текущими оценками: если данные выходят за пределы ожидаемой неопределенности, тогда они анализируются отдельно. Следовательно, каждый узел представлен набором потенциальных оценок глубины, или гипотез – каждая с оценкой глубины и полученной из опыта ее дисперсии. После того, как все анализируемые глубины введены, выбирается наиболее вероятная гипотеза в каждом узле согласно устанавливаемому критерию. Цель состоит в том, чтобы определить наиболее вероятную глубину, выбирая гипотезу, которая окажется наиболее вероятной, учитывая, например, число измеренных глубин, которые согласованы с текущей глубиной и согласованность с соседними глубинами или в последовательности данных. Таким образом строится ряд статистически состоятельных оценок глубины в ее местоположении. Тогда эти оценки для каждого узла могут быть связаны в описание рельефа дна участка акватории двумя поверхностями: поверхностью, моделирующей сам рельеф, и поверхностью неопределенности положения первой поверхности по глубине. Так как алгоритм заключается в оценке глубины и неопределенности

измерений он назван «Объединенным оценщиком неопределенности и батиметрии – Combined Uncertainty and Bathymetry Estimator (CUBE)».

Основной элемент CUBE – узел оценки, определенный относительно принятой геодезической системы отсчета, поэтому неопределенность планового положения для него не устанавливается. Это значит также то, что в узле должно быть единственное значение глубины и требуется установить только неопределенность присвоенного для данного узла значения глубины. Другое непосредственное следствие этого основного определения – то, что алгоритм должен определять только одну неизвестную постоянную, что делает задачу оценки значительно более простой. При этом принимается гипотеза, что все измерения глубин в области являются несмещенными (т. е. в среднем представляют истинную глубину), и тогда не имеет значения то, в какой последовательности обрабатываются данные. В частности, обработка может осуществляться в соответствии с порядком, в котором измерения зарегистрированы. Каждый узел, таким образом, получает последовательность данных, представляющих измерения в его непосредственной близости. Алгоритм должен определить наилучшую оценку истинной глубины из этой последовательности.

Вначале с помощью алгоритма CUBE для каждого измерения вычисляются погрешности глубины и ее планового положения с использованием математического аппарата «распространения погрешностей», заключающегося в вычислении суммы дисперсий аргументов функции нескольких переменных, чтобы преобразовать погрешности измерений эхолотом и вспомогательными датчиками (приемником спутниковой радионавигационной системы, инерциальной навигационной системы, датчиком вертикальной качки, датчиком курса, датчиком скорости звука в воде) в суммарные погрешности для каждой глубины и ее положения [6]. Для этого требуются данные об инструментальных погрешностях используемых датчиков (например, погрешности измерения эхолотом наклонного расстояния, погрешности курсоуказателя, погрешность датчиков угловой и вертикальной качек, погрешность измерения положения и ориентации антенны эхолота, погрешность значений скорости звука в воде и т. д.). Модели обеспечивают получение оценок погрешностей – неопределенностей измерения глубины и ее положения в ее номинальном местоположении. Так как используется сеть фиксированных узлов, необходимо, скомбинировав погрешности глубин и их местоположения, экстраполировать их в соответствующий узел оценки. Математически эта задача состоит в том, чтобы оценить глубину в данной точке по измеренным глубинам в непосредственной близости. Чтобы количественно определять оценку глубины, мы должны также обеспечить оценку неопределенности (погрешности) глубины. Следовательно, необходимо делать прогноз глубины и ее неопределенности в оценочном узле даже и для случая грубого выброса в измерениях.

Следуя работе [7], рассмотрим суть алгоритма CUBE более подробно.

Пусть $N = \{n_j \in R^2,\ j \in N\}$ – множество местоположений узлов оценки, а $\xi_j = (d_j, \sigma_j^2)^T$ – вектор-столбец оценки глубины d_j и ее неопределенности σ_j в

j-ом узле, n – номер отсчета глубины в данной выборке; R, N – стандартные множества для действительных натуральных чисел.

Предполагаемая непрерывность и локальная гладкость поверхности дна позволяет использовать функцию, описывающую локальную батиметрическую поверхность. Пусть $s_i = (\zeta_i, \sigma^2_{H,i}, \sigma^2_{V,i})^T$ – вектор экстраполируемой в узел глубины, составляющими которого являются оценки самой глубины и дисперсии погрешностей глубины и ее планового положения. Пусть также $\delta_{ij} = \|x_i - n_j\|$ – расстояние экстраполяции. Тогда решение задачи формирования прогноза вектора s_i в узел j можно представить в виде модели:

$$e_j(s_i) = \begin{bmatrix} d_{ij} \\ \sigma^2_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{ij} = F(\varsigma_i) \\ \sigma_{ij} = \sigma^2_{V.i}\left[1 + \left(\dfrac{\delta_{ij} + s_H \sigma_{H,i}}{\Delta_{\min}}\right)^{\alpha}\right] \end{bmatrix}, \qquad (1)$$

где $F(\zeta_i)$ – линейный оператор экстраполяции в оценочный узел глубины ζ_i, измеренной эхолотом в номинальном местоположении $x_i \in R^2$;

s_H – масштабный коэффициент для наихудшей ожидаемой погрешности планового положения глубины (обычно $s_H = 1{,}96$);

$\Delta_{\min}$ – минимальный интервал между узлами сетки; α – показатель степени, принимаемый обычно равным 2: $\alpha = 2$.

Для экстраполяции глубины ζ_i используется локальная батиметрическая модель, которая предполагает, например, что поверхность дна в окрестности узла оценки имеет постоянный наклон (как показано на рис. 1).

Как следует из выражения (1), неопределенность оценки глубины возрастает с увеличением расстояния δ_{ij}, и учитывает погрешности определения планового положения глубины. Т. е. модель оценки неопределенности объединяет горизонтальную и вертикальную неопределенности (погрешность планового положения и погрешность глубины) с учетом удаления глубины от узла на дополнительное расстояние $s_H\sigma_{H,i}$ от номинального местоположения в обратном направлении на узел. Чтобы оценить, не является ли предъявленное значение глубины d_{ij} отклонением (выбросом), необходимо иметь аппарат оценки вероятного отклонения глубины. После того, как глубины экстраполированы во все близлежащие узлы, алгоритм должен решить, как ассимилировать эти глубины с текущим состоянием знания о глубине в ее местоположении. На первой стадии решения применяется медианная фильтрация (один из видов цифровой фильтрации с помощью окна, состоящего из нечётного количества отсчётов). Значения отсчётов внутри окна сортируются по порядку; а среднее значение, то есть значение, находящееся в середине упорядоченного списка, принимается выходным значением. На следующем шаге окно передвигается на один отсчёт вперёд, и вычисления повторяются. Чтобы фильтр можно было применить к крайним значениям массива, они дублируются в первом и последнем окне. В результате фильтрации исключаются аномально отклонившиеся значения глубин.

Заключительная стадия алгоритма CUBE – оценка того, какое из поступивших в узел значений глубины принять как наиболее вероятное. С этой целью выполняется статистическое тестирование гипотез на основе теоремы Байеса. Алгоритм оценки построен на использовании динамической линейной модели (ДЛМ). Этот рекурсивный алгоритм начинает делать прогноз, как только глубины начинают прибывать на вход, и требует только, чтобы текущая оценка глубины ассимилировала последующую глубину. Эта особенность работы алгоритма CUBE исключает необходимость отслеживать данные в обратном порядке, как только на вход поступает каждая новая глубина.

ДЛМ может быть представлена как система уравнений, определяющая зависимость измерения от текущего состояния процесса. Система уравнений отражает присущую процессу динамику со случайными элементами, моделируемыми случайными отклонениями или помехами. Для временной последовательности отсчетов вероятное значение глубины, соответствующее отсчету с порядковым номером *n*, ДЛМ определяется следующими уравнениями:

$$\xi[n] = \zeta[n] + v[n];\ v[n] \sim N(0, \sigma_j^2[n]); \qquad (2)$$

$$\zeta[n] = \zeta[n-1] + w[n];\ w[n] \sim N(0, W[n]), \qquad (3)$$

где $\xi[n]$ – оценка вероятного значения глубины при номере отчета n;

$\zeta[n]$ – текущее значение глубины;

$\zeta[n-1]$ – предшествующее значение глубины;

$v[n]$ – дисперсия шумовой помехи измерений, имеющая нормальный закон распределения $N(0, \sigma_j^2[n])$ с параметрами 0 и $\sigma_j^2[n]$;

$w[n]$ – ожидаемое случайное изменение глубины, также имеющее нормальное распределение $N(0, W[n])$ с параметрами 0 и $W[n]$.

Модель можно упростить, приняв, что глубина в данной выборке постоянна. Тогда и второй параметр нормального распределения $w[n]$ также принимается равным нулю: $W[n] = 0$.

Границы независимости глубин при их ассимиляции в узел *j*, определяются расстоянием δ_{ij}, на которое анализируемая глубина удалена от узла. Оно удовлетворяет условию $\delta_{ij} \le \Delta_{\max}(i)$, где $\Delta_{\max}(i)$ определяется из выражения

$$\Delta_{\max}(i) = \max\left\{\Delta_{\min}, \Delta_{\min}\sqrt[\alpha]{\frac{\sigma_{\max}^2}{\sigma_{V,i}^2} - 1} - s_H \sigma_{H,i}\right\}, \qquad (4)$$

в котором σ_{max} – максимальная допустимая для съемки погрешность глубины в соответствии со стандартом S-44 [4].

Пусть $E_j=\{e(s_i)\colon\ s\in S_j\} = \{e_j[0],\ldots, e_j[N_j - 1]\}$, где $N_j = |S_j|$, – набор экстраполируемых в j-ый узел глубин, пронумерованных, например, в порядке поступления от эхолота. Эта последовательность оценок глубины, рассматривается как псевдовременная последовательность в виде $e_j[n] = (d_j[n],\ \sigma_j^2[n])^T$, $0 \le n < \mathrm{N_j}$. Текущая оценка глубины в j-ом узле $\zeta_i[n] = \left(\pounds_j[n\,|\,n], \text{€}_j^2[n\,|\,n]\right)^T$ может быть оптимально уточнена по предшествующим данным в такой последовательности [8]:

$$\text{€}_j^2[n\,|\,n-1] = \text{€}[n-1\,|\,n-1]; \tag{5}$$

$$\pounds_j[n\,|\,n-1] = \pounds_j[n-1\,|\,n-1]; \tag{6}$$

$$G_j = \frac{\text{€}_j^2[n\,|\,n-1]}{\text{€}_j[n\,|\,n-1] + \sigma_j^2[n]}; \tag{7}$$

$$e_j[n] = d_j[n] - \pounds_j[n\,|\,n-1]; \tag{8}$$

$$\pounds_j[n\,|\,n] = \pounds_j[n\,|\,n-1] + G[n]e_j[n]; \tag{9}$$

$$\text{€}_j^2 = G[n]\sigma_j^2[n], \tag{10}$$

которая эквивалентна фильтрации Калмана.

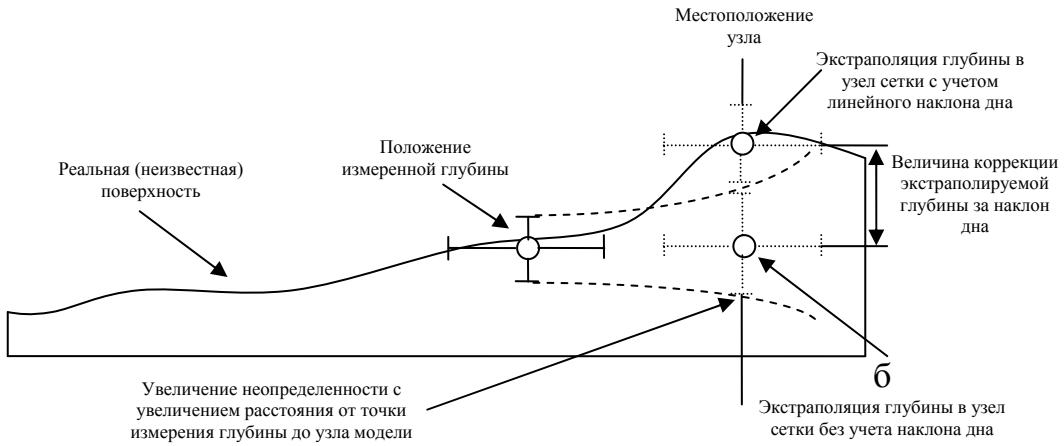

Рис. 1. Принцип экстраполяции значения глубины и неопределенности ее измерения в узел сетки модели, учитывающий изменение глубины и увеличение неопределенности в зависимости от удаления точки измерения от узла сетки

Принимаемая в CUBE модель постоянной глубины в окрестности узла, во многих случаях практически не совместима с реальными данными: на одно и тоже место приходятся различные глубины. Неисправленные глубины привели бы к отказу алгоритма оценки истинной глубины. Для проверки основной гипотезы, что (тестируемая глубина совместима с моделью), глубина и ее текущая оценка должны согласовываться в пределах прогнозируемой неопределенности измерения. Если такого согласования (в статистически существенной степени) нет, то алгоритм получает достаточное доказательство, чтобы считать значение глубины отклонение (рис. 2).

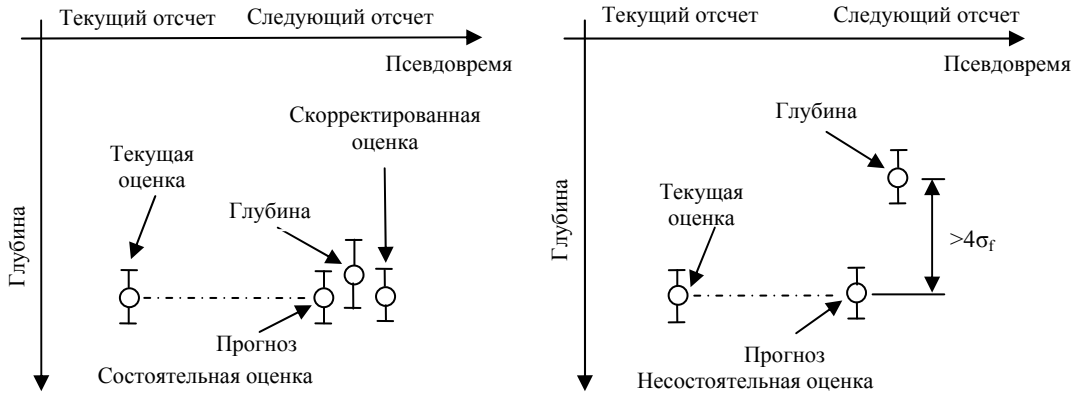

Рис. 2. Схема процедуры сравнения поступающей на вход алгоритма глубины с прогнозируемой ДЛМ оценкой

Чтобы обеспечить устойчивость алгоритма, необходимо также учитывать длительные дрейфы, когда данные измерения глубин и модель расходятся медленно, в этом случае происходит постепенное разрушение модели, и она становится неадекватной для существенного количества выборок. Устойчивость алгоритма достигается использованием последовательно контролирующего фактора Байеса, который определяется как целая часть отношения вероятности текущей оценки глубины и ее текущего значения. Это подобно тесту максимума правдоподобия, но вместо того, чтобы максимизировать вероятность, фактор Байеса усредняет ее по параметрам. После того, как отказ обозначен, алгоритм должен предположить, что необходима другая потенциальная оценка глубины, и инициализировать другую ДЛМ, чтобы представить новую оценку. Алгоритм одновременно поддерживает все модели, пока не сделает выбор относительно какой-либо глубины, чтобы считать ее наиболее вероятной. Поддержание монотонно увеличивающегося списка моделей дает некоторые теоретические трудности, так как необходимо определять, с какой моделью сравнить поступающую глубину. Эта задача решается путем выбора моделируемого значения, которое является самым близким к глубине в наименее искаженным погрешностью смысле с весовой функцией, определенной предсказанной неопределенностью текущей ассимилируемой глубины. Следовательно, если алгоритм указывает на отклонение, можно уверенно строить новый цикл

алгоритма, так как глубина сравнивалась с лучшей располагаемой ДЛМ и не нашла подтверждения согласованности (рис. 3).

Алгоритм CUBE предсказывает, что следующая глубина будет такой же, как текущая оценка, и затем использует это как основную гипотезу, чтобы проверить поступающие данные (исключая более простой вариант – ступенчатое изменение глубины). Если основная гипотеза не может быть отклонена, имеет место ассимиляция глубины по фактору Байеса.

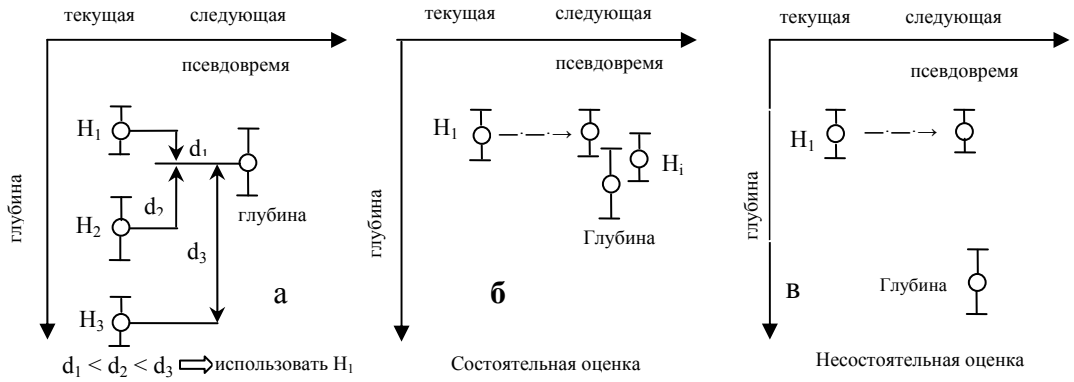

Рис. 3. Тестирование гипотезы о текущей оценке глубины при ассимиляции текущей глубины

Использование минимального различия оцениваемого и тестируемого значения глубины в качестве критерия для ассимиляции глубины (d_1 на рис. 3 а), гарантирует, что выбрана «лучшая» прогностическая модель. Если оценка является несостоятельной (см. рис. 3 в), то необходимо использовать другую модель прогноза текущей оценки и выполнить новый цикл тестирования для анализируемой глубины.

С одной стороны, использование множества гипотез обеспечивает надежность, с другой – выявляет неоднозначность того, какую глубину следует принять для включения в модель. CUBE осуществляет конфигурируемый механизм снятия неоднозначности выбора «лучшей» гипотезы, используя заранее определенные критерии. Самый простой критерий – выбор гипотезы, которая ассимилировала большинство данных (т. е. гипотезы, которая поддержана бо□льшим количеством включенных глубин). Этот критерий работает в большинстве случаев, но так как не учитываются факторы, определяющие условия измерения, он может приводить к сбою при существенном увеличении неопределенности измерения. Выход из такой ситуации – поиск соседних узлов, в которых при ассимиляции глубины рассматривалась только одна гипотеза, и использование значения глубины в найденном узле как вероятной истинной глубины. Тогда для восстановления значения глубины в данном узле используется глубина, самая близкая к этому значению. Другой подход – использование модели поверхности дна с более низкой разрешающей способностью, созданной по данным предыдущей или текущей съемки. Так

как эта поверхность используется только как оценка глубины, которую можно ожидать в данной точке, ее составление может выполняться по менее строгим правилам. Для этого, например, можно или использовать осредненные данные с низкой разрешающей способностью, или интерполировать глубины с планшета предыдущей съемки, или даже с НМК, если в распоряжении нет других данных о глубинах.

В дополнение к глубине алгоритм CUBE рассчитывает неопределенность, связанную с оценкой глубины, а также предоставляет данные о числе гипотез, доступных в узле, и меру того, насколько статистически состоятелен выбор гипотезы, который был сделан алгоритмом. Каждая из перечисленных величин – скалярная величина, и, следовательно, может быть представлена как поверхность, или ее комбинация с поверхностью глубины. Такое представление данных о модели рельефа дна позволяют пользователю более объективно оценивать навигационную обстановку, и, следовательно, принимать более обоснованные решения. На выходе CUBE – ряд векторов данных на каждый узел. Естественно представить их как отдельные поверхности, но важно отметить, что оценки CUBE строги только как оценки в точке, и для любой промежуточной точки между узлами требуется отдельное рассмотрение.

Схематически алгоритм ассимиляции глубины в оценочный узел показан на рис. 4 [7].

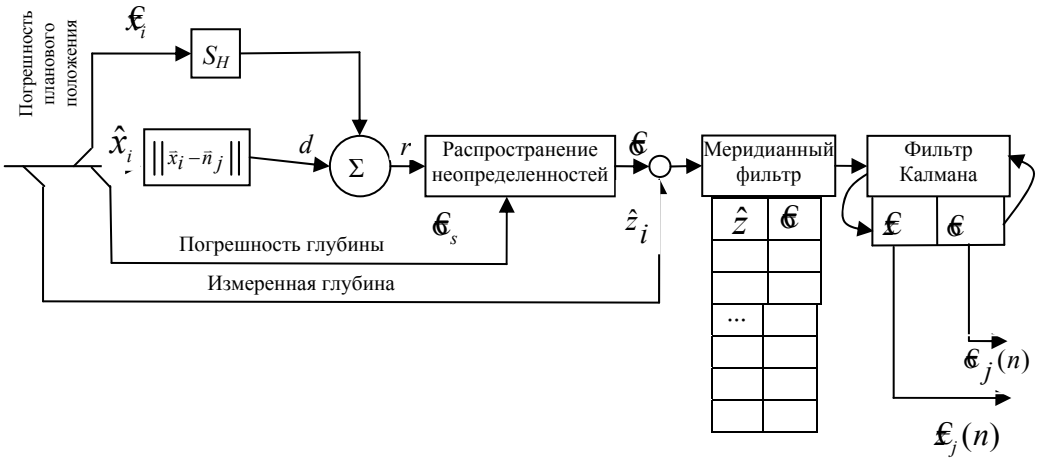

Рис. 4. Алгоритм ассимиляции глубины в узел сетки навигационной поверхности

Из рис. 4 следует, что после вычисления суммарной (распространенной) неопределенности в зависимости от расстояния от точки измерения до узла оценки измеренная глубина со значением неопределенности поступает на вход медианного фильтра для отбраковки выбросов. Затем данные поступают на вход фильтра Калмана, с помощью которого получают оценки значения глубины и ее неопределенности в текущем узле.

Другой подход моделирования неопределенности заключается в вычислении стандартной погрешности взвешенного среднего измерений. Этот метод используется, например, в программном пакете Commercial-Off-

The-Shelf (COTS) [3]. Общая проблема при использованием этого подхода состоит в том, что невозможно различить области большого уклона или высокой изменчивости рельефа морского дна и области большой погрешности, так как погрешности измерения глубины на участках дна с большими уклонами из-за погрешности определения местоположения носителя нельзя отделить от погрешностей измерения глубины.

Для построения ЦМРД для участков дна, не покрытых съемкой, например, междугалсовых областей или промежутков между промерными полосами, и вычисления неопределенности интерполированных глубин может использоваться метод кригинга – построения поверхности по данным на нерегулярной сетке на основе метода геостатистики – вариаграммного анализа – для установления коррелятивности в зависимости от направления и расстояния между точками измерений, при котором учитывают все пары точек, удаленные друг от друга на различные расстояния [8]. При этом оценивают погрешности измерений и погрешности интерполяции, базируясь на статистически устанавливаемых показателях пространственной изменчивости глубины в направлениях характерных деталей рельефа дна.

Недостаток данного подхода в том, что вычисляемую вариограмму принимают для всей области съемки. Это приводит к тому, что оценка неопределенности на ее основе не учитывает локальные характеристики изменчивости рельефа морского дна. Модель батиметрии интересующего участка морского дна для интерполяции ЦМРД между промерными галсами строится в виде нерегулярной треугольной сети, которая затем объединяется со взвешенной средней сеткой, смоделированной на остальную часть акватории. Для областей между промерными галсами, обследованных с помощью ГБО, неопределенность устанавливается равной максимальной высоте не обнаруживаемого на дне объекта, например, 1 м.

На рис. 5 [3] показана модель поверхности неопределенности на участках акватории по данным съемки однолучевым эхолотом (слева) и МЛЭ с пропусками межу полосами съемки (справа). Вертикальная ось трехмерной поверхности – значение неопределенности глубины: более высокие значения соответствуют участкам дна с максимальным расстоянием между промерными галсами.

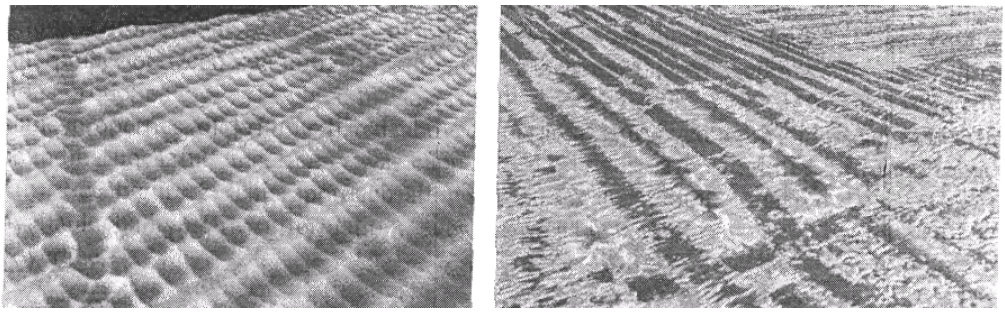

Рис. 5. Модель поверхности неопределенности на участках акватории, для которых производилась интерполяция измеренных глубин по данным съемки однолучевым (слева) и многолучевым эхолотом с пропусками между полосами съемки (справа)

Для интерполированных глубин неопределенность – функция расстояния до самого близкого узла и локальной изменчивости морского дна.

Этот подход позволяет создавать БД глубин с наиболее подробной доступной батиметрической информацией даже в областях, где отсутствует современное полное обследование морского дна.

Некоторые области морского дна имеют динамический характер и могут изменяться во временных масштабах от дней до десятков лет. Для этих типов областей может использоваться модель НП с назначаемым коэффициентом «непостоянства» на каждый узел, который определяется «возрастом» съемки. Полученная таким путем составляющая неопределенности добавляется к первоначальной неопределенности. Кроме того, если последующее событие (землетрясение, шторм, установка волнореза) вызывает подозрение в возможном изменении глубин, для данной области акватории может быть установлена дополнительная неопределенность. Полная неопределенность, исправленная с учетом «возраста» съемки, может придать акватории статус несоответствующей безопасному судоходству.

Чтобы быть как эффективной, так и точной, БД НП должна поддерживаться на современном уровне, и в ней должны быть устранены все противоречия, возникающие при ее создании вследствие использования разнородных источников. Замена устаревших данных новыми в БД может быть сделана на основе следующих положений: узел с большей неопределенностью заменяется узлом с меньшей неопределенностью; более старые данные (когда они уже не являются адекватными) заменяют на новые; узел с большей глубиной заменяется узлом с меньшей глубиной.

Как только поверхности глубины полной разрешающей способности и им сопутствующие неопределенности будут собраны, выверены и сохранены, БД может использоваться для создания картографической продукции разнообразного назначения, в том числе и НМК.

При использовании концепции НП генерализация исходной модели производится в процессе создания ЦМРД требуемой подробности несколькими последовательными процедурами так называемой «буферизации».

Первый шаг в процессе генерализации заключается в том, что для каждого узла в модели большие значения глубин в смежных узлах корректируются с учетом их вероятного смещения в сторону мелководья на величину круговой погрешности их планового положения. Это так называемая «расфокусировка» НП для учета погрешности местоположения измеряемой глубины. Этот шаг должен препятствовать созданию картографического объекта, который создавал бы впечатление безопасной воды на мелководье в пределах погрешности планового положения глубины. Для современных съемок, выполненных с использованием высокоточных радионавигационных систем или дифференциального режима обсерваций по СНС, когда погрешность определения местоположения глубины близка к размеру следа приемного луча эхолота, этот шаг не приводит к изменению исходной НП. Такая процедура выполняется лишь в том случае, когда погрешность определения места существенно больше размеров следа на дне приемного луча эхолота.

Буферизация, или построение буферной зоны, – один из приемов обработки линейных элементов, применяемых в геоинформационных технологиях, с помощью которой создается новая линия, которая прокладывается на заданном расстоянии от исходной линии (или границы полигона). Если теперь построить буферную зону такой же ширины относительно полученной линии, но в сторону исходной линии, будет создана генерализированная версия первоначальной линии, которая соответствует границе второй буферной зоны. Эта основная методология положена в основу генерализации исходной НП для соответствующего масштаба производной модели и для этого случая получила название «трехмерной двойной буферизации».

Она заключается в последовательном построении трехмерной буферной зоны относительно исходной НП, а затем в построении новой трехмерной зоны относительно расфокусированной поверхности в сторону исходной, т. е. двойная расфокусировка исходной НП. Во всех случаях расфокусированная поверхность равна исходной или более мелководна.

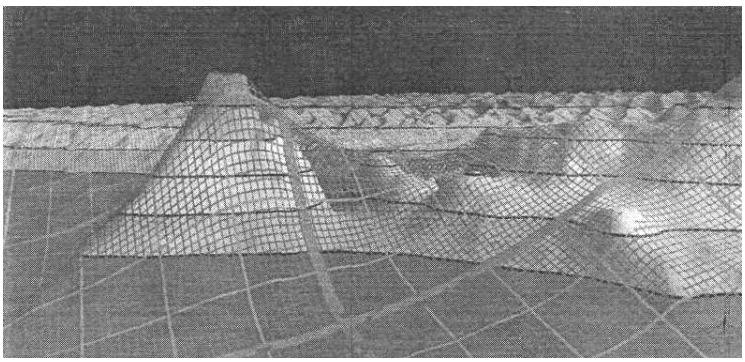

Рис. 6. Исходная (с более мелкой сеткой узлов) и генерализированная способом трехмерной двойной буферизации модель навигационной поверхности

На рис. 6 показано положение пика скалы, которое точно совпадает в генерализированной и оригинальной моделях. Данный способ позволяет сохранить детали рельефа дна мелководья, но сглаживает небольшие регулярные формы рельефа типа желобов между песчаными грядами.

Изменяя ширину буферной зоны, для различных видов продукции можно применить различные уровни расфокусировки. Следовательно, при данном способе генерализации детали рельефа мелководья сохраняются, и получающаяся поверхность может использоваться для построения изобат.

После завершения генерализации из модели непосредственно могут быть извлечены изобаты, области глубин и отдельные глубины.

Рассматриваемый подход обеспечивает методику, позволяющую количественно оценить качество выполненной съемки. Он также предоставляет возможность повысить информативность данных о глубинах, используя данные о приливе, охватывающие диапазон амплитуды прилива на данной акватории и учитывающие неопределенность предсказываемой высоты прилива.

Новый подход к представлению данных о рельефе дна позволяет также достичь большей объективности при автоматизированном построении изобат. Изобаты, построенные по НП, не исключают мелководных особенностей рельефа дна. Более подробное отображение на электронной навигационной карте рельефа дна изобатами требует наличия наиболее детальной ЦМРД, полученной по данным съемки, и преобразования исходных данных съемки с использованием ряда объективных правил [9].

Концепция НП применима при картографировании судоходных акваторий от уровня «район съемки» до уровня «регион», включающего несколько районов съемки или всю картографируемую акваторию моря, т. е. БД глубин и их неопределенностей на интересующий регион будет создаваться с наибольшей разрешающей способностью. Она также дает возможность интегрирования в БД материалов съемок, полученных, например, при авиационной лазерной съемке, редактирование БД с учетом новых данных, создание картографической продукции различного назначения, включая и навигационное.

Представление данных съемки в виде НП позволяет также более эффективно решать задачу установления приоритетности проведения съемки рельефа дна для различных участков морских акваторий, где текущий уровень неопределенности несовместим с предполагаемым использованием данного участка акватории.

Модель неопределенности может использоваться при съемке, чтобы обеспечить выполнение требований заданного стандарта. В этом случае, любой участок акватории, который имеет величины неопределенности, больше чем предусмотренные стандартом для данного диапазона глубин допустимые неопределенности глубины, нуждается в повторной съемке.

Используя поверхность неопределенности, гидрографы могут оптимизировать время съемки, настраивая процесс съемки так, чтобы выполнить требования установленного стандарта. Новый подход позволяет использовать потенциал разрешающей способности выполненной съемки для создания областей глубин с малыми интервалами, что обеспечивает последующее создание цифровых навигационных карт нового поколения.

Выводы

Новый метод представления данных о рельефе дна заключается в создании статистической модели рельефа дна, названной «навигационная поверхность», представляющей значения глубин и неопределенности их значения в узлах детальной пространственной сетки.

Метод построения модели заключается в оценке истинной глубины в узлах сетки на район съемки. Для каждого узла сетки с помощью динамической линейной модели вычисляется оценка наиболее вероятного значения глубины и дисперсии *апостериорного распределения* этой глубины. Значения глубины в окрестностях каждого узла сравниваются с текущими оценками путем статистического тестирования гипотез на основе теоремы Байеса, позволяющей выбрать наиболее вероятную гипотезу в каждом узле согласно устанавливаемому критерию. Таким образом, строится ряд статистически состоятельных оценок глубины в ее местоположении. Эти

оценки для каждого узла могут тогда быть связаны в описании рельефа дна участка акватории двумя поверхностями: поверхностью, моделирующей сам рельеф, и поверхностью неопределенности положения первой поверхности по глубине.

Представление модели в необходимом масштабе осуществляется методом двойной трехмерной буферизации. Оптимизация модели для обеспечения безопасности навигации заключается во включении в модель наименьших глубин над навигационными опасностями.

Данный метод представления рельефа дна имеет следующие преимущества перед традиционным:

– модель сохраняет разрешающую способность, достигнутую при съемке рельефа дна;
– модель исключает погрешности измерения глубин.

Модель обеспечивает возможность автоматической генерализации при создании производной модели более мелкого масштаба.

Используя навигационную поверхность как базу данных, можно построить или получить различные продукты (изобаты, отобранные глубины, площади глубин, цифровые модели).

Такой подход позволяет достичь большей объективности процесса автоматизированного проведения изобат на электронной навигационной карте (ЭНК) и может быть обобщен и на данные съемки многолучевыми эхолотами и батиметрическим ГБО. Он положен в основу для создания третьего поколения ЭНК на основе использования потенциала высочайшей разрешающей способности, современных средств съемки рельефа дна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Armstrong A., Brennan R., Smith S. Implications of the Navigation Surface Approach for Archiving and Charting Shallow Survey Data//FIG Working Week 2004 Athens, Greece, May 22–27, – 2004. (http://www.fig.net/pub/athens/papers/wsh1/WSH1_4_Armstrong_et_al/pdf).
2. http://www.noaa.gov/charts.html.
3. Smith S. M., Alexander L., Armstrong A. The Navigation Surface: A New Database Approach to Creating Multiple Products from High-density Surveys//International Hydrographic Review, – 2002. – Vol. 3. – No. 2, – P. 12–26.
4. IHO standards for hydrographic surveys. 5-th Edition, February 2008 Special Publication No. 44 Published by the International Hydrographic Bureau Monaco. – 2008.
5. Calder B. Automatic Statistical Processing of Multibeam Echosounder Data//International Hydrographic Review. – 2003. – Vol. 4, – No. 1. – P. 53–68.
6. Hare R. Depth and position error budgets for multibeam echosounding // The International Hydrographic Review. –1995. – Vol. LXXII. – № 2. – P. 39–69.
7. Calder B. R. and Mayer L. A. Robust Automatic Multi-beam Bathymetric Processing Center for Coastal and Ocean Mapping & Joint Hydrography Center University of New Hampshire, Durham, NH 03824.(http://thsoa/org/hy01/3_4/pdf)
8. Journel A. G., Huijbregts C. H. J. Mining Geostatistics Academic Press London, New York, San Francisco, – 1978.
9. Smith Shepard M. Navigation Surface Creation and Use for Charting Example-Seacoast New Hampshire// Proceedings US Hydro 2003. (http://www/thsoa/org/hy03/7_4pdf).

NAVIGATION SURFACE – A NEW FORM OF DIGITAL MODEL FOR PRESENTING THE BOTTOM RELIEF SURVEY DATA TO INCREASE THE SAFETY OF NAVIGATION

E. S. Zubchenko
(The Kuznetsov Naval Academy)

The concept of the new form of presenting the bottom relief survey data in the form of digital model combining the data on the measured depth with density achieved during the survey and the data on the uncertainty of evaluation of the depth values included in the model that is termed "the navigation surface" by the foreign hydrographers is presented. The technologies of building such a digital model and the method of its generalization when it is built using the bottom ralief models derivatives as a basis for the navigable water areas are considered.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ГРНТИ: 12.91

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКЕ ПОТЕНЦИАЛА И ТВОРЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СОТРУДНИКОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

В. А. КАТЕНИН
(ГНИНГИ МО РФ)

Рассматривается методический подход по оценке творческой активности сотрудников научно-исследовательской организации. Приводятся формулы для выполнения расчетов по количественной оценке творческой активности научных сотрудников, что позволяет сделать выводы о возможностях научно-исследовательской организации решать сложные теоретические и практические задачи. Показаны пути повышения творческой активности научных сотрудников и поднятия престижа научно-исследовательской организации.

О научно-исследовательской организации принято судить по ее реальным делам (результатам исследований). Известно, что качество научных исследований во многом зависит от глубины проработок, применяемого научно-методического аппарата, числа и квалификации (знания, опыта и умения) исследователей и других факторов (накопленная информация, опытно-экспериментальная база, научно-технические и финансовые ресурсы, организационная структура), которые в совокупности определяются обобщенным понятием *научный потенциал.*

Научный потенциал организации – это ее определяющая характеристика, лицо, паспорт, по которым судят о возможности:

– решения ею крупных научно-технических проблем в установленные сроки;

– заключения договорных отношений для проведения совместных работ по выполнению крупных проектов;

– получения экономической прибыли или политической выгоды от взаимного сотрудничества и др.

Следовательно, забота руководства научной организации о повышении научного потенциала является естественным и необходимым условием ее дальнейшего развития в части повышения:

квалификации научных сотрудников;

материально-технической, экспериментально-лабораторной базы;

благосостояния научного и обслуживающего персонала как единой команды.

Одной из важных характеристик научного потенциала организации является возраст научных сотрудников, который при прочих равных условиях дает возможность оценить работоспособность творческого коллектива при

решении стоящих научных задач. В идеале необходимо иметь сбалансированный состав опытных и молодых ученых, способных по интеллектуальным и физическим параметрам проводить исследования в экстремальных ситуациях и получать нужные научные и практические результаты в море, экспедициях и длительных командировках, а не только за рабочим столом в институте.

Показателем научного потенциала также может служить число дипломированных ученых, работающих в организации.

К сожалению, в последние годы в ГНИНГИ МО РФ наметилась вызванная объективными причинами тенденция к снижению числа дипломированных ученых.

Анализ показывает, если число докторов наук колеблется примерно на одном уровне, то количество кандидатов наук продолжает снижаться. При этом число ежегодных защит кандидатских диссертаций не перекрывает естественной убыли и вынужденного ухода высококлассных специалистов. Предпринимаемые командованием организационные и поощрительные меры замедлили, но не переломили сложившуюся ситуацию в рассматриваемой области, что предстоит сделать в дальнейшем.

Важной характеристикой научного потенциала исследовательской организации, по нашему мнению, является *творческая активность* ее сотрудников. Оценить ее в количественной мере можно по числу патентов, полученных организацией за год, количеству публикаций (монографий, учебников, статей, докладов и т. п.) в различных изданиях за тот же период времени или по числу выполненных НИР.

Предпочтение, на наш взгляд, следует отдать патентам как интеллектуальной собственности, характеризующей новизну проводимых исследований, имеющей рыночную стоимость и позволяющей рассматривать патенты как товар [1] и производить с ними те же процедуры оценки. Величина такого дохода напрямую зависит от коммерческой значимости изобретений, защищенных патентами. Покажем это.

В силу своих особенностей и по определению патенты обладают новизной решений, изобретательским уровнем и пригодностью для промышленного применения [2].

Изобретениями признаются только новые предложения, опережающие современный (мировой) уровень развития техники. При этом основной критерий новизны – неизвестность предполагаемого изобретения из уровня техники, достигнутого на дату приоритета изобретения.

Изобретательский уровень служит дополнительной качественной характеристикой новизны изобретения. Он оценивается на основе общепринятого критерия – знаний специалиста в данной области техники. Для признания изобретательского уровня технического решения оно не должно быть очевидным для специалиста. То есть явным образом (логически) следовать из уровня знаний, которыми может обладать такой специалист на дату приоритета изобретения. **Изобретение – это всегда результат творческого интеллектуального труда.** Поэтому критерием оценки уровня изобретения служат:

– масштаб его отличия от простого инженерного решения, доступного лицу, имеющему обычные знания в той области, к которой относится изобретение;
– получение решения в результате творческого труда.

Под промышленной применимостью понимается пригодность изобретения к использованию в любой отрасли человеческой деятельности, включая промышленность, сельское хозяйство, здравоохранение. Промышленная применимость должна быть подтверждена данными об осуществимости изобретения. Осуществимость изобретения означает возможность его неоднократного воспроизведения (его повторяемость) с помощью правил и средств, предложенных в решении. Поэтому не признаются патентоспособными решения, основанные на принципах, противоречащих признанным научным положениям и законам природы. Такое противоречие обычно свидетельствует об отсутствии решения.

Учитывая вышеизложенное, мы считаем что представительность и приоритетность патентов по отношению к другим видам интеллектуальной деятельности доказана.

В настоящее время в ГНИНГИ МО РФ работает 212 человек, из которых 129 сотрудников непосредственно занимаются научной деятельностью.

Институт выполняет следующие виды деятельности:
– комплексные навигационно-гидрографические и океанографические исследования, морские инженерные (инженерно-гидрографические, инженерно-гидрометеорологические и др.) изыскания;
– проектирование системы навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения безопасности мореплавания;
– разработку проектов средств навигационного оборудования районов плавания;
– проведение экспертизы и сертификации новых средств морских средств навигации, гидрографии, гидрометеорологии и технологий их использования;
– разработка математического обеспечения решения специальных задач;
– подготовка и выдача исходных данных для производства бумажных и электронных навигационных карт и пособий для плавания и др.

Результаты исследований, проводимых Институтом, находят применение в фундаментальной науке, оборонной деятельности на море, морском флоте, нефтегазовой промышленности, судостроении, транспорте, рыбном хозяйстве, аварийно-спасательных операциях, экологии.

В то же время анализ заказов Министерства обороны РФ за последние шесть лет (с 2001 г. по 2007 г.) по профилю деятельности ГНИНГИ показал резкое сокращение финансирования проведения исследований (более чем в 40 раз) и как следствие этого – резкое сокращение числа НИР, которое в 2008 г. составляет 48 работ (20 новые и 28 переходящие).

При этом в среднем на проведение каждой НИР занято более 4 научных сотрудника, а число заявок на изобретения по результатам проводимых исследований составляет, как правило, 1–2 единицы в год. Вызывает определенные опасения и тот факт, что наиболее подготовленные научные сотрудники – доктора наук – весьма слабо участвуют в изобретательской

деятельности. Из 22 докторов наук в подаче заявок на изобретения принимают участие не более 2–3 человек. Примерно такая же картина наблюдается и среди кандидатов наук.

Приведенные данные служат основой для разработки оценки изобретательской активности исполнителей работ – сотрудников ГНИНГИ по заказам МО РФ.

Первоначально разработаем показатели эффективности изобретательской активности, которые должны, по нашему мнению, соответствовать классическим принципам. Такой критерий должен [3]:

– отражать количественную меру эффективности изобретательской активности сотрудника Института;
– иметь однозначное количественное выражение;
– являться эффективным в статистическом смысле и достаточно полным по объему содержащейся информации;
– иметь физический смысл и вероятностную трактовку в соответствии с законом больших чисел;
– быть достаточно простым в расчетном отношении с учетом требований полноты содержащейся в нем информации.

Исходя из сути решаемой проблемы представляется возможным использовать следующие показатели [4]:

1. *Упрощенный показатель изобретательской активности* A_1

$$A_1 = \frac{n}{N}, \qquad (1)$$

где n – число поданных заявок на изобретения;

N – общее число проводимых НИР в течение года.

Недостатком такого показателя, по нашему мнению, является то, что он не учитывает ряд важных факторов, а именно: числа полученных по поданным заявкам положительных решений (патентов), числа сотрудников, участвующих в изобретательской деятельности, общего числа сотрудников института. По этой причине нам представляется целесообразным ввести более сложный показатель изобретательской активности сотрудников института.

2. *Комплексный показатель изобретательской активности* A_2

$$A_2 = \left(\frac{n_1 N N_2}{n N_1} \right)^{-1}, \qquad (2)$$

где n_1 – число полученных положительных решений (патентов);

N_1 – число сотрудников, которые могут участвовать в изобретательской деятельности (число научных сотрудников);

N_2 – общее число сотрудников ГНИНГИ МО РФ.

Разработанные в ходе одной из проведенных автором НИР показатели изобретательской активности исполнителей работ подтвердили этот вывод количественно.

Для наших исходных данных имеем следующие численные значения предложенных показателей эффективности:

$$A_1 = 2/48 = 0{,}04;$$

$$A_2 = \left(\frac{1x48x212}{2x129}\right)^{-1} = 0{,}025.$$

В обоих случаях, чем больше показатель эффективности, тем выше изобретательская активность сотрудников института.

Полученные оценки необходимо интерпретировать, для чего требуется сравнить их с эталонным значением творческой активности научных сотрудников. Выбор эталона – это отдельная научная задача. Можно, по всей вероятности, взять в качестве такого показателя результаты творческой деятельности наиболее показательной в этой области научной или педагогической организации. Так, например, сотрудники Военной академии связи им. С. М. Буденного подают до 50 заявок на изобретения в год. Но очевидно, что это сравнение будет не в полной мере корректным по следующим причинам:

– сфера научной деятельности каждой организации имеет свою специфику;
– число сотрудников, занимающихся научной деятельностью, в каждой организации различно;
– число научно-исследовательских работ, заказываемых головным министерством (ведомством), различно и др.

По нашему мнению, более приемлемым в этом случае будет эталонный показатель, ориентирующийся на следующие постулаты: каждый штатный доктор и кандидат наук должны подать не менее одной заявки на изобретение в течение года или более жесткое требование – каждый научный сотрудник института должен подать не менее одной заявки на изобретение в течение года при условии получения по ним 100% положительных решений.

В этом случае $A_1 = 2{,}7$; $A_2 = 0{,}127$, и реальные показатели отличаются от эталонных в:

– 67,5 раза для A_1;
– 5 раз для A_2.

Полученные эталонные показатели свидетельствуют о недостаточной творческой активности сотрудников ГНИНГИ МО РФ и необходимости повышения ее путем организационных мероприятий материального и морального поощрения.

В Институте из-за непрекращающихся реформ, по сути сводящихся только к сокращению научного потенциала, патентное подразделение отсутствует, что негативно сказывается на всей исследовательской деятельности, в том числе и на изобретательской активности.

Отсутствие специалистов в области патентоведения, автоматизированной поисковой специализированной системы, патентного фонда, научно-методического аппарата в рассматриваемой сфере и

соответствующих организационных мероприятий не способствуют активности в подаче заявок на изобретения по результатам выполненных НИР.

Таким образом, для повышения изобретательской активности сотрудников необходимо:

– увеличить число научных сотрудников, занимающихся изобретательской деятельностью при одновременном снижении числа обслуживающего персонала в условиях постоянства штатного состава Института (увеличить показатель n_1/n);

– увеличить количество научных работ, выполняемых по заказам Министерства обороны (N);

– увеличить качество подаваемых заявок на предполагаемое изобретение с тем, чтобы снизить число отказов по ним;

– воссоздать в штатной структуре Института патентное подразделение и восстановить патентный фонд, внедрить в практику патентных исследований автоматизированную систему многоаспектного информационного поиска в мировом патентном фонде – базу данных «Изобретения стран мира»;

– разработать новые и усовершенствовать существующие меры поощрительного характера для творческих коллективов, занимающихся изобретательской деятельностью.

Реализация вышеприведенных рекомендаций позволит существенно поднять творческую активность сотрудников института.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка интеллектуальной собственности: Учеб. пособие / Под ред. С. А. Смирнова. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 352 с. ил.
2. Охрана интеллектуальной собственности в России. Сборник законов, международных договоров, правил Роспатента с комментариями / Отв. ред. Трахтенгерц Л. А., н. ред. Жуйков В. М. – М.: Юридическая фирма «КОНТАКТ», 2005. – 880 с.
3. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1968. – 406 с. –

THE ESTIMATE OF THE POTENTIAL AND CREATIVE ABILITY OF THE RESEARCH ORGANIZATION EMPLOYEES

V. A. Katenin
(GNINGI, RF MoD)

The methodical approach used to estimate the creative ability of the research organization employees is considered. The formulas required to carry out the numerical evaluation of the creative ability of the researchers are presented, which enables to draw the conclusions about the capabilities of a research organization to solve the complicated theoretical and practical problems. The ways to increase the creative activity of researchers and to enhance the prestige of the research organization are shown.

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

ГРНТИ 78.21.41

НЕЗАБЫВАЕМЫЙ ПОЛЕТ

В. В. СТАРОЖИЦКИЙ
(ГНИНГИ МО РФ)

В статье изложены воспоминания автора об участии в авиационной ледовой разведке Балтийского моря зимой 1946–47 гг.

От редактора

Прошло более 60 лет с того времени, когда навигационно-гидрографическое обеспечение плавания по морям, прилегающим к границам Советского Союза, осуществлялось личным составом маневренных подразделений Гидрографической службы ВМФ, получившим опыт работы в годы Великой Отечественной войны СССР 1941–1945 гг.

Одним из таких офицеров, выполнявших самые разнообразные виды обеспечения, был В. В. Старожицкий, который и до сих пор успешно работает в ГНИНГИ МО РФ.

Его воспоминания об одном из эпизодов своей послевоенной деятельности приводятся ниже.

***

Зима 1946–47 гг. выдалась на Балтике на редкость суровой. Длительные устойчивые морозы до -30°С и ниже привели к тому, что уже в декабре были скованы льдом залив Фриш-Гаф, Кёнигсбергский морской канал и вся акватория военно-морской базы Пиллау[1], где я тогда служил в должности начальника гидрографической части гидрографического района главной базы 4-го Военно-морского флота.

Более того, устойчивый ледяной покров образовался на всей акватории Данцигской и Померанской бухт и большей части Балтийского моря.

В ледовом плену оказалась много торговых судов прибалтийских государств, совершающих переходы между портами Балтийского моря, поддерживая оживленную послевоенную торговлю между этими государствами.

Как правило, это были сравнительно небольшие суда, рассчитанные на непродолжительное плавание, и так как переходы по Балтийскому морю длились всего от 2–3 дней до нескольких часов, на борт каждого судна брался минимальный запас топлива, пресной воды и продовольствия с тем, чтобы можно было взять больше коммерческих грузов.

[1] Все названия географических пунктов приведены в транскрипции, принятой в описываемые годы

Естественно, что такие суда были неспособны противостоять тяжелым льдам.

В сложившейся ситуации ряд прибалтийских государств обратился к правительству Советского Союза с просьбой оказать им помощь в вызволении из ледового плена терпящих бедствие судов, послав в эти районы советские мощные ледоколы, в числе которых был еще действующий тогда прославленный ледокол «Красин».

Для прояснения реальной обстановки и принятия соответствующего решения из Москвы в адрес командования 4-го ВМФ поступило приказание срочно провести авиационную ледовую разведку близлежащих районов Балтийского моря, входящих в оперативную зону флота и результаты разведки незамедлительно доложить в Москву.

Штаб флота решил послать в разведку специалиста гидрографической службы флота, а из состава полка истребительной авиации, дислоцированного на косе Фрише-Нерунг, выделить в распоряжение гидрографа самолет с опытным летчиком.

Я к тому времени среди коллег считался в какой-то степени старожилом южной Балтики. Ведь описанием портов, гаваней и побережья этой части Балтийского моря я занимался еще в ходе войны, когда в составе специальной группы с января по середину апреля 1945 г. прошел вместе с наступающими советскими войсками от Клайпеды до Кольберга [1]. К тому же у меня была накоплена большая информация о морском театре по результатам моих личных работ в самых различных его частях уже в послевоенные годы.

На основании накопленных мною знаний осенью 1946 г. по заданию командования только что сформированного 4-го ВМФ во флотской газете Страж Балтики была опубликована моя большая статья под названием «Знай свой театр», в которой давалось краткое описание южной Балтики, отмечались ее специфические особенности, условия мореплавания и базирования. Статья получила одобрение командования и была хорошо принята флотской общественностью.

Таким образом, за мной закрепилась репутация знатока театра, и начальник гидрографического отдела капитан 2 ранга Рыбин Георгий Николаевич доверил ответственную миссию ледовой разведки мне.

В штабе флота я получил короткий инструктаж о том, что и где мне в ходе полета главным образом надо выявить и зафиксировать. После этого мои коллеги по гидрографическому району дружными усилиями приступили к моей экипировке для предстоящего на следующий день полета. Кто-то принес старые подшитые валенки, где-то раздобыли овчинный полушубок, поделились шапкой-ушанкой, теплым байковым бельем.

В таком виде я с полевой командирской сумкой и контурной картой южной части Балтийского моря в первой половине одного из январских дней на рейдовом буксире, который регулярно взламывал лед в аванпорте между городом и косой, переправился на косу Фрише-Нерунг и прибыл в штаб авиационного полка, дислокацию которого я хорошо знал, так как мне довелось ранее поработать поблизости от него в гидроавиационной гавани.

Принял меня очень доброжелательно начальник штаба полка, сразу же вызвал готового к полету летчика (кстати, участника войны), и мы на моей карте карандашом наметили ориентировочно маршруты полета.

При этом нам было в категорической форме указано, что на весь полет отводится не более 40–45 минут и соответственно определено расчетное время возвращения на аэродром.

После этого мои собеседники критически оглядели мою «экипировку» и начштаба сказал: «Не годится. Вот ширма, идите за ширму и переоденьтесь в подготовленную для Вас лётную одежду».

И действительно меня там ждали лётные унты, меховые штаны, необыкновенно плотный шерстяной свитер, меховая куртка, шлем на меху и здоровенные перчатки.

Дождавшись моего преображения, пилот пригласил меня на выход к самолету.

Был ясный солнечный день с морозом не менее -25°, да к тому же с ветерком, гнавшим по лётному полю позёмку, а на нем кроме нас двоих не было ни души. Мы подошли к большому металлическому ангару (доставшемуся нам в наследство от немцев), как-то очень легко раздвинули двери ангара, и я увидел у самых дверей небольшой, как бы игрушечный, самолетик, на который я поначалу даже не обратил никакого внимания. Но оказалось, что это наш самолет, так как мой пилот подошел именно к нему и предложил мне взяться за одно крыло, а сам уперся плечом в другое, и мы стали толкать самолет на выход. Катился самолет так, как будто это была легкая инвалидная коляска.

Когда мы выкатили самолет на открытое место, порывом ветра его вырвало из наших рук и гнало по полю до тех пор, пока он не съехал в какой-то кювет, заполненный снегом.

Наконец мы с «беглецом» справились, выкатили на взлетную полосу, поставили его против ветра и стали взбираться на свои места: летчик в переднюю кабины, а я сзади. При этом даже не потребовался приставной трап, настолько низкосидящим оказался наш воздушный корабль.

Я поначалу весьма недоверчиво отнесся к нему, но к моему удивлению в течение всего полета он вел себя великолепно.

Что он собой представлял? Это был одномоторный двухместный моноплан учебно-тренировочный истребитель УТ-2 конструкции середины 1930-х годов с открытыми кабинами, так как никакого защитного колпака над ними не было. Передняя кабина прикрывалась спереди небольшим прозрачным щитком; внутри она была оборудована креслом, приборной панелью, рычагом управления и предназначалась для летного курсанта.

Перед задней кабиной тоже был прозрачный щиток, оборудована она была так же, как и передняя, и в ней размещался инструктор.

В штатном варианте связь в полете между инструктором и курсантом велась с помощью проводного шлемофонного переговорного устройства. На нашем же самолете такого переговорного устройства не было, да и с Землей радиосвязь отсутствовала.

Мы договорились с пилотом о некоторых условных сигналах, которые мы будем подавать друг другу кратковременным жестом руки.

Одним словом, выделенный мне самолет для полета в зимних условиях пригоден был с большой натяжкой.

Наш взлет был таким стремительным, что казалось, мы оторвались от земли без всякого разбега, просто в прыжке как блоха.

Пока самолет набирал высоту, я сделал для себя два неприятных открытия. Во-первых, в пылу жаркой схватки на земле с убегающим самолетом я потерял перчатки, и руки в полете стали моментально замерзать. Никаких карманов в моей одежде не было и мне пришлось для того, чтобы уберечь кисти рук от обморожения, подсунуть их под себя и сидеть на них в продолжение всего полета. Во-вторых, был такой сильный встречный поток ледяного воздуха, мгновенно обжигающего лицо, что отклонять голову вправо или влево от переднего щитка было практически невозможно. Это несколько затрудняло обзор, но мой опытный пилот, который испытывал те же неудобства, что и я, в необходимых случаях клал самолет на крыло и можно было без всякого риска для лица рассматривать объекты прямо под самолетом.

А тем временем самолет уверенно держался на курсе и преодолевал пространство над морем.

После выполнения намеченного маршрута полета в пределах Данцигской бухты, когда мы увидели первые вмёрзшие в лед суда, нами овладел азарт и мы расширили зону разведки.

Мы несколько углубились с центральную часть моря, сделали над ней большой разворот по дуге и на обратном курсе в базу захватили краешек Померанской бухты, где увидели застывших вблизи польского побережья в кильватерном строю несколько наших тральщиков (помнится, что это были стотонники), совершавших переход из Свинемюнде в Пиллау.

Полет наш проходил на высоте несколькольких сот метров и все время, на сколько мог охватить глаз, мы видели сплошное ледяное поле.

Обнаружив очередное судно, мы снижались до высоты 100–150 метров, пролетали над ним и каждый раз, заслышав гул мотора самолета, экипажи судов выбегали на лед и всячески приветствовали нас, размахивая кто чем мог. Ведь наше появление связывалось с тем, что о них помнят и подавало надежду на приход ледокола и скорое спасение.

У борта некоторых судов на льду с помощью кусков угля крупными буквами на языке страны были выложены слова «Хлеб», «Уголь» и тому подобное, указывая на то, в чем они испытывали в первую очередь нужду.

Вместо заданных нам 45 минут мы провели в воздухе не менее полутора часов. Но когда мы благополучно приземлились на родном аэродроме, к нашему удивлению командование полка в вину нам эту инициативу не поставило.

В штабе полка нас первым делом напоили горячим чаем, и, отогревшись, мы общими усилиями с пилотом, как говорится, по горячим следам, цветными карандашами нанесли на карту контуры ледяного поля и достаточно достоверно обозначили места стоянки вмерзших в лед судов.

В штабе флота я от оперативного дежурного узнал, что мне надлежит незамедлительно прибыть с докладом к начальнику штаба флота вице-адмиралу В. А. Андрееву.

Избавившись от полушубка, но в подшитых валенках, я предстал перед адмиралом. Впрочем, на эту особенность моего «обмундирования» никто и внимания не обратил.

Прежде чем выслушать мой доклад, адмирал вызвал к себе некоторых штабных офицеров для того, чтобы они ознакомились с обстановкой из первых рук.

Развернув карту, я сделал весьма эмоциональный доклад, так как еще не успел остыть от всего только что увиденного в полете. Адмирал внимательно выслушал меня, задал ряд вопросов и постоянно делал какие-то заметки в своем рабочем блокноте.

На вопрос, как я лично оцениваю обстановку, я высказал следующие свои соображения.

Во-первых, море на всем увиденном мною пространстве сковано льдом. Такую же картину можно предполагать и на всем Балтийском море.

Во-вторых, только по трассе нашего полета над сравнительно небольшой частью моря, мы насчитали, по меньшей мере, около десятка вмерзших в лед судов. Если же учесть акватории обширной Померанской бухты вплоть до проливов, которая характеризуется особенно интенсивным судоходством, а также всей центральной и восточной части Балтийского моря вместе с Финским и Ботническим заливами, то можно с уверенностью сказать, что общие масштабы бедствия очень велики.

Разрешив мне после доклада удалиться и пожелав хорошо отдохнуть, начальник штаба еще при мне приказал своим офицерам срочно готовить материалы для доклада по спецсвязи в Москву.

Уже позднее из газетных сообщений и радиопередач стало известно, что советские мощные ледоколы принимали участие в спасении иностранных судов, и что на Балтике в ту зиму сложилась такая ледовая обстановка, что ледоколы с трудом пробивали себе путь в тяжелом льду.

С тех далеких пор и поныне память моя сохраняет яркие впечатления от увиденного мною во время того воистину незабываемого полета.

Ведь только один раз в жизни можно быть свидетелем такого необыкновенного природного явления, когда твой полет над теплой, обычно незамерзающей южной частью Балтийского моря скорее напоминает полет над льдами зимней Арктики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Старожицкий В.В. Балтийскими фронтовыми дорогами // Записки по гидрографии.– 1995.– №235. – С. 124–127.

UNFORGETTABLE FLIGHT

V. V. Starozhitsky
(GNINGI, RF MoD)

The reminiscences of the author about his participation in the aircraft ice reconnaissance of the Baltic Sea in winter of 1946–47 are presented.

ГРНТИ 78.09

ОСВОЕНИЕ НАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ НА ПОДВОДНЫХ ЛОДКАХ СЕВЕРНОГО ФЛОТА В ГУБАХ ОЛЕНЬЯ И САЙДА

К. Я. БОГОМАЗОВ,
Ю. Г. ХЛЫПАЛО
(ГНИНГИ МО РФ)

В статье рассматриваются этапы развития навигационных комплексов подводных лодок и их освоение штурманским составом. Авторы описывают наиболее значимые события и тех подводников, контакты с которыми прямо или косвенно поддерживаются.

«Из трех способов действовать на подчиненных: наградами, страхом и примерами, последний есть вернейший».

Адмирал П.С.Нахимов

В конце 1950-х гг. на отдельных подводных лодках (ПЛ) Северного флота (СФ) стали устанавливать навигационные комплексы (НК). Произошли новые качественные изменения в развитии навигационного вооружения. Этому развитию способствовали две основные причины: во-первых, появление нового вида оружия на ПЛ – баллистических ракет, которые требовали повышение точности определения координат места и направления плоскости истинного меридиана; во-вторых, появление атомных подводных лодок (АПЛ), способных длительное время находиться в подводном положении, в том числе и подо льдом с целью выполнения задач боевой службы по защите государственных интересов России в мало изученном Арктическом бассейне. Успешность выполнения задач ПЛ зависела от точности выработки навигационных параметров. На первых серийных ПЛ с баллистическими, а также с крылатыми ракетами, входившими в состав объединения подводных лодок в губах Сайда и Оленья, устанавливались НК «Плутон» и «Сила-Н». Они положили начало НК первого поколения. В состав НК входили два апериодических гирокомпаса системы «Маяк», гироазимутгоризонт, относительный лаг, автопрокладчик, астронавигационная система (АНС) «Лира». Штурманам было над чем работать: многое было неизведанным, в том числе АНС, радиосекстан, гировертикаль и гироазимутгоризонт. Последний должен был хранить направление плоскости истинного меридиана, но в силу его несовершенства выработанные им навигационные параметры не в полной мере отвечали требованиям на использование оружия.

С помощью НК штурман решал задачи счисления на морской карте при плавании до 80° с. ш., а также определение координат места, трансляции потребителям навигационных параметров в аналоговом виде (курс, скорость, географические координаты). НК не в полной мере обеспечивал заданные точности по определению координат места и поправки системы курсоуказания, а отсутствие абсолютного лага ставило в затруднительное

положение командира и штурмана перед стартом ракеты. Однако исключительная работоспособность и мастерство командиров БЧ-1 и флагманских штурманов соединений ПЛ во главе с флагманским штурманом объединения М. П. Лузиным позволили в целом успешно выполнять ракетные стрельбы ракетой «Р-13» с дальностью стрельбы около 660 км. Штурманы ПЛ с баллистическими ракетами самозабвенно осваивали НК «Плутон». Практическое освоение и боевое использование на первом этапе проходило в условиях технического несовершенства приборов и систем НК и психологического влияния старого мышления на личный состав, так как одним штурманам приходилось познавать технику заново, другим – переучиваться, третьим – отвыкать от привычного.

Не все было продумано судостроителями и институтами по размещению НК на подводной лодке, были даже технические ляпсусы. Так в 1962 г. на ПЛ (командир БЧ-1 К. Я. Богомазов) обнаружено, что приборы, вырабатывающие вертикаль места, расположены (закреплены) на цистерне пресной воды, которая деформируется в зависимости от подаваемого давления воздуха среднего давления (ВСД). Обычно по общекорабельной трансляции из центрального поста перед приемом пищи звучат слова: «Команде руки мыть!». Матрос-трюмный нагружает ВСД цистерну пресной воды, которая деформируется, а, следовательно, изменяются отсчеты углов крена и дифферента корабля. По случаю этого «открытия» прибыли от 9 НИИ начальник отдела капитан 1 ранга (впоследствии начальник НИИ, контр-адмирал) А. В. Федотов и военпред из Северодвинска капитан 3 ранга (впоследствии капитан 1 ранга) В. М. Петров. После соответствующих проверочных действий был составлен акт, выводы которого были реализованы в НК второго поколения: судостроители стали устанавливать приборы и системы НК на единую плиту.

Первые два года эксплуатации НК «Плутон» на подводных лодках штурманский состав не имел понятия о так называемом «Контрольном листе» по проверке НК. В конце 1962 г. появилась «Временная методика …», разработанная в ГС СФ капитаном 2 ранга А. М. Цукерманом. Надо отдать должное Анатолию Михайловичу: за свою службу в ГС СФ он сделал много полезного для штурманов и штурманского обеспечения ракетных стрельб (РС). Он обладал хорошими педагогическими качествами и инженерными способностями.

Среди всех систем НК «Плутон» особое место в плане технического обслуживания занимала АНС «Лира». При определении места с помощью АНС требовались заданные условия движения ПЛ, в частности, качка корабля не должна была превышать заданных по техническим условиям пределов и должна была быть видимость светил. Вспоминается, как на одном из совещаний в пос. Ягельный командующий СФ адмирал А. Т. Чабаненко доброжелательно обратился к командирам кораблей, чтобы они вместе со штурманами освоили АНС и грамотно ее использовали.

С декабря 1962 г. по май 1963 г. проводились шестимесячные транспортные испытания ракетного комплекса «Д-2» и НК «Плутон» (командир – Б. А. Караваев, штурман – К. Я. Богомазов). Они выполнили наказ командующего флотом. В дальнем походе (в Арктическом бассейне,

штормовой Северной Атлантике и экваториальных широтах) проводились общекорабельные учения по выполнению условной ракетной стрельбы с фактическими определениями места и поправками системы курсоуказания только по небесным светилам с использованием АНС, с послестартовой оценкой работы штурмана. Ежедневно, когда позволяли погодные условия, определялось место корабля с помощью АНС и примерно в это же время измерялись высоты светил (Солнца или звезды) астрономическим расчетом для оценки точности АНС. В походе выполнены исследования по точности выработки навигационных параметров и даны рекомендации по использованию НК. Штурман получил высокую оценку в Бюллетене Боевой подготовки №23, 1964 г. от Главного штурмана ВМФ контр-адмирала А. Н. Мотрохова, а в 1968 г. в «Сборнике статей №2» (Приложение к «Морскому сборнику») опубликована статья «Пути повышения точности определения места с помощью АНС «Лира» (автор К. Я. Богомазов) [1].

Во второй половине 1960-х годов в губу Сайда прибыли атомные ракетные ПЛ проекта 658, на которых в состав НК входил радиосекстан «Самум», – появилась возможность определять координаты места и поправку системы курсоуказания днем при плохой видимости. Штурманский состав ПЛ (Беликов, В. А. Далидович, А. П. Кольцов, Г. М. Кореньков, Куликов, А. И. Палитаев, В. Л. Сергеев, Н. И. Чуркин, В. А. Шабанов) успешно обеспечивал сложные плавания на первых атомоходах, осваивал новую технику, заложил фундамент для будущих поколений штурманов на ПЛ проекта 658.

В конце 1960-х годов в Северодвинске началось перевооружение ПЛ проекта 629 и проекта 658 под ракетный комплекс «Д-4» и НК «Сигма». В НК «Сигма» (также первого поколения) впервые была реализована возможность плавания ПЛ в высоких широтах, в приполюсных районах, в Арктическом бассейне с использованием квазигеографической системы координат. В испытаниях и освоении НК «Сигма», в выработке новых предложениий по совершенствованию его использования на ПЛ приняли активное участие моряки штурманских боевых частей во главе с флагманскими штурманами соединений (К. Я. Богомазов., А. И. Брагин., В. В. Владимиров, А. А. Волин, Ю. И. Жеглов, А. И. Палитаев, С. А. Смирнов, Ю. А. Стецун) под руководством флагманского штурмана 12 эскадры М. П. Лузина. Большую помощь в освоении НК «Сигма» оказала кафедра ТСК ВВМУ им. М. В. Фрунзе (Е. П. Глебов, А. В. Лаврентьев, Е. Н. Иванов и др.), где были открыты курсы по изучению НК «Сигма». Эти курсы оказали большую помощь флагманским штурманам соединений ПЛ в специальной подготовке штурманов и штурманских электриков. На курсах с 1966 по 1983 гг. прошли подготовку по НК «Сигма», а затем и «Тобол» более 600 командиров, старших помощников, штурманов и штурманских электриков [2].

НК «Плутон» и «Сигма» позволили успешно решать задачи навигационного обеспечения плавания и использования оружия. Основные недостатки заключались в зависимости точности выработки навигационных параметров от маневрирования корабля, что требовало соблюдать постоянный курс, скорость и глубину погружения, а также в несовершенной и ненадежной работе гирокомпасов и гироазимутов (особенно в высоких

широтах). В штурманской рубке производилось большое количество изнурительных ручных операций и расчетов при обработке навигационной информации. В 1970 г. в «Морском сборнике» была опубликована статья К. Я. Богомазова и И. Ф. Ускова «Пути повышения готовности НК «Сигма» [3]. В ней были предложены варианты маневрирования ПЛ в районах ожидания и огневых позиций: прежде чем лечь на «боевой курс» корабль маневрирует на «курсе выработки навигационных параметров» (КВНП).

Под руководством М. П. Лузина в штурманской службе 12-й эскадры были заложены основы лучших традиций безопасности плавания, навигационного обеспечения использования ракетного оружия, глубокого знания штурманами НК. М. П. Лузин имел высокий уровень профессиональных знаний в сочетании с высокой требовательностью к штурманам ПЛ и флагманским штурманам соединений. Штурманская служба 12 эскадры имела высокий авторитет на СФ. По инициативе М. П. Лузина, поддержанной руководителями флота, в Гаджиево предприятиями промышленности были созданы группа технического обслуживания (ГТО) и группа технического надзора (ГТН) за своими НК. Первым руководителем ГТН от ЦНИИ «Электроприбор» был С. С. Чернухин, который успешно работал более 20 лет по обслуживанию НК на ПЛ в Гаджиево. От ЦНИИ «Дельфин» руководил ГТО и ГТН А. А. Волин, который в недалёком прошлом был флагманским штурманом соединения ПЛ в Гаджиево. Правильность и дальновидность решения вопроса была подтверждена практикой.

К основным успехам штурманской службы 12 эскадры того периода нужно отнести отсутствие срыва сроков выхода ракетных подводных лодок на боевую службу и неудовлетворительных практических ракетных и торпедных стрельб по вине личного состава БЧ-1. Эти успехи были достигнуты благодаря настойчивой работе флагманских штурманов соединений, фамилии которых указаны выше, а также флагманских штурманов бригад ПЛ Н. И. Корнеева, А. И. Любичева, А. Н. Яковлева и помощника флагманского штурмана объединения Я. М. Лисичкина.

Успешному решению задач способствовало также создание учебных штурманских кабинетов с действующими НК, приёмоиндикаторами радионавигационных систем всех типов, отдельными штурманскими приборами, тренажёром АНС; создание корректорской морских карт и пособий; оборудование теодолитного поста над штабом эскадры для определения постоянных поправок системы курсоуказания; создание ремонтной группы на плавмастерской ПМ-30; использование переносного приёмоиндикатора радионавигационной системы для контроля места ПЛ; подробные разборы результатов ракетных стрельб, походов на боевые службы, учений; обмен опытом на сборах флагманских штурманов эскадры, СФ и ВМФ, а также взаимодействие с флагманскими специалистами ракетного оружия.

Большой вклад в навигационное обеспечение учебно-боевой деятельности ПЛ 12 эскадры с НК первого поколения внесли командиры штурманских боевых частей: А. С. Агеев, С. М. Будников, И. Ф. Величко, В. Верещагин, В. А. Власов, Ю. Д. Воронин, О. К. Герасимов, В. Н. Горохов, В. А. Далидович, Ю. В. Докукин, Ю. И. Жеглов, В. В. Закржевский, В. Захаров,

Н. Г. Иванов, Казанцев, Д. Д. Кашуба, Костин, М. В. Кузнецов, В. П. Кулибаба, Куликов, В. Н. Кустарев, Е. Н. Лапшин, Я. М. Лисичкин, В. С. Макода, Н. В. Марков, Л. А. Митрофанов, И. Н. Москвичев, Л. А. Мусоян, С. А. Огнев, А. В. Ольховиков, Б. И. Подорожный, А. П. Прокофьев, Р. Сей, В. Т. Селин, Р. Н. Старкин, А. Н. Солощев, М. И. Терёхин, Ю. Г. Хлыпало, Н. И. Чуркин, В. А. Шабанов, А. В. Шмарковский, В. Шустров и др.

В августе 1968 г. капитан 1 ранга М. П. Лузин в качестве флагманского штурмана отряда из двух ПЛ «К-55» и «К-42» обеспечивал их переход подо льдами Арктики с Северного флота на Камчатку. Он вырастил целую плеяду прекрасных штурманов и командиров. Под его руководством и при непосредственном участии осваивались новые корабли и НК, совершались дальние походы в различные районы Мирового океана.

30 августа 1971 г. ПЛ «К-411» проекта 667А с НК «Сигма» достигла Северного полюса (старший на борту командующий объединением контр-адмирал Г. Л. Неволин, помощник флагманского штурмана объединения Я. Лисичкин, командир – С. Соболевский, штурман – Ю. Сыздыков, командир ЭНГ – Н. Чураков).

Для устранения ряда существенных недостатков НК первого поколения требовалась разработка более совершенных технических средств навигации. Появление в начале 1970-х годов баллистических ракет большей дальности стрельбы предъявило еще более высокие требования к точности выработки навигационных параметров. В ЦНИИ «Дельфин» (Москва) и «Электроприбор» (Ленинград) были разработаны и приняты на вооружение НК второго поколения. Их основу инерциальные навигационные системы (ИНС). В состав НК были введены цифровые вычислительные машины, осуществлена комплексная обработка выходной информации практически всех систем, за исключением радионавигационных приемоиндикаторов. Первый НК второго поколения «Тобол», разработан в ЦНИИ «Дельфин». Существенный вклад в создание, испытания, освоение НК «Тобол» внес капитан 1 ранга А. П. Бурсевич, который в то время (1969–1972 гг.) в должности заместителя начальника управления НИГШИ ВМФ занимался вышеуказанными вопросами и практически внедрял правила эксплуатации НК.

Первая ПЛ, на которой был установлен НК «Тобол», была «К-245» проекта 667АУ. 29 апреля 1972 г. «К-245» выполнила первую в ВМФ ракетную стрельбу по навигационным данным НК «Тобол» (командир – А. С. Афанасьев, штурман – О. Просандеев, командир ЭНГ – О. Лазарев, инженер ЭНГ – С. Корчагин, старший на борту контр-адмирал Л. А. Матушкин, а также флагманские штурманы флота и флотилии А. Яковлев и В. Владимиров). В качестве стажера-курсанта 5 курса в стрельбе участвовал С. Алексеев и руководитель практики курсантов профессор А. В. Лаврентьев. С 7 по 30 июня эта же «К-245» совершила поход в район экватора для испытаний НК «Тобол» (старший на борту – В. Кузнецов, с ним флагманский штурман Северного флота А. Яковлев). Испытания НК «Тобол» завершились походом на Северный полюс с 10 по 29 октября 1972 г. (старший на борту – контр-адмирал В.Н.Чернавин, с ним флагманские штурманы флота и флотилии А. Яковлев и В. Владимиров). По результатам походов в район

экватора и на Северный полюс был принят на вооружение НК «Тобол». Принято считать, что с этого начался период инерциальной навигации на СФ [4].

В губы Сайда и Оленья стали прибывать ракетные подводные крейсеры стратегического назначения (РПК СН) с НК «Тобол». С 1973 г. резко возросла интенсивность боевой службы ракетных ПЛ в Атлантическом океане (по сравнению с предыдущими годами почти в два раза) [2]. В апреле – июне 1973 г. РПК СН проекта 667А «К-444» (командир – Р. А. Анохин, штурман Г. И. Григорьев, командир ЭНГ – Л. А. Нахатович) выполнил длительный боевой поход, в котором штурманы проделали большую работу по детальному освоению НК. В это время флагманским штурманом объединения был капитан 1 ранга В. В. Владимиров, флагманскими штурманами соединений – капитаны 2 ранга А. И. Брагин, В. С. Макода, А. И. Палитаев, С. А. Смирнов, Ю. Г. Хлыпало, которые проводили большую работу на соединениях по практическому освоению НК штурманским составом и командирами ПЛ. Их хорошими учениками были: С. Алексеев, А. С. Агеев, А. А. Берзин, М. Голубев, Г. Григорьев, В. Давыдов, С. Дорошенко, И. Заградка, А. Зверев, В. К. Иванов, Н. В. Иванов, Д. Ильин, А. Карклин, С. Корчагин, О. Лазарев, Е. Лапшин, В. Луконин, Н. Малов, В. Маципура, Н. Морозов, Л. Мусоян, Л. Нахатович, С. Некрасов, В. Попов, О. Просандеев, Б. Радосавлевич, Г. Солоницын, А. Солощев, Ю. Сыздыков, В. Хмыров, В. Цеханский, Н. Чураков и др.

Под руководством В. В. Владимирова штурманская служба 3-й флотилии заняла ведущее место на СФ. Владимир Владимирович осуществлял личный контроль за подготовкой штурманских боевых частей к дальним океанским походам, межфлотским переходам, к каждой ракетной стрельбе. Он систематически выходил в море на ПЛ флотилии, в том числе в особо значимые походы:

- с СФ на ТОФ южным маршрутом через пролив Дрейка;
- поход на Северный полюс РПК СН «К-245»;
- первый поход на Северный полюс атомного ледокола «Арктика».

Это было время бурного строительства РПК СН с навигационными комплексами, и Владимир Владимирович внес огромный вклад в их освоение. Разработанные им рекомендации по использованию НК для выработки навигационных данных для стрельбы баллистическими ракетами на ракетных подводных крейсерах стратегического назначения вошли составной частью в руководящие документы ВМФ. В должности флагманского штурмана 3-й флотилии В. В. Владимиров проходил службу восемь лет. Под его руководством и при непосредственном участии осваивались новые корабли и НК, совершались дальние походы в различные районы Мирового океана. Его именем названа гора в Северном Ледовитом океане.

Большой вклад в освоение НК первого и второго поколений внесли начальник штаба объединения ПЛ капитан 1 ранга (впоследствии вице-адмирал, командующий объединением) Г. Л. Неволин, флагманские штурманы СФ капитаны 1 ранга (впоследствии контр-адмиралы) Д. Э. Эрдман и А. Н. Яковлев. Георгий Лукич лично контролировал занятия по специальности в учебном центре, знал уровень подготовки штурманов, особенно флагманских. Дмитрий Эрнестович был старшим штурманом в

первом походе АПЛ «К-3» («Ленинский комсомол») к Северному полюсу в 1962 г., а в 1966 г. – флагманским штурманом первого похода группы АПЛ с СФ на ТОФ Атлантическим и Тихим океанами через пролив Дрейка. [4]. Он был одним из соавторов директивы командующего СФ от 1966г., в которой были указания на повышение уровня специальной подготовки штурманов в соединениях ПЛ с баллистическими ракетами и повышены нормативы к точности навигационных параметров ПЛ, а также даны некоторые привилегии штурманам. А. Н. Яковлев в качестве председателя штурманской секции Государственной комиссии по приемке АПЛ первого и второго поколений участвовал в походах в район экватора и на Северный полюс [4].

В середине 1970-х годов в губе Оленья было сформировано новое соединение ракетных подводных крейсеров стратегического назначения. Первым командиром соединения был контр-адмирал А. И. Павлов. Первым флагманским штурманом – капитан 2 ранга В. С. Макода. На первых четырех РПК СН был установлен НК семейства «Тобол» с и индексом Б3. Примерно через год соединение стало пополняться новыми РПК СН проекта 667БДР, на которых был ракетный комплекс Д-9Р и НК «Тобол-М2».

С 21 января по 9 апреля 1979 г. осуществлен трансокеанский переход с Северного на Тихоокеанский флот по маршруту Атлантический океан-пролив Дрейка-Тихий океан РПК СН «К-455» (командир – И. Толстолыткин, командир БЧ-1 – А. Буряк, командир ЭНГ – В. Дианов) и РПК СН «К-490» (командир – В. Кузнецов, командир БЧ-1 – Б. Азюменко, от 9 НИИ – М. Кузнецов). Руководитель перехода контр-адмирал А. Павлов. Штурманские боевые части ПЛ надежно обеспечили навигационную безопасность плавания. В проливе Дрейка лидирование ПЛ осуществлял ОИС «Байкал» (командир – Г. Бочинский, старший на борту – П. Климов), на котором находился второй экипаж «К-455» (командир – И. Чефонов, штурман – Н. Леденев).

С началом 1980-х годов подводные крейсеры из губы Оленья стали нести боевую службу подо льдами Арктики (командир соединения контр-адмирал Ю. А. Федоров). Штурманский состав соединения во главе с капитаном 3 ранга В. К. Ивановым и его помощником капитан-лейтенантом С. П. Алексеевым успешно осваивали приборы и системы НК на новейших кораблях, обеспечивали их боевую и повседневную деятельность (В. М. Анфимов, В. К. Богомазов, В. Ворушилин, Б. П.Дебелый, В. Г.Дзюба, В. Л. Ефременков, Ю. С. Кудин, А. А. Курдин, В. А. Курилкин, С. В. Лазарев, В. М. Лебедев, Н. И. Леденев, Н. Мастяев, Ю. А. Овечкин, А. Г. Захаров, Н. В. Иванов, С. А. Кайгородов, А. А. Кайдалов, И. В. Капустин, А. П. Петров, С. А. Пивоваров, В. К. Позняк., Е. Л. Пургин, В. Н. Ручкин, С. В. Симоненко, С. В. Скалов, Г. А. Солоницын, А. Сугаков, А. Сытько, А. Э. Таманов, А. А. Харин, А. В. Цыбульский, Е. А. Шамин, А. В. Шеметов, Л. С. Шульдешов, В. В. Щерба и др.).

Штурманскую службу объединения с октября 1977 г. возглавлял капитан 1 ранга А.И.Палитаев. Под его умелым руководством ПЛ готовились к ракетным стрельбам и дальним, в том числе межфлотским, походам. А. И. Палитаев участвовал в трансокеанском переходе двух подводных лодок проекта 667БДР «К-490» и «К-455» с СФ на ТОФ, участвовал в подледном

переходе РПК СН «К-506» с СФ на ТОФ, обратно совершил трансарктический переход с Камчатки на СФ на АПЛ проекта 671 РТМ.

В октябре – декабре 1982 г. на РПК СН проекта 667БДР выполнен уникальный дальний поход по периметру Северного Ледовитого океана. Поход проходил в сложных ледовых условиях в период полярной ночи. Его целью было определение ракетной готовности в различных районах Арктики (командир капитан 1 ранга А. А. Берзин, командир БЧ-1 капитан-лейтенант В. А. Курилкин, командир ЭНГ старший лейтенант А. А. Виноградов, инженер ЭНГ старший лейтенант И. В. Капустин). На корабле велась непрерывная ледовая разведка и при каждой возможности осуществлялась попытка всплытия в основном с проламыванием льда. За время похода удалось всплыть в надводное положение 17 раз, что говорит о большом приобретенном опыте и сработанности экипажа. Проводились исследования физико-географических условий районов плавания, исследовались возможности и новые использования технических средств корабля, в том числе НК «Тобол-М2» в различных режимах, разрабатывались и опробывались новые тактические приемы.

С марта 1983 г. штурманскую службу объединения возглавил капитан 1 ранга С. А. Смирнов. Сергей Александрович спокойно и уверенно обучал командный и штурманский состав подводных лодок, многие из его учеников ныне занимают высокие должности: А. В. Шеметов – Главный штурман ВМФ РФ, И. В. Зикий – Главный штурман СФ и др. В Гремихе под его руководством выросли замечательные флагманские специалисты Д. Б. Штефанов, В. А. Кондратьев, В. Легостаев и др. штурманы высокого класса. В объединении он в лучшую сторону выделял штурманскую службу соединения в губе Оленья во главе с капитаном 2 ранга С. П. Алексеевым.

В августе 1983 г. РПК СН «К-92» проекта 667 БД участвовала в опытном учении в Арктическом бассейне в составе тактической группы с АПЛ проекта 671 РТМ. Они прибыли в назначенный район, где взрывом четырех торпед «К-92» взорвала лед, всплыла в проделанной взрывом полынье и провела успешно пуск двух ракет по БП. Старший на борту – контр-адмирал Г. Г. Лойкканен , командир – капитан 1 ранга В. В. Патрушев, флагманский штурман – капитан 2 ранга М. М. Голубев, штурман – капитан-лейтенант Г. А. Солоницын, командир ЭНГ – лейтенант А. И. Лебедев. Командир награжден орденом «Боевого Красного Знамени», штурман – медалью «За боевые заслуги». В походе были проведены исследования и сделаны выводы о возможных способах определения дрейфа льда с использованием НК «Тобол» и средств ледовой разведки, что играет решающую роль для принятия решения для всплытия ПЛ в небольших полыньях и разводьях.

В октябре – ноябре 1983 г. РПК СН «К-487» с первым экипажем К-496 (командир капитан 1 ранга П. С. Омельченко, штурман капитан-лейтенант Б. П. Дебелый, командир ЭНГ А. В. Цыбульский, нженер ЭНГ Е. Л. Пургин выполнил задачи боевой службы в районе Северного полюса. Одновременно специалисты ЦНИИ «Дельфин» Ю. Г. Шабров и ГНИНГИ Ю. Г. Хлыпало совместно с моряками штурманской боевой части проводили исследования работы НК «Тобол-М2» в высоких широтах, результатами которых явились

доработки программного обеспечения ИНС. Последующие походы подтвердили правильность доработки НК.

В августе 1985 г. РПК СН проекта 667БДР «К-129» (старший на борту – вице-адмирал Ю. Н. Патрушев, командир – В. А. Соловьев, флагманский штурман – С. А. Смирнов, от ГНИНГИ – Ю. Г. Хлыпало и В. И. Киричек) впервые в ВМФ из приполюсного района Арктики произвел РС двумя ракетами из надводного положения в полынье размером 4х13 каб. Личный состав БЧ-1 проявил высокие профессиональные качества.

В период с 14 сентября по 6 октября 1986 г РПК СН «К-496» проекта 667БДР со вторым экипажем выполнил учебно-боевой поход к Северному полюсу с целью испытаний комплекса ракетного оружия Д-9РКУ совместно с НК «Тобол-М2», которые были доработаны для выполнения ракетных стрельб в более высоких широтах. Старший на борту – контр-адмирал В. П. Агафонов, командир – А. Савельев, командир БЧ-1 – С. Пивоваров, командир ЭНГ – А. Бондарь, инженер ЭНГ – В. Самородов, помощник флагманского штурмана соединения – В. Богомазов, от ГНИНГИ – Ю. Г. Хлыпало. С 18 сентября по 30 сентября корабль осуществлял сложное подледное плавание. Личный состав БЧ-1 проявил хорошие профессиональные качества, а НК «Тобол-М2» – высокую надежность и эффективность, что обеспечило заданную точность плавания. Работу штурманов в этом походе можно назвать классическим примером грамотного использования систем НК со средствами коррекции. Координаты места корабля и поправки системы курсоуказания определялись различными способами с помощь: радиоастронавигационной системы (РАНС «Снегирь») и по Солнцу, и по Луне, и по навигационным спутникам в географической и квазигеографической системах координат. Все обсервации – надежные. Выполнен безукоризненно грамотный анализ точности кораблевождения, успешно проведены две ракетные стрельбы в приполюсном районе. За 23 суток пройдено более 3,5 тыс. миль. При этом: в подводном положении за 494 час. 21 мин. – 3475,7 мили, из них подо льдом за 263 час. 43 мин. – 1895,2 мили. Авторы настоящей статьи предлагают анализ похода использовать в командирской учебе со штурманами и в учебном процессе с курсантами ВМУЗ.

В августе 1990 г. РПК СН «К-424» проекта 667БДР (командир – В. В. Поникаровский, командир БЧ-1 – В. В. Щерба, командир ЭНГ – И. Г. Иванов, инженер ЭНГ – А. Круглов) выполнил успешный поход в приполюсный район Арктики с целью изучения геофизических полей.

В процессе эксплуатации НК второго поколения «Тобол» постепенно совершенствовался по структуре, повышалась точность выработки навигационных параметров, показал высокую техническую надежность и эффективность, особенно его последняя модификация «Тобол-М2». Однако дальнейшее развитие комплексов ракетного оружия и тактики использования ракетных подводных крейсеров стратегического назначения потребовало повышение точности выработки навигационных данных для стрельбы и времени их хранения. Устанавливалась практически непрерывная готовность к ракетной стрельбе. Значительно усложнялись связи НК с ракетным комплексом. Эти требования послужили причиной создания нового НК. В

ЦНИИ «Дельфин» и «Электроприбор» с конца 1970-х годов начались работы над НК третьего поколения, которые были созданы практически одновременно в ЦНИИ «Электроприбор» (главный конструктор В. Г. Пешехонов) – НК «Симфония» и в ЦНИИ «Дельфин» (главный конструктор О. В. Кищенков) – НК «Шлюз».

Большой вклад в освоение НК первого, второго и третьего поколений внес контр-адмирал В. С. Макода. Он после окончания училища (1967) проходил службу на ПЛ с НК «Плутон» и «Сигма», выполнил несколько дальних походов на боевую службу. В должности флагманского штурмана соединения в губе Оленья и после окончания ВМА в Гремихе, успешно осваивал инерциальные НК второго поколения, а также учил штурманов, командиров кораблей и соединений. В (1981–1983) он был председателем штурманской секции в составе Правительственной комиссии по приемке головного корабля проекта 941. В. С. Макода внес большой вклад в дело освоения штурманским составом флота методов решения навигационных задач кораблевождения и выработки навигационных данных для применения оружия с использованием новых НК.

В испытаниях и освоении НК «Симфония» принимали участие А. П. Бурсевич, В. А. Ворошилов, Б. Е. Дегтярев, А. Н. Евдокимов, С. В. Козлов, К. Н. Лебедев, О. Медведев, Ю. В. Румянцев, К. А. Степанов, В. А. Титлянов.

В декабре 1984 г. подписан приемный акт на головном РПК СН проекта 667БДРМ «К-51» (командир – капитан 1 ранга Г. И. Русаков, штурман – капитан-лейтенант А. В. Шеметов), председатель комиссии штурманской секции по Государственным испытаниям и приемке на вооружение нового НК третьего поколения «Шлюз» – С. П. Алексеев. На «К-51» начались испытательные походы в высокие широты. Два похода совершены в 1985 г. Первый – в Арктику до широты 87°. В походе впервые была проведена проверка выработки навигационных данных во всех режимах работы НК (старший на борту – контр-адмирал В. Агафонов, командир – Г. И. Русаков, штурман – капитан-лейтенант А. В. Шеметов, флагманский штурман соединения – капитан 2 ранга С. П. Алексеев). Второй поход проведен для выполнения глубоководного погружения в Норвежском море (старший на борту капитан 1 ранга А. А. Берзин, командир – Г. И. Русаков, штурман – капитан-лейтенант А. В. Шеметов, флагманский штурман соединения – капитан 2 ранга С. П. Алексеев). В 1986 г. совершен поход к Северному полюсу с выполнением ракетной стрельбы в приполюсном районе. В 1987 г. – поход к Северному полюсу (старший на борту капитан 1 ранга А. А. Берзин, командир – капитан 1 ранга А. Сугаков, флагманский штурман – капитан 2 ранга С. П. Алексеев, командир БЧ-1 – капитан 3 ранга М. Л. Богданович). В походах НК «Шлюз» показал заданные точности в соответствии с ТТЗ.

С 1987 г. флагманским штурманом объединения был капитан 1 ранга С. П. Алексеев. В 1988 и 1990 гг. он был старшим штурманом трансарктических переходов РПК СН с СФ на ТОФ. Сергей Петрович участник девяти дальних походов, из которых пять проходили подо льдами Арктики. В настоящее время С. П. Алексеев – начальник ГНИНГИ, д. т. н. (1999), профессор (1999), заслуженный военный специалист РФ (1998) [4].

В состав объединения подводных лодок в губе Сайда в конце 80-х гг. вошли многоцелевые атомные подводные лодки (командир соединения – капитан 1 ранга В. М. Монастыршин), флагманский штурман – В. С. Цеханский. Штурманское вооружении на первых кораблях – НК «Сигма». Значимых результатов в освоении навигационных комплексов добились лучшие штурманы соединения В. Тихонов и В. Петрович, которые впоследствии стали флагманскими штурманами соединения. В середине 1990-х годов соединение пополнилось новейшими ПЛ проекта 971

С 1991 г. флагманским штурманом объединения был капитан 1 ранга А. В. Шеметов. Участник нескольких боевых служб, испытаний новейшего НК на головном РПК СН проекта 667БДРМ [4], Александр Викторович, пройдя все ступеньки штурманских должностей на СФ, с 2006 г. – Главный штурман ВМФ.

8 августа 1991 г. на РПК СН «К-407» (командир – С. Егоров, штурман – А. Иванников, флагманский штурман – В. Богомазов) выполнен уникальный научно-технический эксперимент – ракетная стрельба полным боекомплектом (залп шестнадцатью баллистическими ракетами Р-29 РМ). Для ВМФ и ВПК эта операция имела исключительно важное судьбоносное значение: решался вопрос о сокращении стратегических наступательных вооружений – какие именно средства из ядерной триады (стратегическая авиация, межконтинентальные баллистические ракеты и баллистические ракеты на подводных лодках) сокращать и в каком количестве. Отдельные представители из Генштаба однозначно предлагали сокращать ракетные подводные крейсеры стратегического назначения. В Главном штабе ВМФ было предложено провести ракетную стрельбу полным боекомплектом, что было поддержано судостроителями и ракетостроителями. Большую работу по подготовке корабля проводили офицеры штаба соединения флагманский штурман В. Богомазов, флагманский ракетчик С. Иваненко, заместитель командира дивизии по ЭМЧ А. Добротин. На борту подводной лодки вместе с экипажем находились члены государственной комиссии контр-адмирал Л. Сальников, командир соединения В. Макеев, генеральный конструктор ЦКБ «Рубин» С. Н. Ковалев, заместитель генерального конструктора ГРЦ им. В. П. Макеева В. Величко, флагманский штурман соединения В. Богомазов, флагманский РО С. Иваненко. 6 августа в 21 час. 9 мин. со стартовой глубины вышла на заданную траекторию первая ракета Р-29РМ, затем вторая, третья .... шестнадцатая. Подводная лодка «К-407» доказала всему миру, что она является грозной силой, и подтвердила мощь стратегических подводных лодок России. Уникальная ракетная стрельба фактически продемонстрировала возможности Морских Стратегических Ядерных Сил России. Успешное выполнение сложной боевой задачи возможно было осуществить только при высокой профессиональной подготовке моряков-подводников.

В декабре 1993 г. в губе Сайда проведены сборы штурманов под руководством А. В. Шеметова и В. К. Богомазова. Подведены итоги освоения НК третьего поколения. «Высокий уровень специальной подготовки показали штурманы подводных лодок М. Л. Богданович, А. С. Борцов, И. В. Капустин, Ю. А. Глухов, В. Б. Греков, С. В. Лютов, А. А. Иванников, В. А. Протасов, В. Н. Коробейников» [2]. В дальнейшем успешно освоили НК «Шлюз»

А. В. Боцман, В. В. Бусырев, А. В. Вахитов, С. Л. Гаркуша, А. В. Гузенко, А. А. Ковальков, Ю. Ю. Козин, А. В. Козлянников, С. А. Кондратьев, А. Б. Красилич, С. Н. Красильников, Р. А. Крючков, С. В. Кузнецов, С. В. Лазарев, Ю. В. Медведев, И. Н. Мокрицкий, В. М. Орлов, В. Н. Плетнев, Е. Л. Пургин, В. В. Пурденко, С. М. Савельев, И. В. Савин, С. А. Сергеев, М. Ю. Смирнов, К. С. Сперанский, А. В. Тремба, С. А. Фатеев, А. В. Харламов, А. В. Цыбульский, О. В. Черников, А. И. Чудаков, Н. В. Шаповалов, В. А. Юнин, С. Н. Щербаков, С. Н. Яременко и др.

В июле-августе 1994 г. состоялся групповой поход ПЛ к Северному полюсу, посвященный 300-летию Российского флота. В походе участвовали «К-18» проекта 667БДРМ (старший на борту, он же командир похода – контр-адмирал А. А. Берзин, командир – Ю. И. Юрченко, флагманский штурман – В. К. Богомазов, командир БЧ-1 – В. Н. Коробейников, командир ЭНГ– О. Л. Башлык, инженер ЭНГ – А. Нахатович) и «Б-414» проекта 671РТМ (старший на борту – вице-адмирал А. И. Шевченко, флагманский штурман – А. Г. Захаров, командир – С. В. Кузьмин (в настоящее время начальник управления боевой подготовки ВМФ)). Обе ПЛ всплыли на полюсе с интервалом в три дня и водрузили Государственный и Андреевский флаги. В походе личный состав штурманских боевых частей показал высокий профессиональный уровень подготовки по специальности, а навигационные комплексы «Шлюз» и «Медведица» – высокую надежность. 4 января 1995 г. указом Президента РФ за мужество и героизм, проявленные при походе к Северному полюсу на подводных лодках «К-18» и «Б-414» А. А. Берзину, С. В. Кузьмину, Ю. И. Юрченко присвоено звание Героев России, офицеры-штурманы В. К. Богомазов, А. Г. Захаров и В. Н. Корбейников награждены орденом «За личное мужество», а О. Л. Башлык медалью «За отвагу».

С декабря 1995 г. по март 1996 г. ПЛ 971 проекта успешно выполнила боевую службу в составе первой в ВМФ авианосной многоцелевой группы (АМГ) в Средиземном море под флагом адмирала И. В. Касатонова (командир – капитан 1 ранга С. В. Справцев, штурман – капитан-лейтенант А. Н. Мазин, флагманский штурман соединения – капитан 2 ранга И. В. Зикий).

В 1995 г. в должность флагманского штурмана объединения вступил капитан 1 ранга В. К. Богомазов. Кавалер трех орденов – «За службу Родине в ВС СССР» III степени, «Мужества» и «За военные заслуги» – В. К. Богомазов прошел путь от инженера ЭНГ до флагманского штурмана объединения РПК СН в губе Сайда. Он участник десяти походов на боевую службу подо льдами Арктики, в том числе двух походов к Северному полюсу. Начальник штаба СФ вице-адмирал С. В. Симоненко отмечал: «Именно ему было оказано доверие возглавить штурманскую службу самого мощного объединения РПК СН нашей страны в сложное для России время. Он – из плеяды лучших представителей той знаменитой школы штурманов, которая была заложена в Гаджиево ветеранами подводной службы. Очень ценил хороших специалистов. Работа же спустя рукава вызывала у него отвращение. Капитан 1 ранга В. К. Богомазов физически не переваривал тунеядцев, не любил и очковтирателей. Лично всегда работал на пределе сил и возможностей, будь то проверка подводного ракетоносца на готовность к

боевой службе, выполнение обязанностей оперативного дежурного по флотилии или подготовка торпедолова к проверке ИБМ. Того же требовал и от подчиненных. По-штурмански был аккуратен с бумагами. Четко и слаженно работал с представителями военной промышленности. В трудной ситуации не боялся брать ответственность на себя». Именем В. К. Богомазова назван знак в бухте Ягельная губы Сайда.

С конца 1998 г. штурманскую службу в губе Сайда возглавил капитан 1 ранга И. И. Иванов (ныне заместитель Главного штурмана ВМФ). Игорь Игоревич в прошлом – штурман на РПКСН проекта 667А с НК «Сигма», затем в должности флагманского штурмана соединения и объединения в губе Сайда он отвечал за подготовку штурманских кадров объединения в вопросах специальной подготовки по НК «Тобол-М2», «Симфония-У» и «Шлюз».

Помощником флагманского штурмана объединения в 1998–2001 гг. был капитан 3 ранга С. Б. Курсин (ныне капитан 1 ранга, заместитель начальника ГНИНГИ). Сергей Борисович в течение девяти лет проходил службу на РПК СН в губе Сайда, выполнил несколько боевых служб в штурманских должностях в очень непростых условиях для флота России. После окончания ВМА им. Н. Г. Кузнецова (2003 г.) С. Б. Курсина назначили флагманским штурманом соединения, а затем объединения ПЛ в Западной Лице. Он участвовал в проведении приемосдаточных испытаний НК на тяжелом атомном подводном крейсере «ТК-208» «Дмитрий Донской». В 2005 г. С. Б. Курсин был назначен председателем Государственной комиссии по проведению испытаний НК «Симфония-3» на этом корабле. Под его руководством личный состав штурманской боевой части освоил новый НК «Симфония-3», обеспечил своевременность выхода ТАПКР при выполнении «бросковых» испытаний изделия «Булава» (2003–2004 гг.) и летно-конструкторских испытаний (2005 г.) из надводного и подводного положений и выработку навигационных данных стрельбы.

В настоящее время штурманскую службу в губе Сайда возглавляет капитан 1 ранга А. С. Борцов. Александр Сергеевич еще в 1995 г. на конкурсе по штурманской подготовке Северного флота был объявлен победителем в группе подводников. Он в полной мере отвечает примерному «УРАВНЕНИЮ ШТУРМАНА», содержание которого описано в журнале «Записки по Гидрографии» №242, 1997 г. В левой части уравнения: ОТВЕТСТВЕННОСТЬ в кубе плюс ЗНАНИЯ в квадрате, плюс НАХОДЧИВОСТЬ, СМЕЛОСТЬ, АККУРАТНОСТЬ и САМОКОНТРОЛЬ, а в правой части: ТОЧНОСТЬ и БЕЗОПАСНОСТЬ ПЛАВАНИЯ плюс ЭФФЕКТИВНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ОРУЖИЯ КОРАБЛЯ» [5].

В освоении НК штурманским составом ПЛ значимую роль внесли сотрудники ГУНиО и ГНИНГИ МО РФ (А. В. Дешин, В. Г. Дзюба, С. Ю. Дорошенко, Г. И. Емельянцев, М. В. Кузнецов, О. Медведев, В. А. Монтелли, И. Н. Москвичев, Ю. Н. Пленицын, Б. И. Подорожный, М. Синицын, А. П. Сухарев, И. И. Тузов, В. Н. Фрадкин, А. А. Харин, Ю. Г. Хлыпало и др.), Учебные Центры ВМФ (А. С. Агеев, И. Ф. Величко, Е. И. Горенко, А. Н. Ерин, Н. Н. Есаков, В. И. Смыков, Г. Н. Студенецкий, К. Е. Степанов и др.), кафедра ТСК ВВМУ им. М. В. Фрунзе (Е. П. Глебов, А. В. Лаврентьев, В. А. Пышкин и др.).

Успешному решению задач по освоению НК в интересах безопасности плавания, выработки навигационных данных по эффективному применению оружия корабля на СФ способствовало развитое у штурманов РПК СН высокое чувство ответственности за порученное дело. Был заведен порядок:

– проводить еженедельные тренировки расчетов на АНС, РС, РАНС;
– проводить ежемесячные тренировки расчетов АНС без ЦВК;
– ежемесячно проводить учение со снятием норматива с астронавигационных расчетов;
– ежеквартально проводить с руководителями занятий показательные занятия;
– тщательно анализировать каждый дальний поход;
– добиваться, чтобы астрономический способ определения места в дальнем походе считался основным (все остальные способы – резервные, в том числе по СНС);
– контролировать учет хода сдачи зачетов на допуск к самостоятельному управлению выпускниками ВМУЗ.

Выводы:

1. Практическое освоение первых НК проведено непосредственно на ПЛ.

2. Лучшими формами изучения и освоения НК были кратковременные курсы обучения на предприятиях промышленности (ЦНИИ «Дельфин»), при ВВМУ им. М. В. Фрунзе, в учебном центре ВМФ и непосредственно на кораблях под руководством флагманских штурманов соединений и объединений с привлечением специалистов ГТО и ГТН.

3. На всех этапах создания новых НК от проектирования до завершения испытаний напряженно работали на ПЛ, обслуживая НК в дальних походах и в повседневной деятельности, личный состав штурманских боевых частей. Их замечания и предложения способствовали совершенствованию и развитию НК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богомазов К. Я. «Пути повышения точности определения места с помощью АНС «Лира» // Морской сборник. Приложение «Сборник статей №2». – 1968.
2. История штурманской службы Северного флота. Под ред. А. Н. Яковлева. – Североморск, 2001. – 128 с.
3. Богомазов К. Я. , Усков И. Ф. Пути повышения готовности НК «Сигма»// Морской сборник. Приложение «Сборник статей №2», 1970.
4. История штурманской службы Флота России. Под ред. Е. Г. Бабинова. – М, 2003. – 600 с.
5. Алексин В. И. Об отечественной штурманской школе и штурманской службе Военно-морского флота России // Записки по Гидрографии. – 1997. – №242.

MASTERING THE NAVIGATION SUITES IN SUBMARINES OF THE NORTH FLEET IN OLENYA AND SAIDA BAYS

K. Y. Bogomasov,
Y. G. Khlypalo
(GNINGI, RF MoD)

The development stages of the navigation suites of submarines and their mastering by the navigators are considered. The authors describe the most significant events and activities of the submariners with whom the contacts are maintained either directly or indirectly.

УДК 528.92:65.011.56

ОСНОВНЫЕ СОБЫТИЯ В ИСТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЛИВОВ (I В. ДО Н. Э. – XIX В.)

Ю. Н. ЖУКОВ
(ГНИНГИ МО РФ)

Определены основополагающие исторические события в области изучения приливов, значимые для современной практики навигационно-гидрографического обеспечения.

Пространственное распределение амплитуд приливных колебаний в морях и океанах обладает большой изменчивостью. Актуальность изучения географического распределения пространственно-временной изменчивости приливов определяется значимостью информационного гидрометеорологического обеспечения деятельности на морях и океанах. Информация о пространственном распределении приливных колебаний актуальна для судоходства, построения навигационных карт морских акваторий, разведки и освоения морских месторождений на шельфе. В области геодезических задач информация о приливах позволяет уточнить форму земного геоида, в области гравитационного поля Земли – выявить гравитационные аномалии, оценить вариации гравитационного поля за счет приливных колебаний. В свою очередь гравитационные вариации играют важную роль в задаче оценки траекторий движения низкоорбитальных спутников и ракет.

Важнейшую роль приливы играют в области гидрографических работ. По наблюдениям за уровнем моря вычисляются поправки за приливы, определяется наинизший теоретический уровень моря, являющийся нулевой отметкой для картирования навигационных глубин. Учет приливов при гидрографических работах регламентируется официальными наставлениями ПГС-4 [1] и ПГС-35 [2]. Вполне очевидно предположить, что способы и методы описания и учета приливов при гидрографических работах, изложенные в этих официальных документах, должны учитывать все достижения человечества в исследовании приливов. В этом отношении поучительно выявить основные события в истории исследования приливов за период с I в. до н. э. – до XIX в.

События в исследовании приливов будем рассматривать в трех аспектах: в аспекте технологии наблюдений, способов описания приливов и принципов объяснения приливов. Способы описания – это чисто прикладной аспект исследования приливов, принципы объяснения – теоретический (см. таблицу).

Традиционно в подавляющем большинстве книг, посвященных приливам, в том числе и в учебниках, история исследования приливов связывается со временем возникновения теории приливов Ньютона. Однако обратимся к историческим фактам. Изучением приливов человечество начало заниматься с древних времен. Связь между приливными колебаниями и видимыми движениями Луны и Солнца была известна задолго до Ньютона.

Уже к 100 г. до н.э. в работах Посийдония и Селевка кинематика приливных колебаний описывалась, в современных терминах, путем синхронизации их с видимыми движениями Луны и Солнца вокруг Земли. Основанием для этого служили наблюдения за приливами, выполненные в портах побережья Испании и в Персидском заливе. Продолжительность этих наблюдений составляла более года. Селевк дал первое объяснение приливам, постулируя, что Луна при своем движении «давит» на атмосферу, простирающуюся до Луны. Это «давление» приводит к некоторой системе ветров, которая и вызывает приливные колебания [3].

Таблица основных событий в истории исследования приливов в период с I в. до н. э. до XIX в.

Время	Наблюдения	Кем проведены	Описания Приложения	Кем описано	Объяснения Толкования	Кто объяснял
К 100 г. до н.э.	Продолжи-тельность более года		Отмечена синхронизация с движениями Луны и Солнца. Кадис, Испания Красное море, Персидский залив	Посийдоний (Posidonius , 135-51 г. до н. э.), Греция, Селевк (Seleucus of Babylon, ок. 150 г. до н. э.), Вавилон	«Теория» приливов Селевка	Селевк (Seleucus of Babylon, ок. 150 г. до н. э.), Вавилон
К 700 г.			Отмечена пространственная неоднородность характера приливов. Северное море	Беда Достопочтимый (Venerable Bede, 672–735), Англия		
К 880 г.			Отмечена синхронизация с эфемеридами Луны и Солнца	Альбумасер (Abu Ma'shar, 787–886), Персия		
К 1056 г.			«Приливные таблицы»	Китай		
К 1200 г.			Отмечена синхронизация с эфемеридами Луны и Солнца Отмечено влияние берегов и площади акваторий на характер приливов, Северная Атлантика «Приливные таблицы»	Роберт Гроссетест (Robert Grosseteste, 1175–1253), Англия Геральд Камбрийский (Giraud Cambrensis, 1146–1223), Англия Аббат Джон из Валлинфорда (Abbott John of Wallingford, ? – 1213), Англия		

Время	Наблюдения	Кем проведены	Описания Приложения	Кем описано	Объяснения Толкования	Кто объяснял
1623 г.			Предложено картировать приливы	Фрэнсис Бэкон (Francis Bacon, 1561–1626), Англия	«Теория» приливов Бэкон	Фрэнсис Бэкон (Francis Bacon, 1561–1626), Англия
1632 г.					«Теория» приливов Галилея	Галилео Галилей (Galileo Galilei, 1564–1642), Италия
1647 г.					«Теория» приливов Декарта	Рене Декарт (1596–1650)
1675 г.					Статическая «теория» приливов	Исаак Ньютон (Isaac Newton, 1642–1727), Англия
1679 г.	Первые измерения полных и малых вод точные по времени, Брест	Жан Пикард (Jean Picard, 1620–1682), Франция Филипп Хар (Philippe de la Hire, 1640–1718), Франция				
1681 г.			Приливные часы	Томас Туе (Tomas Tue, ?), Англия		
1683 г.			Печатное издание таблиц приливов для Лондона, погрешность 15 мин.	Джон Фламстид (John Flamsteed, 1646–1719), Англия		
1701 г.	Предложе-ние о проведении постоянных наблюдений в портах Северного моря за моментами наступления полных и малых вод	Французс-кая Академия				

Время	Наблюдения	Кем проведены	Описания Приложения	Кем описано	Объяснения Толкования	Кто объяснял
1761 г.	Первые измерения уровня в произвольные моменты времени, а не в моменты максимумов и минимумов	Невил Маскелайн (Nevil Maskelyne, 1732–1811), Англия				
1777 г.					Динамическая «теория» приливов	Пер Симон Лаплас (Pierr-Simon Laplace, 1749–1827), Франция
1813 г.	Предложение измерять уровень через равные промежутки времени	Томас Юнг (Thomas Young, 1773–1829), Англия				
1830 г.			«Синтетический» метод предвычисления приливов	Джон Уильям Лаббок (John William Lubbock, 1803–1865), Англия		
1831 г.	Автоматический регистратор уровня	Генри Палмер (Henry Palmer, ?), Англия	Первая котидальная карта, Темза	Джон Уильям Лаббок (John William Lubbock, 1803–1865), Англия		
1836 г.			Первая котидальная карта с амфидромическими точками, Северное море	Уильям Вюелл (William Whewell, 1794–1866), Англия		
1840 г.	Проведены натурные наблюдения, подтверждающие наличие амфидромической точки в Ла-Манше	Капитан Уильям Хюетт (William Hewett, ?), Англия				

Время	Наблюдения	Кем проведены	Описания Приложения	Кем описано	Объяснения Толкования	Кто объяснял
1864 г.			Гармонический анализ, Ramsgate	Уильям Томсон (Лорд Келвин) (William Thomson 1st Baron Kelvin, 1824–1907), Англия		
1873 г.			Приливная вычислительная машина	Уильям Томсон (Лорд Келвин) (William Thomson 1st Baron Kelvin, 1824–1907), Англия		

В средние века возрастает активность мореплавания в Северном море, и уже в работах Беды Достопочтимого (700 г.) отмечается пространственно-временная неоднородность в приливных колебаниях на побережье Северного моря. Отмечаются редкие районы побережья Северного моря, где тип прилива не является полусуточным, тогда как для этого моря полусуточный тип прилива – основной. Следующей значимой вехой в изучении приливов служит указание Альбумасера (880 г.) на синхронизацию приливных колебаний с эфемеридами Луны и Солнца. Эфемериды – количественные параметры, описывающие положение (траекторию движения) небесных светил, предвычисляются вперед на основе некоторых астрономических законов. Следовательно, выводы Альбумасера открывают путь к созданию описательного способа предвычисления приливов. И действительно, такие способы были созданы. Наиболее древние предвычисления приливов датируются 1056 г. (Китай) [3]. Связь между приливами и эфемеридами Луны и Солнца впервые встречается в работах Роберта Гроссетеста, Англия, до 1200 г., а наиболее ранние предвычисления приливов датируются не позднее 1213 г. [4]. Следует особо отметить, что предвычисление приливов было осуществлено только на основе способов описания приливов – замеченной синхронизацией между приливами и кинематикой движений Луны и Солнца. Никаких теорий приливов (объяснений) для создания практических методов предвычисления прилива не потребовалось, хотя разнообразные гипотезы, подобные гипотезе Селевка, высказывались различными авторами.

Следует добавить, что в средние века Геральд Камбрийский высказал мысль о влиянии берегов на формирование характера прилива в конкретном географическом районе, а так же указал на необходимость наблюдения за приливами на всей акватории северного Атлантического океана.

Начиная с XIII века, учет приливов в практическом мореплавании стал широко распространенным делом. Об этом свидетельствует тот факт, что морские пираты при плавании в Северном море использовали компасы, на которых были обозначены часовые углы Луны моментов наступления полных вод в различных портах [3].

Все это происходило во времена, когда «науки» как социального феномена еще не существовало. Научный стиль познания приливов начинается с Фрэнсиса Бэкона (первая половина XVII в.). Он полагал, что причиной образования приливов служат магнитные силы между Землей, Луной и Солнцем. Этот философ ввел в обиход представление о приливах как прогрессивных волнах и, как следствие, предложил построить пространственные карты распределения приливов. Это было сделано двумя веками позднее англичанами, но в отечественной гидрографии не осуществляется до настоящего времени.

После Фрэнсиса Бэкона объяснительные теории приливов строились всеми крупными философами Нового времени. Галилей использовал приливы для доказательства справедливости гелиоцентрической модели Солнечной системы Коперника. Декарт объяснял приливы на основе вихревого взаимодействия небесных светил посредством эфирного вещества. Все эти теории приливов не находили широкого признания. Например, теория приливов Кеплера, предвосхищавшая гравитационное взаимодействие, отвергалась тогдашними учеными по причине того, что в теории Кеплера возникают только суточные приливы.

Во второй половине XVII века Исаак Ньютон дал объяснение приливам на основе гравитационного потенциала. Как мы теперь знаем, эта теория получила полное признание. Но то, что на основе теории Ньютона нельзя получить никаких фазовых и высотных параметров наблюдаемых приливов обычно не упоминается, а если упоминается, то списывается на то, что в теории Ньютона не учитывается влияние суши. В качестве подтверждения этой теории обычно приводят тот факт, что из этой теории следует – приливы должны быть полусуточные. Именно этого не объясняли все другие теории. Однако, как указывалось, за тысячу лет до Ньютона было известно, что приливы бывают не только полусуточные, но и суточные и смешанные. Но такие приливы явно противоречат теории приливов Ньютона.

Удивительно, но во времена бурного построения различных научных теорий приливов не произошло ничего существенного в области производства наблюдений за приливами. Лишь в конце семнадцатого столетия в Бресте стали фиксировать точное время наступления полных и малых вод. Однако наблюдения за уровнем моря проводились во многих портах Северного моря. Приливы предвычислялись методами, которые передавались от поколения к поколению и были семейными секретами. Коммерческая сторона приносила владельцам секрета предвычислений большой финансовый доход. Эти методы сейчас утеряны, но ими пользовались вплоть до конца XVIII века, до начала использования гармонического метода анализа приливов. Именно на основе такого «семейного» метода в 1683 г. были рассчитаны первые в истории печатные таблицы приливов. Эффективность этих методов позволяла конструировать и строить механические приливные часы для конкретных портов.

Следующее восемнадцатое столетие отмечено совершенствованием системы наблюдений на акватории Северного моря и появлением первой гидродинамической теории приливов Лапласа. Но эта теория, как и теория Ньютона, не позволяла получить научный метод предвычисления приливов.

Наступает девятнадцатый век. Это век эпохальных успехов в исследовании приливов. В 1813 г. Томас Юнг предлагает систему измерения уровня моря через равные промежутки времени. Джон Уильям Лаббок (банкир, математик, астроном) разрабатывает способ предвычисления приливов для порта по восемнадцатилетним ежечасным наблюдениям и рассчитанным на эти моменты эфемеридам Луны и Солнца. Это был первый в истории «открытый» способ предвычисления приливов. (Осмелюсь предположить, что в основе «семейных» способов предвычисления приливов лежат аналогичные принципы.) По каким-то причинам он не получил признания. История повторилась в двадцатом веке. Способ Лаббока в 50–60 годах XX века был независимо открыт Александром Ивановичем Дуваниным (1914–2002), но так и не был признан российской гидрографической службой.

Увеличение объемов наблюдений, их регулярность, позволили Лаббоку практически реализовать предложение Фрэнсиса Бэкона – построить котидальную карту для устья реки Темзы. Карты котидальных линий (co-tidel) – линии одновременных приливов, сприливные линии, т. е. – геометрические места полных вод на акватории в фиксированный момент времени. Эти исследования Лаббока позволили осуществить его другу и соратнику Уильяму Вьюеллу (William Whewell) историческое открытие в области исследования приливов. В июле 1835 г., Вьюелл организовал «большой приливной эксперимент», когда приливы измерялись каждые пятнадцать минут в течение двух недель на более чем 650 приливно-отливных станциях в девяти странах, включая Великобританию, Францию, и Соединенные Штаты. На основе полученных результатов он построил в 1836 г. котидальную карту для Северного моря (рис. 1). На этой карте впервые в истории человечества были отображены амфидромические области – области, в которых прилив отсутствует. Значимость этого открытия невозможно переоценить. Достоверность открытия Вьюэлла была вскоре эмпирически подтверждена. В 1840 г. была организована экспедиция в районе Ла-Манша под руководством капитана Уильяма Хюетта (William Hewett). Результаты экспедиции подтвердили наличие в этом районе амфидромической области [3].

Однако никакие теории приливов не предполагали этого явления. Более того, ни одна теория приливов и по сей день не объясняет существование амфидромических точек. Думается, что именно эти обстоятельства вызвали резкое неприятие учеными открытия амфидромических точек Вьюеллом. В середине XIX века были опубликованы несколько работ известных ученых о невозможности этого явления, так как оно не следует из теорий приливов. В результате открытие Вьюэллом амфидромических точек было забыто до конца XIX века, и это несмотря на экспериментальное его подтверждение экспедицией Уильяма Хюетта. Только в начале XX в. идея амфидромических систем была возрождена, но в явно искаженном виде (но мы не будем касаться истории XX века).

В настоящее время вместо котидальных карт строят так называемые приливные карты для отдельных основных гармоник ($M2$, $S2$, $K1$, $O1$). Приливные карты построены практически для всех акваторий Мирового океана. К сожалению, несмотря на то, что прошло уже почти двести лет, для

российских официальных гидрографических документов наличие амфидромических систем осталось незамеченным. Это вызывает, по меньшей мере, удивление!

Здесь уместно сказать несколько слов об этом замечательном человеке – Уильяме Вьюэлле (рис. 2). Он родился в Ланкастере, Англия, 24 мая 1794 г., умер в Кембридже, Англия, 6 марта 1866 г., и был старшим сыном плотника. Выдающиеся способности и трудолюбие позволили Вьюэллу стать центральной фигурой Викторианской науки. Его заслуги далеко не ограничиваются исследованиями в области приливов. Именно ему принадлежит внедрение графических методов анализа временных рядов наблюдений, внедрение континуальных математических методов в прикладной математике.

Рис. 1. Первая в истории карта приливов с амфидромическими областями (W. Whewell, 1836 г.)

Вьюэлл был самой мощной фигурой в британском университетском образовании в середине девятнадцатого столетия. Его перу принадлежат существенные работы в экспериментальной физике, кристаллографии, минералогии, физической астрономии, архитектуре, поэзии и религии, огромное число популярных обзоров, лекций и проповедей. Он является изобретателем саморегистрирующего анемометра, создателем многих терминов, включая «ион», «катод», «эоцен», «миоцен», «физика» и «ученый». Вьюелл был одним из самых известных в мире ученых середины девятнадцатого века, в том числе и в России. Его многотомные труды

«История Индуктивных Наук (1837)» и «Философия Индуктивных Наук (1840)» были переведены в России уже в середине XIX века. К сожалению, в настоящее время его имя незаслуженно забыто, как и забыт его приоритет в выдающемся открытии амфидромических точек в приливах.

Предвычисление приливов в портах оставалось семейной коммерцией до последней четверти девятнадцатого века, когда Лорд Кельвин разработал метод гармонического анализа. Использование гармонического анализа для предвычисления приливов позволило полностью вытеснить средневековый приливной семейный бизнес с рынка обеспечения безопасности мореплавания. Для этого ученым понадобилось двести пятьдесят лет.

Метод гармонического анализа приливов является полностью кинематическим методом. Об этом свидетельствует, например, изложение этого метода, приведенное в ПГС-35 [2].

Рис. 2. Уильям Вьюэлл

В нем используются только числовые параметры, зависящие от эфемерид Луны и Солнца, и не используются никакие динамические параметры: силы притяжения, массы небесных тел и т. д. Никакой объяснительной силы этот гармонический метод не имеет, причин различия в географическом распределения приливов этот метод не дает. Гармонический анализ приливов позволяет предвычислять приливы только для пунктов, в которых проведены наблюдения над уровнем моря. Этот метод неприменим для пространственного анализа приливов, поскольку в нем никаким образом не учитывается наличие амфидромических точек в океане. В этом отношении, каких-либо дополнительных преимуществ, за исключением коммерческих, по сравнению со средневековыми методами он не имеет.

В заключении следует сказать, что в статье упомянуты только самые значительные события и исследователи в истории изучения приливов. Подробное изложение этого вопроса заняло бы много места, и не дало бы существенно новых сведений.

Проведенный краткий исторический обзор основных событий в истории исследования приливов до XX века показал, что:

1. Используемые в настоящее время методы гармонического анализа приливов основаны на кинематических связях между приливами в конкретном пункте и эфемеридами Луны и Солнца. Эта связь была эмпирически формализована в средние века, а обнаружена еще до нашей эры. Потенциальные возможности этого гармонического метода далеко не исчерпаны и ждут своих исследователей. Заметим, что в действующих правилах гидрографической службы изложен гармонический метод столетней давности.

2. Открытие Вьюеллом амфидромических точек в первой половине девятнадцатого века полностью игнорируется в практике навигационно-гидрографического обеспечения мореплавания.

Автор надеется, что в двадцать первом веке российская гидрографическая служба возьмет на вооружение исторические открытия в области исследования приливов. Тем более, что в ГНИНГИ МО РФ разработаны соответствующие вычислительные методы, в частности метод предвычисления приливов на открытых акваториях [5]. Это один из путей существенного повышения навигационно-гидрографического обеспечения мореплавания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила гидрографической службы №4 (ПГС №4). – Л.: Изд. ГУ ВМС, 1956. – 293 с.
2. Правила гидрографической службы №35 (ПГС №35). – Л.: Изд. ГУ ВМС, 1956. – 193 с.
3. Cartwright D. E. Tides. A Scientific History. – Cambridge, University Press., 2000. – 292 pp.
4. Березкин В.А. Динамика моря. – Л., Гимиз, 1938. – 371 с.
5. Жуков Ю.Н., Федорова Е.В. Аналитические принципы расчета приливных карт на основе функций комплексного переменного. // Навигация и гидрография. – 2001. - №11. - С. 147 – 150.

THE MAIN EVENTS IN THE HISTORY OF THE TIDES STUDIES

Y. N. Zhukov
(GNINGI, RF MoD)

The basic historical events in the sphere of the tide studies that are of great importance for the present day practice of navigation-hydrographic support are described.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

АЛЕКСЕЕВ Сергей Петрович, начальник ГНИНГИ МО РФ, заслуженный военный специалист РФ, председатель СПб регионального отделения Российского общественного института навигации, академик Академии транспорта РФ, контр-адмирал, докт. техн. н. , профессор Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – штурман. Автор более 200 печатных трудов.

Sergey P. ALEKSEYEV, Chief of the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD, Rear-Admiral, DSc, Honoured Military Specialist, chairman of St. Petersburg regional branch of the Russian Public Institute of Navigation, member of the Academy of Transport, RF. Graduated from Frunze Naval College and Naval Academy. Speciality: navigation. Author of more than 200 publications.

БОГОМАЗОВ Константин Яковлевич, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, доцент, капитан 1 ранга в отставке. Окончил ТОВВМУ им. С. А. Макарова, Высшие специальные офицерские классы. Специализация – штурман. Автор около 50 печатных трудов, из них восемь авторских монографий.

Konstantine Ya. BOGOMAZOV, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD, reader, Captain 1-st rank (Ret.). Graduated from Makarov Naval College and Higher Special Officers' Classes, Speciality: navigation. Author of about 50 publications, including 8 books.

ГАВРИЛОВ Владимир Валентинович, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, подполковник в отставке. Окончил Ленинградский государственный университет. Специализация – спутниковая навигация. Автор более 60 печатных работ.

Vladimir V. GAVRILOV, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Colonel (Ret.). Graduated from Leningrad State University. Speciality: satellite navigation. Author of more than 60 publications.

ГАСНИКОВ Олег Александрович, старший научный сотрудник ГНИНГИ. Окончил Ленинградское высшее инженерное морское училище им. адм. С. О. Макарова, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. Специализация: гидрометеорология, вычислительная техника. Автор более 20 научных публикаций.

Oleg A. GASNIKOV, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD. Graduated from Leningrad Higher Engineering Marine College and St. Petersburg State Polytechnical University. Speciality: hydrometeorology, computer science. Author of more than 20 publications.

ГУСЕВА Валентина Ивановна, начальник лаборатории ГНИНГИ МО РФ. Окончила Ленинградский государственный университет. Область научных интересов - геофизические исследования, создание банков геофизических данных. Автор более 20 печатных трудов.

Valentina I. GUSEVA, the chief of laboratory, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD. Graduated from Leningrad State University. Sphere of scientific interests: geophysical investigations, creation of geophysical databank. Author of more than 20 publications.

ДАНИЛОВА Галина Кирилловна, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ. Окончила Петрозаводский государственный университет (1960). Специализация – навигация. Автор около 100 печатных трудов.

Galina. K. DANILOVA, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Graduated from the Petrozavodsk State University (1960). Speciality: navigation. Author of about 100 publications.

ЖУКОВ Юрий Николаевич, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, докт. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт. Специализация – гидрометеорология. Автор более 40 печатных трудов.

Yuri N. ZHUKOV, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, DSc. Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute. Speciality: hydrometeorology. Author of more than 40 publications.

ЗУБЧЕНКО Эдуард Семенович, преподаватель Военно-морской академии, капитан 1 ранга в отставке, докт. техн. н., старший научный сотрудник. Окончил высшее военно-морское училище им М. В. Фрунзе, Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – гидрография, аэрокосмические методы сбора гидрографической информации. Автор 45 печатных трудов.

Edward S. ZUBCHENKO, teacher, the Naval Academy, DSc, senior researcher, Captain 1-st rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College, the Naval Academy. Speciality: hydrography, aerospace methods of collecting the hydrographic information. Author of 45 publications.

ИВАНОВ Борис Евгеньевич, главный научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга в отставке, докт. техн. н., профессор, лауреат Государственной премии РФ, заслуженный деятель науки и техники, председатель секции НТО им. акад. А. Н. Крылова. Окончил Балтийское высшее военно-морское училище, Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – морская геодезия, гравиметрия, гидрография, навигация. Автор около 200 печатных трудов.

Boris E. IVANOV, chief researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD, Captain 1-st rank (Ret.), DSc, professor, RF State Prize Winner, Honoured Scientist, chairman of Krylov STO section. Graduated from Baltic Naval College and Naval Academy. Speciality: marine geodesy, gravimetry, hydrography, navigation. Author of about 200 publications.

КАТЕНИН Владимир Александрович, ученый секретарь ГНИНГИ МО РФ, докт. воен. н., капитан 1 ранга в отставке. Окончил Каспийское высшее военно-морское училище. Специализация – военная кибернетика. Автор более 190 печатных трудов.

Vladimir A. KATENIN, scientific secretary, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, DSc, Captain 1-st rank (Ret.), Graduated from Caspian Naval College. Speciality: military cybernetics. Author of more than 190 publications.

ЛАВРОВА Ирина Викторовна, начальник лаборатории ГНИНГИ МО РФ. Окончила Российский государственный гидрометеорологический университет. Специализация – метеорология, климатология.

Irina V. LAVROVA, head of laboratory, the State Research Navigation-Hydrographic Institute. Graduated from the Russian State Hydrometeorological University. Speciality: meteorology, climatology.

ЛАПШИНА Валентина Ивановна, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ. Окончила Ленинградский институт точной механики и оптики (1959). Сфера научных интересов – программно-математическое обеспечение навигационных задач. Автор 15 научных публикаций.

Valentina I. LAPSHINA, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Graduated from Leningrad Institute of Fine Mechanics and Optics (1959). Sphere of scientific interests: software for navigation problems. Author of 15 publications.

ЛОБОЙКО Борис Иванович, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга в запасе, докт. техн. н., академик Академии военных наук, почётный геодезист. Окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники им. С. Попова. Специализация – радиосвязь, навигация. Автор более 70 печатных трудов.

МАСТРЮКОВ Сергей Иванович, начальник отдела ГНИНГИ МО РФ, полковник в запасе, канд. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт. Специализация – океанология. Автор около 100 печатных трудов.

МАЛЕЕВ Павел Иванович, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга в отставке, докт. техн. н. Окончил Казахский государственный университет, Специальные курсы при Военно-морской академии им. А. Н. Крылова. Специализация – технические средства навигации. Автор около 250 печатных трудов.

ПУШКИНА Людмила Федоровна, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ. Окончила Ленинградский горный институт. Специализация – горный инженер-геофизик. Автор 19 печатных трудов.

РЕЗНИЧЕНКО Владимир Иванович, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ, докт. техн. н. Окончил Ленинградский институт точной механики и оптики. Специализация – средства и методы навигационного обеспечения. Автор более 100 печатных работ.

СМИРНОВ Михаил Юрьевич, заместитель начальника отдела ГНИНГИ МО РФ. Окончил высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Специальность – штурман. Автор одной публикации.

СОБОЛЕВА Мария Николаевна, начальник лаборатории НИЦ ГНИНГИ МО РФ. Окончила Санкт-Петербургский государственный университет. Специализация – гидрограф-климатолог-эколог.

Boris I. LOBOIKO, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD. Captain 1st rank (Ret.), DSc, academician of the Academy of Military Sciences, Honoured Geodesist. Graduated from Popov Naval College of Radioelectronics. Speciality: radio communications, navigation. Author of more than 70 publications.

Sergei I. MASTRYUKOV , chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Colonel (Ret.), CandSc. Graduated from St. Petersburg Hydrometeorological Institute. Speciality: oceanology. Author of about 100 publications.

Pavel I. MALEYEV, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD. Captain 1st rank (Ret.), DSc. Graduated from Kazakh State University, Specialized Course at Krylov Naval Academy. Speciality: technical means of navigation. Author of about 250 publications.

Lyudmila F. PUSHKINA, senior researcher, State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD. Graduated from Leningrad Mining Institute. Specialty – geophysics. Author of 19 publications.

Vladimir I. REZNICHENKO, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, DSc. Graduated from Leningrad Institute of Fine Mechanics and Optics. Sphere of scientific interests: means and methods of navigation-hydrographic support. Author of more than 100 publications.

Mikhail Y. SMIRNOV, deputy chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD. Graduated from Frunze Naval College. Speciality: navigation. Author of one publication.

Maria N. SOBOLEVA, chief of laboratory, Research Center, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD. Graduated from St. Petersburg University. Speciality: geography-climatology-ecology/

СТАРОЖИЦКИЙ Виктор Владимирович, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 1-го ранга в отставке. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Военно-морскую академию им. Крылова. специализация – гидрография. Область научных интересов: гидроакустические средства съемки рельефа дна. автор более 35 печатных работ.

Victor V. STAROZHITSKY, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD. Graduated from Frunze Naval College and Krylov Naval Academy. Speciality: hydrography. Sphere of scientific interests: hydroacoustic means of bottom relief survey. Author of more than 35 publications.

СТАВРОВ Константин Георгиевич, начальник научно-исследовательского центра ГНИНГИ МО РФ, докт. техн. н. Окончил Ленинградский государственный университет. Область научных интересов - геофизические исследования, экологический мониторинг. Автор более 100 печатных трудов.

Konstantin G. STAVROV, chief of Research Centre, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD, DSc. Graduated from Leningrad State University. Sphere of scientific interests: geophysical investigations, ecology monitoring. Author of more than 100 publications.

СУВЕРЕНЕВА Екатерина Владимировна, техник НИЦ ГНИНГИ МО РФ. Студентка 3 курса Санкт-Петербургского электро-технического университета. Специализвация – информационные технологии.

Ekaterina W. SUVERENEVA, technician, Research Centre, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD. Student (3-rd year) of St. Petersburg Electrotechnical University. Speciality: information technologies.

УЛЬЯНЕЦ Евгения Константиновна, младший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ. Окончила Российский государственный гидрометеорологический университет. Специализация – метеорология, климатология.

Evgenia K. ULYANETS, junior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute. Graduated from the Russian State Hydrometeorological University. Speciality: meteorology, climatology.

УСОЛЬЦЕВА Евгения Анатольевна, научный сотрудник НИЦ ГНИНГИ МО РФ. Окончила Российский государственный гидрометеорологический университет. Специализация – метеоролог.

Evgenia A. USOLTSEVA, senior researcher, Research Centre, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD. Graduated from the Russian State Hydrometeorological University. Speciality: meteorology.

ХЛЫПАЛО Юрий Григорьевич, начальник лаборатории отдела ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга в отставке. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Специализация – штурман. Автор более 10 статей и научно-технических отчетов в области НГГМО кораблей ВМФ.

Yuri G. KHLYPALO, chief of laboratory, the State Research Navigation-Hydrographic Institute. Captain 1st rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College. Speciality: navigator. Sphere of interests: navigation-hydrographic and hydrometeorological support for the Navy ships. Author of more than 10 publications.

ЧЕРВЯКОВА Нина Владимировна, инженер-технолог ГНИНГИ МО РФ. Окончила Российский государственный гидрометеорологический университет. Специализация – метеорология, климатология.

Nina V. CHERVYAKOVA, engineer-technologist, the State Research Navigation-Hydrographic Institute. Graduated from the Russian State Hydrometeorological University. Speciality: meteorology, climatology.

ЯКУШЕВ Артем Анатольевич, начальник лаборатории ГНИНГИ МО РФ, капитан-лейтенант (в запасе). Окончил Окончил Санкт-Петербургский Военно-Морской Институт, ВСОК ВМФ. Специализация – штурман.

Artem A. YAKUSHEV, chief of laboratory, the State Research Navigation-Hydrographic Institute. Graduated from St. Petersburg Naval Institute, Higher Officers Classes. Speciality: navigator.

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ

Информация о правилах оформления подписки на издания Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института Министерства обороны Российской Федерации

Юридические и физические лица могут приобрести следующие издания ГНИНГИ Минобороны России: журнал «Навигация и гидрография», материалы Российской научно-технической конференции «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии».

Приобрести издания можно, оформив заказ на номер/номера журнала и/или сборники докладов конференций НО-2004, НО-2007 как за наличный, так и безналичный расчет.

Время оформления подписки или заказа не ограничено.

В 2008 году ГНИНГИ Минобороны России изданы журналы «Навигация и гидрография» №26 и №27.

Цена одного номера (выпуска):

- журнала «Навигация и гидрография» – 190 руб.;
- сборника «Труды конференции "НО-2004"» в двух томах – 500 руб.;
- сборника «Труды конференции "НО-2007"» – 1500 руб.;
- сборника «Труды конференции "НО-2007"» на CD – 500 руб.;

Заполненный бланк-заказ просим высылать:
Начальнику ГНИНГИ Минобороны России
Кожевенная линия 41, Санкт-Петербург, Россия, 199106.

Копию платежного поручения просим направить начальнику отдела научно-технической информации Бахмутову В.Ю. по тел/факсу +7 (812) 327-99-80 или электоронной почтой на E-mail gningi@navy.ru

Глубокоуважаемые коллеги!

Приглашаем Вас к сотрудничеству в журнале **«Навигация и гидрография»**, издаваемом с 1995 г. Государственным научно-исследовательским навигационно-гидрографическим институтом Министерства обороны Российской Федерации.

В журнале публикуются результаты исследований в области навигации, гидрографии, океанографии, гидрометеорологии, морской картографии, морской геофизики и экологии. Издание освещает концептуальные научные положения и осуществляет оперативную публикацию новейших теоретических исследований. Журнал знакомит с передовыми техническими достижениями, с материалами симпозиумов, конференций и хроникой важнейших событий научной жизни. Статьи журнала рецензируются.

Журнал распространяется по подписке. Кроме того, он поступает как в Генеральный штаб ВС РФ, Главный штаб ВМФ, ГУНиО МО РФ, органы управления флотов, научно-технические библиотеки высших военно-морских учебных заведений, научно-исследовательских организаций, крупнейшие библиотеки России, так и отсылается за рубеж (Международное гидрографическое общество, Гидрографическая служба Великобритании и др.).

Информация для авторов

Журнал выходит два раза в год. Статьи, предназначенные для первого номера, принимаются до конца марта, а для второго – до конца сентября текущего года.

Требования к оформлению материалов

Статьи принимаются на дискетах 3,5" или CD в формате текстового редактора MS Word (версия не ранее 2000 г.) с приложением текста на бумаге (шрифт – Times New Roman размером 14, межстрочный интервал 1,5). Все материалы должны быть подписаны авторами.

Объем статьи не должен превышать 0,5 авторского листа (20 000 печатных знаков), включая рисунки, таблицы и список литературы.

Название статьи должно в наиболее краткой форме отражать ее содержание.

В статье указывается *индекс ГРНТИ*. К работе прилагается *аннотация* (объемом не более 150 слов) и *сведения об авторах* (ФИО полностью; полное название учреждения, где работает автор; должность; ученая степень; воинское звание; год окончания и полное название высшего учебного заведения, которое закончил автор; специализация, количество опубликованных научных трудов). Аннотация и сведения об авторах представляются *отдельными файлами*. Следует указать почтовый и электронный *адреса авторов*, а также служебные и домашние номера телефонов. К рукописи прилагается *сопроводительное письмо* организации, где выполнено данное исследование, и один экземпляр *экспертного заключения* о возможности открытого опубликования представленных материалов.

Для написания формул и символов, входящих в формулы, следует использовать редактор формул MS Word.

Используемые в статье *величины и единицы измерения* должны соответствовать стандартным обозначениям согласно Международной системе единиц СИ.

Рисунки представляются *отдельным файлом* в форматах .bmp, .jpg или .gif с разрешением до 300 dpi. Все рисунки должны быть размером не более 210×140 мм и иметь порядковые номера и подписи.

Таблицы должны иметь порядковые номера и названия. Ширина таблицы не должна превышать 140 мм.

Список использованной литературы составляется на языке оригинала (исключение – языки с иероглифическим написанием слов) в порядке ссылок на источники по тексту. Ссылки в тексте даются в квадратных скобках, где указывается номер работы по списку. В списке литературы указываются: фамилии и инициалы авторов, полное название книги или статьи, название сборника, город, издательство, год, том, номер, страницы.

Адрес редакции: ГНИНГИ МО РФ,
199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41,
Главному редактору журнала "Навигация и гидрография"
Алексееву Сергею Петровичу
Телефон/факс: (812) 322-21-13
E-mail: gningi@navy.ru

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ, 2008, №27

Научный редактор П. И. Малеев

Редактор И. Ю. Бугрова

Компьютерная верстка: И. А. Власов

Подписано в печать 26.12.2008 г.
Тираж 300 экз.
Заказ № 215 от 28.12.2008 г.

Журнал зарегистрирован в Федеральном агентстве по печати и массовым коммуникациям.
Свидетельство о регистрации ПИ 013271.

Подписной индекс в каталоге «Издания органов НТИ» Агентства «Роспечать» 60941

© Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт Министерства обороны Российской Федерации