

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

ИЗДАЕТСЯ С 1995 ГОДА

**17
2003**

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санкт-Петербург

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

Редакционная коллегия:

В. А. Авдонюшкин, к. т. н. С. П. Баринов, д. т. н., проф. Б. Н. Беляев,
д. в. н. П. Г. Бродский (заместитель главного редактора),
к. г.-м. н. И. Ю. Бугрова (редактор), к. т. н. М. Л. Богданович,
д. т. н., проф. А. Н. Добротворский (первый заместитель главного редактора),
к. в.-м. н., проф. А. А. Дадашев, д. т. н., проф. Б. Е. Иванов,
к. т. н. И. В. Капустин, к. т. н. А. А. Лакунин, к.т.н. Н. И. Леденев,
д. т. н. П. И. Малеев, к. т. н. С. И. Мاستрюков, д. в.-м. н. А. П. Михайловский,
д. т. н., проф. Н. Н. Неронов, А. Ю.Обухов (ответственный за выпуск),
к. т. н. А. Б. Опарин, д. т. н., проф. В. И. Пересыпкин,
акад. РАН В. Г. Пешехонов, к. т. н. Ю. В. Румянцев,
чл.-кор. РАН А. Е. Сазонов, чл.-кор. РАН А. И. Сорокин

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

2003

**THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC
INSTITUTE**

NAVIGATION AND HYDROGRAPHY

PUBLISHED SINCE 1995

**17
2003**

RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE

Saint-Petersburg

Editor-in-chief

S. P. Alekseyev, DSc

Editorial board

V. Avdonyushkin; S. Barinov, CandSc; B. Belyaev, DSc; M. Bogdanovich;
P. Brodsky (vice-editor-in-chief), DSc; I. Bugrova, CandSc (editor);
A. Dadashev, CandSc; A. Dobrotvorsky (first vice-editor-in-chief),
DSc; B. Ivanov, DSc; I. Kapustin, CandSc; A. Lakunin, CandSc; N. Ledenev;
P. Maleyev, DSc; S. Mastryukov, CandSc; A. Mikhaylovsky, DSc;
N. Neronov, DSc; A. Obukhov (the issue manager); A. Oparin, CandSc;
V. Peresyarkin, DSc; V. Peshekhonov DSc, Acad. RAS; Yu. Rumyantsev, CandSc;
A. Sazonov, CM RAS; A. Sorokin, DSc, CM RAS

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

2003

СОДЕРЖАНИЕ

С. П. Алексеев, А. Н. Добротворский, П. Г. Бродский Военно-морской флот и освоение энергетических ресурсов Мирового океана: на пути реализации положений Морской доктрины России.....	9
НАВИГАЦИЯ	15
Б. Е. Иванов Оценка отношения значений наибольшего модуля погрешности при разном объеме испытаний средств морской навигации и океанографии.....	15
Б. Е. Иванов Об оценке вероятности навигационной безопасности плавания по фарватеру при наличии встречного судна.....	21
Ф. С. Волчек, С. В. Травин, В. С. Григоров Оценка створа в системе «створ-канал-судно»	29
П. И. Малеев Акселерометрический горизонткомпас.....	39
П. И. Малеев, А. А. Голован Гироскоп-акселерометр с динамически настраиваемым подвесом	47
А. М. Доборин, Ю. С. Дубинко Одномерный поиск сигналов в согласованном фильтре только по задержке кода при неизвестной частоте.....	55
Г. К. Данилова, Ю. С. Дубинко, В. И. Лапшина, О. В. Никитин Использование избыточности совместных кодовых и фазовых измерений для более полного извлечения навигационной информации (решение задачи при числе видимых спутников менее четырёх).....	68
К. Чаплевский Использование методов робастного оценивания в навигации	79
С. И. Биденко, А. И. Горохов, В. С. Жолнеров, С. П. Зарубин, А. И. Кабилов, Г. А. Семенов, В. С. Трегубов Состояние и перспективы совершенствования инфраструктуры координатно-временного обеспечения	95
ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ	105
А. А. Дадашев Адаптивная регулярная цифровая модель рельефа морского дна	105
Н. С. Меркушов, А. Ю. Обухов, Ю. А. Глухов Электронные навигационные морские карты и технические средства их отображения.....	109
Н. С. Меркушов, А. Ю. Обухов Новые возможности корректуры электронных навигационных карт	122
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ОКЕАНОГРАФИЯ	127
Ю. Н. Жуков Свойства пространственного распределения приливных колебаний в океане	127
Ю. Н. Жуков Обоснование масштаба карты-основы для картирования климатической информации	136

С. И. Мастрюков Сравнительный анализ двух методов расчета гармонических постоянных приливных колебаний уровня моря.....	143
Б. Ю. Болдырев, П. И. Бухарицин Особенности гидрометеорологического обеспечения на Каспийском море	156
С. М. Усенков Некоторые особенности морфоседиментогенеза в береговой зоне юго-восточного сектора Печорской губы (район Варандей)	160
СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ	172
С. И. Балашов Маяк Святоносский	174
Л. В. Кобылинский Организация систематических гидрометеорологических наблюдений на берегах Японского моря (к 130-летию станции ГГУ «Владивосток-порт»).....	182
ИНФОРМАЦИЯ	193
ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ	195

CONTENTS

S. P. Alekseyev, A. N. Dobrotvorsky, P. G. Brodsky The Navy and Exploration & Development of the World ocean Energy Resources: on the Way to Implementing the Principles of the Maritime Doctrine of Russia	9
NAVIGATION	15
B. E. Ivanov Estimate of Relationship for Values of the Largest Error Module at Different Number of Measurements during the Tests of the Marine Navigation and Oceanography Aids.....	15
B. E. Ivanov On Probability Estimate of Navigation Safety when Sailing along the Fairway in the Presence of a Passing Vessel	21
F. S. Volchek, S. V. Travin, V. S. Grigorov Evaluation of the Leading Line in the "Leading Line-Canal-Vessel" System.....	29
P. I. Maleyev Accelerometric Horizon-Compass	39
P. I. Maleyev, A. A. Golovan Gyroscope-Accelerometer with Dynamically Adjusted Suspension.....	47
A. M. Doborin, Y. S. Doubinko One-dimensional Search for Signals in Matched Filter by the Code Delay Only with Unknown Frequency.....	55
G. K. Danilova, Y. S. Doubinko, V. I. Lapshina, O. V. Nikitin Employment of Redundancy of Joint Code and Phase Measurements for More Complete Extraction of Navigation Information	68
K. Czaplewski Use of Robust Estimation Methods in Navigation.....	79
S. I. Bidenko, A. I. Gorokhov, V. S. Zholnerov, S. P. Zarubin, A. I. Kabirov, G. A. Semyenov, V. S. Tregubov State and Prospects of Improvement for Co-ordinate-Time Provision Infrastructure	95
HYDROGRAPHY AND MARINE CARTOGRAPHY ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.	
A. A. Dadashev Adaptive Gridded Digital Model of Sea-Bed Relief Ошибка! Закладка не определена.	
N. S. Merkushev, A. Y. Obukhov, Y. A. Glukhov Electronic Navigational Charts and their Display Hardware	12209
N. S. Merkushev, A. Y. Obukhov New Possibilities to Update the Electronic Navigational Charts	122
HYDROMETEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY. Ошибка! Закладка не определена.	
Y. N. Zhukov Properties of Spatial Distribution of Tidal Variations in the Ocean	127
Y. N. Zhukov Substantiation for Base Map Scale Used to Map the Climatic Information.....	136
S. I. Mastryukov Comparative Analysis of Two Calculation Methods of Harmonic Constants for Tidal Variations of Sea Level.....	143
B. Y. Boldyrev, P. I. Bukharitsyn Features of Hydrometeorological Support on the Caspian Sea.....	16056

S. M. Usenkov Some Features of Morphosedimentogenesis in the Coastal Zone of the South-East Sector of the Pechora Bay (Varandei Area).....	17060
PAGES OF HISTORY	Ошибка! Закладка не определена. 1
S. I. Balashov Svyatonosky Lighthouse	18273
L. V. Kobylinsky Organization of Systematic Hydrometeorological Observations on the Coasts of the Sea of Japan (On the occasion of the 130-th anniversary of "Vladivostok-Port" station, Head Hydrographic Department)	19281
INFORMATION	Ошибка! Закладка не определена. 92
INFORMATION ABOUT AUTHORS	Ошибка! Закладка не определена. 94

**ВОЕННО-МОРСКОЙ ФЛОТ И ОСВОЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
РЕСУРСОВ МИРОВОГО ОКЕАНА: НА ПУТИ РЕАЛИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЙ
МОРСКОЙ ДОКТРИНЫ РОССИИ**

**С. П. АЛЕКСЕЕВ,
А. Н. ДОБРОТВОРСКИЙ,
П. Г. БРОДСКИЙ**
(ГНИНГИ МО РФ)

На основе анализа основных положений национальной морской политики излагается роль и место ВМФ в реализации планов освоения энергетических ресурсов континентального шельфа России. Рассматриваются результаты практической деятельности ГНИНГИ Минобороны России в области обеспечения освоения морских нефтегазовых месторождений, а также основные направления работ по взаимодействию и долгосрочному сотрудничеству ВМФ и ОАО «Газпром» по реализации положений Морской доктрины России.

Морская сила нашего Отечества, основу которой составляет Военно-Морской Флот, включает не только боевые корабли, вспомогательные суда и авиацию, но и развитую инфраструктуру, в том числе промышленный комплекс, обладающий наукоемкой, высокотехнологичной и конкурентоспособной производственной базой. Использование этого потенциала и ресурсов двойного назначения при решении долгосрочных задач национальной морской политики может и должно стать одним из важнейших факторов перехода к устойчивому экономическому развитию страны, укрепления ее национальной безопасности и международного авторитета [1].

В плане реализации указанного положения в октябре 2003 г. прошло заседание Морской коллегии при Правительстве Российской Федерации, на котором заинтересованными министерствами и ведомствами обсуждалась «единая государственная стратегия изучения и освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа Российской Федерации».

При подготовке предложений ВМФ по вопросу единой государственной стратегии изучения и освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа в основу были положены следующие положения и оценки [2].

1. Освоение пространств и ресурсов Мирового океана в целом становится одним из главных направлений развития мировой цивилизации в третьем тысячелетии.

Благодаря своим пространственным и геофизическим особенностям, месту и роли в глобальных и региональных международных отношениях, а также огромному вкладу в изучение Мирового океана и развитие судоходства Россия как исторически ведущая морская держава сформировала и последовательно осуществляет в области морской деятельности государственную политику, призванную стать одним из основных факторов

перехода к устойчивому экономическому развитию страны, укреплению ее национальной безопасности и международного авторитета.

2. Перспектива истощения запасов углеводородного сырья и других минеральных ресурсов в континентальной части страны предопределяет переориентацию разведки и добычи полезных ископаемых на континентальный шельф, а в перспективе – на океанские склоны и ложа океанов.

В настоящее время основу государственной политики в данной области составляют:

- энергетическая стратегия России, основные положения которой одобрены Правительством РФ (протокол № 39 от 23 ноября 2000 г.);

- морская доктрина Российской Федерации на период до 2020 г. (утверждена Президентом страны В. В. Путиным 27 июля 2001 г.);

- рекомендации Парламентских слушаний по вопросу государственной стратегии развития и рационального использования минерально-сырьевой базы от 14 ноября 2001 г.;

- ряд федеральных законов Российской Федерации и других нормативно-правовых актов.

3. Практическим воплощением государственной политики в области освоения полезных ископаемых на континентальном шельфе являются проекты «Голубой поток», «Сахалин - 1», «Сахалин - 2», развертывание компанией «Севморнефтегаз» проектных работ по подготовке к обустройству Приразломного месторождения, принятие ОАО «Газпром» решения об освоении месторождений полуострова Ямал и прилегающих акваторий в качестве основного объекта нефтегазодобычи.

Развертывание работ по освоению морских нефтегазовых месторождений определяется особенностями в нормативно-правовой, технологической и коммерческой сферах, которые характеризуются:

- высоким темпом нарастания практической востребованности морских технологий и оборудования для производства работ со стороны нефтегазовых компаний, планирующих вывод целого ряда крупных месторождений на эксплуатационный режим использования уже к 2010 г.;

- отсутствием в РФ надежной и эффективной системы обеспечения объектов обустройства морских нефтегазовых месторождений соответствующими морскими технологиями и оборудованием (недостаточный уровень развития техники, отсутствие многих образцов оборудования, несовершенная нормативная база, неразвитая инфраструктура);

- быстрым увеличением опасности критического и неконтролируемого воздействия на морскую экосистему, высокой степенью экологических рисков из-за отсутствия должного экологического обеспечения;

- упущенной выгодой из-за невозможности проведения процедур обязательного страхования объектов морских нефтегазовых месторождений из-за отсутствия независимой системы строительного, эксплуатационного и производственно-технологического мониторинга.

4. В связи с развертыванием работ по освоению морских нефтегазовых месторождений возник целый ряд принципиально новых научных и

технических проблем, связанных с изучением природных условий шельфа России, с созданием транспортных систем, портовой инфраструктуры и авиатранспортного обеспечения, с необходимостью осуществления многопланового экологического мониторинга и т. д.

Как показывает опыт ВМФ, эффективным способом решения проблем подобного рода является использование морского потенциала в части сил и средств двойного назначения. Примером может служить использование производственных и научно-технических возможностей военной навигации, гидрографии и океанографии [3].

Составляющими современного производственного и научно-технического потенциала военной навигации, гидрографии и океанографии являются:

- средства и методы высокоточной навигации подвижных объектов;
- средства навигационного оборудования побережья и морских сооружений;
- судовые электронные навигационные информационные системы и бортовые комплексы автоматизации научных исследований;
- высокоточные средства и методы гидрографических и геофизических работ;
- средства и методы океанографических исследований;
- фондовые материалы океанографических и геофизических исследований ВМФ;
- фондовые материалы батиметрических съемок, картографические материалы и информационные технологии картографического производства ВМФ;
- вспомогательные, гидрографические суда и катера различных классов с развитой системой базирования на Северном, Балтийском, Черноморском и Тихоокеанском флотах, а также на Каспийской флотилии.

Практическую деятельность по конверсионному использованию производственного и научно-технического потенциала военной навигации, гидрографии и океанографии осуществляет Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт Министерства обороны Российской Федерации (ГНИНГИ Минобороны России), в деятельности которого сформировались и приобрели устойчивый характер следующие направления [3, 4]:

- проектирование систем навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения освоения и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений;
- производство морских инженерных изысканий в обеспечение проектирования и строительства подводных трубопроводов и других объектов обустройства морских нефтегазовых месторождений;
- разработка нормативно-технических вопросов развития и применения морских технологий и оборудования для решения задач мониторинга (экологического, строительного, производственно-технологического), выполнения аварийно-спасательных и ремонтно-восстановительных работ, выполнения морских инженерных изысканий, гидрографических и океанографических исследований.

Примерами выполненных или ведущихся ГНИНГИ МО РФ работ могут быть:

- проект системы навигационного обеспечения морских и воздушных перевозок Приразломного нефтяного месторождения;
- проект системы гидрометеорологического обеспечения разведочного бурения в Обской и Тазовской губах;
- проект подводного отгрузочного терминала в Печорском море;
- проект буксировки морской ледостойкой платформы «Приразломная» в точку установки на месторождении;
- морские инженерные изыскания по проекту «Голубой поток»;
- морские инженерные изыскания по проекту «Северо-Европейский газопровод»;
- морские инженерные изыскания по проектам «Сахалин - 1», «Сахалин - 2»;
- проекты путей движения и средств навигационного оборудования для обеспечения танкерных перевозок в восточной части Финского залива и на подходах к заливу Чайво (проект «Сахалин - 2»);
- разработка нормативно-технических вопросов развития и применения глубоководных технологий и оборудования.

Все работы выполнены в соответствии со стандартом качества ISO.

Необходимо отметить, что работы на континентальном шельфе, производятся в зоне ответственности наших флотов. Естественно, ВМФ должен участвовать в создании и обеспечении функционирования комплексной системы безопасности при разведке, добыче, хранении, переработке и транспортировке нефти и газа морских месторождений.

Это позволит, в первую очередь, минимизировать риски возникновения аварий и затраты на их ликвидацию, а также привлечь научные и производственные структуры ВМФ к работам в рамках соглашений о разделе продукции.

Непосредственные указания об активизации такой деятельности отданы Президентом Российской Федерации Правительству РФ в октябре 2002 г. (Пр - 1888 от 22.10.2002 г.).

Таким образом, в настоящее время созданы реальные предпосылки для уточнения содержания государственной стратегии изучения и освоения нефтегазового потенциала шельфа на основе практического участия ВМФ в решении приведенных проблем. В целом суть предлагаемых решений заключается в реализации комплексной системы мер и механизма эффективного управления государственной собственностью в части привлечения ресурсов и потенциала ВМФ.

С этой целью и в плане реализации положений Морской доктрины России Военно-Морским Флотом и открытым акционерным обществом «Газпром» принято решение по взаимодействию и долгосрочному сотрудничеству, предусматривающему проведение ряда работ по следующим основным направлениям.

- 1) Создание системы перевозки углеводородного сырья на основе технологии морской транспортировки сжатого природного газа с

-
- использованием специально оборудованных судов-газовозов и объектов инфраструктуры ВМФ.
- 2) Совершенствование морских элементов транспортного обеспечения объектов обустройства месторождений углеводородов полуострова Ямал с прилегающими акваториями, включая развитие портовой инфраструктуры региона.
 - 3) Совершенствование материально-технической базы, технологий и оборудования, проведения морских инженерных изысканий и океанографических исследований.
 - 4) Создание комплексной системы обеспечения безопасности (КСБ) освоения и эксплуатации объектов ОАО «Газпром».

Представляется, что реализация работ по указанным направлениям обеспечит:

- расширение газификации Российской Федерации, обеспечение газом ряда прибрежных районов России, включая объекты ВМФ;
- повышение уровня российского участия в реализации нефтегазовых проектов на условиях соглашений о разделе продукции;
- повышение энергетической безопасности стратегических объектов России, имеющих сложное расположение в силу природных или политических причин;
- совокупное централизованное решение задач оборонной и экономической деятельности;
- проведение необходимого объема исследований Мирового океана без привлечения бюджетных средств;
- оснащение судов современной техникой и оборудованием, отработку современных технологий гидрографических, океанографических и геофизических исследований;
- эффективный государственный контроль исследовательской деятельности на шельфе и в территориальных морях, а также передачу материалов исследований в государственные информационные центры.

В целом указанные предложения по участию Военно-Морского Флота в освоении энергетических ресурсов и выработке соответствующей стратегии могут и должны воплотиться в конкретные мероприятия для того, чтобы ускорить на деле становление экономики России, укрепление ее оборонной мощи и безопасности, эффективное развитие научной, экономической и социальной сферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морская доктрина РФ на период до 2020 г. // Красная звезда. – 23.08.2001
2. Алексеев С. П. Актуальные проблемы повышения эффективности процессов освоения и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений // Навигация и гидрография. – 2003. – № 16. – С. 8–15.
3. Алексеев С. П., Бродский П. Г., Добротворский А. Н. Научно-технический потенциал военной навигации, гидрографии и океанографии на службе национальной экономики // Навигация и гидрография. – 2001. – № 12. – С. 14–28.
4. Алексеев С. П., Бродский П. Г., Добротворский А. Н. НГО и ГМО морской деятельности в контексте выработки стратегии изучения и освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа России // Навигация и гидрография – 2002. – № 14. – С. 9–13.

S. P. Alekseyev, A. N. Dobrotvorsky, P. G. Brodsky

The Navy and Exploration & Development of the World ocean Energy Resources: on the Way to Implementing the Principles of the Maritime Doctrine of Russia

Based on the analysis of the national maritime policy principles, the role and place of the Navy activities in implementing the plans for exploration and development of the continental shelf energy resources of Russia are set forth. The results of the GNINGI (MoD RF) practical activities in the area of support for the exploration and development of the offshore oil and gas fields, as well as the main trends of work aimed at interaction and long-term co-operation of the Navy and «Gasprom» JSC intended to implement the principles of the Maritime doctrine of Russia, are considered.

НАВИГАЦИЯ

ГРНТИ 78.21.41:78.21.37

ОЦЕНКА ОТНОШЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ НАИБОЛЬШЕГО МОДУЛЯ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ РАЗНОМ ОБЪЕМЕ ИСПЫТАНИЙ СРЕДСТВ МОРСКОЙ НАВИГАЦИИ И ОКЕАНОГРАФИИ

Б. Е. ИВАНОВ
(ГНИНГИ МО РФ)

В статье на основе полученной аналитической зависимости определены статистические характеристики отношения значений наибольшего модуля погрешности при разном объеме испытаний средств морской навигации и океанографии. Достоверность полученных данных подтверждена путем статистического моделирования.

Ранее автором было показано [1], что при уменьшении объема испытаний средств морской навигации и океанографии существенно возрастает риск заказчика ошибочно признать годным изделие с недопустимо высоким уровнем погрешности. Поскольку морские испытания проводятся на судах заказчика, то, казалось бы, объем испытаний может быть увеличен настолько, чтобы свести к минимуму риск заказчика. Однако это не удается сделать по ряду причин. Во-первых, суда предназначены для выполнения свойственных им задач, а не для испытаний новой техники. При этом в большинстве случаев испытания проводятся в ущерб выполнению этих задач. Во-вторых, увеличение объема испытаний напрямую связано с возрастанием материальных и финансовых затрат. В-третьих, для оценки точностных характеристик изделия необходимо выполнять статистически однородные измерения, что крайне трудно практически сделать в морских условиях даже при значительном объеме испытаний.

Объем испытаний характеризуется числом n независимых погрешностей навигационного или океанографического параметра, полученных путем сравнения результатов измерения испытываемым средством и эталонным.

В тактико-техническом задании (ТТЗ) на разработку средств морской навигации и океанографии в качестве требования по точности измерения навигационного или океанографического параметра указывается допустимая средняя квадратическая погрешность (СКП) или предельная погрешность при заданной вероятности. Если при испытаниях оценивается СКП, то эта оценка имеет вероятностную меру в виде доверительной вероятности при заданном доверительном интервале, что позволяет судить о степени достоверности полученной оценки.

Величина наибольшего модуля погрешности, полученная во время испытаний и сравниваемая с заданной в ТТЗ предельной погрешностью, не

является статистической характеристикой результатов измерений и не имеет вероятностной меры. Наибольший модуль погрешности является выборкой (крайним значением) из ряда модулей погрешности, полученных при проведении испытаний. Сравнение выбранного наибольшего модуля погрешности с допустимой (заданной в ТТЗ) погрешностью не позволяет судить о степени выполнения ТТЗ по точности измерения навигационного или океанографического параметра. Необходимо еще установить, что вероятность появления модулей погрешности, не превышающих предельную погрешность, будет соответствовать вероятности, заданной в ТТЗ. Безупречное выполнение такого условия возможно только при очень большом объеме испытаний, чего, как отмечено выше, практически невозможно достичь в морских условиях.

Один из возможных подходов к решению поставленной задачи без увеличения объема морских испытаний заключается в следующем. Пусть в результате проведения морских испытаний получен наибольший модуль погрешности x . Объем испытаний n имеет малое значение и потому не позволяет судить о степени выполнения ТТЗ. Ставится задача оценить гипотетический наибольший модуль погрешности x^* при очень большом объеме испытаний n^* , позволяющем судить о степени соответствия ТТЗ. Эта задача может быть решена в том случае, если будет найдено отношение

$$r = x^* / x. \quad (1)$$

Определению статистических характеристик указанного отношения и посвящена данная статья.

В работе [2] приведена зависимость для плотности распределения экстремального частного – отношения наибольшего и наименьшего значений из выборки с фиксированным объемом n . При этом предполагалось, что указанные значения независимы. В рассматриваемой задаче исследуется отношение значений одной и той же величины – наибольшего модуля погрешности, но при разных объемах выборки. Учитывая доказанную в работе [2] независимость наибольшего и наименьшего значений, можно постулировать, что наибольшие модули погрешности x и x^* будут также независимы при существенном отличии n и n^* . Тогда на основании закона распределения функции случайных величин из работы [3] можно так выразить функцию распределения отношения (1):

$$\Psi(r) = \int_0^{\infty} \int_0^{rx} \varphi(x) \varphi^*(x^*) dx^* dx, \quad (2)$$

где $\varphi(x)$ и $\varphi^*(x^*)$ – плотности распределения величин x и x^* соответственно.

Дифференцируя выражение (2) по r , с учетом поставленной задачи получим плотность распределения отношения (1):

$$\psi(r) = k \int_0^{\infty} x \varphi(x) \varphi^*(rx) dx, \quad (3)$$

где k – коэффициент усечения.

Необходимость включения коэффициента k в формулу (3) связана со следующим. В целях решения поставленной задачи следует полагать, что гипотетический наибольший модуль погрешности появится после того, как испытания будут выполнены с объемом n и затем продолжены до тех пор, пока их объем не станет равным n^* . В этом случае $x^* \geq x$ и $r \geq 1$, а отношение (1) будет подчиняться одностороннему усеченному распределению при усечении слева от $r = 1$. Тогда на основании работы [4] коэффициент усечения будет равен

$$k = \frac{1}{1 - \Psi(1)}. \quad (4)$$

При вычислении коэффициента усечения следует иметь в виду, что знаменатель выражения (4) соответствует интегралу плотности распределения r от 1 до $+\infty$ при $k = 1$.

В соответствии с работой [2] плотность распределения $\varphi(x)$ равна

$$\varphi(x) = n F(x)^{n-1} f(x), \quad (5)$$

где $F(x)$ и $f(x)$ – функция и плотность распределения модуля погрешности x .

Предполагается, что погрешность измерения навигационного и океанографического параметра подчиняются нормальному распределению. Тогда выражения $F(x)$ и $f(x)$ соответствуют функции и плотности распределения модуля случайной величины, подчиняющейся нормальному распределению. Указанные выражения приведены в работе [4].

Плотность распределения $\varphi^*(x^*)$ также выражается формулой (5) при подстановке в нее x^* и n^* вместо x и n соответственно.

По формулам (3), (4) и (5) вычислены значения плотности распределения отношения (1). Результаты вычислений показаны сплошной линией на рис. 1 при $n=10$ и $n^*=1000$, на рис. 2 при $n=10$ и $n^*=10000$, на рис. 3 при $n=50$ и $n^*=1000$ и на рис. 4 при $n=50$ и $n^*=10000$.

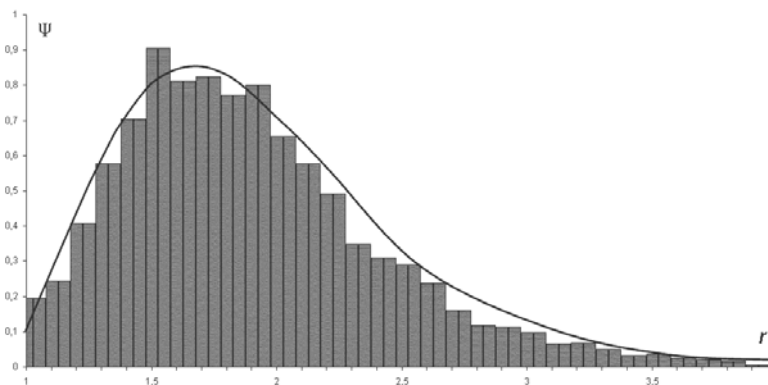


Рис. 1. Плотность распределения ψ отношения r значений наибольшего модуля погрешности при объеме испытаний $n = 10$ и $n^* = 1000$

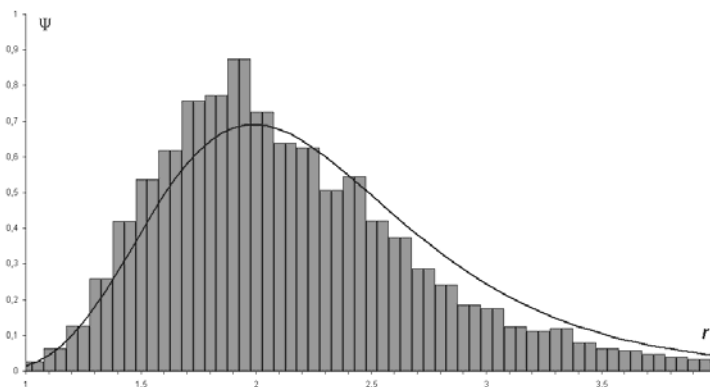


Рис. 2. Плотность распределения ψ отношения r значений наибольшего модуля погрешности при объеме испытаний $n = 10$ и $n^* = 10000$

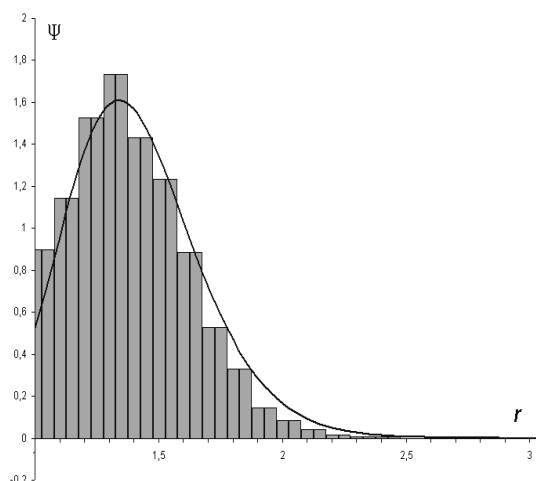


Рис. 3. Плотность распределения ψ отношения r значений наибольшего модуля погрешности при объеме испытаний $n = 50$ и $n^* = 1000$

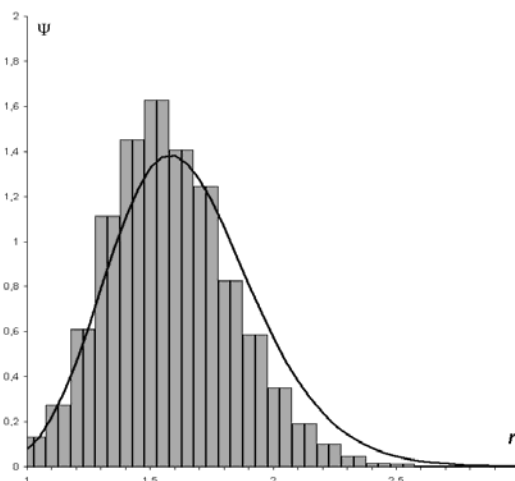


Рис. 4. Плотность распределения ψ отношения r значений наибольшего модуля погрешности при объеме испытаний $n = 50$ и $n^* = 10000$

Посредством использования полученных значений плотности распределения вычислены математическое ожидание M , мода M_0 и медиана M_e отношения (1). Результаты вычислений показаны на рис. 5 – для математического ожидания, на рис. 6 – для моды, на рис. 7 – для медианы и обозначены как теоретическое решение.

На рис. 1–4 видно, что при увеличении n^* и при увеличении разности между n^* и n кривая плотности распределения смещается в сторону возрастания отношения (1). Анализ рис. 5–7 показывает, что математическое ожидание, мода и медиана достаточно близки друг другу, значение их увеличивается при увеличении n^* и уменьшении n .

В целях оценки достоверности результатов, полученных в теоретическом решении, применялось статистическое моделирование. Для этого на ПЭВМ последовательно генерировались нормально распределенные случайные числа с нулевым математическим ожиданием и средним квадратическим отклонением, равным единице. В одном цикле каждое i -е число соответствует i -й погрешности ($i=1, 2, 3, \dots, n^*$). Модуль каждой i -й погрешности сравнивался с наибольшим модулем погрешности, полученным путем сравнения погрешностей от первой до $i-1$, и оценивалась возможность появления нового наибольшего модуля погрешности. При $i=n$ фиксировался наибольший модуль погрешности x . После этого продолжалось генерирование погрешностей и сравнение их модулей. Цикл заканчивался при $i=n^*$. Тогда фиксировался наибольший модуль погрешности x^* и определялось r по формуле (1).

На ПЭВМ было выполнено 5000 циклов и получено столько же значений r , которые использовались для составления статистических рядов с шагом, равным 0,1, при различных значениях n и n^* . На основании статистических рядов построены гистограммы, которые показаны на рис. 1–4, и вычислены значения математического ожидания, моды и медианы, которые представлены на рис. 5–7 и обозначены как статистическое моделирование.

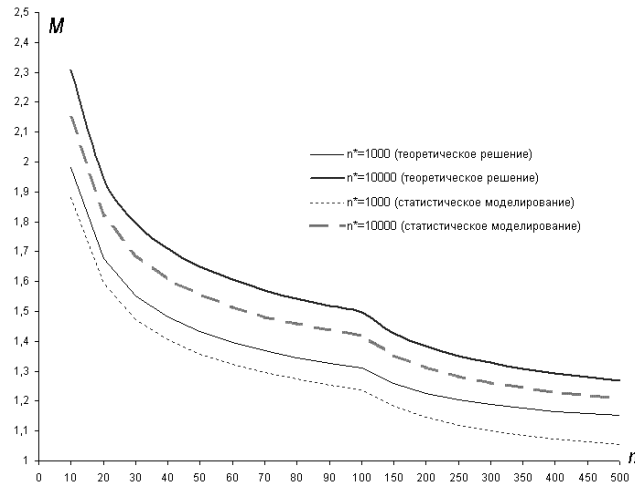


Рис. 5. Математическое ожидание M отношения значений наибольшего модуля погрешности при объеме испытаний n и n^*

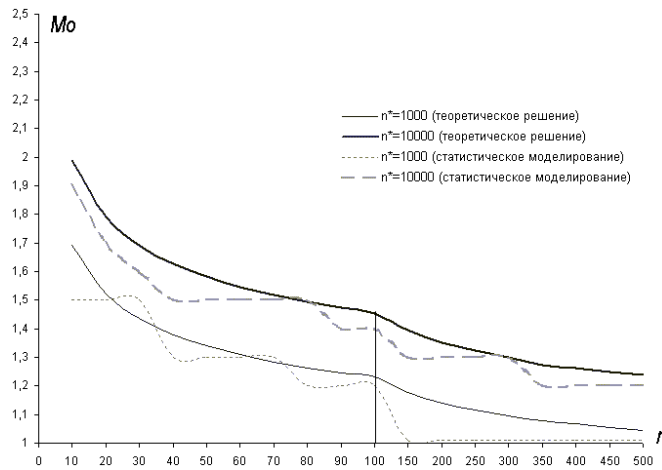


Рис. 6. Мода Mo отношения значений наибольшего модуля погрешности при объеме испытаний n и n^*

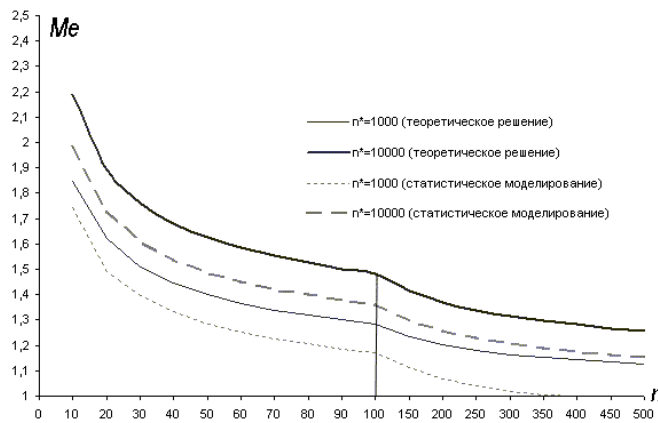


Рис. 7. Медиана Me отношения значений наибольшего модуля погрешности при объеме испытаний n и n^*

На рис. 1–7 видно, что каждая гистограмма достаточно точно отражает соответствующую плотность распределения, а характер изменения математического ожидания, моды и медианы, полученных путем статистического моделирования, соответствует характеру изменения соответствующих величин, полученных теоретическим путем. Сказанное подтверждает достоверность полученных теоретических зависимостей для отношения (1).

Кроме того, в процессе статистического моделирования были выбраны наибольшие значения отношения (1), которые обозначены R и приведены на рис. 8.

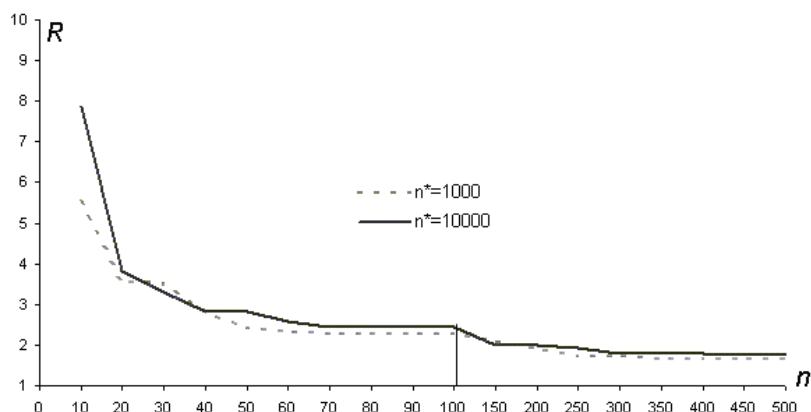


Рис. 8. Наибольшее отношение R значений наибольшего модуля погрешности при объеме испытаний n и n^*

Анализ полученных результатов вычислений позволяет утверждать следующее. Если при проведении морских испытаний не ограничиться малым объемом n и продолжить испытания, то наибольший модуль погрешности x^* , полученный при большом объеме испытаний n^* , будет **больше** наибольшего модуля погрешности x , полученного при малом объеме испытаний n . В связи с этим целесообразно после проведения испытаний с объемом n вычислить гипотетический наибольший модуль погрешности при большом объеме испытаний по формуле

$$x^* = r x.$$

Подобное решение рассмотрено в работе [5] для оценки соответствия требованиям ТТЗ точности попадания ракеты в цель.

Определение величины отношения r для конкретного типа навигационной и океанографической аппаратуры должно быть предметом соглашения между заказчиком и разработчиком.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Б. Е. О рисках разработчика и заказчика при испытании средств навигации и океанографии // Навигация и гидрография. – 2003. – № 16. – С. 19–23.
2. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. Пер. с англ. – М.: Мир, 1965. – 450 с.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Физматгиз, 1962. – 564 с.
4. Справочник по вероятностным расчетам. 2-е изд., доп. и испр. / Г. Г. Абезгауз, А. П. Тронь, Ю. Н. Копенкин, И. А. Коровина. – М.: Воениздат, 1970. – 536 с.
5. Радаев Н. Н. Контроль точности ракет при малом числе пусков // Известия РАН. Теория и системы управления. – 1999. – № 6. – С. 137–141.

B. E. Ivanov

Estimate of Relationship for Values of the Largest Error Module at Different Number of Measurements during the Tests of the Marine Navigation and Oceanography Aids

Based on the analytical relationship obtained, the statistical characteristics of the relationship for the values of the largest module of error at different number of measurements during the tests of the marine navigation and oceanography aids have been determined. The validity of the obtained data has been confirmed by statistical modelling.

ГРНТИ 78.21.41.19

ОБ ОЦЕНКЕ ВЕРОЯТНОСТИ НАВИГАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВАНИЯ ПО ФАРВАТЕРУ ПРИ НАЛИЧИИ ВСТРЕЧНОГО СУДНА

Б. Е. ИВАНОВ
(ГНИНГИ МО РФ)

В статье рассматриваются два подхода к оценке вероятности навигационной безопасности плавания по фарватеру при определении положения встречного судна относительно кромок фарватера и относительно своего судна.

Навигационная безопасность плавания по фарватеру связывается с двумя событиями: нахождением своего судна в пределах фарватера и безопасным расхождением со встречными судами. При оценке вероятности навигационной безопасности плавания (ВНБП) ранее учитывалось только первое событие. Первой работой, в которой были учтены оба события, явилась статья автора [1]. В дальнейшем этот вопрос рассматривался в статьях [2, 3] и монографии [4]. В указанных работах излагались два подхода к оценке ВНБП, отличающиеся характеристиками места встречного судна. В первом случае место встречного судна определялось относительно кромок фарватера, а во втором – относительно своего судна.

Представляется целесообразным сравнить указанные способы к оценке ВНБП и уточнить некоторые зависимости. Такая задача решается ниже.

1. Рассмотрим первый способ оценки ВНБП, когда место встречного судна определяется относительно кромок фарватера. Пусть на фарватере с кромками A и B проложены линии пути своего и встречного судов на расстоянии соответственно r и r_b от оси O , делящей фарватер на две равные полосы шириной L каждая (рис. 1). В соответствии со статьей [2] ВНБП может оцениваться по формуле

$$P = P_o - P_c, \quad (1)$$

где P_o – вероятность нахождения своего судна в пределах фарватера;

P_c – вероятность столкновения судов.

Вероятность P_o равна

$$P_o = \int_{-L-r}^{L-r} f(u) du, \quad (2)$$

где $f(u)$ – плотность распределения погрешности u определения места своего судна по направлению, перпендикулярному оси фарватера.

В целях упрощения зависимостей в формуле (2) и в последующих формулах при интегрировании по ширине фарватера не учтена ширина судна. Для ее учета достаточно уменьшить ширину фарватера на ширину судна [2].

Вероятность столкновения судов выражается зависимостью [2]

$$P_c = q \int_{r_B-L}^{r_B+L} \varphi(v) \int_{v-r-r_B-\Delta}^{v-r-r_B+\Delta} f(u) du dv, \quad (3)$$

где q – вероятность появления встречного судна на траверзе своего судна, зависящая от длины фарватера, скоростей судов и среднего промежутка времени между двумя последовательными прохождениями судов по данному фарватеру [2];

$\varphi(v)$ – плотность распределения погрешности v определения места встречного судна по направлению, перпендикулярному оси фарватера;

Δ – полусумма значений ширины своего и встречного судов с учетом зоны безопасности.

Внутренний интеграл в формуле (3) соответствует условной вероятности столкновения судов, численно равной площади заштрихованной фигуры на рис. 1.

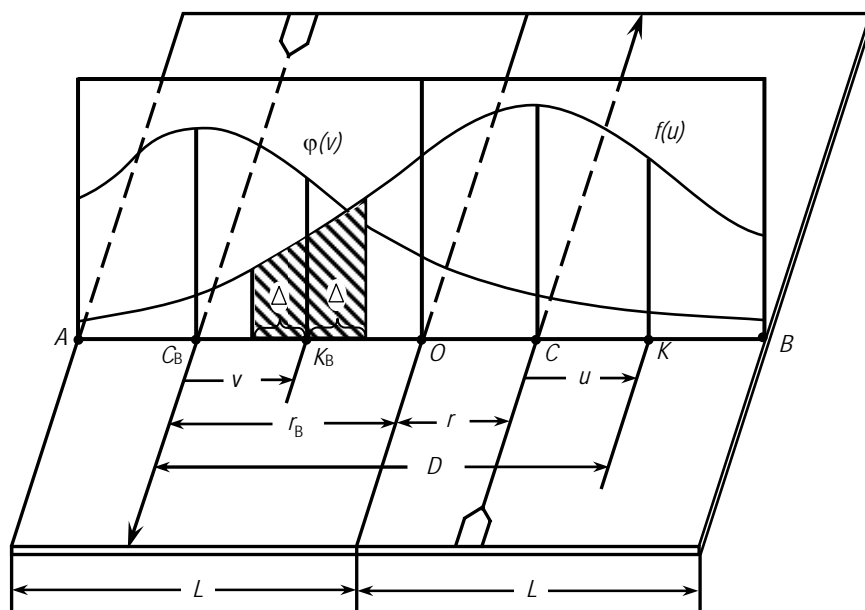


Рис. 1. Расположение своего и встречного судов на фарватере

C и K – определяемое и истинное места своего судна; C_B и K_B – определяемое и истинное места встречного судна; L – полуширина фарватера; A, B – кромки фарватера; O – ось фарватера; r, r_B – расстояния определяемых мест своего и встречного судов от оси фарватера; D – расстояние между определяемым местом встречного судна и истинным местом своего судна; Δ – полусумма значений ширины своего и встречного судов; $f(u)$ и $\varphi(v)$ – плотности распределения погрешности u определения места своего судна и погрешности v определения места встречного судна

Для оценки ВНБП необходимо знать закон распределения погрешностей определения места. Обычно в морской навигации применяется нормальное

распределение погрешностей. В то же время в методиках [5] предлагается применять распределение Лапласа. В связи с этим ниже будут использоваться оба эти закона. Выражения плотности распределения названных законов приведены в работах [6, 7] и характеризуются средними квадратическими погрешностями (СКП) определения места своего судна m и встречного судна $m_{\text{в}}$.

По формулам (1)–(3) при $q = 1$, $\Delta/L = 0,1$, $m/L = m_{\text{в}}/L = 0,2$ вычислены значения P , изменение которых в зависимости от отношений r/L и $r_{\text{в}}/L$ показано на рис. 2 сплошной линией для нормального распределения и штриховой линией для распределения Лапласа. При этом левая часть рисунка получена для двух фиксированных расстояний между своим судном и осью фарватера, а правая часть – для двух фиксированных расстояний между встречным судном и осью фарватера.

Из рис. 2 следует, что изменение ВНБП соответствует логике рассматриваемого процесса. В левой части этого рисунка видно, что при удалении встречного судна от оси фарватера ВНБП увеличивается. В правой части рис. 2 видно, что при удалении своего судна от оси фарватера ВНБП сначала увеличивается, достигает максимума при некотором значении r , которое назовем оптимальным и обозначим r_0 , а затем уменьшается.

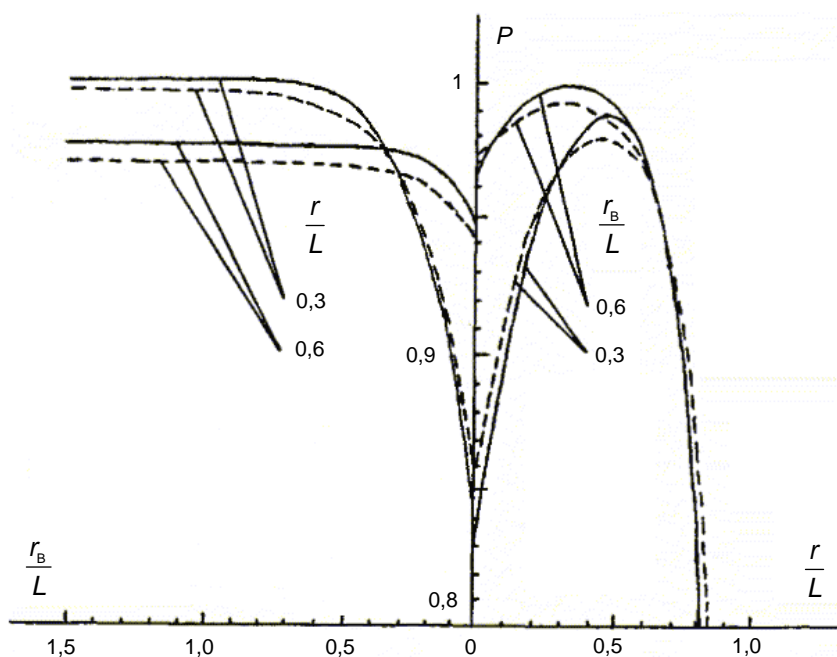


Рис. 2. ВНБП P в зависимости от расстояний своего r и встречного $r_{\text{в}}$ судов от оси фарватера, нормированных полушириной фарватера L

Найдем оптимальное расстояние для двух вариантов решения: в первом варианте расстояние $r_{\text{в}}$ считается фиксированным, а во втором – переменным и равным r . В обоих вариантах оптимальное расстояние находится путем решения уравнения

$$\frac{dP_o}{dr} - \frac{dP_c}{dr} = 0. \quad (4)$$

Дифференцируя выражение (2) по r , найдем первое слагаемое из уравнения (4) для обоих вариантов

$$\frac{dP_o}{dr} = f(-L-r) - f(L-r). \quad (5)$$

Второе слагаемое находится отдельно для каждого варианта. Дифференцируя выражение (3) по r , получим это слагаемое для первого варианта

$$\frac{dP_c}{dr} = q \int_{r_B-L}^{r_B+L} \varphi(v) [f(v-r-r_B-\Delta) - f(v-r-r_B+\Delta)] dv. \quad (6)$$

Во втором варианте $r = r_B$ и $m = m_B$. С учетом этого условия продифференцируем выражение (3) по r . Тогда второе слагаемое из уравнения (4) будет равно

$$\frac{dP_c}{dr} = q \left\{ 2 \int_{r-L}^{r+L} \varphi(v) [f(v-2r-\Delta) - f(v-2r+\Delta)] dv + \varphi(r+L) \int_{L-r-\Delta}^{L-r+\Delta} f(u) du - \varphi(r-L) \int_{-L-r-\Delta}^{-L-r+\Delta} f(u) du \right\} \quad (7)$$

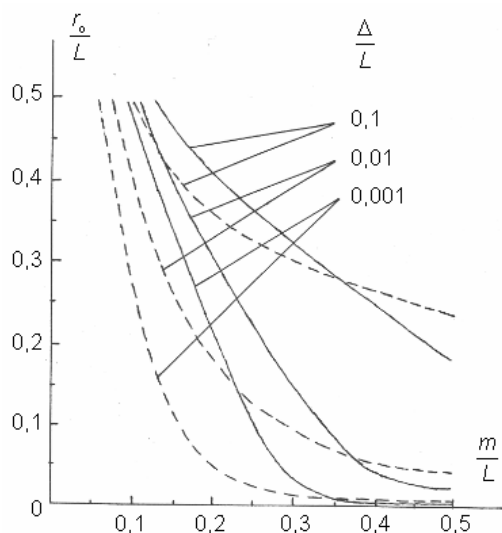


Рис. 3. Оптимальное расстояние r_o своего судна от оси фарватера в зависимости от СКП m определения места и полусуммы Δ значений ширины своего и встречного судов, нормированных полушириной L фарватера, при фиксированном положении встречного судна

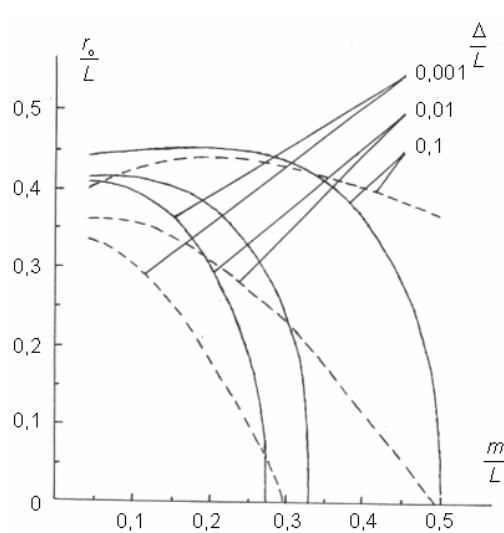


Рис. 4. Оптимальное расстояние r_o своего судна от оси фарватера в зависимости от СКП m определения места и полусуммы Δ значений ширины своего и встречного судов, нормированных полушириной L фарватера, при симметричном расположении судов относительно оси фарватера

Подставив выражения (5) – (7) в уравнение (4) и решив его относительно r методом последовательных приближений, получим оптимальное расстояние r_o для каждого варианта. Результаты решения представлены на рис. 3 для первого варианта при $m_B/L = 0,2$ и $r_B/L = 0,5$ и на рис. 4 для второго варианта при $r = r_B$ и $m = m_B$. На этих рисунках изменение отношения r_o/L в зависимости

от отношений m/L и Δ/L показано сплошной линией для нормального распределения и штриховой – для распределения Лапласа.

2. Рассмотрим второй способ оценки ВНБП, когда место встречного судна определяется относительно места своего судна. Пусть определяемое место C_B встречного судна находится от истинного места K своего судна на расстоянии D , равном проекции измеренного расстояния между судами на направление, перпендикулярное оси фарватера (см. рис. 1). Истинное место K_B встречного судна удалено от C_B на величину v , которая во втором способе оценки ВНБП соответствует погрешности определения относительного места встречного судна по направлению, перпендикулярному оси фарватера.

Поскольку u и v являются независимыми случайными величинами, то события выхода своего судна за пределы фарватера и столкновения судов будут независимыми. Тогда на основании свойств противоположных событий из учебника [6] получим [2]

$$P = P_o P_p, \quad (8)$$

где P_p – вероятность безопасного расхождения судов.

Второй сомножитель в формуле (8) равен

$$P_p = 1 - \int_{D-\Delta}^{D+\Delta} \varphi(v) dv. \quad (9)$$

Выражение (9) зависит от D , Δ и m_B . При постоянстве этих величин характер изменения ВНБП будет соответствовать характеру изменения P_o , то есть ВНБП будет наибольшим при $r = 0$ и будет уменьшаться с увеличением r .

В случае, когда после обнаружения встречного судна расстояние от линии пути своего судна до оси фарватера изменяется от r^* до r , таким же образом будет изменяться расстояние между судами от D^* до D :

$$r - r^* = D - D^*. \quad (10)$$

Равенство (10) соблюдается при условии, что за время перехода своего судна с одной линии пути на другую случайная погрешность v остается неизменной.

По формулам (2), (8)–(10) вычислены значения P , изменение которых в зависимости от отношений r/L и D^*/L на рис. 5 показано сплошной линией для нормального распределения и штриховой линией для распределения Лапласа при $r^* = 0$, $m/L = 0,3$, $m_B/L = 0,1$ и $\Delta/L = 0,3$. Из этого рисунка следует, что при увеличении расстояния r величина P сначала увеличивается, достигает максимума при значении r , которое называется оптимальным и обозначается r_o , а затем уменьшается. Для определения оптимального расстояния найдем производную выражения (8) по r с учетом формул (9) и (10) и, приравняв ее нулю, получим

$$P_p \frac{dP_o}{dr} - P_o [\varphi(D + \Delta) - \varphi(D - \Delta)] = 0. \quad (11)$$

Методом последовательных приближений по формулам (2), (5), (9), (10) и (11) вычислены значения r_o , которые в точности совпали со значениями r , соответствующими максимуму ВНБП на рис. 5.

Оценка ВНБП на основе формулы (8) является простейшим решением с позиции теории вероятностей. Более сложной задачей является такая оценка

с учетом дополнительных погрешностей в месте своего судна и относительном месте встречного судна – погрешностей, появляющихся за время между обнаружением встречного судна и приходом его на траверз. Такая задача рассматривается в статье [2].

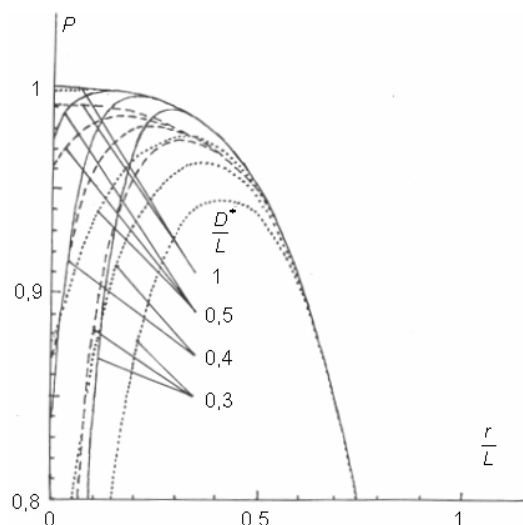


Рис. 5. ВНБП P в зависимости от расстояния r своего судна от оси фарватера и начального расстояния D^* между судами, нормированных полушириной L фарватера

Некоторые авторы иначе решают эту задачу. Так, несмотря на простоту решения вероятностной задачи, Н. М. Груздев в статье [3] и пункте 2.7 монографии [4] вместо равенства (8) предлагает оценивать ВНБП по ошибочной формуле

$$P = (P_o - \Delta P)P_p, \quad (12)$$

где ΔP – вероятность того, что погрешность u будет находиться в интервале, равном ширине встречного судна.

Ошибка в работах [3, 4] связана с неверной постановкой задачи и некорректным применением положений теории вероятностей. В этих работах нечетко разделяются определяемое и истинное места судна. В связи с этим при оценке P_o место C_v встречного судна находится относительно **определяемого** места C своего судна, что ясно видно на рис. 1 и в формуле (4) из статьи [3]. Такое решение является ошибочным, так как соответствует неправдоподобному случаю, когда на взаимное расположение судов будет влиять не только погрешность v , но и погрешность u . В этом случае ВНБП должна оцениваться с учетом **зависимых** событий, подобно тому, как это делается в первом пункте данной статьи.

На самом деле, при выводе зависимостей место C_v встречного судна должно находиться относительно **истинного** места K своего судна (см. рис. 1). На практике же при прокладке на карте используется определяемое место C , что справедливо, так как штурман не выводит вероятностные зависимости, и к тому же истинное место K ему просто неизвестно.

За нечеткостью в определении положения судов следует неверная формулировка событий, которые в работах [3, 4] предлагается к тому же считать **независимыми**. Из двух рассматриваемых событий событие

безопасного расхождения судов с вероятностью P_p определено правильно. Другое событие определено неверно. Оно формулируется как: «свой корабль находится в пределах “чистой” воды неогражденного фарватера (с учетом габаритов своего и встречного кораблей)» и имеет вероятность $P_o - \Delta P$. К тому же, если исходить из логики работ [3, 4], величина ΔP должна бы зависеть не только от ширины встречного судна, но и от ширины своего судна.

Ошибка в определении рассматриваемого события заключается в том, что габариты встречного судна не должны учитываться, так как это делается в событии безопасного расхождения судов. Следовательно, и величина ΔP не должна включаться в формулу (12). В противном случае два рассматриваемые события будут **зависимыми**, что приведет к оценке ВНБП, характерной для первого пункта данной статьи.

По формулам из работ [3, 4] вычислены значения P , изменение которых для нормального распределения показано на рис. 5 точечной линией. Мера несовпадения точечной и сплошной линий соответствует ошибке в оценке ВНБП при использовании формулы (12).

Таким образом, статья [3] и пункт 2.7 монографии [4] противоречат положениям теории вероятностей и являются ошибочными.

3. Сравним первый и второй способы оценки ВНБП. При первом способе оценки полагается, что места обоих судов определяются относительно кромок фарватера, а средства наблюдения за встречными судами не используются. Такое положение точно соответствует плаванию при плохой видимости в случае выхода из строя радиолокационной станции (РЛС) или запрещения на ее использование в связи с режимом радиомаскировки. При втором способе оценки ВНБП относительное место встречного судна определяется по данным РЛС.

Условия второго способа более близки к реальным, чем условия первого. Однако любая оценка ВНБП представляет собой формализованное решение задачи и основывается на математической модели, которая только приближенно отражает реальный процесс плавания судов. Если при первом способе приближенность математической модели связывается с неопределенностью законов распределения погрешностей, то при втором, помимо этой неопределенности, сказываются дополнительные факторы, к которым, в частности, относятся погрешности прогнозирования положения судов на момент сближения. В случае ведения прокладки пути встречного судна на карте по данным РЛС придется рассматривать его положение относительно кромок фарватера и учитывать зависимые события, что приведет к оценке ВНБП, характерной для первого пункта данной статьи.

Задача оптимизации при выборе наиболее безопасного пути просто решается первым способом и недостаточно корректно вторым, что уже отмечалось во втором пункте данной статьи. Кроме того, решение этой задачи вторым способом имеет большую неопределенность, – для нее требуется больше исходных данных (кроме $f(u)$ и $\varphi(v)$, необходимо знать r^* и D^*).

Рассматриваемые способы могут относиться к решению разных задач. Первый может применяться в случае заблаговременной оценки ВНБП при проектировании рекомендованных путей движения, разработке рекомендаций по прокладке линии пути судна в пределах заданных полос движения, планировании развертывания средств навигационного оборудования, выполнении навигационных расчетов перед походом. При решении этих

задач проще прогнозировать положение встречного судна относительно кромок фарватера, чем относительно своего судна. При этом функция $\varphi(v)$ может выступать как вероятностная мера распределения судов по всей ширине фарватера, которая необязательно связана с погрешностями навигации. Эта мера может устанавливаться экспериментально посредством наблюдения за движением судов или путем анализа навигационных прокладок, выполненных на большой группе судов.

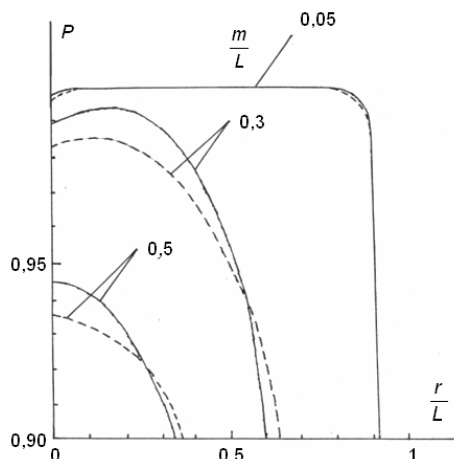


Рис. 6. ВНБП P в зависимости от расстояния r своего судна от оси фарватера и СКП m определения места, нормированных полушириной фарватера L

В качестве примера рассмотрим, как могла бы решаться задача по выбору линии пути своего судна на фарватере. Для этого при $q=1$, $\Delta/L = 0,01$, $r_b/L = 0,5$ и $m_b/L = 0,2$ по формулам (1) – (3) вычислены значения P , изменение которых в зависимости от r/L и m/L показано на рис. 6 сплошной линией для нормального распределения и штриховой линией для распределения Лапласа. На этом рисунке самые верхние линии относятся к наибольшей точности определения места и, естественно, к наибольшей ВНБП. В диапазоне $0,15 < r/L < 0,75$ вероятность $P > 0,999$. В этом случае можно рекомендовать прокладывать линию пути в любом месте этого диапазона.

Средние линии относятся к пониженной точности определения места. Здесь характерны менее высокие значения ВНБП и ясно выраженный ее максимум, соответствующий оптимальному расстоянию. Линию пути можно прокладывать на этом расстоянии от оси фарватера.

Нижние линии относятся к наименее точному определению места. Здесь ВНБП имеет наиболее низкий уровень и изменяется так же, как P_0 . Наибольшее значение ВНБП относится к $r=0$. Это связано с тем, что большая неопределенность в месте судна приводит к пренебрежимо малой вероятности столкновения со встречным судном по сравнению с большой вероятностью выхода за пределы фарватера. В связи с этим линию пути целесообразно прокладывать в своей полосе движения как можно ближе к оси фарватера.

Второй способ применим к оценке ВНБП непосредственно во время плавания. Такая задача более ответственна, так как ее неверное решение может немедленно привести к навигационному происшествию или неоправданному маневрированию. Оценка ВНБП может служить основой для

принятия решения на маневрирование с целью уклонения от встречного судна и невыхода за пределы фарватера. Реализовать эту задачу целесообразно путем создания интегрированной системы навигации и управления движением судна.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. При заблаговременной подготовке района плавания и выполнении навигационных расчетов перед походом оценку ВНБП можно выполнять по формулам (1) – (7).

2. Непосредственно во время плавания оценку ВНБП можно выполнять на судне по формулам (2), (5), (8) – (11) и по формулам из статьи [2].

3. Статья Н. М. Груздева [3] и пункт 2.7 его монографии [4] противоречат положения теории вероятностей и являются ошибочными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Б. Е. Об оценке навигационной безопасности плавания по фарватеру // Записки по гидрографии. – 1998. – № 244. – С 13–19.
2. Иванов Б. Е. Об оценке вероятности навигационной безопасности плавания по фарватеру // Навигация и гидрография. – 2000. – № 11. – С. 40–45.
3. Груздев Н. М. Вероятность безопасного плавания и расхождения со встречным кораблем на фарватере // Записки по гидрографии. – 2001. – № 253. – С. 10–17.
4. Груздев Н. М. Навигационная безопасность плавания. — СПб.: ГУНиО МО РФ, 2002. – 221 с.
5. Методики вероятностных расчетов при решении навигационных задач на кораблях и судах ВМФ (МВР-96). – СПб.: ГУНиО МО РФ, 1999. – 218 с.
6. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Физматгиз, 1962. – 564 с.
7. Справочник по вероятностным расчетам. 2-е изд., доп. и испр. / Г. Г. Абезгауз, А. П. Тронь, Ю. Н. Копенкин, И. А. Коровина. – М.: Воениздат, 1970. – 536 с.

B. E. Ivanov

On Probability Estimate of Navigation Safety When Sailing along the Fairway in the Presence of a Passing Vessel

Two approaches to probability estimate of navigation safety in sailing along the fairway when fixing the position of the passing vessel relative to the fairway edges and to one's own vessel are considered.

ГРНТИ 55.45

ОЦЕНКА СТВОРА В СИСТЕМЕ «СТВОР-КАНАЛ-СУДНО»

**Ф. С. ВОЛЧЕК,
С. В. ТРАВИН,
В. С. ГРИГОРОВ**
(18 СКТЬ ВМФ)

В статье рассматриваются предложения проектировщиков по оценке створов в системе «створ-канал-судно» с учетом ширины судна в плане рационального и эффективного применения «Руководящих указаний МАМС по проектированию створов» в условиях Российской Федерации.

Согласно Руководящим указаниям МАМС по проектированию створов [1] оценка линейного навигационного створа производится в системе «створ-канал» с использованием коэффициента бокового уклонения (СТФ),

выраженного в процентах (см. табл. 1). Он равен отношению бокового уклонения Y_D в конечной точке ходовой части створа (ХЧС) или в любой другой оцениваемой точке ХЧС к полуширине канала $0,5W$ [1, формула (A)]:

$$CTF = \frac{Y_D}{0,5W} \times 100\% = \frac{P}{B} \times 100\% . \quad (1)$$

Таблица 1[1]

Таблица оценки линейных навигационных створов

СТФ Коэффициент бокового уклонения $CTF = \frac{P}{B} \times 100\%$	Оценка створа	Пояснения и рекомендации
свыше 75%	неприемлемый	Створ необходимо реконструировать – уменьшить значение СТФ. В противном случае створ для использования неприемлем.
75%÷50%	плохой	Требуется уменьшить значение СТФ, если это физически возможно.
50%÷30%	удовлетворительный	Требуется уменьшить значение СТФ, если затраты на это будут умеренные.
30%÷20%	хороший	Рекомендуется уменьшить значение СТФ, если затраты на это будут небольшими.
20%÷15%	очень хороший	Не рекомендуется производить затраты для уменьшения значения СТФ.
15%÷10%	отличный	Значение СТФ не должно быть менее 10%.

Примечание: B , q и P – полуширина канала, полуширина судна и боковое уклонение согласно обозначениям, принятым в «ИНО-2000»; $0,5W$ и Y_D – полуширина канала и боковое уклонение согласно обозначениям, принятым в документах МАМС.

Минимальный горизонтальный угол створа θ_D рассчитывается по формулам из Руководства [2, формулы (3a)–(3d)] и соответствует ситуации, когда мореплаватель уверенно обнаруживает отклонение судна от оси створа:

$$\theta_D = \text{Sup}^{(**)} (\theta_1' ; \theta_2') , \quad (2)$$

где

$$\theta_1' = 0,16 \times 10^{-3} + 0,12 \gamma \text{ для } \gamma \leq 5 \times 10^{-3} \text{ радиан;} \quad (3)$$

$$\theta_1' = 0,31 \times 10^{-3} + 0,09 \gamma \text{ для } 5 \times 10^{-3} \leq \gamma \leq 20 \times 10^{-3} \text{ радиан;} \quad (4)$$

$$\theta_2' = 0,224 \gamma_m . \quad (5)$$

Этим формулам (2)-(4) [2, формулы (3a) –(3d)] соответствуют формулы Инструкции [3, (3a) –(3d)]:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\max}^{(**)} (\varepsilon_1 ; \varepsilon_2) , \quad (6)$$

где

$$\varepsilon_1 = 0,55 + 0,12 \alpha \text{ для } \alpha \leq 17' ; \quad (7)$$

$$\varepsilon_1 = 1,07 + 0,09 \alpha \text{ для } 17' < \alpha < 70' ; \quad (8)$$

$$\varepsilon_2 = 0,224 \alpha_{\min} . \quad (9)$$

В Руководстве [4] указано, что ширина канала должна быть не менее пяти значений ширины наибольшего расчетного судна.

Анализ Руководящих указаний [1] показал, что они составлены для каналов шириной около 200 м и в явном виде не учитывают ширину судна, подразумевая обязательное выполнение указанного выше требования и условия: $2B \geq 10q$.

Данный способ оценки линейных навигационных створов в системе «створ-канал» с использованием *СТФ* не работает в условиях, когда ширина канала меньше пяти значений ширины судна: $2B < 10q$, а это основное практическое условие для большинства каналов России, которое сложилось исторически.

Чтобы разрешить эту проблему и корректно оценивать линейный навигационный створ (здесь и далее по тексту – створ) не только в системе «створ-канал», но уже в полной системе «створ-канал-судно» для любых соотношений ширины канала и ширины судна с сохранением объявленной МАМС градации оценки створов, предлагается усовершенствовать формулу оценки створов, введя в нее полуширину судна q и постоянную 0,2.

Оценивать створ в системе «створ-канал-судно» предлагается с помощью коэффициента оценки створа K_{OC} , который вычисляется по формуле:

$$K_{OC} = \left(\frac{P+q}{B} - 0,2 \right) \times 100\% . \quad (10)$$

Необходимо привести пояснения для величин 0,2:

$$K_{OC} = \left(\frac{P+q}{B} - 0,2 \right) \times 100\% = \left(\frac{P}{B} + \frac{q}{B} - 0,2 \right) \times 100\% ,$$

величина 0,2 – это соотношение $\frac{q}{B}$ при $\frac{q}{B} = \frac{1}{5} = 0,2$.

Если все записать подробно, то при $\frac{q}{B} = \frac{1}{5} = 0,2$ получим, что $K_{OC} = СТФ$:

$$K_{OC} = \left(\frac{P+q}{B} - 0,2 \right) \times 100\% = \left(\frac{P}{B} + \frac{q}{B} - 0,2 \right) \times 100\% = \left(\frac{P}{B} + \frac{1}{5} - 0,2 \right) \times 100\% = \frac{P}{B} \times 100\% = СТФ .$$

При ухудшении ситуации, когда отношение ширины судна к ширине канала увеличивается: $\frac{q}{B} > \frac{1}{5}$ – величина K_{OC} в системе «створ-канал-судно» увеличивается и створ в системе «створ-канал-судно» объективно оценивается в худшую сторону, так как отношение ширины судна к ширине канала стало более чем $1/5$, рекомендованного МАМС.

Таким образом, формула (10) коэффициента оценки створа в системе «створ-канал-судно» работает в условиях, рекомендованных МАМС, так же, как и формула (1) при $\frac{q}{B} \leq \frac{1}{5}$ при $\frac{q}{B} > \frac{1}{5}$, т. е. предлагаемая формула (10) корректно работает при любых соотношениях ширины судна и ширины канала.

Следует подчеркнуть, что такую оценку створа в системе «створ-канал-судно» при любых условиях, т. е. при $\frac{1}{5} \geq \frac{q}{B} > \frac{1}{5}$, невозможно было бы выполнить при формальном выполнении Руководящих указаний [1] с использованием одного лишь коэффициента бокового уклонения *СТФ* по формуле (1).

При этом необходимо отметить, что максимальной границей «неприемлемого» створа в системе «створ-канал-судно» можно считать значение $K_{OC} = 80\%$, т. е. в ситуации, когда навигационный запас (НЗ*) равен нулю $HЗ = B - P - q = 0$.

* Навигационный запас (НЗ) – минимальное расстояние от борта судна до кромки канала, рассматривается не как нормативный термин, а как рабочий термин, применяемый при проектировании створов в системе «створ-канал-судно».

Это совпадает с положениями, высказанными в работе [5].

С учетом вышеизложенного при сохранении реальных навигационных условий (требований) Руководящих указаний [1], в том числе и градации оценки створов, в условиях Российской Федерации рациональным и эффективным для оценки створов будет применение коэффициента K_{OC} (формула (10), табл. 2).

Таблица 2

Таблица оценки действующих и проектируемых линейных навигационных створов

K_{OC} Коэффициент оценки створа системы «створ-канал-судно» $K_{OC} = \left(\frac{P+q}{B} - 0,2\right) \times 100\%$	Оценка створа	Пояснения и рекомендации
80%÷75%	неприемлемый	Створ необходимо реконструировать – уменьшить значение K_{OC} . В противном случае створ для использования неприемлем.
75%÷50%	плохой	Требуется уменьшить значение K_{OC} , если это физически возможно.
50%÷30%	удовлетворительный	Требуется уменьшить значение K_{OC} , если затраты на это будут умеренные.
30%÷20%	хороший	Рекомендуется уменьшить значение K_{OC} , если затраты на это будут небольшими.
20%÷15%	очень хороший	Не рекомендуется производить затраты для уменьшения значения K_{OC} .
15%÷10%	отличный	Значение K_{OC} не должно быть менее 10%.

Рекомендуется:

- на участках действия створов с оценкой «удовлетворительно» и «хуже» в мористой ходовой части створа (наиболее удаленной от переднего створного знака) выставлять плавучие предостерегательные знаки (ППЗ), уменьшая расстояние между соседними парами ППЗ от 60 до 30% их дневной дальности видимости (табл. 3);

Таблица 3

Таблица ориентировочных значений дневной дальности видимости ППЗ

Тип ППЗ (наименование буев и вех)	Ориентировочная дневная дальность видимости (при $t = 0,8$ на милю), мили
Буй большой морской	1,7
Буй средний морской	1,4
Буй малый морской	1,2
Буй лиманный большой	1,4
Буй лиманный малый	0,9
Буй канальный	0,9
Веха металлическая морская	0,7
Веха деревянная морская	0,7
Веха деревянная рейдовая	0,6
Веха деревянная бухтовая	0,6
Веха зимняя (рейсвеха)	1,0

- на каналах со створами выставлять ППЗ, начиная с расстояния 5 миль от переднего створного знака (ПСЗ) вне зависимости от оценки створа в системе «створ-канал-судно», а в случае проектирования створа для пассажирских судов и судов с особо опасными грузами выставлять ППЗ по всей трассе канала вне зависимости от оценки створа в системе «створ-канал-судно»;

- в техническом задании на проектирование навигационного оборудования, включающего в себя и проектирование створов, указывать проектную оценку створа, например:

1. для судов с безопасными грузами (песок, щебень, лес, уголь и т. п.) для проектирования створов назначать оценку створа не ниже, чем «удовлетворительный», с $K_{OC} \leq 48\%$;
2. для судов с опасными грузами (нефтепродукты и т. п.), а также и в общем случае, когда в техническом задании не указана проектная оценка створа, для проектирования назначать оценку створа не ниже, чем «хороший», с $K_{OC} \leq 28\%$;
3. для пассажирских судов и судов с особо опасными грузами (высокотоксичные, радиоактивные и т. п.) для проектирования створов назначать оценку створа не ниже, чем «очень хороший», с $K_{OC} \leq 18\%$;

Дополнительно к формуле (1) для проектирования новых створов и для анализа действующих предлагается применять следующие рабочие формулы:

$$B = (P + q) / (0,01K_{OC} + 0,2); \quad (11)$$

$$P = B \times (0,01K_{OC} + 0,2) - q; \quad (12)$$

$$q = B \times (0,01K_{OC} + 0,2) - P. \quad (13)$$

Далее приводятся примеры оценки створов по предлагаемой методике.

Пример 1

Провести оценку Лужского морского створа – южный берег Финского залива (№ 670.9 - № 671 по книге [6]) при ширине канала $2B = 110$ м для судов I и II этапа реконструкции порта:

1) ширина расчетного судна для I этапа реконструкции порта $2q = 20$ м;

1.1) боковое уклонение в начале ходовой части створа (ХЧС) (2,8 км от ПСЗ) $P_0 = 12$ м;

1.2) боковое уклонение в конце ХЧС (5,0 км от ПСЗ) $P_K = 24$ м;

2) ширина расчетного судна для II этапа реконструкции порта $2q = 33$ м;

2.1) боковое уклонение в начале ХЧС (2,8 км от ПСЗ) $P_0 = 12$ м;

2.2) боковое уклонение в конце ХЧС (6,0 км от ПСЗ) $P_K = 30$ м.

Решение:

$$1.1. K_{OC} = \left(\frac{P+q}{B} - 0,2 \right) \times 100\% = \left(\frac{12+10}{55} - 0,2 \right) \times 100\% = 20\%,$$

в начальной точке ХЧС для судов I этапа реконструкции порта ($2q = 20$ м) створ – «хороший».

$$1.2. K_{OC} = \left(\frac{P+q}{B} - 0,2 \right) \times 100\% = \left(\frac{24+10}{55} - 0,2 \right) \times 100\% = 42\%,$$

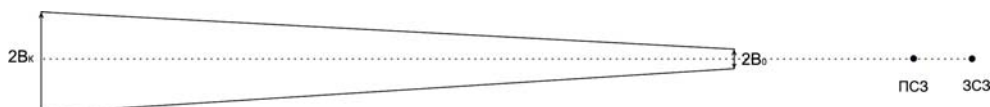
в конечной точке ХЧС для судов I этапа реконструкции порта ($2q = 20$ м) створ – «удовлетворительный».

$$2.1. K_{OC} = \left(\frac{P+q}{B} - 0,2\right) \times 100\% = \left(\frac{12+16,5}{55} - 0,2\right) \times 100\% = 32\% ,$$

в начальной точке ХЧС для судов II этапа реконструкции порта ($2q = 33$ м) створ – «удовлетворительный».

$$2.2. K_{OC} = \left(\frac{P+q}{B} - 0,2\right) \times 100\% = \left(\frac{30+16,5}{55} - 0,2\right) \times 100\% = 65\% ,$$

в конечной точке ХЧС для судов II этапа реконструкции порта ($2q = 33$ м) створ – «плохой».



Проектные границы дноуглубления Лужского морского канала (Пример 2 в тексте)

Пример 2

При боковых уклонах $P_0 = 12$ м и $P_K = 30$ м для расчетного судна шириной $2q = 33$ м определить проектные границы дноуглубления Лужского морского канала для створа с оценкой в системе «створ-канал-судно»:

- «удовлетворительный» при $K_{OC} = 48\%$;
- «хороший» при $K_{OC} = 28\%$;
- «очень хороший» при $K_{OC} = 18\%$.

Решение:

$$B = (P + q) / (0,01K_{OC} + 0,2)$$

Оценка створа в системе «створ-канал-судно»	K_{OC}	Ширина судна ($2q$)	Боковое уклонение		Ширина канала	
			P_0	P_K	$2B_0$	$2B_K$
«удовлетворительный»	48%	33 м	12 м	30 м	84 м	137 м
«хороший»	28%	33 м	12 м	30 м	119 м	194 м
«очень хороший»	18%	33 м	12 м	30 м	150 м	245 м

Границы дноуглубления показаны на рисунке.

При оценке действующих створов и при предпроектной проработке новых, кроме указанных рабочих формул (10) – (13), предлагается дополнительно использовать таблицы, построенные на базе этих формул (табл. 4–6).

Таблица 4

Таблица требуемой ширины канала $2B$ в значениях полуширины судна q
 $B = (P + q) / (0,01K_{OC} + 0,2)$

$\frac{P}{q}$	Коэффициент оценки створа K_{OC} и оценка створа						
	80%	75%	50%	30%	20%	15%	10%
	неприемлемый		удовлетворительный		очень хороший		
	плохой		хороший		отличный		
0,05	2,100	2,211	3,000	4,200	5,250	6,000	7,000
0,1	2,200	2,316	3,143	4,400	5,500	6,286	7,333
0,5	3,000	3,158	4,286	6,000	7,500	8,571	10,000
1	4,000	4,211	5,714	8,000	10,000	11,429	13,333
2	6,000	6,316	8,571	12,000	15,000	17,143	20,000
4	10,000	10,526	14,286	20,000	25,000	28,571	33,333
6	14,000	14,737	20,000	28,000	35,000	40,000	46,667

$\frac{P}{q}$	Коэффициент оценки створа K_{OC} и оценка створа						
	80%	75%	50%	30%	20%	15%	10%
	неприемлемый	удовлетворительный		очень хороший			
		плохой		хороший		отличный	
8	18,000	18,947	25,714	36,000	45,000	51,429	60,000
10	22,000	23,158	31,429	44,000	55,000	62,857	73,333
12	26,000	27,368	37,143	52,000	65,000	74,286	86,667
14	30,000	31,579	42,857	60,000	75,000	85,714	100,000
16	34,000	35,789	48,571	68,000	85,000	97,143	113,333
18	38,000	40,000	54,286	76,000	95,000	108,571	126,667
20	42,000	44,211	60,000	84,000	105,000	120,000	140,000

Приведем примеры решения проектных задач с применением табл. 4.

Пример А

Определить требуемую ширину канала $2B$.

Исходные данные:

боковое уклонение $P = 30$ м;
 ширина судна $2q = 30$ м $q = 15$ м;
 коэффициент оценки створа $K_{OC} = 30\%$.

Решение:

с параметрами $\frac{P}{q} = \frac{30}{15} = 2$ и $K_{OC} = 30\%$ находим по табл. 4 и находим

соотношение $\frac{2B}{q} = 12,000$; получаем $2B = 12,000 q = 12,000 \times 15 = 180$ м.

Пример Б

Определить максимальное боковое уклонение P

Исходные данные:

ширина канала $2B = 180$ м;
 ширина судна $2q = 30$ м $q = 15$ м;
 коэффициент оценки створа $K_{OC} = 30\%$.

Решение:

с параметрами $\frac{2B}{q} = \frac{180}{15} = 12,000$ и $K_{OC} = 30\%$ находим по табл. 4

соотношение $\frac{P}{q} = 2$; получаем $P = 2 q = 2 \times 15 = 30$ м.

Таблица 5

Таблица максимальных боковых уклонений P в значениях полуширины судна q

$$P = B \times (0,01K_{OC} + 0,2) - q$$

$\frac{B}{q}$	Коэффициент оценки створа K_{OC} и оценка створа						
	80%	75%	50%	30%	20%	15%	10%
	неприемлемый	удовлетворительный		очень хороший			
		плохой		хороший		отличный	
1	0,0	-	-	-	-	-	-
2	1,0	0,9	0,4	0,0	-	-	-
3	2,0	1,9	1,1	0,5	0,2	0,1	-
4	3,0	2,8	1,8	1,0	0,6	0,4	0,2
5	4,0	3,8	2,5	1,5	1,0	0,8	0,5
6	5,0	4,7	3,2	2,0	1,4	1,1	0,8

$\frac{B}{q}$	Коэффициент оценки створа K_{OC} и оценка створа						
	80%	75%	50%	30%	20%	15%	10%
	неприемлемый		удовлетворительный		очень хороший		
	плохой			хороший		отличный	
7	6,0	5,7	3,9	2,5	1,8	1,5	1,1
8	7,0	6,6	4,6	3,0	2,2	1,8	1,4
9	8,0	7,6	5,3	3,5	2,6	2,2	1,7
10	9,0	8,5	6,0	4,0	3,0	2,5	2,0
20	19,0	18,0	13,0	9,0	7,0	6,0	5,0
30	29,0	27,5	20,0	14,0	11,0	9,5	8,0

Решение проектных задач с применением табл. 5.

Пример В

Определить максимальное боковое уклонение P

Исходные данные:

ширина канала $2B = 180$ м $B = 90$ м;
 ширина судна $2q = 30$ м $q = 15$ м;
 коэффициент оценки створа $K_{OC} = 30\%$.

Решение:

с параметрами $\frac{B}{q} = \frac{90}{15} = 6$ и $K_{OC} = 30\%$ находим по табл. 5 соотношение

$\frac{P}{q} = 2$; получаем $P = 2,0 \cdot q = 2,0 \times 15 = 30$ м.

Пример Г

Определить требуемую ширину канала $2B$.

Исходные данные:

боковое уклонение $P = 30$ м;
 ширина судна $2q = 30$ м $q = 15$ м;
 коэффициент оценки створа $K_{OC} = 30\%$.

Решение:

с параметрами $\frac{P}{q} = \frac{30}{15} = 2$ и $K_{OC} = 30\%$ находим по табл. 5 соотношение

$\frac{B}{q} = 6$; получаем $2B = 2 \times 6 \times q = 2 \times 6 \times 15 = 180$ м.

Таблица 6

Таблица максимальной ширины судна $2q$ в значениях бокового уклонения P
 $q = B \times (0,01K_{OC} + 0,2) - P$

$\frac{B}{P}$	Коэффициент оценки створа K_{OC} и оценка створа						
	80%	75%	50%	30%	20%	15%	10%
	неприемлемый		удовлетворительный		очень хороший		
	плохой			хороший		отличный	
1	0,0	–	–	–	–	–	–
2	2,0	1,8	0,8	0,0	–	–	–
4	6,0	5,6	3,6	2,0	1,2	0,8	0,4
6	10,0	9,4	6,4	4,0	2,8	2,2	1,6
8	14,0	13,2	9,2	6,0	4,4	3,6	2,8
10	18,0	17,0	12,0	8,0	6,0	5,0	4,0
12	22,0	20,8	14,8	10,0	7,6	6,4	5,2
14	26,0	24,6	17,6	12,0	9,2	7,8	6,4

$\frac{B}{P}$	Коэффициент оценки створа K_{OC} и оценка створа						
	80%	75%	50%	30%	20%	15%	10%
	неприемлемый	удовлетворительный	очень хороший				
	плохой		хороший		отличный		
16	30,0	28,4	20,4	14,0	10,8	9,2	7,6
18	34,0	32,2	23,2	16,0	12,4	10,6	8,8
20	38	36	26	18	14	12	10
30	58	55	40	28	22	19	16
40	78	74	54	38	30	26	22
50	98	93	68	48	38	33	28
60	118	112	82	58	46	40	34
70	138	131	96	68	54	47	40
80	158	150	110	78	62	54	46
90	178	169	124	88	70	61	52
100	198	188	138	98	78	68	58
110	218	207	152	108	86	75	64
120	238	226	166	118	94	82	70
130	258	245	180	128	102	89	76
140	278	264	194	138	110	96	82
150	298	283	208	148	118	103	88

Решение проектных задач с применением табл. 6

Пример Д

Определить максимальную ширину судна $2q$.

Исходные данные:

ширина канала $2B = 180$ м $B = 90$ м;
 боковое уклонение $P = 30$ м;
 коэффициент оценки створа $K_{OC} = 30\%$.

Решение:

с параметрами $\frac{B}{P} = \frac{90}{30} = 3$ и $K_{OC} = 30\%$ находим по табл. 6 соотношение

$\frac{2q}{P} = 1$; получаем $2q = 1 \times P = 1 \times 30 = 30$ м.

Пример Е

Определить требуемую ширину канала $2B$

Исходные данные:

боковое уклонение $P = 30$ м;
 ширина судна $2q = 30$ м $q = 15$ м;
 коэффициент оценки створа $K_{OC} = 30\%$.

Решение:

с параметрами $\frac{2q}{P} = \frac{30}{30} = 1$ и $K_{OC} = 30\%$ находим по табл. 6 соотношение

$\frac{B}{P} = 3$; получаем $2B = 2 \times 3 \times P = 2 \times 3 \times 30 = 180$ м.

Выводы

1. Предлагаемые в статье рабочие формулы и таблицы позволяют оперативно проводить оценку действующих створов в системе «створ-канал-судно» и проектировать новые створы с одинаковой их оценкой

по всей ХЧС с оптимальной и различной шириной канала в начале и в конце ХЧС для любых соотношений ширины канала и ширины судна, сохраняя все требования и реальные навигационные условия Руководящих указаний [1], в том числе и условие, чтобы ширина канала была не менее пяти значений ширины судна (см. рисунок).

2. Рациональная и объективная оценка створа должна проводиться в жесткой взаимосвязанной системе «створ-канал-судно» при любых соотношениях ширины судна и ширины канала, которой и отвечают предлагаемые в статье способы оценки линейных навигационных створов.
3. Многие годы штурманами и гидрографами проводился поиск оптимального навигационного запаса (НЗ) при плавании судна по каналу с использованием линейного навигационного створа. С появлением градации оценки створов, объявленной МАМС [1], и при утверждении и вводе в практику проектирования створов предлагаемой в статье методики оценки створов, появляется возможность оптимального выбора НЗ при проектировании створов для любого соотношения ширины канала и ширины судна.
4. Ввод в практику проектирования створов предлагаемой в статье методики оценки створов окажет благоприятное воздействие как на оптимизацию экономических затрат для обеспечения требуемой ширины каждого участка канала, так и на обоснованность общих затрат на строительство и обслуживание сложного навигационного комплекса – системы «створ-канал-судно», с учетом рациональной расстановки плавучих предостерегательных знаков.

ЛИТЕРАТУРА

1. IALA Guidelines for the Design of Leading lines. AISM/IALA. – ENG 16/8/6. – October 25, 2001.– Saint Germain en Laye, International Association of Lighthouse Authorities (IALA), 2001. – 46 p. – Internet: <http://www.iala-aism.org>
2. Recommendation for leading lights IALA Recommendation E-112 May 1998. – Saint Germain en Laye, International Association of Lighthouse Authorities (IALA), 1998. – 6 p. – Internet: <http://www.iala-aism.org>
3. Инструкция по навигационному оборудованию (ИНО-2000) № 9106. – СПб.: ГУНиО МО РФ, 2001. – 327 с.
4. IALA Aids to Navigation Guide (Navguide). – Saint Germain en Laye, International Association of Lighthouse Authorities (IALA), 1993. – 155 p.
5. Алексеев В. В. Навигационные створы, их теория и расчеты. – Л.:УНГС ВМФ, 1959. – 172 с.
6. Огни и знаки Балтийского моря, адм. № 2201. – СПб.: ГУНиО МО РФ, 2001. – 235 с.

От редакции. Статья публикуется для ознакомления широкого круга специалистов с новым подходом к оценке качества створов.

F. S. Volchek, S. V. Travin, V. S. Grigorov

Evaluation of the Leading Line in the "Leading Line-Canal-Vessel" System

The proposals of designers for evaluation of the leading lines in the "leading line-canal-vessel" system, taking into account the vessel's beam, for the rational and effective employment of the "Guidelines of IALA on the Leading Lines Design" under the conditions of the Russian Federation, are considered.

АКСЕЛЕРОМЕТРИЧЕСКИЙ ГОРИЗОНТКОМПАС**П. И. МАЛЕЕВ**
(ГНИНГИ МО РФ)

Рассмотрена принципиальная схема горизонткомпаса, построенного на одних лишь линейных акселерометрах (без гироскопов). Оценены ожидаемые точностные и другие характеристики.

Существующие варианты устройств, вырабатывающих информацию о курсе и вертикали места, строятся на базе гироскопов и акселерометров. Характерной их особенностью является наличие гироскопа или гироскопической платформы, которые непосредственным образом (маятниковые гироскопы) или косвенно (косвенный гироскоп) связаны с полем силы тяжести Земли [1, 2, 3].

Существенным недостатком таких устройств является необходимость использования в качестве измерителей абсолютной угловой скорости гироскопов – функционально сложных и дорогостоящих приборов, к тому же обладающих дрейфом.

Рассматриваемый акселерометрический горизонткомпас построен на одних лишь акселерометрах [4]. Принципиальная схема такого горизонткомпаса приведена на рис. 1а.

На платформе 1, подвешенной в кардановом подвесе, установлены две пары линейных акселерометров 3, 4 и 5, 6, таким образом, что их оси чувствительности располагаются во взаимно ортогональных плоскостях (рис. 1б), причем каждая из них составляет с осью OZ координатной системы XYZ , жестко связанной с платформой, некоторый, отличный от 90° , угол φ . Акселерометры размещаются симметрично на равном расстоянии l от оси вращения OZ платформы. Особенности работы и отличительные характеристики такого датчика на акселерометрах приведены в работах [5, 6].

Платформа 1 приводится во вращение с постоянной скоростью $\dot{\alpha}$ вокруг оси OZ с помощью исполнительного двигателя 14.

Сигналы с выходов противоположных акселерометров 3, 4 и 5, 6 подаются на суммирующие 21, 22 и сравнивающие 23, 24 устройства (рис. 1б).

На суммирующие устройства 21, 22 подаются также компенсирующие сигналы $U_{ка1}$ и $U_{ка2}$ соответственно. Эти компенсирующие сигналы представляют собой немодулированную часть общих сигналов U_{a1} и U_{a2} .

Сигналы с выходов сравнивающих устройств 23, 24 суммируются с компенсирующими сигналами $U_{к\omega1}$ и $U_{к\omega2}$ в устройствах 25 и 26 соответственно.

Компенсирующие сигналы $U_{к\omega1}$ и $U_{к\omega2}$ представляют собой немодулированную часть общих сигналов $U_{\omega1}$ и $U_{\omega2}$. Суммарные сигналы с выходов устройств 25 и 26 $U_{\omega1}$ и $U_{\omega2}$ подаются на обмотки возбуждения и квадратурную синусно-косинусную обмотку вращающегося трансформатора (СКВТ) 7 соответственно. Ротор СКВТ 7 жестко связан с платформой 1. Статор СКВТ 7 разворачивается относительно внутреннего кольца карданового подвеса с помощью двигателя 12 и его положение фиксирует направление плоскости меридиана. С роторных обмоток СКВТ 7 сигналы U_{p1}

и U_{p2} подаются через запирающие фильтры 31, 32, настроенные на частоту $\dot{\alpha}$ вращения платформы 1, на дифференцирующие устройства 19 и 20.

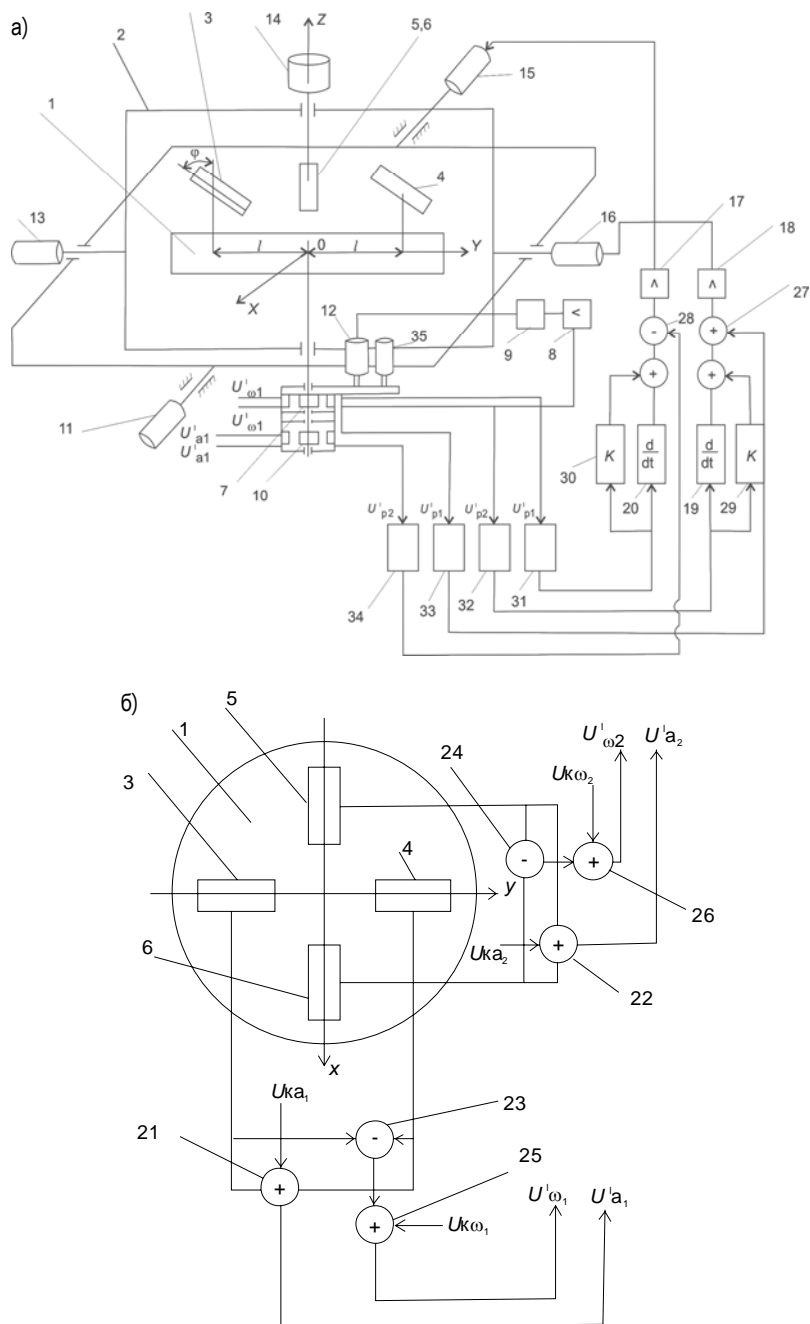


Рис. 1. Схема акселерометрического горизонткомпаса (пояснения в тексте)

Суммарные сигналы U^i_{a1} и U^i_{a2} с выхода устройств 21 и 22 подаются на обмотки возбуждения и квадратурную обмотку СКВТ 10 (аналогично СКВТ 7). Ротор СКВТ 10 также вращается вместе с платформой 1. Статор СКВТ

10 так же, как статор СКВТ 7, разворачивается с помощью того же двигателя 12, поэтому работа СКВТ 10 полностью идентична работе СКВТ 7. Кроме того, напряжение U_{p2} синусной обмотки СКВТ 7 подводится к входу усилителя 8 следящей системы разворота статора СКВТ 7. Сигнал с выхода усилителя 8 после прохождения через фильтры верхних частот 9 подается на исполнительный двигатель 12, разворачивающий статор СКВТ 7 до обнуления сигнала U_{p2} .

Выход дифференцирующего устройства 19 соединен со входом сравнивающего устройства 27, на другой вход которого через запирающий фильтр 34 подается настроенный на частоту $\dot{\alpha}$ (скорости вращения платформы 1) сигнал с выхода роторной обмотки СКВТ 10. Суммарный сигнал с выхода устройства 27 усиливается в усилителе 18 и подается на датчик момента (безредукторный стабилизирующий двигатель) 15.

Аналогично выход дифференцирующего устройства 20 соединен со входом сравнивающего устройства 28, на другой вход которого через фильтр 34 (такой же, как и фильтр 33) подается сигнал с выхода роторной обмотки СКВТ 10. Устройства 11, 13 и 35 – датчики углов поворота.

Разностный сигнал с выхода сравнивающего устройства 28 после усиления в усилителе 17 подается на датчик момента 15. Датчики момента 15 и 16 осуществляют управление и стабилизацию платформы 1 по горизонтальным осям. Демпфирование колебаний платформы в горизонте обеспечивается, например, прямой связью дифференцирующих устройств 19 и 20 – масштабными усилительными звеньями 29 и 30 с коэффициентом усиления K .

Для пояснения принципа действия рассматриваемого горизонткомпаса необходимо выяснить, каким образом вырабатывается курс и как обеспечивается построение невозмущаемой вертикали. С этой целью введем свободный в азимуте трехгранник $X_0^*Y_0^*Z_0^*$, ось OZ_0^* которого вертикальна. Отклонение платформы 1 от плоскости горизонта и ориентация невращающегося трехгранника $X_0Y_0Z_0$ характеризуются двумя углами β и γ .

Положение вращающегося трехгранника XYZ , жестко связанного с платформой, характеризуется углом α . Взаимное положение осей введенных трехгранников показано на рис. 2, 3.

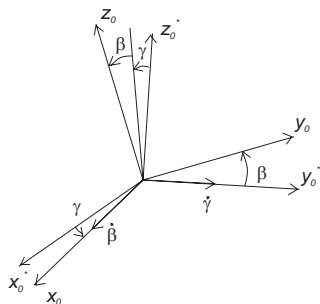


Рис. 2. Объяснение в тексте

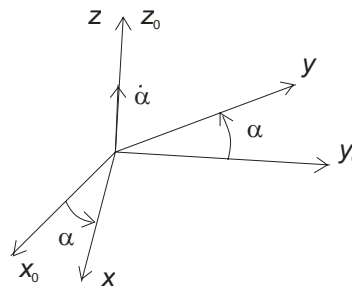


Рис. 3. Объяснение в тексте

В соответствии с приведенной схемой величина U_3 (см. рис 1 в, г) выходного сигнала акселерометра 3, в частности, может быть представлена в виде

$$U_3 = K_a [2l\dot{\alpha} (\omega_{x0} \cos \alpha + \omega_{y0} \sin \alpha) \cos \varphi + l\dot{\alpha}^2 \sin \varphi + (a_{x0} \cos \alpha + a_{y0} \sin \alpha) \sin \varphi + a_{z0} \cos \varphi], \quad (1)$$

где K_a – масштабный коэффициент акселерометра;

$$\begin{aligned} \omega_{x0} &= \omega_{x0}^* + \dot{\beta}; & a_{x0} &= a_{x0}^* - \gamma a_{z0}^*; & a_{z0}^* &\approx g; \\ \omega_{y0} &= \omega_{y0}^* + \dot{\gamma}; & a_{y0} &= a_{y0}^* - \beta a_{z0}^*; \end{aligned} \quad (2)$$

$\omega_{x0}^*, \omega_{y0}^*, a_{x0}^*, a_{y0}^*, a_{z0}^*$ – проекции абсолютной угловой скорости и кажущегося ускорения на оси X_0^*, Y_0^*, Z_0^* .

$\omega_{x0}, \omega_{y0}, a_{x0}, a_{y0}, a_{z0}$ – проекции абсолютной угловой скорости и кажущегося ускорения на оси X_0, Y_0, Z_0 .

Для выходного сигнала противоположного акселерометра (4) аналогично акселерометру 3 имеем

$$U_4 = K_a [-2l\dot{\alpha} (\omega_{x0} \cos \alpha + \omega_{y0} \sin \alpha) \cos \varphi - l\dot{\alpha}^2 \sin \varphi + (a_{x0} \cos \alpha + a_{y0} \sin \alpha) \sin \varphi]. \quad (3)$$

Разность и сумма сигналов этой пары акселерометров, которые формируются на выходе устройств 23 и 21 соответственно, определяются выражениями:

$$\begin{aligned} U_{\omega 1} &= 2K_a l \dot{\alpha} [2(\omega_{x0} \cos \alpha + \omega_{y0} \sin \alpha) \cos \varphi + \dot{\alpha} \sin \varphi]; \\ U_{a 1} &= 2K_a [(a_{x0} \cos \alpha + a_{y0} \sin \alpha) \sin \varphi + a_{z0} \cos \varphi]. \end{aligned} \quad (4)$$

Выражения для разности и суммы сигналов второй пары акселерометров (5 и 6), т. е. сигналов на выходе сравнивающего 24 и суммирующего 22 устройств легко получить из формулы (4) путем замены угла α на угол $(\pi/2 + \alpha)$:

$$\begin{aligned} U_{\omega 2} &= 2K_a l \dot{\alpha} [2(-\omega_{x0} \sin \alpha + \omega_{y0} \cos \alpha) \cos \varphi + \dot{\alpha} \sin \varphi]; \\ U_{a 2} &= 2K_a [(-a_{x0} \sin \alpha + a_{y0} \cos \alpha) \sin \varphi + a_{z0} \cos \varphi]. \end{aligned} \quad (5)$$

Из выражений (4) и (5) следует, что сигналы $U_{\omega 1,2}$ и $U_{a 1,2}$ содержат модулированные частотой $\dot{\alpha}$ составляющие, зависящие от проекций угловой скорости и кажущегося ускорения, и паразитные слагаемые, обусловленные частотой $\dot{\alpha}$ и сигналом $a_{z0} \approx g$ (ускорение свободного падения).

Для исключения паразитных составляющих предусмотрено введение на входы устройств 21, 22, 25 и 26 компенсирующих сигналов:

$$\begin{aligned} U_{\kappa \omega 1,2} &= 2K_a l \dot{\alpha}^2 \sin \varphi; \\ U_{\kappa a 1,2} &= 2K_a g \cos \varphi. \end{aligned} \quad (6)$$

Отсюда следует, что суммарные сигналы, поступающие на обмотки СКВТ 7 и СКВТ 10, имеют вид

$$\begin{aligned} U'_{\omega 1} &= 4K_a l \dot{\alpha} (\omega_{x0} \cos \alpha + \omega_{y0} \sin \alpha) \cos \varphi; \\ U'_{\omega 2} &= 4K_a l \dot{\alpha} (-\omega_{x0} \sin \alpha + \omega_{y0} \cos \alpha) \cos \varphi; \\ U'_{a 1} &= 2K_a (a_{x0} \cos \alpha + a_{y0} \sin \alpha) \sin \varphi; \\ U'_{a 2} &= 2K_a (-a_{x0} \sin \alpha + a_{y0} \cos \alpha) \sin \varphi. \end{aligned} \quad (7)$$

С косинусной и синусной роторных обмоток СКВТ 7 и СКВТ 10, принимая во внимание вращение их роторов с угловой скоростью $\dot{\alpha}$ и поворот статоров на угол δ , снимаются сигналы:

$$\begin{aligned}
 U_{p1} &= \lambda_1 \left[U'_{\omega 1} \sin (\alpha - \delta) + U'_{\omega 2} \cos (\alpha - \delta) \right]; \\
 U_{p2} &= \lambda_1 \left[U'_{\omega 1} \cos (\alpha - \delta) - U'_{\omega 2} \sin (\alpha - \delta) \right]; \\
 U'_{p1} &= \lambda_2 \left[U'_{a1} \sin (\alpha - \delta) + U'_{a2} \cos (\alpha - \delta) \right]; \\
 U'_{p2} &= \lambda_2 \left[U'_{a1} \cos (\alpha - \delta) - U'_{a2} \sin (\alpha - \delta) \right],
 \end{aligned} \tag{8}$$

где λ_1, λ_2 – общий масштабный коэффициент акселерометра, сравнивающего устройства и СКВТ своей линии;

δ – угол разворота статоров СКВТ, отсчитываемый от положения отсчетной плоскости статоров до оси OX_0 .

После несложных тригонометрических преобразований уравнение (8) принимает вид

$$\begin{aligned}
 U_{p1} &= K_{\omega} (\omega_{x0} \sin \delta + \omega_{y0} \cos \delta); \\
 U_{p2} &= K_{\omega} (\omega_{x0} \cos \delta + \omega_{y0} \sin \delta); \\
 U'_{p1} &= K_w (a_{x0} \sin \delta + a_{y0} \cos \delta); \\
 U'_{p2} &= K_w (a_{x0} \cos \delta + a_{y0} \sin \delta),
 \end{aligned} \tag{9}$$

где K_{ω} – масштабный коэффициент в линии выработки проекций угловой скорости;

K_w – масштабный коэффициент в линии выработки кажущегося ускорения.

Очевидно, что при обнулении сигнала U_{p2} статоры СКВТ будут разворачиваться с помощью исполнительного двигателя 12 на угол, характеризуемый соотношением:

$$\operatorname{tg} \delta = -\frac{\omega_{x0}}{\omega_{y0}}. \tag{10}$$

Вместе с тем, при любом расположении горизонтальных осей можно записать:

$$\begin{aligned}
 \omega_{x0} &= \omega_r \cos \rho; \\
 \omega_{y0} &= \omega_r \sin \rho,
 \end{aligned} \tag{11}$$

где Ω_r – горизонтальная составляющая вектора абсолютной угловой скорости;

ρ – угол между осью OX_0 и направлением гироскопического меридиана.

Подставляя выражение (11) в формулу (10), получим

$$\operatorname{tg} \delta = -\operatorname{ctg} \rho; \quad \rho = 90 + \delta; \quad \delta = \rho - 90. \tag{12}$$

Отсюда следует, что угол δ , на который разворачиваются статоры СКВТ в осях $X_0 Y_0 Z_0$, однозначно определяет угол ρ , а, следовательно, и направление «гироскопического» меридиана, совпадающего с вектором ω_r .

Таким образом, в результате работы следящей системы, управляющей исполнительным двигателем разворота статоров СКВТ, отсчетная плоскость статоров оказывается в плоскости, перпендикулярной плоскости «гироскопического» меридиана. Если на вход следящей системы привода статоров подавать сигнал U_{p1} , то при его обнулении получим $\delta = -\rho$. В этом случае отсчетная плоскость статоров совпадает с плоскостью «гироскопического» меридиана.

Все изложенное свидетельствует о том, что рассматриваемое устройство является компасом.

Рассмотрим теперь, каким образом достигается построение невозмущаемой вертикали. Для простоты будем считать, что объект перемещается по экватору, а свободный в азимуте трехгранник X_0^* , Y_0^* , Z_0^* , относительно которого рассматривается движение платформы горизонткомпаса, ориентирован так, что ось X_0^* находится в плоскости меридиана. В этом случае трехгранник X_0^* , Y_0^* , Z_0^* оказывается неизменно ориентированным относительно географической системы координат, вектор горизонтальной составляющей абсолютной угловой скорости ω_r совпадает с полуденной линией, угол ρ обращается в ноль, а угол $\delta = 0$ или $\pi/2$ в зависимости от того, какой сигнал подается на обнуление – U_{p1} или U_{p2} . В первом случае $\delta = 0$. В соответствии с формулой (9) имеем

$$\begin{aligned} U_{p2} &= K_{\omega} \omega_{x0} ; & U'_{p2} &= K_w a_{x0} ; \\ U_{p1} &= K_{\omega} \omega_{y0} ; & U'_{p1} &= K_w a_{y0} . \end{aligned} \quad (13)$$

Очевидно, можно записать:

$$\begin{aligned} \omega_{x0}^* &= \omega_r = u + \dot{\lambda} ; \\ \omega_{y0}^* &= 0 ; \\ \omega_{x0} &= u + \dot{\lambda} + \dot{\beta} ; \\ \omega_{y0} &= \dot{\gamma} ; \\ a_{x0} &= a_{x0}^* - g\gamma = R\dot{\omega}_{y0}^* - g\gamma = -g\gamma ; \\ a_{y0} &= a_{y0}^* + g\beta = -R\ddot{\omega}_{x0}^* + g\beta = -R\ddot{\lambda} + g\beta , \end{aligned} \quad (14)$$

где u – угловая скорость суточного вращения Земли.

В соответствии со схемой (рис. 2, 3) запишем уравнение движения платформы по одной из осей, например OX_0 :

$$J(\ddot{\omega}_r + \ddot{\beta}) = M_{x0} + M_B , \quad (15)$$

где M_{x0} – управляющий момент;

M_B – возмущающий момент;

J – момент инерции по оси OX_0 ;

$\dot{\omega}_r$ – составляющая угловой скорости поворота платформы в инерциальном пространстве, равная по величине угловой скорости переносного движения $u + \dot{\lambda}$.

Управляющий момент согласно рис. 1 формируется в виде:

$$M_{x0} = -K_p [K'_{\omega} \dot{U}_{p2} + K_w U'_{p1}] = -K_p [K'_{\omega} (\dot{\omega}_n + \dot{\beta}) + K_w (-R\ddot{\lambda} + g\beta)] , \quad (16)$$

где K'_{ω} – общий коэффициент усиления с учетом дифференцирующих звеньев;

K_p – суммарный коэффициент усиления усилителя 17 (или 18) и датчика момента 15 (или 16).

С учетом формул (14) и (15) преобразуем выражение (16) и приведем его к виду

$$M_{x0} = -K_p [K'_{\omega} (\ddot{\lambda} + \ddot{\beta}) + K_w (-R\ddot{\lambda} + g\beta)] . \quad (17)$$

Подставляя (17) в (15) и используя (14), получим

$$\left(\frac{J}{K_p} + K'_\omega\right) \ddot{\beta} + K_w g \beta = -\left(K'_\omega - K_w R + \frac{J}{K_p}\right) \ddot{\lambda} + \frac{M_B}{K_p}. \quad (18)$$

При обеспечении реально достижимого условия

$$K'_\omega - K_w R + \frac{J}{K_p} = 0 \quad (19)$$

уравнение (18) принимает вид

$$\ddot{\beta} + \nu^2 \beta = \frac{M_B}{K_p K'_\omega + J}, \quad (20)$$

где $\nu = \sqrt{g/R}$ – частота, соответствующая периоду Шулера.

Условие (19) является условием невозмущаемости рассматриваемого горизонткомпаса, поскольку при его выполнении и соответствующих начальных условиях ($\beta_0 = 0; \dot{\beta}_0 = 0$), а также при отсутствии возмущений ($M_B = 0$) гирокомпас будет удерживать направление вертикали независимо от действия ускорений (в данном случае – $\ddot{\lambda}$), вызванных маневрированием объекта.

Для пояснения физической сущности этого явления запишем уравнение (15) при $M_B = 0$ в виде

$$\frac{J}{K_p} \dot{\omega}_r + \left(\frac{J}{K_p} + K \dot{\omega}\right) \ddot{\beta} + K_w g \beta = -(K'_\omega - K_w R) \ddot{\lambda}. \quad (21)$$

Отсюда следует, что в правой части уравнения (21) действует управляющий момент, обусловленный ускорением и равный

$$(K'_\omega - K_w R) \ddot{\lambda}.$$

При выполнении условия (19) и нулевых начальных условиях можно полагать, что $\beta = 0$ и платформа 1 будет поворачиваться в инерциальном пространстве с угловой скоростью, равной угловой скорости ($U + \dot{\lambda}$) переносного движения платформы.

Таким образом, для осуществления невозмущаемой вертикали на датчики моментов по горизонтальным осям карданового подвеса подаются управляющие моменты, зависящие от суммы и разности соответствующих проекций кажущегося и углового ускорений. При выполнении условия невозмущаемости (связывающего моменты инерции по осям платформы с масштабными коэффициентами в целях управления по угловой скорости и кажущемуся ускорению), величины этих моментов оказываются пропорциональными ускорениям движения объекта и поэтому изменяют угловую скорость платформы как раз до величины, являющейся результатом воздействия этого ускорения. Одновременно сигналы, пропорциональные проекциям ускорения силы тяжести на горизонтальные оси $g\beta$, $g\gamma$ и содержащиеся в соответствующих проекциях кажущегося ускорения, используются для придания платформе избирательности (направляющей силы) относительно вертикали.

В заключение следует отметить, что ошибки акселерометров (нечувствительность и дрейф нуля) оказываются промодулированными

частотой $\dot{\alpha}$ вращения платформы 1. Поскольку в схеме горизонткомпаса предусмотрена фильтрация сигналов с роторных обмоток СКВТ (фильтры 9, 31–34), то сигналы управления, поступающие на двигатель 12 и датчики моментов 15 и 16 оказываются свободными от влияния ошибок акселерометров. Следовательно, ошибки акселерометров существенно не скажутся на точностных параметрах горизонткомпаса (в отличие от гироскопической вертикали).

Кроме того, здесь сохраняются преимущества, связанные с регистрацией переменных ускорений с известными частотой и фазой [7]. При помощи акселерометров с чувствительностью порядка 10^{-5} g регистрация переменных ускорений с известной частотой и фазой может быть осуществлена на уровне 10^{-10} g.

При реально возможных параметрах $L=10$ см, $\varphi = 60^\circ$, $\dot{\alpha} = 10^{1/c}$ амплитуда подлежащей регистрации проекции кориолисова ускорения, порождаемого угловой скоростью ω на оси чувствительности акселерометров, в соответствии с формулой кориолисова ускорения составит:

$$a_{\omega} = |2 \vec{\omega} \times \vec{v}|_{\max} \sin \varphi = 2 \cdot 0,5 \cdot 10 \cdot 10 \omega = 100 \omega.$$

При $\omega = 10^{-3}$ градус/ч имеем $a_{\omega} = 0,5 \cdot 10^{-9}$ g, что превышает достигнутый на акселерометрах уровень точности определения ускорений.

Таким образом, можно считать, что нечувствительность рассматриваемого горизонткомпаса по угловой скорости составляет величину не более 10^{-3} градус/ч. При такой величине нечувствительности ошибка курсоуказания на широте $\varphi = 45^\circ$ составит величину $\Delta k = \omega/U \cos \varphi = 0,3'$, где U – угловая скорость суточного вращения Земли, что превышает точностные параметры современных гироскопических горизонткомпасов.

Важно учитывать и то обстоятельство, что в конструктивно-технологическом отношении акселерометрические чувствительные элементы по сравнению с гироскопическими являются более простыми, а их стоимость по сравнению с прецизионными гироскопами в 10–100 раз ниже. Существенно и то, что рассматриваемый горизонткомпас строится на однотипных чувствительных элементах, что позволяет упростить его конструкцию и удешевить производство таких систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ишлинский А. Ю. К теории гироскопического горизонткомпаса. Прикладная математика и механика. М.: Наука, 1956. – Т. 20. – Вып. 4. – С. 35–38.
2. Андреев В. Д. Теория инерциальной навигации (Автономные системы). М.: Наука, 1966. – 226 с.
3. Корякин В. И., Малеев П. И. Новые морские гироскопические системы. // Судостроение за рубежом. – 1979. – Вып. 7. – С. 45–53.
4. А.С. 147043 (СССР) Горизонткомпас на линейных акселерометрах. Малеев П. И., Голован А. А. и др. Приоритет от 31.05.1979 г.
5. А.С. 90211 (СССР) Способ измерения абсолютной угловой скорости. Малеев П. И., Голован А. А. Приоритет от 21.11.1980 г.
6. А.С. 157987 (СССР) Способ измерения абсолютной угловой скорости. Малеев П. И., Голован А. А., Сидоров Ю. М. Приоритет от 12.12.1980 г.
7. Метод тарирования акселерометров при малых ускорениях (пер.) // Journal Spacecrafta, Rockets. – 1971. – Vol. 18. – No 7.

P. I. Maleyev

Accelerometric Horizon-Compass

The basic diagram of horizon-compass composed of the linear accelerometers only (without gyroscopes), is considered. The expected precision and other characteristics are evaluated.

ГРНТИ 78.25.31

ГИРОСКОП-АКСЕЛЕРОМЕТР С ДИНАМИЧЕСКИ НАСТРАИВАЕМОМ ПОДВЕСОМ

П. И. МАЛЕЕВ

(ГНИНГИ МО РФ),

А. А. ГОЛОВАН

(ЦНИИ «Дельфин»)

Показана возможность совмещения функций гироскопа и двухканального акселерометра в одном динамически настраиваемом чувствительном элементе (ЧЭ). Использование таких ЧЭ в инерциальных навигационных системах исключает необходимость применения разнородных ЧЭ и сокращает их число.

Классические инерциальные навигационные системы строятся на двух типах чувствительных элементов (гироскопах и акселерометрах). С целью совмещения двух функций, которые выполняют эти элементы, рассмотрена возможность создания единого чувствительного элемента, вырабатывающего информацию как об абсолютной угловой скорости, так и об ускорении.

Принципиальная схема такого гироскопа-акселерометра приведена на рис. 1. К вращающемуся валу 1 на упругих растяжках (торсионных) 2 крепится симметричная рамка 3 (кольцо подвеса). К кольцу 3 на упругих растяжках 4 крепится маховик (ротор) 5. Центр масс маховика смещен от оси его подвеса 4 на некоторое расстояние r_z . Центр массы рамки 3, в свою очередь, смещен в том же направлении от оси подвеса 2 на расстоянии r_{zk} . Кроме того, в конструкции устройства обеспечивается разнесение взаимно ортогональных осей подвеса рамки 3 и маховика 5 на расстояние Δr_z , отсчитываемого вдоль оси вала 1.

Углы отклонения ротора, несущие информацию об абсолютной угловой скорости и кажущемся ускорении регистрируются известным способом посредством двухканального датчика угла 6 со статором, укрепленным жестко на корпусе прибора. При этом наряду с немодулированными составляющими сигнала датчиков угла, при формировании выходных сигналов устройства используются также составляющие этих сигналов, изменяющиеся с удвоенной частотой вращения.

Детектирование модулированных составляющих осуществляется посредством двухканального фазового детектора 7, запитываемого от двухканального генератора опорных сигналов 8. При этом, во избежание взаимного влияния частотноразделяемых сигналов в тракт их немодулированных составляющих вводится фильтр 9. Для анализа работы гироскопа-акселерометра введем следующие системы координат (рис. 2).

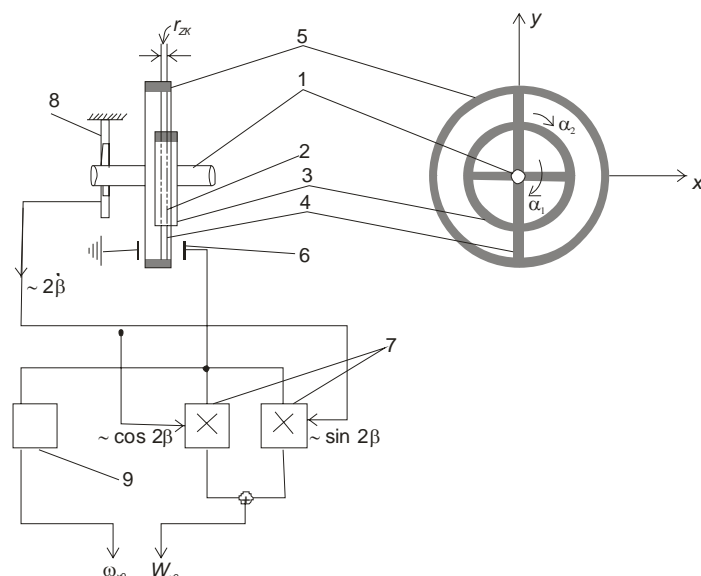


Рис. 1. Динамически настраиваемый гироскоп-акселерометр

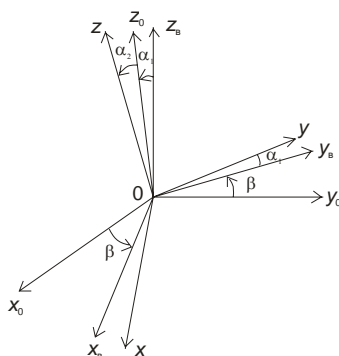


Рис. 2. Системы координат

$O X Y Z$ – жестко связана с маховиком 5 ($O Y$ параллельна оси подвеса 4; $O Z$ – ориентируется по оси вращения вала 1);

$O X_k Y_k Z_k$ – жестко связана с рамкой (кольцом) подвеса 3 ($O X_k$ – параллельна оси подвеса 2; $O Z_k$ – направлена по оси вращения вала, на рис. 2 не показана);

$O X_b Y_b Z_b$ – жестко связана с валом ($O Z_b$ – ось вращения вала);

$O X_0 Y_0 Z_0$ – жестко связана с основанием.

Угловая ориентация $OXYZ$ относительно системы координат вала $O X_b Y_b Z_b$ определяется малым углом α_1 поворота рамки 3 относительно вала 1 и малым углом α_2 поворота маховика 5 относительно рамки 3.

В свою очередь, ориентация системы $O X_b Y_b Z_b$ относительно системы координат $O X_0 Y_0 Z_0$ определяется единственным углом β неограниченного вращения вала.

Согласно рис. 1 и 2 для проекций абсолютной угловой скорости (АУС) и кажущегося ускорения вала 2 на оси системы координат маховика $OXYZ$ соответственно имеем:

$$\begin{aligned}\omega_x &= \left(\omega_{xB} + \dot{\alpha}_1 \right) \cos \alpha_2 - \left(-\omega_{yB} \sin \alpha_1 + \omega_{zB} \cos \alpha_1 \right) \sin \alpha_2; \\ \omega_y &= \left(\omega_{yB} \cos \alpha_1 + \omega_{zB} \sin \alpha_1 \right) + \dot{\alpha}_2; \\ \omega_z &= \left(\omega_{xB} + \dot{\alpha}_1 \right) \sin \alpha_2 + \left(-\omega_{yB} \sin \alpha_1 + \omega_{zB} \cos \alpha_1 \right) \cos \alpha_2; \\ W_x &= W_{xB} \cos \alpha_2 - \left(-W_{yB} \sin \alpha_1 + W_{zB} \cos \alpha_1 \right) \sin \alpha_2; \\ W_y &= W_{yB} \cos \alpha_1 + W_{zB} \sin \alpha_1; \\ W_z &= W_{xB} \sin \alpha_2 + \left(-W_{yB} \sin \alpha_1 + W_{zB} \cos \alpha_1 \right) \cos \alpha_2,\end{aligned}\tag{1}$$

где $\omega_{xB}, \omega_{yB}, \omega_{zB}, W_{xB}, W_{yB}, W_{zB}$ – составляющие АУС и ускорения системы координат вала Ox_B, Y_B, Z_B .

Выражение для проекций АУС и ускорений кольца подвеса вытекает из формулы (1):

$$\begin{aligned}\omega_{xK} &= \left(\omega_{xB} + \dot{\alpha}_1 \right); \\ \omega_{yK} &= \left(\omega_{yB} \cos \alpha_1 + \omega_{zB} \sin \alpha_1 \right); \\ \omega_{zK} &= \left(-\omega_{yB} \sin \alpha_1 + \omega_{zB} \cos \alpha_1 \right);\end{aligned}\tag{2}$$

$$\begin{aligned}W_{xK} &= W_{xB}; \\ W_{yK} &= \left(W_{yB} \cos \alpha_1 + W_{zB} \sin \alpha_1 \right); \\ W_{zK} &= \left(-W_{yB} \sin \alpha_1 + W_{zB} \cos \alpha_1 \right).\end{aligned}\tag{3}$$

Согласно кинематической схеме подвеса маховика и с учетом непересечения осей подвеса 2 и 4 для проекций линейной скорости центра масс маховика 5 в системе координат вала имеем:

$$\begin{aligned}V_x &= \Delta r_z \omega_{yK} \cos \alpha_2 + r_z \omega_y; \\ V_y &= -\left(\Delta r_z \omega_{xK} + r_z \omega_x \right); \\ V_z &= \Delta r_z \omega_{yK} \sin \alpha_2,\end{aligned}\tag{4}$$

где r_z – аксиальное смещение центра масс маховика относительно внутренней оси подвеса.

$$\text{Полагая, что в выражении (4) } \alpha_2 = 0 \text{ и } \Delta r_z = 0,\tag{5}$$

для проекций линейной скорости центра масс кольца в той же системе координат с учетом соответствующей замены обозначений получим:

$$\begin{aligned}V_{xK} &= r_{zK} \omega_{yK}; \\ V_{yK} &= r_{zK} \omega_{xK}; \\ V_{zK} &= 0,\end{aligned}\tag{6}$$

где r_{zK} – аксиальная разбалансировка кольца.

Выражение для кинетической энергии вращательного движения системы маховик – кольцо подвеса имеет вид

$$T_p + T_k = \frac{1}{2} \left\{ J_x \omega_x^2 + J_y \omega_y^2 + J_z \omega_z^2 + m (V_x^2 + V_y^2 + V_z^2) + J_{xk} \omega_{xk}^2 + J_{yk} \omega_{yk}^2 + J_{zk} \omega_{zk}^2 + m_k (V_{xk}^2 + V_{yk}^2 + V_{zk}^2) \right\}, \quad (7)$$

где $m, m_k, J_x, J_y, J_z, J_{xk}, J_{yk}, J_{zk}$ – массы и осевые моменты инерции маховика и кольца.

С учетом формул (4) и (6) выражение (7) сводится к виду

$$T_p + T_k = \frac{1}{2} \left\{ J_x^* \omega_x^2 + J_y^* \omega_y^2 + J_z \omega_z^2 + 2mr_z \Delta r_z (\omega_x \omega_{xk} + \omega_y \omega_{yk} \cos \alpha_2) + J_{xk}^* \omega_{xk}^2 + J_{yk}^* \omega_{yk}^2 + J_{zk} \omega_{zk}^2 \right\}, \quad (8)$$

где $J_x^* = J_x + mr_z^2; \quad J_y^* = J_y + mr_z^2;$

$$J_{xk}^* = J_{xk} + mr_{zk}^2 + m \Delta r_z^2; \quad J_{yk}^* = J_{yk} + m_k r_{zk}^2 + m \Delta r_z^2. \quad (9)$$

Воспользуемся уравнениями Лагранжа:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial (T_p + T_k)}{\partial \dot{\alpha}_1} - \frac{\partial (T_p + T_k)}{\partial \alpha_1} &= M_1; \\ \frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial (T_p + T_k)}{\partial \dot{\alpha}_2} - \frac{\partial (T_p + T_k)}{\partial \alpha_2} &= M_2, \end{aligned} \quad (10)$$

где M_1 и M_2 – моменты внешних сил по внешней и внутренней осям подвеса.

Согласно формулам (8) и (9) в линейном приближении с учетом малости угловых скоростей ω_{xB}, ω_{yB} и углов α_1, α_2 получим:

$$\begin{aligned} & (J_x^* + J_{xk}^* + 2mr_z \Delta r_z) \ddot{\alpha}_1 - [(J_y^* - J_z) + (J_{yk}^* + J_{zk}) + 2mr_z \Delta r_z] \omega_{xB}^2 \alpha_1 + \\ & + [(J_z - J_x^* - J_y^*) - 2mr_z \Delta r_z] \omega_{zB} \dot{\alpha}_2 = [J_x^* + J_{xk}^* + 2mr_z \Delta r_z] \omega_{xB}^2 - \\ & - [(J_z^* - J_y^*) + (J_{zk}^* - J_{yk}^*) - 2mr_z \Delta r_z] \omega_{yB} \omega_{zB} + M_{\alpha_1} - \\ & - [(J_z - J_x^* - J_y^*) - 2mr_z \Delta r_z] \omega_{zB} \dot{\alpha}_1 + \left[J_y^* \ddot{\alpha}_2 + (J_z - J_x^*) \omega_{zB}^2 \alpha_2 \right] = \\ & = -(J_y^* + mr_z \Delta r_z) \omega_{yB}^2 + (J_z - J_x^* - mr_z \Delta r_z) \omega_{xB} \omega_{zB} + M_{\alpha_2}, \end{aligned} \quad (11)$$

где

$$\begin{aligned} M_{\alpha_1} &= -[m(r_z + \Delta r_z) + m_k r_{zk}] W_y; \\ M_{\alpha_2} &= mr_z W_x; \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \omega_{xB} &= (\omega_{x0} \cos \beta + \omega_{y0} \sin \beta); \\ \omega_{yB} &= (-\omega_{x0} \sin \beta + \omega_{y0} \cos \beta); \\ \omega_{zB} &= \left(\omega_{z0} + \dot{\beta} \right). \end{aligned} \quad (13)$$

Аналогично

$$\begin{aligned} W_{xB} &= (W_{x0} \cos \beta + W_{y0} \sin \beta); \\ W_{yB} &= (-W_{x0} \sin \beta + W_{y0} \cos \beta); \\ W_{zB} &= W_{z0}. \end{aligned} \quad (14)$$

В целях сокращения выкладок без ущерба для общности выводов вместо формул (12), (13) и (14) можно использовать упрощенные выражения:

$$\begin{aligned} \omega_{xB} &= \omega_{x0} \cos \beta, \quad \omega_{yB} = -\omega_{x0} \sin \beta, \quad \omega_{zB} = \dot{\beta}; \\ W_x &= W_{xB} = W_{x0} \cos \beta, \quad W_y = W_{yB} = -W_{x0} \sin \beta, \quad W_{zB} = W_{z0}. \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} M_{\alpha_1} &= [m(r_z + \Delta r_z) + m_k r_{zk}] W_{x0} \sin \beta - K_1 \alpha_1 - n_1 \dot{\alpha}_1; \\ M_{\alpha_2} &= m r_z W_{x0} \cos \beta - K_2 \alpha_2 - n_2 \dot{\alpha}_2, \end{aligned} \quad (16)$$

где K_1 и K_2 – коэффициенты собственной угловой жесткости подвеса;
 n_1 и n_2 – коэффициенты сил демпфирования.

Согласно выражениям (11), (15) и (16)

$$\begin{aligned} & \left(J_x^* + J_{xk}^* + 2m r_z \Delta r_z \right) \ddot{\alpha}_1 + n_1 \dot{\alpha}_1 + \left\{ \left[(J_z - J_y^*) + (J_{zk} + J_{yk}^*) - \right. \right. \\ & \left. \left. - 2m r_z \Delta r_z \right] \dot{\beta}^2 + K_1 \right\} \alpha_1 + \left[(J_z - J_x^* - J_y^*) - 2m r_z \Delta r_z \right] \dot{\beta} \alpha_2 = \\ & = \left\{ \left[(J_z + J_x^* - J_y^*) + (J_{zk} + J_{xk}^* - J_{yk}^*) \right] \dot{\beta} \omega_{x0} + [m(r_z + \Delta r_z) + m_k r_{zk}] W_{x0} \right\} \sin \beta \\ & \left[(J_z - J_x^* - J_y^*) - 2m r_z \Delta r_z \right] \dot{\beta} \alpha_1 + \left\{ J_y^* \ddot{\alpha}_2 + n_2 \dot{\alpha}_2 + \left[(J_z - J_x^*) \dot{\beta}^2 + K_2 \right] \alpha_2 \right\} = \\ & = \left\{ (J_z - J_x^* + J_y^*) \dot{\beta} \omega_{x0} \cos \beta + m r_z W_{x0} \right\} \cos \beta. \end{aligned} \quad (17)$$

В случае использования равножесткого подвеса симметричных маховика и кольца подвеса при

$$J_x^* = J_y^* = J_3^*; \quad J_{xk}^* = J_{yk}^* = J_{3k}^*; \quad K_1 = K_2 = K \quad (18)$$

имеем:

$$\begin{aligned} & \left(J_3^* + J_{3k}^* + 2m r_z \Delta r_z \right) \ddot{\alpha}_1 + n_1 \dot{\alpha}_1 + \left\{ \left[(J_z - J_3^*) + (J_{zk} + J_{3k}^*) - \right. \right. \\ & \left. \left. - 2m r_z \Delta r_z \right] \dot{\beta}^2 + K \right\} \alpha_1 + \left[(J_z - 2J_3^*) - 2m r_z \Delta r_z \right] \dot{\beta} \alpha_2 = \\ & = \left\{ (J_z + J_{zk}) \dot{\beta} \omega_{x0} + [m(r_z + \Delta r_z) + m_k r_{zk}] W_{x0} \right\} \sin \beta; \\ & \left[(J_z - 2J_3^*) - 2m r_z \Delta r_z \right] \dot{\beta} \alpha_1 + \left\{ J_3^* \ddot{\alpha}_2 + n_2 \dot{\alpha}_2 + \left[(J_z - J_3^*) \dot{\beta}^2 + K \right] \alpha_2 \right\} = \\ & = \left(J_z \dot{\beta} \omega_{x0} + m r_z W_{x0} \right) \cos \beta. \end{aligned} \quad (19)$$

Таким образом, при разнесении внешней и внутренней осей подвеса маховика 5 и кольца 3 на расстояние Δr_z (рис. 1) оказывается возможным исключение динамической связи каналов α_1 и α_2 при реализации соотношения

$$[(J_z - 2J_3^*) - 2mr_z\Delta r_z] = 0. \quad (20)$$

Это обеспечивает осуществление отдельной резонансной настройки каналов абсолютной угловой скорости и ускорения. Действительно, с учетом выражения (20) формула (19) выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} & (J_3^* + J_{3к}^* + 2mr_z\Delta r_z)\ddot{\alpha}_1 + n_1\dot{\alpha}_1 + \left\{ [(J_z - J_3^*) + \right. \\ & \left. + (J_{зк} + J_{3к}^*) - 2mr_z\Delta r_z]\dot{\beta}^2 + K \right\} \alpha_1 = \\ & = (J_z + J_{зк})\dot{\beta}\omega_{x0} \sin\beta + [m(r_z + \Delta r_z) + m_k r_{зк}]W_{x0} \sin\beta; \\ & J_3^*\ddot{\alpha}_2 + n_2\dot{\alpha}_2 + \left[(J_z - J_3^*)\dot{\beta}^2 + K \right] \alpha_2 = J_z\dot{\beta}\omega_{x0} \cos\beta + mr_zW_{x0} \cos\beta. \end{aligned} \quad (21)$$

В силу малости коэффициента демпфирования «n» для установившихся значений углов α_1 и α_2 имеем

$$\alpha_1 = \frac{1}{D_1} (J_z + J_{3к})\dot{\beta}\omega_{x0} + [m(r_z + \Delta r_z) + m_k r_{зк}]W_{x0} \sin\beta, \quad (22)$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{D_2} (J_z\dot{\beta}\omega_{x0} + mr_zW_{x0}) \cos\beta, \quad (23)$$

где

$$D_1 = [(J_z - 2J_3^*) + (J_{зк} - 2J_{3к}^*) - 4mr_z\Delta r_z]\dot{\beta} + K; \quad (24)$$

$$D_2 = (J_z - 2J_3^*)\dot{\beta} + K. \quad (25)$$

Соответственно для составляющих угла отклонения ротора α_{10} и α_{20} , регистрируемых датчиком угла 6 (рис. 1) со статором, установленным на корпусе прибора, имеем

$$\begin{aligned} \alpha_{10} &= \alpha_1 \cos\beta + \alpha_2 \sin\beta; \\ \alpha_{20} &= -\alpha_1 \sin\beta + \alpha_2 \cos\beta. \end{aligned} \quad (26)$$

С учетом выражений (22)–(25)

$$\begin{aligned} \alpha_{10} &= \frac{1}{2} [(C_1 + C_2)\omega_{x0} + (d_1 + d_2)W_{x0}] \sin 2\beta; \\ \alpha_{20} &= \frac{1}{2} [(C_1 + C_2)\omega_{x0} + (d_1 + d_2)W_{x0}] \cos\beta + \\ & + \frac{1}{2} [(C_1 - C_2)\omega_{x0} + (d_2 - d_1)W_{x0}], \end{aligned} \quad (27)$$

где

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{J_z + J_{zk}}{D_1} \dot{\beta}; & C_2 &= \frac{J_z}{D_2} \dot{\beta}; \\ d_1 &= \frac{m(r_z + \Delta r_z) + m_k r_{zk}}{D_1}; & d_2 &= \frac{m r_z}{D_2}. \end{aligned} \quad (28)$$

Согласно формуле (26) углы α_{10} и α_{20} двояким образом несут информацию об искомым значениях абсолютной угловой скорости (ω_{x0}) и ускорения (W_{x0}). Эта информация содержится как в немодулированной компоненте $\alpha_{20н}$ угла α_{20} :

$$\alpha_{20н} = \frac{1}{2} [(C_2 - C_1) \omega_{x0} + (d_2 - d_1) W_{x0}], \quad (29)$$

так и в составляющих углов α_{10} , α_{20} , модулированных с удвоенной частотой вращения ротора:

$$\begin{aligned} \alpha_{10м} &= \frac{1}{2} [(C_1 + C_2) \omega_{x0} + (d_1 + d_2) W_{x0}] \sin 2\beta; \\ \alpha_{20м} &= \frac{1}{2} [(C_1 + C_2) \omega_{x0} + (d_1 + d_2) W_{x0}] \cos 2\beta, \end{aligned} \quad (30)$$

где $\alpha_{10м}$ и $\alpha_{20м}$ – модулированные компоненты углов α_{10} и α_{20} .

С помощью двухканального фазового детектора 7 (рис. 1) составляющие углов (30) преобразуются в электрические сигналы вида

$$U_1 = K_{g1} [(C_1 + C_2) \omega_{x0} + (d_1 + d_2) W_{x0}], \quad (31)$$

где K_{g1} – масштабный коэффициент блока первичного преобразования.

В то же время составляющая сигнала (29) легко преобразуется при помощи фильтра 9 в электрический сигнал вида

$$U_2 = K_{g2} [(C_2 - C_1) \omega_{x0} + (d_2 - d_1) W_{x0}], \quad (32)$$

где K_{g2} – масштабный коэффициент.

Сигналы (31) и (32) образуют систему двух уравнений относительно искомым ω_{x0} и W_{x0} , которая имеет нетривиальное решение в случае, когда

$$(C_1 + C_2)(d_2 - d_1) \neq (C_2 - C_1)(d_1 + d_2), \quad (33)$$

или при условии, что

$$C_1 d_1 \neq C_2 d_2. \quad (34)$$

Согласно выражениям (28) и (32) необходимо обеспечить выполнение неравенства

$$J_{zk} m r_z \neq J_z (m \Delta r_z + m_k r_{zk}). \quad (35)$$

Вместе с тем принципиальным условием работы гироскопа-акселерометра с высокой точностью является осуществление одновременной резонансной настройки каналов измерения абсолютной угловой скорости и ускорения путем минимизации параметров D_1 и D_2 (24) и (25):

$$D_1 = \left\{ \left[(J_z - 2J_3^*) + (J_{zK} - 2J_{3K}^*) - 4mr_z \Delta r_z \right] \dot{\beta}^2 + K \right\} = 0; \quad (36)$$

$$D_2 = (J_z - 2J_3^*) \dot{\beta}^2 + K = 0.$$

Отсюда имеем

$$r_z = \frac{(J_{zK} - 2J_{3K}^* - 2m_k r_{zK}^2) - 2m \Delta r_z^2}{4m \Delta r_z}. \quad (37)$$

Поскольку заведомо известно, что

$$(J_{zK} - 2J_{3K}^* - 2m_k r_{zK}^2) - 2m \Delta r_z^2 < 0, \quad (38)$$

знаки параметров r_z и Δr_z должны быть противоположны.

Согласно формуле (32) процедура определения абсолютной угловой скорости ω_{x0} и ускорения W_{x0} на основе линейно независимых сигналов упрощается при реализации следующих дополнительных соотношений:

$$d_1 = d_2; \quad m \Delta r_z + m_k r_{zK} = 0. \quad (39)$$

В силу конструктивной обособленности кольца подвеса 3 (рис. 1) условие (32) фактически реализуемо. Тогда

$$U_1 = K_{g1} [(C_1 + C_2) \omega_{x0} + 2d_1 W_{x0}]; \quad (40)$$

$$U_2 = K_{g2} (C_2 - C_1) \omega_{x0}.$$

Последнее не противоречит как условиям нетривиальности сигналов (34) и (35) в случае

$$C_1 \neq C_2; \quad \frac{J_z - J_{zK}}{D_1} \neq \frac{J_z}{D_2}, \quad (41)$$

так и условию одновременной резонансной настройки каналов в случае

$$r_z = \frac{(J_{zK} - 2J_{3K}^*) - 2m_k r_{zK} (r_{zK} - \Delta r_z)}{4m \Delta r_z}. \quad (42)$$

В качестве примера рассмотрим характерные соотношения:

$$m_k = 0,1 m; \quad (J_{zK} - 2J_{3K}^*) = 0,1 (J_z - 2J_3^*); \quad (43)$$

$$r_{zK} = 2 r_z, \quad r_z = -0,8 \Delta r_z.$$

В этом случае согласно выражению (42)

$$(J_z - 2J_3^*) = -40 m r_z^2, \quad (44)$$

что конструктивно приемлемо в силу малой необходимой величины аксиального смещения r_z центра масс ротора.

В рассмотренном частном случае сигнал U_2 является непосредственной мерой абсолютной угловой скорости ω_{x0} , а сигнал U_1 , содержащий две составляющие, пропорциональные ω_{x0} и W_{x0} , может быть использован в качестве меры ускорения W_{x0} . При необходимости одна из составляющих сигнала U_1 может быть легко исключена.

Таким образом, рассмотренный датчик обладает, по меньшей мере, двумя положительными особенностями, в нем:

1. совмещены функции гироскопа и двухканального акселерометра;
2. осуществляется резонансная настройка как гироскопического, так и акселерометрического каналов, что ведет к повышенной чувствительности и точности.

P. I. Maleyev

Gyroscope-Accelerometer with Dynamically Adjusted Suspension

The possibility to combine the functions of gyroscope and two-channel accelerometer in one dynamically adjusted sensing element is shown. The employment of such elements in the inertial navigation systems eliminates the necessity to use the sensing elements of different types and reduces their number.

ГРНТИ 47.49

ОДНОМЕРНЫЙ ПОИСК СИГНАЛОВ В СОГЛАСОВАННОМ ФИЛЬТРЕ ТОЛЬКО ПО ЗАДЕРЖКЕ КОДА ПРИ НЕИЗВЕСТНОЙ ЧАСТОТЕ

**А. М. ДОБОРИН,
Ю. С. ДУБИНКО**

(Санкт-Петербургский филиал КБ «Навис»)

Разработан новый вариант одномерного поиска сигналов в согласованном фильтре только по задержке кода при неизвестной частоте – с накоплением модулей нормальных случайных величин (НСВ). Эти НСВ получают когерентным накоплением квадратур смеси сигнала с помехой на таких малых интервалах времени, что когерентность накопления на них не нарушается даже при максимальном отклонении частоты сигнала от номинальной. Основные результаты поиска в двухпороговой процедуре по критерию Вальда получены методом Монте-Карло с помощью имитационной модели.

В статье [1] рассматривается одномерный поиск применительно к некогерентному выделению огибающей в соответствии с патентом [2]. Если реализовывать спутниковый навигационный приемник (СНП) по этому патенту, то в нем не потребуется синтезировать литерные частоты GLONASS и осуществлять свертку входных сигналов с этими литерными частотами. Это объясняется тем, что операция некогерентного выделения огибающей эквивалентна перемножению квадратурных составляющих принимаемого сигнала, каждая из которых содержит истинную частоту этого сигнала (вместе с доплеровским сдвигом и отклонением частот предшествующих гетеродинов от номинала). Такая операция эквивалентна прямому преобразованию частоты в схеме с фазовой автоподстройкой, только в роли синхронного гетеродина здесь выступают (поочередно) зашумленные квадратурные составляющие сигнала. Шумовая компонента результата этого преобразования увеличивается по меньшей мере вдвое (потери в 6 дБ).

Независимость некогерентного выделения огибающей от частоты устраняет необходимость частотного перебора при поиске. При таком одномерном поиске сигнала с неизвестной частотой пик взаимнокорреляционной функции (ВКФ) сигнала и реплики возникает в момент точного совпадения входного и ожидаемого кодов, т. е. с периодичностью

эпохи и именно на границах повторяющихся отрезков кодовой комбинации. Неизвестным здесь является положение этого пика в местной шкале времени (псевдодальность). Код псевдодальности фиксируется при принятии решения о наличии сигнала, поиск прекращается, и включается режим слежения за задержкой, уточняющий псевдодальность по сигналу обнаруженного спутника.

Для спутников GPS ожидаемые моменты появления пиков ВКФ известны из формирования в СНП реплики кода. Для спутников GLONASS, работающих с одним и тем же кодом, эти моменты случайны относительно реплики, так как случайны сами моменты совпадения кодов сигналов, зависящих от дальностей, и генерируемого в СНП кода реплики (одного и того же для всех спутников). Это означает, что в местной шкале времени приемника пики ВКФ от разных спутников GLONASS будут расположены случайно, но вся картина так же будет повторяться каждую миллисекунду. Это позволяет за 1 ms обнаружить все спутники GLONASS.

1 ms - повторяемость пиков ВКФ позволяет накапливать их на более длительных интервалах для повышения вероятности правильного обнаружения сигнала при наличии помех. Однако интервал накопления не должен превышать 20 ms – периода битовой частоты несущей эфемеридной информации (ЭИ). Превышение этого интервала накопления опасно, так как символ ЭИ может изменить знак несущей входного сигнала (сдвинуть его фазу на π). Это может затруднить выделение ЭИ вплоть до полной его невозможности.

Первые эксперименты по одномерному поиску с помощью автоматизированного рабочего места (АРМ) отладки программно-математического обеспечения (ПМО), включающего приемник реальных сигналов спутников, интерфейсный блок с некогерентным выделением огибающей в соответствии с патентом [2], синтезатором литерных частот GLONASS, прямым преобразованием их в квазинулевую (доплеровские квадратуры) и дополнительными аналого-цифровыми преобразователями (АЦП) в каждом квадратурном канале последней промежуточной частоты, показали его принципиальную реализуемость. Одновременно были выявлены недостатки одномерного поиска с блоком выделения огибающей (БВО).

Для обнаружения сигналов всех видимых спутников GLONASS в 1 ms цикле необходимо либо в несколько раз расширить полосу частот сквозного радиотракта, перекрыв весь диапазон литерных частот, что приведет к существенному повышению уровня шумов на входе обнаружителя, либо, оставив ту же полосу частот, хотя бы грубо исключить литерные частоты дополнительным гетеродинированием в нескольких поддиапазонах. Отсутствие возможности собственными силами реализовать это технически и привело к другому варианту одномерного поиска, суть которого излагается в данной статье. Этот вариант реализуется чисто программно, но требует для обнаружения сигналов спутников GLONASS синтезатора литерных частот и исключения их из входных сигналов гетеродинированием, как это обычно и делается в совмещенных GPS/GLONASS приемниках.

Как правило, считается, что при поиске псевдощумового сигнала (ПШС) навигационных спутников априори неизвестны задержка дальномерного кода τ и частота несущей, включающие неизвестные доплеровский сдвиг и

расхождение частот опорных генераторов (ОГ) спутника и приемника. Поэтому все отечественные и зарубежные приемники осуществляют двумерный поиск – по задержке τ и частоте f .

В цифровых приемниках для поиска сигнала только по задержке кода (при точно известной его частоте) необходимо перебрать минимум 1023 (C/A код GPS) позиции сдвигов реплики с минимальным временем анализа (формирования пика ВКФ), равным эпохе этого кода – 1 ms. Тогда минимальный цикл поиска по задержке составит 1,023 s. Оптимальным [1] считается поиск в получиповом окне, где время одного цикла удваивается и составит 2,046 s. Время анализа в 1 ms необходимо для формирования пика ВКФ и достаточно для обнаружения, поскольку при таком времени накопления отношение С/Ш становится не менее 10 дБ (для входных сигналов нормального уровня без помех и среднем уровне спектральной плотности теплового шума 40 дБ, в полосе 1 Гц). Это обеспечивает вполне приемлемые вероятности правильных решений ($P_{по}=P_{пн}=0,9987$) и ошибочных ($P_{лт}=P_{пр}=0,0013$) при обнаружении сигнала по критерию максимального правдоподобия.

Если частота априори неизвестна, то в таком приемнике необходимо с каждым циклом поиска по задержке организовать перебор m частотных поддиапазонов. Ширина частотного поддиапазона определяется из условия сохранения когерентности накопления на интервале анализа (1 ms). Обычно выбирают шаг частотного поиска в 750 Гц, что вносит не более 3 дБ потерь в накопление сигнала на 1 ms интервале. Число шагов частотного поиска зависит от максимально возможного доплеровского сдвига (± 5 кГц) и нестабильности ОГ приемника (спутниковый ОГ на несколько порядков более стабилен).

Применение ОГ в СНП с долговременной нестабильностью не более 10^{-6} позволяет ограничиваться 13 шагами частотного поиска. При $5 \cdot 10^{-6}$ необходимы 17 поддиапазонов с шагом 750 Гц. Тогда минимальное время анализа всех элементов априорной неопределенности (полный цикл двумерного поиска) составит 13,3 (17,4) s для чипового окна поиска и 26,6 (34,8) s для получипового (при времени анализа одного элемента двумерной неопределенности в 1 ms).

В некоторых типах СНП организуют параллельный поиск (одновременно по задержке и частоте). Это вообще возможно потому, что в процессе поиска по задержке кода в течение некоторого времени по мере приближения к истинной задержке кода на выходе коррелятора восстанавливается несущая частота, и ее можно оценить (измерить), например, с помощью быстрого преобразования Фурье (БПФ), как это делается во многих зарубежных приемниках. Но для работы БПФ необходимо сформировать достаточное количество отсчетов сигнала во временной области и затратить некоторое время собственно на преобразование. Здесь следует заметить, что в кодовых комбинациях дальномерной навигационной псевдослучайной последовательности (ПСП) может быть до семи символов одного знака (в среднем три для ПСП сигналов GPS) подряд. Это «затягивает» оценку ВКФ, увеличивая время присутствия восстановленной несущей на выходе коррелятора. Но и этого может оказаться недостаточно для надежного оценивания неизвестной частоты.

Как известно [3], в СНП ряда «Бриз» цикл поиска по задержке увеличен до 20 с (вместо 1,023 минимально необходимых). При этом параллельно работает система частотно-фазовой автоподстройки частоты (ЧФАПЧ), в которой сигнал частотного рассогласования получается простым численным дифференцированием выходных сигналов фазового дискриминатора. Этот сигнал автоматически становится равным нулю при совпадении частот входного сигнала и реплики от генератора с цифровым управлением (ГЦУ) контура ФАПЧ. Постоянную времени петлевого фильтра этого контура при поиске снижают в несколько раз (кратно 2^n) коммутацией разрядности накапливающих сумматоров петлевого фильтра по команде от навигационного процессора.

Идея одномерного поиска сигнала только по задержке кода восходит к идее формирования оценок амплитуды в виде корня из суммы квадратов квадратурных проекций вектора сигнала как статистик, не зависящих от частоты и фазы несущей и дальнейшему некогерентному их накоплению. Известно, что когерентное накопление сигнала (в квадратурах) эффективнее некогерентного, поэтому желательно его максимально использовать, но при этом придется ограничить длительность накопления квадратур интервалом, при котором максимальный сдвиг частоты не нарушил бы когерентности.

С этой точки зрения, традиционный миллисекундный интервал совершенно неприемлем, поскольку 13 кГц рассогласование по частоте вызовет фазовый сдвиг 4680° за 1 ms и полностью разрушит оценку амплитуды.

Естественным подходящим интервалом когерентного накопления квадратур может быть длительность кодового чипа. Для C/A кода GPS фазовый сдвиг при 13 кГц частотной неопределенности составит $\approx 4,7^\circ$, что практически не нарушит когерентности накопления. При полупроводимом окне поиска по задержке целесообразно именно этот интервал использовать для когерентного накопления квадратур перед формированием оценки амплитуды. Таким образом, практически исключить зависимость оценки амплитуды сигнала от неизвестной его частоты предлагается за счет существенного (как минимум, в 1023 раза для GPS и в 511 раза для GLONASS) сокращения длительности накопления квадратурных отсчетов сигнала последней промежуточной частоты по сравнению с 1 ms (эпохой кода) в традиционных схемах приемников до длительности кодового чипа (получипа).

Другими словами, даже при некоторой (ограниченной) неопределенности в частоте входного сигнала, накопление квадратур на малых интервалах времени можно считать когерентным. Неизвестная частота этого сигнала практически не скажется на оценке его амплитуды по формуле

$$\bar{a}_i = \sqrt{I_i^2 + Q_i^2} . \quad (1)$$

Выражения для исходных отсчетов квадратур можно представить в виде

$$i_j = aC(t_j) \cos \omega \cdot t_j + N(t_j) \cos(\omega_\phi t_j + \Psi(t_j)) ; \quad (2)$$

$$q_j = aC(t_j) \sin \omega \cdot t_j + N(t_j) \sin(\omega_\phi t_j + \Psi(t_j)) , \quad (3)$$

где a – амплитуда полезного сигнала;

ω – его частота;

$C(t_j)$ – псевдослучайная последовательность знаков «+» и «-», соответствующая символам дальномерного кода «1» и «0».

Шумовые слагаемые в квадратурах входной смеси (2) и (3) представлены в форме узкополосных (по Бунимовичу) случайных процессов, где $N(t)$ и $\Psi(t)$ – медленноменяющиеся (по сравнению с $\cos \omega_\phi t$ и $\sin \omega_\phi t$) функции времени – огибающая шума $N(t)$ и случайная компонента отклонения фазы $\Psi(t)$ от тренда $\omega_\phi t$.

ω_ϕ в этих формулах – центральная (эффективная) частота настройки фильтров сквозного радиотракта, формирующих огибающую окрашенного этими фильтрами входного белого (теплого) шума.

$$\omega = \omega_0 + \Omega; \tag{4}$$

ω_0 – номинал несущей частоты,

Ω – сумма доплеровского сдвига и отклонения ω от ω_0 из-за нестабильности ОГ СНП.

Как в корреляционном, так и в фильтрационном приемнике перед формированием оценки амплитуды по формуле (1) производится свертка входного сигнала с ожидаемым (репликой). Для этого входные квадратуры (2) и (3) перемножаются с репликой (ожидаемым ФМ сигналом, номинальной частотой ω_0). При этом очевидно, что совпадение символов входного и ожидаемого кодов приводит к тождеству $C^2(t_j) \equiv 1$. Преобразованные такой корреляционной обработкой квадратуры входной смеси сигнала с шумом (после подавления высокочастотных продуктов преобразования в ФНЧ) можно записать:

$$I(t) = a \cos \Omega t + N(t)C(t) \cos(\Delta \omega_\phi t_j + \Psi(t_j)); \tag{5}$$

$$Q(t) = a \sin \Omega t + N(t)C(t) \sin(\Delta \omega_\phi t_j + \Psi(t_j)). \tag{6}$$

Здесь исходный сигнал восстановлен (демодулирован ожидаемым кодом), а огибающая шума промодулирована этим псевдослучайным кодом.

Когерентное накопление этих сигналов на интервале $\Delta \tau$ i -го кодового чипа (получипа) запишем в виде

$$I_i = \int_{t_j}^{t_j + \Delta \tau} I(t) dt; \tag{7}$$

$$Q_i = \int_{t_j}^{t_j + \Delta \tau} Q(t) dt. \tag{8}$$

Аргументы гармонических функций в (5) и (6) представляют собой значения абсолютных текущих фазовых углов векторов шума (вторые слагаемые) и полезного сигнала (первые). Поэтому указанные формулы без нарушения общности можно переписать в виде, отражающем относительное движение этих векторов, текущее положение вектора шума относительно вектора сигнала описывается углом $\Psi(t)$ – разностью аргументов гармонических функций в (5) и (6). Прделав это преобразование, получим для квадратур выражения, полностью совпадающие с формулами (7) и (8), и,

таким образом, все соображения по поводу плотностей вероятностей нормальных случайных величин с математическими ожиданиями вида $a \cos \Psi$ и $a \sin \Psi$ [1] будут полностью относиться к нашему рассмотрению. Здесь можно только добавить, что интегралы в выражениях (7) и (8) можно выразить через функции Бесселя 1^{го} рода от мнимого аргумента $I_0(Z)$, которая для дальнейших нелинейных преобразований вида (1) может быть (для малых Z) представлена достаточно быстроходящимся степенным рядом.

Это и другие необходимые допущения приведут к приближенным решениям и могут существенно исказить сравнение эффективности традиционного когерентного накопления квадратур на миллисекундном интервале в двумерном поиске с предлагаемым некогерентным накоплением модулей для одномерного поиска. С другой стороны, важность корректной оценки возможностей одномерного поиска (существенное сокращение цикла поиска и непосредственно связанное с этим накопление вероятности правильного обнаружения в схеме независимых испытаний за заданное время при наличии помех) обусловила применение к решению этой задачи метода имитационного моделирования.

Укрупнено имитационная модель может быть представлена тремя основными программными блоками:

1. Блок имитации входного сигнала;
2. Блок имитации входного шума;
3. Блок имитации приемника.

Блок имитации сигнала включает:

а) Вычисление текущих значений квадратурных проекций сигнального вектора

$$\left. \begin{aligned} I_i &= a \cos \frac{2\pi}{N} i \\ Q_i &= a \sin \frac{2\pi}{N} i \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

где a – амплитуда сигнала (по умолчанию $a=1$)

N – масштаб модели (по умолчанию $N=20$), а также параметр, имитирующий отклонение частоты от номинала

$$\frac{N + \delta N}{N} = \frac{\omega_0 + \Omega}{\omega_0}. \quad (10)$$

б) Фазовую манипуляцию этих квадратур (инверсия знаков) по закону ПСП дальномерного кода. Период тактовой частоты (по умолчанию) равен 5 периодам несущей.

Блок имитации шума (с заданной корреляционной функцией) представляет собой формирующий фильтр 2^{го} порядка астатизма с двумя накапливающими сумматорами (НС), имитирующими интеграторы, и обратные связи от каждого НС на входной алгебраический сумматор. Одновременно на вход этого сумматора поступают независимые нормированные к единичной дисперсии и нормализованные случайные величины (белый шум). Нормализация входного белого шума реализуется текущим суммированием 11 случайных величин с равномерным распределением, программно имитированных процессором.

Квадратурное расщепление шума реализовано снятием выходных отсчетов в разные моменты времени, соответствующие сдвигу по фазе на 90° (через 5 масштабных точек модели). По одной из выходных шумовых квадратур проводится рекуррентное оценивание СКП и обе выходные последовательности (опережающая и задержанная) нормируются на эту оценку.

Изменение входного отношения сигнал/шум имитируется умножением нормированных шумовых последовательностей (с единичными СКП) на заданную величину СКП шума перед суммированием сигнальных квадратур с шумовыми.

Основной задачей блока имитации приемника является вычисление ВКФ входного и ожидаемого сигналов в режиме одномерного поиска (только по задержке при наличии частотной неопределенности). Для этого в блоке приемника выполняются следующие операции:

а) Умножение входных квадратур на ожидаемый сигнал с псевдослучайной манипуляцией несущей номинальной частоты ω_0 и перебором задержек τ с получиповым шагом.

б) Накопление (суммирование) этих произведений (два квадратурных накопителя) на получиповом интервале (50 модельных точек). Эта операция одновременно полностью подавляет высокочастотные продукты предыдущего преобразования (целое число периодов удвоенной частоты на интервале накопления).

в) Формирование текущих ординат ВКФ суммированием четырех соседних (в получиповых окнах поиска по задержке) откликов СФ, накопленных в соответствии с пунктом «б».

г) Вычисление оценки модуля амплитуды зашумленного сигнала, где вместо формулы (1) применяется ее достаточно точная аппроксимация:

$$\tilde{a}_i = \max\{|I_i|; |Q_i|\} + k \cdot \min\{|I_i|; |Q_i|\}. \quad (11)$$

Такая аппроксимация приведена в статье [1], где $k=0,5$. По результатам нашего моделирования, подходящим значением k , обеспечивающим погрешность аппроксимации корня из суммы квадратов менее 0,2% (при равновероятном распределении фазового угла) является $k \approx 0,32$.

Следует заметить, что точность аппроксимации (1) в задаче поиска, особенно программного в реальном времени при адаптивных порогах принятия решений большого значения не имеет. Здесь более важна экономия реального времени процессора (особенно, если процессор выполняет операции с фиксированной точкой) и вполне приемлема предельно простая аппроксимация корня из суммы квадратов квадратурных проекций в виде суммы их модулей, поскольку всегда

$$|I_i| + |Q_i| > \sqrt{I^2 + Q^2} \quad (12)$$

Учитывая это, в имитационной модели мы использовали $k=0,5$, что также удобно для работы нейропроцессоров на базе RISC – ядра с фиксированной точкой.

д) Формирование адаптивных порогов для принятия решений об обнаружении сигнала при поиске.

Как указывалось выше, из-за важности (как теоретической, так и практической) получения адекватных оценок эффективности предлагаемого способа одномерного поиска пришлось отказаться от нахождения приближенных выражений для условных плотностей вероятностей модуля смеси квадратурных проекций с гауссовым шумом в широком диапазоне входных отношений сигнал/шум. Числовые характеристики этих условных плотностей вероятностей (условием является справедливость одной из гипотез – наличие сигнала или его отсутствие) получаем методом статистических испытаний Монте-Карло с помощью имитационной модели. Эта же имитационная модель используется ниже для получения методом Монте-Карло статистических выводов применительно к другим предлагаемым инновациям, когда адекватность приближений в теоретическом анализе вызывает сомнения (как, например, оценка эффективности теоретически оптимального дискриминатора задержки).

Диапазон входных отношений сигнал/шум должен вмещать ситуации с достаточно мощными преднамеренными помехами, которые преобразуют как корреляционный, так и фильтрационный приемники в процессе свертки в эквивалентный шум, близкий к широкополосному гауссовому. Это свойство обязано квазигауссовой статистике ПСП ожидаемого дальномерного кода.

Выражение для плотности вероятности модуля нормальной СВ приведено, например, в справочнике [4]:

$$\bar{\varphi}(x; x_0; \sigma_n) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq 0 \\ \frac{1}{\sigma_n} \left[\varphi\left(\frac{x-x_0}{\sigma_n}\right) + \varphi\left(\frac{x+x_0}{\sigma_n}\right) \right] & \text{при } x > 0, \end{cases} \quad (13)$$

где $\varphi(t)$ – плотность вероятности нормального распределения;

x_0, σ_n – математическое ожидание и СКО исходного нормального распределения.

Вид этой плотности существенно зависит от соотношения x_0 и σ_n исходной нормальной СВ. Очевидно, что сумма 1022 слагаемых (GLN) или 2046 (GPS) одинаково распределенных в соответствии с выражением (13) в силу центральной предельной теоремы теории вероятности практически распределена нормально. Некоторая сложность заключается только в определении числовых характеристик этого нормального распределения, которые зависят от x_0 и σ . Она преодолевается тем, что искомые числовые характеристики распределения указанных сумм формируются методом Монте-Карло в процессе имитационного моделирования. Вначале находится оценка математического ожидания (МО) этих сумм при отсутствии сигнала ($a=0$), Затем МО – при наличии сигнала с единичной амплитудой ($a=1$). Приращение этого МО и есть оценка расстояния между проверяемыми гипотезами. Одновременно вычисляется оценка СКО пика ВКФ от его МО. Интерпретируем результаты этого моделирования применительно к физическим параметрам СНП.

Аналоговый тракт (RF front-end) СНП представляет собой в общем случае несколько ступеней преобразования частоты вниз (down-converter). При этом необходимо иметь в виду, что ширина спектра входного шума многократно превышает полосу пропускания сквозного радиотракта (самого

узкополосного фильтра промежуточной частоты). Ширина спектра шума на выходе «RF front-end» определяется именно этим фильтром. Не нарушая общности, можно считать, что самым узкополосным является фильтр последней промежуточной частоты.

Независимо от частотного плана СНП его сквозной радиотракт должен пропускать достаточно широкую полосу частот, в общем случае превышающую ширину спектра полезного сигнала в несколько раз (до $\pm 15 \div 20$ МГц). Здесь необходимо отметить, что эта ширина полосы из условия максимизации отношения сигнал/шум (с/ш) не должна превышать удвоенную тактовую частоту кода. Однако еще Вудворт [5] утверждал, что максимум с/ш, достигаемый сужением полосы частот не является критерием качества приемника*. В упомянутой работе он приводит формулы, показывающие, что разрешающая способность и точность измерения дальности (импульсным радиолокатором) улучшаются при расширении полосы частот приемного радиотракта.

Новейшие публикации по спутниковой навигации, использующей псевдослучайную импульсную модуляцию несущей, подтверждают это положение. Эффект объясняют обострением пика ВКФ зашумленного сигнала и его реплики. Последние разработки СНП используют так называемые узкостробовые корреляторы с шириной дальномерного stroba $\approx 0,1$ кодового чипа. Согласованный с этим stroбом радиотракт должен иметь полосу частот не менее $\pm 10 F_{\text{такт}}$ ** . Полезный суммарный эффект от расширения полосы частот радиотракта при поиске сигнала в шумах подтверждается и результатами нашего моделирования. Одним из результатов моделирования являются оценки математических ожиданий m (по выборкам из 100 повторов) накопленных сумм получиповых модулей сигнала по всем получипам (по 1022 слагаемых как при отсутствии сигнала, так и при его наличии). Отсутствие сигнала в модели представлялось его амплитудой $a=0$, наличие – $a=1$. Как было показано в работе [1], при получиповом окне поиска реакция на сигнал формируется как сумма четырех оценок ВКФ в соседних получипах, расположенных по обе стороны границы повторения последовательности символов кода. По предложению А. М. Доборина, для сокращения объема вычислений при моделировании вычислялись только эти суммы (при наличии и отсутствии сигнала), а все промежуточные 1018 значений ВКФ (т. е. поведение ее между ожидаемыми сигнальными пиками) не вычислялись. Одновременно вычислялись СКО ординат пиков ВКФ от их математических ожиданий.

Результаты такого моделирования и их анализ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты моделирования и анализ результатов

α	$m\{a=0\}$	$m\{a=1\}$	$\sigma\{a=0\}$	$\sigma\{a=1\}$	Δm	$\Delta m/\sigma$	$\tau_{\text{обн}} [ms]$	$\log \tau_{\text{обн}}$
0,4	85905	96972	2954	2751	11067	4,023	0,59	-0,23
0,6	73396	85451	2371	2275	12055	5,3	0,34	-0,47
1,0	52875	68476	1861	1749	15601	8,92	0,12	-0,92
1,5	35744	56943	1307	751	21199	16,2	0,036	-1,44

*) Применительно к импульсным сигналам *Прим. авт.*

**) Здесь $F_{\text{такт}}$ – тактовая частота кода обнаруживаемого сигнала *Прим. авт.*

Данные этой таблицы относятся к входному отношению с/ш $q = \frac{1}{20}$ (по напряжению, в односторонней полосе частот 1 МГц). Такое q в реальных СНП будет иметь место в случае превышения мощности помех на 6 дБ по сравнению со средними условиями приема без помех (входное отношение сигнал/тепловой шум $Q_0=40$ дБ в полосе 1 Гц). Для ускорения процесса имитации сигналов и шумов введен масштаб тактовой частоты псевдослучайного кода. Если в сигнале С/А спутников GPS период тактовой частоты кода составляет 1540 периодов несущей, то в модели – всего 5. Для адекватной интерпретации результатов моделирования необходимо выдержать равенство эффективной ширины спектра шума и полосы частот сквозного радиотракта, связанной с шириной спектра полезного сигнала. Эффективная шумовая полоса однозначно определяется в модели варьируемым параметром α его корреляционной функции:

$$K(\tau) = \sigma^2 e^{-\alpha|\tau|} \left(\cos \omega_0 |\tau| + \frac{\alpha}{\omega_0} \sin \omega_0 |\tau| \right), \quad (14)$$

где σ – СКП шума (варьируется в модели в широком диапазоне);
 ω_0 – центральная частота спектра этого шума (равна частоте несущей полезного сигнала).

Более того, эффективная ширина шумовой полосы частот

$$\Delta\omega_{ш\vartheta} = \alpha; \quad \Delta f_{ш\vartheta} = \frac{\alpha}{2\pi}. \quad (15)$$

В масштабных единицах модели $f_c = \frac{1}{20}$; $F_{\text{такт}} = \frac{1}{100}$.

С учетом указанных выше соображений по поводу полосы частот сквозного радиотракта необходимо выполнить условие:

$$\Delta f_{ш\vartheta} = 20 F_{\text{такт}}. \quad (16)$$

Подставляя формулу (15) в выражение (16), получим:

$$\alpha = 1,27. \quad (17)$$

В работе [1] было показано, что при $\frac{\Delta m}{\sigma} \geq 3,09$ вероятность правильного обнаружения сигнала $P_{\text{по}} \geq 0,999$ в однопороговой процедуре поиска по критерию максимального правдоподобия. Из 7 столбца табл. 1 (в настоящей работе) видно, что величина 3,09 превышена во всех вариантах (для $q = 1/20$), – время обнаружения сигнала не превышает 1 мс. В этой же статье показано, что выигрыш двухпороговой процедуры поиска по критерию Вальда в среднем времени поиска при несложной помеховой обстановке не превышает единиц процентов, и применять ее в этих условиях нецелесообразно. Строго говоря, для принятия правильных решений в этой ситуации необходимое время анализа (накопление тестовой статистики) существенно меньше 1 мс (см. табл. 1, столбец 8). Считая достаточной для надежного обнаружения величину $\frac{\Delta m}{\sigma} = 3,09$, можно вычислить необходимое время обнаружения $\tau_{\text{обн}}$ из соотношения

$$\frac{\Delta m}{\sigma} = 3,09 \sqrt{\frac{1ms}{\tau_{обн}}}. \quad (18)$$

Значения $\tau_{обн}$ в соответствии с формулой (18) приведены в столбце 8 указанной таблицы. В столбце 9 таблицы приведены значения логарифма $\tau_{обн}(\alpha)$. Эти данные показывают, что в рамках обсуждаемой имитационной модели зависимость $\tau_{обн}(\alpha)$ в логарифмическом масштабе монотонно падающая прямая. Но это не означает, что в реальных СНП можно беспредельно расширять полосу частот сквозного радиотракта, добиваясь улучшения его характеристик, так как:

- 1) в модели использована идеализированная форма фазовой манипуляции несущей с теоретически бесконечной шириной спектра. Реальные сигналы навигационных спутников ограничены по спектру фильтром спутникового передатчика, а превышение этой ширины полосой частот СНП приведет к ограничению улучшающихся по модели характеристик;
- 2) это же превышение может привести к увеличению вероятности проникновения помех в широкополосный радиотракт.

Рассмотрим подробнее адаптацию верхнего и нижнего порогов обнаружения по критерию Вальда. Прежде всего здесь необходимо отметить, что сама структура псевдошумовой фазовой манипуляции несущей сигнала предполагает преобразование любой аддитивной помехи на входе СНП в широкополосную гауссову. Это преобразование осуществляет перемножение сигнала с репликой в корреляторе как корреляционного, так фильтрационного приемников. Реплика представляет собой ожидаемый сигнал с той же псевдошумовой фазой, поэтому совпадение входного сигнала с репликой по задержке в процессе формирования их свертки восстанавливает несущую полезного сигнала и придает помехе свойства широкополосного гауссова шума.

Ширина спектра преобразования помехи определяется полосой пропускания радиотракта, математическое ожидание равно нулю, а дисперсия определяется её мощностью. С этой точки зрения пороги по Вальду должны быть пропорциональны СКО преобразованной помехи. Этот подход описан в статье [1], где назначение порогов предполагается до начала поиска по заранее полученному выборочному СКО. Эта процедура требует дополнительных затрат времени на формирование оценок дисперсии помех.

Здесь мы предполагаем другой вариант (непараметрический) рекуррентного формирования адаптивных порогов по критерию Вальда. Предложение основано на очевидной необходимости выполнения следующих неравенств:

$$C_B \geq \max Z_i \{s = 0\}; \quad (19)$$

$$C_H \leq \min Z_i \{s = 1\}, \quad (20)$$

где C_B – верхний порог по критерию Вальда, превышение которого требует принятия гипотезы о наличии сигнала;

C_H – нижний порог, влекущей за собой решение об отсутствии сигнала;

Z_i – выборочное значение ВКФ при отсутствии $\{s=0\}$ и наличии $\{s=1\}$ сигнала.

Выполнение неравенства (19) гарантирует достижение вероятности ложной тревоги не более $1/N$, где N – число элементов выборки Z_i , по которым формируется его правая часть. Выполнение неравенства (20) гарантирует продолжение эксперимента (попадание Z_i между C_H и C_B) до выполнения одного из этих неравенств.

Естественно, что формирование правых частей этих неравенств может выполняться рекуррентно по мере получения обновленных оценок Z_i . Это означает, что N в процессе поиска сигналов в реальном времени можно не фиксировать. Однако результаты численных экспериментов с помощью указанной выше имитационной модели показали, что величину N достаточно ограничить числом 100. При этом рекуррентно уточняемые пороги в соответствии с неравенствами (19) и (20) были получены на элементах ограниченной выборки с номерами от 1 до 81. В дальнейшем по этим 100 ms выборкам фиксировались случаи выполнения неравенства (19). Варьируемым параметром в этой серии экспериментов была СКП шума (от 20 до 500). $\sigma_{ш}=20$ соответствует благоприятной помеховой обстановке ($\frac{I}{S} \leq 6$ дБ); $\sigma_{ш}=500$ – очень интенсивным помехам ($\frac{I}{S} \leq 34$ дБ). Здесь $\frac{I}{S}$ – отношение мощности помехи на входе СНП к мощности сигнала. Таким образом, мы предлагаем технологический цикл в 100 ms для оценки характеризующих проверяемые гипотезы нелинейных статистик вида правых частей неравенств (19) и (20). Этот цикл удлиняет время поиска практически незаметно, но позволяет сформировать априорную информационную избыточность для существенного улучшения качества статистических решений при непараметрическом подходе к формированию порогов обнаружения по Вальду. Результаты этих численных экспериментов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Среднее время обнаружения сигнала в адаптивной двухпороговой процедуре проверки гипотез по критерию Вальда

$\sigma_{ш}(a=1)$	20	50	100	150	200	500
$\tau_{обн}$ [ms]	0,08	1,61	33,3	55,5	100	150–200

Здесь важно отметить следующие положения.

- 1) Пороги в соответствии с неравенствами (19) и (20) обеспечивают надежное решение при $\sigma_{ш} \geq 50$. При меньших уровнях помех теоретическое время обнаружения менее 1 ms. Это проявляется в том, что $\Delta \tilde{m}$ становится $> 3,09 \tilde{\sigma}$ (перехлест порогов) Поэтому первым шагом в алгоритме предлагаемого способа поиска должна быть проверка вышеуказанного условия. Если оно не выполняется, то сигнал присутствует.
- 2) При невыполнении этого условия переходим к формированию порогов в соответствии с (19) и (20) и проверяем их выполнение на уже сформированной выборке Z_i ($i=1...100$).
- 3) В соответствии со стандартом США на СНП помехоустойчивость режима поиска приблизительно на 20 дБ ниже режима

сопровождения. Предложенная непараметрическая процедура формирования адаптивных порогов Вальда обеспечивает выигрыш помехоустойчивости поиска по сравнению со стандартным режимом сопровождения. Действительно, можно утверждать, что $\sigma_{\text{ш}} = 20$ обеспечивает устойчивое сопровождение сигнала в СНП. Из табл. 2 следует, что и при $\sigma_{\text{ш}} = 500$ фиксируется обнаружение сигнала. Это означает, что выигрыш помехоустойчивости поиска по сравнению с сопровождением не менее $34-6 = +28$ дБ.

- 4) Некогерентное формирование тестовой статистики Z_i для поиска сигнала не ограничивает время анализа 20 ms интервалом, превышение которого при когерентном накоплении практически исключит не только возможность выделения ЭИ, но и саму возможность продолжения поиска, поскольку полезный сигнал может менять знак с частотой 50 Гц по закону смены символов передаваемой ЭИ.
- 5) Формирование указанных адаптивных порогов, вообще говоря, требует априорного знания факта отсутствия или наличия сигнала, чем СНП не располагает перед началом поиска. Однако здесь можно использовать априорную информационную избыточность известной структуры сигнала – его периодичность. Действительно, пик ВКФ всегда располагается на границе периода повторения кода (он возникает при полном совпадении входного кода и реплики). В программном СФ реплика располагается в матрице памяти неподвижно, а для реализации ее с входным сигналом используется естественное (в реальном времени) перемещение его отсчетов относительно неподвижной реплики. Только совпадение этих кодов может сформировать пик ВКФ при наличии сигнала. Если же есть некоторое несовпадение кодов сигнала и реплики по задержке, то в ординаты ВКФ войдет сигнал с нулевым математическим ожиданием (соответствие гипотезе об отсутствии сигнала).

С учетом изложенного (см. пункт 5) процедура поиска организуется путем сравнения оценок ординат ВКФ на границе периода эпох кода (возможно присутствия сигнала) с оценкой ВКФ в любой промежуточной точке по задержке (гипотеза об отсутствии сигнала).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубинко Ю. С. Останов поиска и захват сигнала на сопровождение в согласованном фильтре по критерию Вальда // Навигация и гидрография. – №13. – 2001. – С. 68–79.
2. Дубинко Ю. С., Батищев С. Н. Некогерентный обнаружитель радиосигналов в шумах. – Патент №2187198 (РФ).
3. Борсук О. А., Дубинко Ю. С., Батищев С. Н., Кириченко А. И. Способ и устройство обработки радиосигналов навигационных спутников GPS и ГЛОНАСС. – Патент 2173862(РФ).
4. Абесгауз Г. Г., Тронь А. П., Копенкин Ю. Н., Коровина И. А. Справочник по вероятностным расчетам. М.: Воениздат, 1966. – 408 с.
5. Вудворт Ф. М. Теория вероятности и теория информации с применениями в радиолокации. М.: Советское радио, 1955. – 126 с.

A. M. Doborin, Y. S. Doubinko

One-dimensional Search for Signals in Matched Filter by the Code Delay Only with Unknown Frequency

A new variant of one-dimensional search for signals in the matched filter by the code delay only with unknown frequency, with accumulation of modules of the normal variates, has been developed. These variates are obtained by the coherent accumulation of quadratures of signal and noise mixture at such short time intervals that the accumulation coherence is not disturbed even at the maximum deviation of the signal frequency from the nominal. The main results of search in the two-threshold procedure by Wald criterion have been obtained using the Monte-Carlo method by means of simulation model.

ГРНТИ 89.29.65

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗБЫТОЧНОСТИ СОВМЕСТНЫХ КОДОВЫХ И ФАЗОВЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ БОЛЕЕ ПОЛНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ
НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ
(РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРИ ЧИСЛЕ ВИДИМЫХ СПУТНИКОВ МЕНЕЕ ЧЕТЫРЁХ)**

**Г. К. ДАНИЛОВА,
Ю. С. ДУБИНКО,
В. И. ЛАПШИНА,
О. В. НИКИТИН**
(ГНИНГИ)

В статье приведены результаты исследований по оценке точностных характеристик алгоритмов более полного извлечения координатной информации из избытка совместных кодовых и фазовых (доплеровских) измерений. Показана возможность двух- и трёхмерного позиционирования при числе видимых спутников менее четырёх.

Впервые возможность извлечения навигационной информации из совместных кодовых и фазовых измерений была показана в книге [1]. В ней приведен график углов пересечения дальномерной (по кодовым измерениям) и радиально-скоростной (по фазовым измерениям) линии положения, что вполне пригодно для навигационных обсерваций. Как показано в работе, координатную информацию можно извлекать и из доплеровских (фазовых) измерений по несущей, которые выполняются в любом спутниковом навигационном приёмнике (СНП) одновременно с кодовыми. Другими словами, не только дальности, но и радиальные скорости зависят от координат потребителя. Это свойство радиальной скорости было основой спутниковой навигации в низкоорбитных спутниковых навигационных системах (СНС), но, к сожалению, не используется в большинстве среднеорбитных СНП, даже зарубежных, хотя способы совместной обработки кодовых и фазовых (доплеровских) измерений для двух- и трёхмерного позиционирования потребителей при наличии в видимости менее четырёх (вплоть до одного) спутников запатентованы в США [2], [3] фирмами «Trimble Navigation» и «Alcatel Mobile Communication».

В упомянутой книге [1] рассматривалась задача определения плоских координат потребителя (широта, долгота) при одномоментном измерении дальности и радиальной скорости. Рассмотрение этой задачи возникло в связи с запуском в США низкоорбитного спутника «Nova», в излучаемый сигнал которого была введена псевдощумовая манипуляция несущей дальномерным кодом. Предполагалось, что это позволит оценивать текущую ионосферную ошибку доплеровских измерений в одночастотном приёмнике за счёт разных знаков отклонения фазовой и групповой скорости в ионосфере от скорости распространения в вакууме (технология «Dopran»). Эта информация о сигналах спутников «Nova» побудила автора исследовать чисто навигационный аспект такого нововведения. В упомянутой книге на стр. 142 приведен график зависимости угла пересечения дальномерной и доплеровской (радиальноскоростной) линий положения от возвышения спутника над горизонтом.

В низкоорбитных СНС обе линии положения эквивалентны с точки зрения точности измерения соответствующих им радионавигационных параметров и их градиентов. Задача исключения систематических ошибок измерений дальностей (расхождение шкал времени) и радиальных скоростей (расхождение частот генераторов) легко решается в последовательной паре соседних секундных измерений с приведением измеренной псевдодальности к начальному моменту времени измеренными псевдодоплеровскими интегралами.

В среднеорбитных СНС из-за сравнительно больших высоты и периода обращения спутника доплеровский сдвиг относительно малоинформативен (меняется во времени медленно и в небольших пределах от восхода до кульминации). Частные производные радиальной скорости по координатам на три с лишним порядка меньше соответствующих производных дальностей, но точность доплеровских измерений (приращений дальностей) на 2–3 порядка выше кодовых. Так, например, в СНП ряда «Бриз» СКП несглаженных кодовых измерений составляет ≈ 1 м, в то время как секундное приращение дальности в фазовом канале характеризуется СКП $\approx 1,4$ мм. Теоретически при одинаковых постоянных времени следящих контуров по несущей и задержке кода (и одном и том же входном шуме) измерения фазы кода грубее измерений фазы несущей в N раз, где N – отношение несущей частоты к тактовой частоте кода (≈ 1540 для сигналов *GPS*).

Уравновешивание разноточных измерений минимизацией квадратичного критерия способом наименьших квадратов (СНК) или оптимальным фильтром Калмана (ОФК) предполагает использование весовых коэффициентов $\approx N^2$, что с перекрытием компенсирует малые координатные градиенты доплеровских измерений. Рассмотрим следующую постановку задачи: имеются пары одновременных измерений псевдодальности PD_{ji} и псевдорадиальных скоростей PV_{ji} ; линеаризованные, уравнения которых суть:

$$PD_{ji} \approx D_{ji}^{CЧ} + a_{ji} \Delta x + b_{ji} \Delta y + c_{ji} \Delta z + \Delta D_{\text{сист}}; \quad (1)$$

$$PV_{ji} \approx V_{ji}^{CЧ} + \alpha_{ji} \Delta \dot{x} + \beta_{ji} \Delta \dot{y} + \gamma_{ji} \Delta \dot{z} + \Delta V_{\text{сист}} + \alpha_{ji} \Delta x + \beta_{ji} \Delta y + \gamma_{ji} \Delta z, \quad (2)$$

где $D_{ji}^{CЧ}$ и $V_{ji}^{CЧ}$ – числимые значения дальностей и радиальных скоростей, соответственно;

индекс j соотносит переменные с номером спутника ($j = 1, \dots, m$); i – с моментом снятия отсчетов t_i ;

a, b, c – частные производные дальностей по соответствующим координатам (направляющие косинусы линий визирования спутников), они же – частные производные радиальных скоростей по соответствующим проекциям вектора скорости потребителя, поскольку

$$\frac{\partial D}{\partial x} \equiv \frac{\partial \dot{D}}{\partial \dot{x}};$$

α, β, γ – частные производные радиальных скоростей по координатам потребителя.

Вектор неизвестных (в момент t_i) содержит 8 элементов:

$$\Delta X = \left\{ \Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta D_{\text{сист}}, \Delta \dot{x}, \Delta \dot{y}, \Delta \dot{z}, \Delta V_{\text{сист}} \right\}^T. \quad (3)$$

Расположив в векторе измерений Z сначала все псевдодальности, затем все псевдорadiальные скорости, матрицу частных производных H запишем в блочном виде:

$$H = \begin{pmatrix} H_{Dx} & 0 \\ \dots & \dots \\ H_{Vx} & H_{Dx} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

где H_{Dx} – стандартная матрица размерности $(m \times 4)$ трехмерного позиционирования с исключением систематической ошибки дальности,

$$H_{Dx} = \begin{pmatrix} a_{1i} & b_{1i} & c_{1i} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{ji} & b_{ji} & c_{ji} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{mi} & b_{mi} & c_{mi} & 1 \end{pmatrix}, \quad (5)$$

H_{Vx} – дополнительная матрица $(m \times 4)$ трехмерного позиционирования по измерениям радиальных скоростей,

$$H_{Vx} = \begin{pmatrix} \alpha_{1i} & \beta_{1i} & \gamma_{1i} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{ji} & \beta_{ji} & \gamma_{ji} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{mi} & \beta_{mi} & \gamma_{mi} & 1 \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Нулевой правый верхний блок $(m \times 4)$ матрицы H означает, что в одномоментных измерениях псевдодальностей информации о скоростях потребителя не содержится. Для извлечения скоростной информации из таких измерений необходима обработка временных последовательностей псевдодальностей с расширением модели состояния объекта, например

$$\Delta X_i = \Delta X_0 + \dot{X} \Delta t + \ddot{X} \frac{\Delta t^2}{2} + \dots \quad (7)$$

Этой идеей мы воспользуемся ниже для улучшения решений при недостаточном количестве видимых спутников. Перед рассмотрением улучшения качества решения навигационной задачи с использованием матрицы H вида (3) следует заметить, что в последние годы в СНП массового применения вместо фильтрации по Калману, которая позволяет расширить

модель состояния (6) в стандартной ее процедуре, стали использовать СНК с константной моделью состояния. Это объясняется тем, что требование удешевления массовой аппаратуры привело к использованию процессоров с ограниченной производительностью в качестве навигационных. Здесь однократное вычисление H_{Dx} и обращение матрицы $H_{Dx}^T H_{Dx}$ с двукратным использованием обратной матрицы для определения как координат, так и скоростей способствует удовлетворению этому требованию.

Рассмотрим теперь улучшение качества решений при избыточном количестве видимых спутников в стандартной процедуре СНК с матрицей H (3) и взвешивании неравноточных измерений с помощью нормированной априорной корреляционной матрицы их погрешностей R (размерностью $2m \times 2m$)

$$R = \left\{ 1, \dots, 1; \frac{\sigma_V^2}{\sigma_D^2}, \dots, \frac{\sigma_V^2}{\sigma_D^2} \right\}^T I. \quad (8)$$

Решение в этом случае записывается в виде

$$\Delta X = (H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1} L, \quad (9)$$

где L – вектор разностей измеренных и счислимых значений дальностей и радиальных скоростей.

Для оценки качества этого решения вычислялись показатели точности в виде частных геометрических факторов $GDOP$ (*Geometrical Delution Of Precision*) как корни квадратные из следов соответствующих подматриц ковариационной матрицы погрешностей решения (оценок), а именно $PDOP$ (*Position Delution Of Precision*) для оценки точности трехмерных координат. Аналогичная оценка нужна и по трем проекциям вектора скорости. В стандартной процедуре СНК (с отдельным оцениванием координат по дальностям и скоростей по доплеровским сдвигам) скоростной геометрический фактор совпадает с $PDOP$ и отдельный частный показатель по скорости в литературе не встречается. Поэтому нам пришлось по аналогии с $PDOP$ ввести понятие и аббревиатуру $SDOP$ (*Speed Delution Of Precision*). В упомянутом стандартном СНК $PDOP \equiv SDOP$, так как в решении по координатам и скоростям используется одна и та же градиентная матрица (направляющие косинусы линий визирования спутников). В решении (9) это тождество не выполняется.

В моделировании использовалось реальное созвездие из 11 спутников. Результаты моделирования приведены в табл. 1, где показаны значения $PDOP$ и $SDOP$ в зависимости от числа спутников N и отношения R дисперсии кодовых измерений к дисперсии фазовых.

Таблица 1

Повышение точности трехмерного позиционирования с одновременной оценкой скоростей за счёт взвешенной обработки совместных кодовых и фазовых измерений

Число спутников (N)	Стандартное решение с отдельной оценкой координат и скоростей	Совместное оценивание координат и скоростей взвешенной обработкой кодовых и фазовых измерений (восьмимерный вектор оцениваемых параметров)				
		$R^1 = 10^3$	$R^1 = 10^4$	$R^1 = 10^5$	$R^1 = 10^6$	$R^1 = 10^7$
11	1,3595	1,3595	1,3595	1,3540	1,3039	1,0669
	1,3595	0,0214	0,0068	0,0021	0,0007	0,0002
10	1,4897	1,4896	1,4889	1,4817	1,4174	1,1115
	1,4897	0,0233	0,0074	0,0023	0,0007	0,0002

Число спутников (N)	Стандартное решение с раздельной оценкой координат и скоростей	Совместное оценивание координат и скоростей взвешенной обработкой кодовых и фазовых измерений (восьмимерный вектор оцениваемых параметров)				
	$R^1 = 10$	$R^1 = 10^3$	$R^1 = 10^4$	$R^1 = 10^5$	$R^1 = 10^6$	$R^1 = 10^7$
9	<u>1,6489</u>	<u>1,6488</u>	<u>1,6482</u>	<u>1,6417</u>	<u>1,5827</u>	<u>1,2697</u>
	1,6489	0,0257	0,0081	0,0026	0,0008	0,0003
8	<u>1,6806</u>	<u>1,6805</u>	<u>1,6800</u>	<u>1,6748</u>	<u>1,6265</u>	<u>1,3404</u>
	1,6806	0,0257	0,0081	0,0026	0,0008	0,0003
7	<u>1,7047</u>	<u>1,7047</u>	<u>1,7046</u>	<u>1,7031</u>	<u>1,6889</u>	<u>1,5647</u>
	1,7047	0,0268	0,0085	0,0027	0,0009	0,0003
6	<u>1,8693</u>	<u>1,8693</u>	<u>1,8691</u>	<u>1,8679</u>	<u>1,8555</u>	<u>1,7464</u>
	1,8693	0,0269	0,0085	0,0027	0,0009	0,0003
5	<u>2,1965</u>	<u>2,1965</u>	<u>2,1963</u>	<u>2,1946</u>	<u>2,1781</u>	<u>2,0473</u>
	2,1965	0,0269	0,0085	0,0027	0,0009	0,0003
4	<u>2,3823</u>	<u>2,3823</u>	<u>2,3823</u>	<u>2,3823</u>	<u>2,3823</u>	<u>2,3823</u>
	2,3823	0,0271	0,0086	0,0027	0,0009	0,0003

В числителе приведены значения $PDOP$ в знаменателе – $SDOP$.

Перекомпенсация малых координатных градиентов радиальных скоростей (производные α , β , γ) большими весами R^1 приводит к тому, что даже небольшие погрешности радиальных скоростей могли бы вызвать заметные смещения оценок координат. Это имело бы место, если бы координаты определялись только по радиальным скоростям. При совместной же обработке в соответствии с формулой (9) СКП взвешенных координат не может быть хуже СКП дальномерных решений и ограничена уровнем в первые единицы метров. Поэтому, с одной стороны, $GDOP$ объединённого решения (по координатам) хотя и улучшается по сравнению с чисто дальномерным, но несущественно (единицы – десятки процентов) из-за дестабилизирующего действия перекомпенсированных погрешностей радиальных скоростей. С другой стороны, этот же эффект обуславливает очень существенное (до нескольких порядков) улучшение $SDOP$.

Следует заметить, что в решении (9) используется нормированная матрица R (нормировка на дисперсию кодовых измерений). Поэтому $SDOP$, приведённые в табл. 1, имеют размерность сек^{-1} и для получения СКП оценок скоростей необходимо эти $SDOP$ умножить на СКП кодовых измерений (обычно – первые единицы метров). Для оценки точности определения скоростей, используя СКП доплеровских измерений ($\approx 1,4$ мм/сек для СНП типа «Бриз»), необходимо $SDOP$ из табл. 1 сначала умножить на $\sqrt{R^{-1}}$, где R^{-1} – отношение дисперсии кодовых измерений к фазовым измерениям. При этом зависимость $SDOP$ от R^{-1} исчезает. Тем не менее, для повышения точности оценок как координат, так и скоростей следует использовать большие значения R^{-1} .

Некоторая некорректность сравнения $PDOP$ стандартного решения с предлагаемым алгоритмом взвешенной обработки дальномерных и доплеровских измерений вызвана тем, что стандартный алгоритм оценивает только координаты и систематическую ошибку измерений дальности, тогда как предлагаемый алгоритм оценивает 8 параметров, включая оценки скоростей. В части $PDOP$ потенциальные возможности предлагаемого алгоритма более полного извлечения координатной информации из

совместных кодовых и фазовых измерений можно оценить, исключив оценки скоростей из вектора состояния. Для этого вычислим *PDOP* применительно к модифицированной градиентной матрице *H* в виде

$$H_{Dx} = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & 1 & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_j & b_j & c_j & 1 & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_m & b_m & c_m & 1 & 0 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 & 0 & 1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_j & \beta_j & \gamma_j & 0 & 1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_m & \beta_m & \gamma_m & 0 & 1 & \dots \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Результаты этих вычислений приведены в табл. 2.

Таблица 2

PDOP предлагаемого алгоритма

N	R ⁻¹ =10 ³	R ⁻¹ =10 ⁴	R ⁻¹ =10 ⁵	R ⁻¹ =10 ⁶	R ⁻¹ =10 ⁷	R ⁻¹ =10 ⁸
11	1,3595	1,3589	1,3532	1,3015	1,0325	0,5927
10	1,4896	1,4888	1,4805	1,4076	1,0726	0,6202
9	1,6488	1,6478	1,6380	1,5516	1,1699	0,6715
8	1,6805	1,6798	1,6729	1,6102	1,2738	0,7169
7	1,7047	1,7043	1,7001	1,6608	1,3974	0,7959
6	1,8692	1,8688	1,8640	1,8189	1,5195	0,8396
5	2,1965	2,1961	2,1924	2,1568	1,8972	1,1979
4	2,3822	2,3819	2,3785	2,3460	2,1005	1,4040

Заметим, что в этой задаче геометрический фактор оценки систематической ошибки скорости ΔV на два-три порядка меньше, чем в стандартном алгоритме.

При числе наблюдаемых спутников меньше четырёх с использованием информационной избыточности совместных дальномерных и доплеровских измерений становится возможным решать навигационную задачу, но размерность её будет зависеть от числа спутников. Рассмотрим эти задачи:

1. Имеется три наблюдаемых спутника.

Можно составить шесть линейаризованных уравнений вида (1) и (2), но они содержат 8 неизвестных. Эти неизвестные можно найти в два этапа.

Вначале решается задача с матрицей *H* (10) и определяется 5 неизвестных по 6 измерениям – $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta D_{\text{сист}}, \Delta V_{\text{сист}}$. Затем записываются 3 линейаризованных уравнения для измеренных псевдоразрадиальных скоростей:

$$\Delta X = \left\{ \Delta x, \Delta y, \Delta z, \Delta D_{\text{сист}}, \Delta \dot{x}, \Delta \dot{y}, \Delta \dot{z}, \Delta V_{\text{сист}} \right\}^T \quad (11)$$

Подставляя в эти уравнения оценку систематической ошибки измерения радиальных скоростей из решения первого этапа, получим 3 линейных уравнения для трёх проекций вектора скорости потребителя.

Если есть возможность согласиться с некоторой временной задержкой получения решения навигационной задачи, то можно использовать эту дополнительную информационную избыточность для улучшения качества оценок. Это потребует модификации константной модели состояния объекта,

обычно используемой в оценках СНК, включением в неё составляющих вектора скорости. Исходные уравнения для этого расширения очевидны:

$$\Delta X_i = \Delta X_{i-1} + \dot{X}_{i-1} \Delta t \quad (12)$$

Матрица H частных производных этих измерений по элементам 8-мерного вектора состояния, включающего координаты, скорости, систематические ошибки измерений дальности и радиальной скорости имеет вид:

$$H = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ a_1 & b_1 & c_1 & a_1 & b_1 & c_1 & 1 & 1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ a_2 & b_2 & c_2 & a_2 & b_2 & c_2 & 1 & 1 \\ a_3 & b_3 & c_3 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ a_3 & b_3 & c_3 & a_3 & b_3 & c_3 & 1 & 1 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 & a_1 + \alpha_1 & b_1 + \beta_1 & c_1 + \gamma_1 & 0 & 1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 & a_2 + \alpha_2 & b_2 + \beta_2 & c_2 + \gamma_2 & 0 & 1 \\ \alpha_3 & \beta_3 & \gamma_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \alpha_3 & \beta_3 & \gamma_3 & a_3 + \alpha_3 & b_3 + \beta_3 & c_3 + \gamma_3 & 0 & 0 \end{pmatrix}. \quad (13)$$

С использованием этой матрицы решается система линейных уравнений (9). При секундном темпе измерений изменчивостью частных производных a , b , c , α , β , γ можно пренебречь и использовать их значения, а также результаты выполнения матричных операций $(H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1}$ в течение нескольких секундных циклов, что заметно сэкономит ресурс навигационного процессора.

Результаты вычисления $PDOP$ и $SDOP$ с использованием матрицы H (13) приведены на графике рис. 1а и рис. 1б для разных комбинаций по трем спутникам из 11 видимых ($PDOP$ – рис.1а, $SDOP$ – рис. 1б). Из этих данных следует, что три спутника позволяют определять пространственные координаты с СКП не хуже 20 м, а скорости – не хуже 0,01 узла.

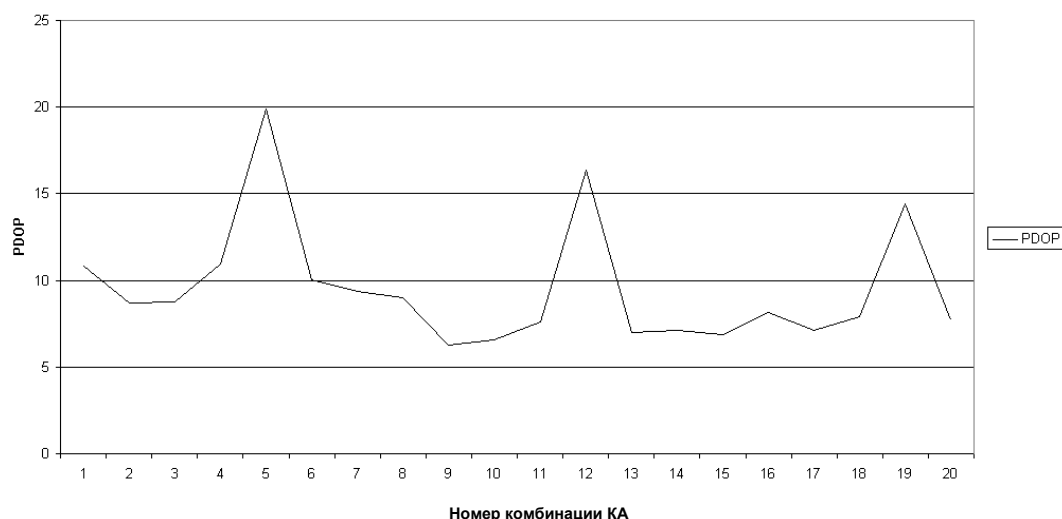


Рис. 1а. Значения PDOP для разных комбинаций трех спутников из 11 видимых

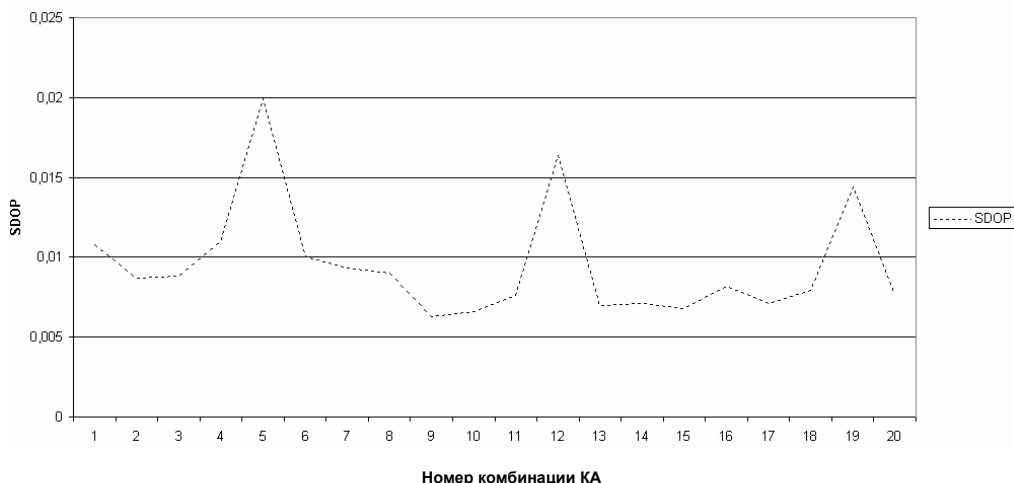


Рис. 16. Значения SDOP для разных комбинаций трех спутников из 11 видимых

2. Имеются два навигационных спутника.

По наблюдениям двух спутников можно составить 4 линеаризованных уравнения для четырех неизвестных – плоских координат (широты φ и долготы λ) и двух систематических ошибок измерений – $\Delta D_{\text{сист}}$ и $\Delta V_{\text{сист}}$:

$$\left. \begin{aligned} PD_1^{\text{изм}} &= D_1^{\text{сч}} + a_1 \Delta\varphi + b_1 \Delta\lambda + \Delta D_{\text{сист}} \\ PD_2^{\text{изм}} &= D_2^{\text{сч}} + a_2 \Delta\varphi + b_2 \Delta\lambda + \Delta D_{\text{сист}} \\ PV_1^{\text{изм}} &= V_1^{\text{сч}} + \alpha_1 \Delta\varphi + \beta_1 \Delta\lambda + \Delta V_{\text{сист}} \\ PV_2^{\text{изм}} &= V_2^{\text{сч}} + \alpha_2 \Delta\varphi + \beta_2 \Delta\lambda + \Delta V_{\text{сист}} \end{aligned} \right\} \cdot \quad (14)$$

Соответствующая матрица имеет вид

$$H = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 & 1 & 0 \\ a_2 & b_2 & 1 & 0 \\ \alpha_1 & \beta_1 & 0 & 1 \\ \alpha_2 & \beta_2 & 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \quad (15)$$

Здесь следует отметить, что невозможность включения скорости (северной и восточной) в число оцениваемых параметров приведет к существенному ухудшению (смещениям) оценок других параметров (координат).

Решая систему уравнений (9) с матрицей H (15), получим поправки к счислимым широте и долготе (высота антенны – её геоцентрический радиус – должна быть известной, что для морских объектов не представляет сложности). Для получения оценок скоростей (северной и восточной) воспользуемся моделью объекта вида (12) и повторим решение для следующего секундного набора измерений. Если в последовательности секундных обсерваций с использованием матрицы H (15) быстрофлюктуирующие компоненты ошибок счисления исключить при формировании счислимых значений дальностей и радиальных скоростей (по информации от навигационного комплекса), то медленноменяющиеся смещения исключаются в разностях соседних обсерваций. Полученные по секундным приращениям обсервованных координат соответствующие проекции скорости будут иметь СКП в $\sqrt{2}$ раз больше, чем СКП координат.

Другими словами, вычислив $PDOP$ для указанной задачи $SDOP$, получаем умножением $PDOP$ на $\sqrt{2}$. Значения $PDOP$ и $SDOP$ для различных комбинаций двух спутников из 11 видимых приведены на рис. 2. Из этих графиков видно, что для неблагоприятных комбинаций спутников СКП координат может достигать десятков метров, а СКП скоростей, полученных из их секундных приращений – десятков узлов. Здесь следует заметить, что при наличии в видимости всего двух спутников возможность выбирать лучшую комбинацию отсутствует, поэтому необходимо ориентироваться на самую неблагоприятную ситуацию.

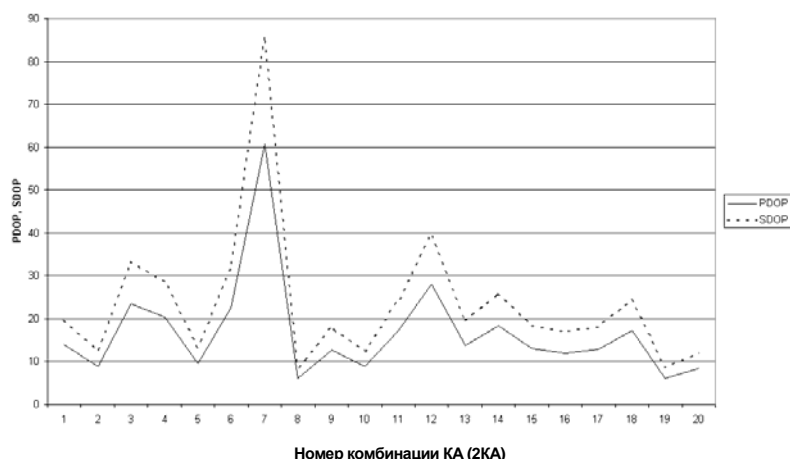


Рис. 2. Значения $PDOP$ и $SDOP$ для различных комбинаций двух спутников из 11 видимых

Можно связать последовательность секундных обсерваций поправками к счислимым скоростям и включить эти поправки в число оцениваемых расширенным обобщенным СНК координат, как это делалось для трех видимых спутников. Однако это приведёт к существенному возрастанию размерностей матриц в системе уравнений (9) и может превысить вычислительный ресурс навигационного процессора. Этот ресурс хотелось бы сэкономить для решения других задач при обработке измерений двух видимых спутников: во-первых, задачи исключения из счислимых дальностей и радиальных скоростей погрешностей, вызванных качкой, рысканием и орбитальным движением центра масс морского объекта на волнении, во-вторых, задачи фильтрации сильно зашумлённой последовательности секундных обсерваций. Эти обсервации требуют при обработке измерений по двум спутникам такого же объёма вычислений, что и стандартная задача определения трёх координат (с исключением систематической ошибки измерений) по четырём дальностям.

Задача фильтрации последовательности обсерваций (достаточно редких) в низкоорбитных СНС подробно описана в книге [1]. Причём каждая из этих обсерваций по-своему смещена неточным знанием счислимой скорости даже с почти постоянной её погрешностью на интервале между обсервациями. Там же [1] приведена аппроксимация корреляционной функции суммарной погрешности счисления, положительная ветвь которой (спадающая до нуля) может быть представлена формулой

$$K_x(\tau) = \sigma_x^2 e^{-\alpha(\tau)}, \quad (16)$$

где параметр $\alpha = 1/720 \text{ с}^{-1}$.

Сильная взаимная корреляция погрешностей соседних секундных наблюдений объясняется тем, что основные их составляющие (эффемеридные, ионосферные, тропосферные) за 1 секунду остаются практически неизменными. Секундные приращения координат вызваны в основном ненулевой собственной скоростью объекта. Поэтому можно было бы предложить простейшую процедуру получения хотя и сильно зашумленных ($PDOP \gg 10$), но без смещений, оценок скорости по этим приращениям с последующим их сглаживанием. Однако большую эффективность сглаживания обеспечит линейный следящий фильтр, согласованный хотя бы с простейшей моделью состояния объекта. Так, например, если ограничиться простейшей марковской моделью объекта первого порядка, возбуждаемой белым шумом n по скорости

$$\begin{aligned} V &= \dot{x} \\ \dot{x} &= -\alpha V + n \end{aligned} \quad (17)$$

то можно построить согласованный с ней фильтр первого порядка астатизма. Структурная схема такого фильтра приведена на рис. 3.

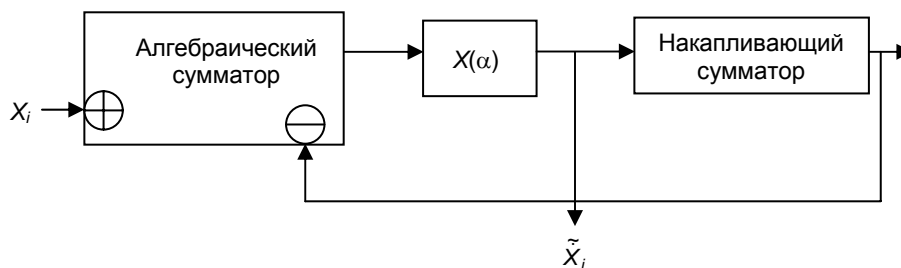


Рис. 3. Следящий фильтр 1-го порядка астатизма

Этот фильтр в отличие от достаточно сложного алгоритма [1] с матричными операциями, улучшающего решение навигационной задачи при практическом отсутствии информационной избыточности (редкие наблюдения в низкоорбитных СНС) требует дополнительно всего лишь двух операций сложения и одного умножения по каждой из двух координат каждую секунду.

В первом блоке этого фильтра (алгебраическом сумматоре) формируются текущие отклонения обновляемых координат от их сглаженных значений. Эти отклонения при секундном темпе обновления наблюдений (в установившемся режиме фильтра) численно равны оценкам составляющих скорости.

Второй блок фильтра (умножение на α) уменьшает эти оценки в 720 раз (в том числе и их СКП).

Третий блок – накапливающий сумматор – аналог счисления координат с накоплением погрешностей пропорционально корню квадратному из времени (числа шагов суммирования). Такая скорость накопления погрешностей суммирования обеспечивается независимыми отсчётами слагаемых. Обновляющая последовательность на входе сумматора действительно обладает свойствами белозумности (за счёт линии отрицательной обратной связи). Для сокращения длительности переходного

процесса можно дискретно изменять величину α от 1 до $1/n$, где n – число шагов фильтрации, а при достижении $n=720$ заморозить эту величину.

Из схемы, показанной на рис. 3, следует, что СКП оценок скоростей (в установленном режиме) может быть уменьшена примерно в 720 раз, а СКП координат – в $\sqrt{720}$. 720 сек – это интервал корреляции суммарной погрешности счисления.

Столь высокая эффективность фильтрации секундных обсерваций позволяет ещё больше упростить обработку измерений по двум спутникам, исключив операции вычисления и ввода поправок в счисляемые значения дальностей и радиальных скоростей за текущие угловые и линейные скорости морского объекта на качке. Этот вариант хотя и несколько ухудшит конечный результат фильтрации за счёт заметного возрастания СКП секундных обсерваций на входе фильтра, но пригоден для тех объектов, где в навигационный комплекс не входит инерциальная система. Здесь важно то, что скорости качки и орбитального движения на волнении имеют нулевое математическое ожидание и не порождают смещений на выходе фильтра.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волосов П. С., Дубинко Ю. С., Мордвинов Б. Г., Шинков В. Д. Судовые комплексы спутниковой навигации. – Л.: Судостроение, 1983. – 272 с.
2. Патент США N 6.072.428 «Location determination using doppler and pseudorange measurements from fewer than four satellites»
3. Патент США N 5.610.615 «Method and device for mobile station positioning by means of a satellite, and associated transmission method»

G. K. Danilova, Y. S. Doubinko, V. I. Lapshina, O. V. Nikitin

Employment of Redundancy of Joint Code and Phase Measurements for More Complete Extraction of Navigation Information

The results of studies intended to evaluate the accuracy characteristics of algorithms for more complete co-ordinate information extraction from the redundancy of joint code and phase (Doppler) measurements are presented. The possibility of two- and three-dimensional positioning with less than four satellites in view is shown.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ РОБАСТНОГО ОЦЕНИВАНИЯ В НАВИГАЦИИ**К. ЧАПЛЕВСКИЙ**(Институт навигации и гидрографии,
Военно-морской университет, г. Гдыня)

В статье обосновывается необходимость дальнейшего развития классических методов навигации с использованием для этого новейших достижений других наук. Предложена адаптация известного метода робастного оценивания с целью существенного ослабления или даже исключения влияния ошибочных наблюдений на точность определения координат места судна.

Введение

В литературе всего мира утверждается, что по существу навигация – это надежный и безопасный способ провести любое транспортное средство из точки А в точку Б в своей среде перемещения (например на море, суше, в воздухе или в космосе) независимо от типа этого средства, будь то судно, автомобиль, самолет или космический корабль.

Наиболее важной составляющей морской навигации в таком понимании является точность определения местоположения судна в море. За последние 20 лет основной системой определения координат места в море стала спутниковая навигационная система GPS. Однако не следует забывать и о других способах, менее точных по сравнению со спутниковыми навигационными системами, но очень удобных в повседневном применении. Таким средством является, в частности, радиолокатор. К сожалению, точность местоположения, полученного с помощью этого устройства, значительно ниже, чем точность спутниковых навигационных систем. Это обусловлено, среди прочего, погрешностями представления внешней обстановки на экране радиолокационной станции (РЛС), что, в конечном итоге может повлиять на качество выполненных наблюдений или даже вызвать их ошибочное опознавание. В статье предложена адаптация известного метода робастного оценивания с целью существенного уменьшения или даже исключения влияния ошибочных наблюдений на точность определения координат места судна.

Задача робастного оценивания

В течение последних двух лет автор изучал практическое использование метода робастного оценивания в навигации. Влияние этих результатов отражено в работах [1–3].

До сих пор подобные исследования относились к определению местоположения отдельных позиций в море или к созданию интерактивных навигационных структур. Сейчас настало время подумать о том, можно ли использовать робастное оценивание в повседневной навигации. В частности, следует подумать о том, как могло бы выглядеть робастное оценивание при использовании такого наиболее популярного параметра, как пеленг. При плавании по морю измерения, произведенные между двумя последовательными позициями, должны быть объединены, с тем чтобы

сохранить смысл для робастного оценивания, связанного по времени (как непрерывная геометрическая структура). Эти местоположения могли бы быть объединены посредством курса судна и пройденного им расстояния между оцениваемыми позициями. Знание курса судна необходимо не только для определения направления плавания на последующем этапе. Эта информация может быть полезной и для ведения записей о перемещении судна в навигационном журнале. Именно поэтому штурману необходимы точные совместные знания о пройденном расстоянии и курсе судна, с тем чтобы он смог обработать обсервации в процессе определения своего местоположения с помощью предлагаемых методов. В данной статье курс судна определяется как направление между двумя независимыми определениями его местоположения.

Предположим, что для определения места судна в море (X_{pj}, Y_{pj}) по РЛС берутся радиолокационные пеленги NR_{Ri} на n – характерные отраженные сигналы на экране ($n > 2$). Очевидно, что эти сигналы должны соответствовать береговым ориентирам или характерным точкам береговой черты. Кроме того, должна существовать возможность опознания береговых ориентиров или береговой черты путем сравнения их изображений на экране РЛС с картой. В этом случае можно сказать, что координаты выбранных отраженных сигналов (X_i, Y_i) $i = 1, \dots, n$, известны.

Такая геометрическая схема действий дает возможность сформулировать систему уравнений поправок

$$NR_{Ri} + v_{i,j} = F_{i,j}(X_{pj}, Y_{pj}) = \arctg \frac{X_i - X_{pj}}{Y_i - Y_{pj}} \Bigg\}_{\substack{i=1, \dots, n \\ j=1, \dots, k}} \Leftrightarrow N + V_{ij} = F(X_{pj}), \quad (1)$$

где $V_{ij} = [v_1, v_2, \dots, v_n]^T$ – вектор поправок к измеренным радиолокационным пеленгам;

$X_{pj} = [X_{pj}, Y_{pj}]^T$ – исправленные (истинные) координаты судна в море.

Предположим, что приближенные координаты места судна $X_{pj}^{zl} = [X_{pj}^{zl}, Y_{pj}^{zl}]^T$ известны. Тогда преобразуя функцию $F(X_{pj})$ в линейную форму путем ее разложения в ряд Тэйлора, получим

$$F(X_{pj}) = F(X_{pj}^{zl}) + \partial_{X_{pj}} F(X_{pj}^{zl}) \delta_{X_{pj}} \Leftrightarrow F(X_{pj}) = F(X_{pj}^{zl}) + A \delta_{X_{pj}},$$

$$\text{где } A = \partial_{X_{pj}} F(X_{pj}^{zl}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial NR_{R_1}}{\partial X_{p_j}} & \frac{\partial NR_{R_1}}{\partial Y_{p_j}} \\ \frac{\partial NR_{R_2}}{\partial X_{p_j}} & \frac{\partial NR_{R_2}}{\partial Y_{p_j}} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{\partial NR_{R_n}}{\partial X_{p_j}} & \frac{\partial NR_{R_n}}{\partial Y_{p_j}} \end{bmatrix} \text{ и } X_{pj} = X_{pj}^{zl} + \delta_{X_{pj}}.$$

Разложение в ряд Тэйлора ограничено только первыми членами уравнения.

В итоге система уравнений поправок после преобразования

$$N + V_{ij} = F(\hat{\mathbf{x}}_{\rho_j}) \Leftrightarrow N + V_{ij} = F(X_{\rho_j}^{zl}) + A_j \hat{\mathbf{x}}_{X_{\rho_j}}$$

может быть представлена следующим образом:

$$V_{ij} = A_j \hat{\mathbf{x}}_{X_{\rho_j}} + L_j, \quad (2)$$

$$\text{где } L_j = F(X_{\rho_j}^{zl}) - N = \begin{bmatrix} NR_1^o - NR_1^{obs} \\ NR_2^o - NR_2^{obs} \\ \vdots \\ NR_n^o - NR_n^{obs} \end{bmatrix}.$$

Предположим, что средние значения погрешностей m_1, m_2, \dots, m_n независимых результатов измерения расстояний $NR_{R1}, NR_{R2}, \dots, NR_{Rn}$ известны. Диагональная матрица $Q_j = \text{Diag}(m_1^2, m_2^2, \dots, m_n^2)$ (матрица алгебраических дополнений результатов измерений пеленгов) является в этом случае таким приближением к ковариационной матрице $C_j = \text{Diag}(\sigma_1^2, \sigma_2^2, \dots, \sigma_n^2)$, что $C_j = m_0^2 Q_j = m_0^2 P_j^{-1}$,

где m_0^2 – неизвестный коэффициент ковариации;

P_j – матрица весов измеренных расстояний, имеющая вид

$$P_j = Q_j^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ m_{1,j}^2 & & & \\ 0 & 1 & & \\ & m_{2,j}^2 & & \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{m_{n,j}^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho_{1,j} & & & \\ & \rho_{2,j} & & \\ & & \ddots & \\ & & & \rho_{n,j} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где $\rho_{i,j}$ – «вес» i -ой обсервации на j -ой позиции;

$m_{n,j}$ – среднее значение погрешности результатов измерений при обсервации. В нашем случае примем $m = 0,5^\circ$.

С учетом критерия оценки методом наименьших квадратов, мы получим

$$\Phi(\hat{\mathbf{x}}_{X_{\rho_j}}) = V_j^T C_j V_j = \min \Leftrightarrow \Phi(\hat{\mathbf{x}}_{X_{\rho_j}}) = V_j^T P_j V_j = \min.$$

В итоге мы получаем эквивалентную задачу по оценке неизвестного вектора изменяющихся координат места судна

$$\begin{cases} V_j = A_j \hat{\mathbf{x}}_{X_{\rho_j}} + L_j \\ C_j = m_0^2 Q_j = m_0^2 P_j^{-1} \\ \Phi(\hat{\mathbf{x}}_{X_{\rho_j}}) = V_j^T P_j V_j = \min \end{cases} \quad (4)$$

Решение этой задачи имеет вид

$$\hat{\mathbf{x}}_{X_{\rho_j}} = -(A_j^T P_j A_j)^{-1} A_j^T P_j L_j. \quad (5)$$

Так как $V_j = A_j \hat{\mathbf{x}}_{X_{\rho_j}} + L_j = -A_j (A_j^T P_j A_j)^{-1} A_j^T P_j L_j + L_j$,

$$\text{то } V_j = Q_{V_j} P_j L_j, \quad (6)$$

где $Q_{V_j} = P_j^{-1} - A_j(A_j^T P_j A_j)^{-1} A_j^T$ есть матрица алгебраических дополнений поправок V к результатам измерений N . Матрица алгебраических дополнений (Q_{V_j}) здесь понимается как такое приближение вектора поправок ковариационной матрицы (C_{V_j}), при котором

$$C_{V_j} = m_0^2 Q_{V_j}, \quad (7)$$

где $m_0^2 = \frac{V_j^T P_j V_j}{n-2}$ – коэффициент вариации.

В представленных рассуждениях было принято, что $m_0^2 = 1$. Тогда мы должны признать, что ковариационная матрица и матрица алгебраических дополнений равны ($C_{V_j} = Q_{V_j}$).

Теперь предположим, что некоторые пеленги, например в результате неверного опознания радиолокационной отметки, имеют грубую ошибку. Для такого наблюдения мы назначаем так называемый эквивалентный «вес» $p_{i,j}$, который является результатом подавления первоначального «веса» p (вытекающего из допущенного среднего значения погрешности измерения). Процесс подавления будет выглядеть следующим образом:

$$\bar{p}_{i,j} = t(v_{i,j}) p_{i,j}, \quad (8)$$

где $t(v_{i,j})$ – функция подавления со следующими основными особенностями:

$$\text{для } v_{i,j} \in \Delta v_{i,j}, v_{i+1,j} \in \Delta v_{i+1,j}: \quad t(v_{i,j}) = t(v_{i+1,j})$$

$$\text{для } (v_{i,j} \notin \Delta v_{i,j}) \vee (v_{i+1,j} \notin \Delta v_{i+1,j}) \text{ и } |v_{i,j}| < |v_{i+1,j}|: \quad t(v_{i,j}) > t(v_{i+1,j}).$$

Пределы $\Delta v_{i,j} = \langle -k\sigma_{v_{i,j}}; k\sigma_{v_{i,j}} \rangle$ являются приемлемыми диапазонами для поправок $v_{i,j}$, $i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, k$, установленных для принятого доверительного уровня γ . Принимая, что v_i – это случайные переменные с нормальным распределением (распределением Гаусса), мы можем написать

$$\gamma = P(-k\sigma_{v_{i,j}} < v_{i,j} < k\sigma_{v_{i,j}}) = P(-k < \bar{v}_{i,j} < k) = \int_{-k}^{+k} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{\bar{v}_{i,j}^2}{2}\right] d\bar{v}_{i,j}, \quad (9)$$

где $\sigma_{v_{i,j}} = \sqrt{[C_{V_j}]_{ii}}$ – стандартное отклонение i -ой поправки;

$\bar{v}_{i,j} = \frac{v_{i,j}}{\sigma_{v_{i,j}}}$ – стандартизированные (нормированные) поправки с общим

приемлемым пределом $\Delta \bar{v} = \langle -k; k \rangle$.

К сожалению, стандартные отклонения поправок неизвестны. Они заменяются средними погрешностями m_v , вычисленными в процессе выравнивания их оценок. Поэтому стандартизированная поправка ($\bar{v}_{i,j}$) не имеет нормированного нормального распределения, но превращается в распределение Стьюдента [4], где для заданного доверительного уровня определяется коэффициентом K . Например, в навигации в соответствии с резолюциями ИМО принимается, что наше местоположение должно быть определено с доверительным уровнем $\gamma = 0,95$, которому соответствует коэффициент $K = 2$.

Существует достаточно много функций подавления, три из них, например, описаны в работе [4], а именно: функция Хьюбера, функция Хэмпла и датская функция. Анализ свойств этих функций показал, что в наибольшей степени в навигации с использованием РЛС пригодна последняя, плотность распределения которой приведена на рис. 1.

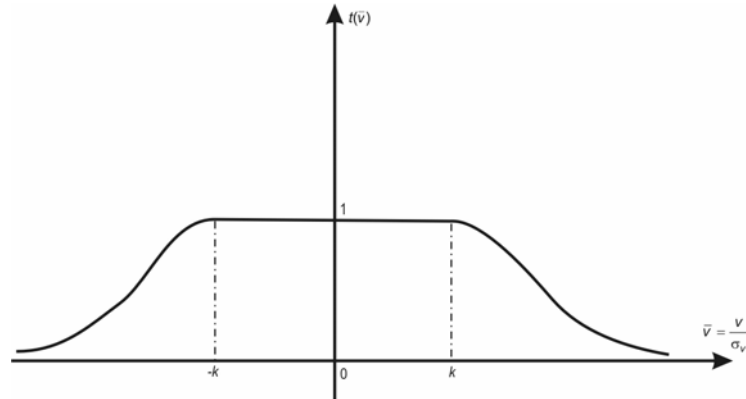


Рис. 1. Плотность распределения датской функции для робастного оценивания

Поэтому для анализа в данной статье использована эта функция. Она имеет следующий вид:

$$t(\bar{v}_{i,j}) = \begin{cases} 1 & \text{для } \bar{v}_{i,j} \in \langle -k, k \rangle \\ \exp\{-l(|\bar{v}_{i,j}| - k)^g\} & \text{для } \bar{v}_{i,j} \notin \langle -k, k \rangle \end{cases} \quad (10)$$

Соответствующие значения «весов» вычислены по формуле

$$\bar{p}_{i,j} = t(\bar{v}_{i,j})p_{i,j} = \begin{cases} p_{i,j} & \text{для } \bar{v}_{i,j} \in \langle -k, k \rangle \\ \exp\{-l(|\bar{v}_{i,j}| - k)^g\}p_{i,j} & \text{для } \bar{v}_{i,j} \notin \langle -k, k \rangle \end{cases} \quad (11)$$

Обычно принимается, что $l = 0,01 \div 0,1$, $g = 2$. Однако значения параметров l и g следует согласовывать эмпирически. Неверно согласованные параметры приводят к ненужному увеличению шагов в итерационном процессе решения робастного оценивания.

Использование функции подавления позволяет сформулировать эквивалентные весовые матрицы

$$\bar{P}_j = T(\bar{V}_j)P_j = \begin{bmatrix} t(\bar{v}_{1,j})p_{1,j} & & & \\ & t(\bar{v}_{2,j})p_{2,j} & & \\ & & \dots & \\ & & & t(\bar{v}_{i,j})p_{i,j} \end{bmatrix}, \quad (12)$$

где $T(\bar{V}_j)$ – диагональная матрица подавления с компонентами $[T(\bar{V}_j)]_{ii} = t(\bar{v}_{i,j})$.

В этой связи задача окончательной оценки (2) может быть сформулирована [1, 2] в следующем виде:

$$\begin{cases} V_j = A_j \hat{\mathcal{E}}_{X_{P_j}} + L_j \\ C_j = m_0^2 Q_j = m_0^2 P_j^{-1} \\ \bar{P}_j = T(V_j) P_j \\ \Phi(\hat{\mathcal{E}}_{X_{P_j}}) = V_j^T \bar{P}_j V_j = \min \end{cases}, \quad (13)$$

а ее итерационное решение находится из выражения

$$\left. \begin{aligned} \hat{\mathcal{E}}_{X_{P_j}} &= -(A_j^T T(V_j^{z-1}) P_j^{z-1} A_j)^{-1} A_j^T T(V_j^{z-1}) P_j^{z-1} L_j \\ V_j^z &= Q_{V_j}^{z-1} T(V_j^{z-1}) P_j^{z-1} L_j \end{aligned} \right\}_{\substack{z=1,2,\dots \\ j=1,2,\dots,k}}. \quad (14)$$

Пусть судно продолжает движение, и, находясь в точке $j+1$, вахтенный офицер принял решение определить свое местоположение, используя новые радиолокационные пеленги. Более того, определяя координаты места судна, он хочет учесть его курс между точками j и $j+1$. Пеленги NR_{R_j} снова берутся на n ($n > 2$) береговые ориентиры, которые на экране РЛС отображаются в виде характерных отметок. Такой геометрический план дает возможность сформулировать следующую систему уравнений поправок:

$$\left. \begin{aligned} NR_{R_{i,j+1}} + v_{i,j+1} &= F_{i,j+1}(\mathcal{E}_{P_{j+1}}, \mathcal{E}_{P_{j+1}}) = \arctg \frac{X_i - \mathcal{E}_{P_{j+1}}}{Y_i - \mathcal{E}_{P_{j+1}}} \\ KR_{j,j+1} + v_{j,j+1} &= F_{j,j+1}(\mathcal{E}_{P_{j+1}}, \mathcal{E}_{P_{j+1}}) = \arctg \frac{\mathcal{E}_{P_j} - \mathcal{E}_{P_{j+1}}}{\mathcal{E}_{P_j} - \mathcal{E}_{P_{j+1}}} \end{aligned} \right\}_{\substack{i=n+1,\dots,w \\ j=1,\dots,k}} \Leftrightarrow W + V_{i,j+1} = F(\mathcal{E}_{P_{j+1}}), \quad (15)$$

где $NR_{R_{i,j+1}}$ – i -ый пеленг, взятый из $j+1$ точки;

$KR_{j,j+1}$ – курс судна, проложенный между точками j и $j+1$;

$W_{j+1} = [NR_{R_{i,j+1}}, KR_{j,j+1}]_{i=n+1,\dots,w}^T$ – транспонированная матрица пеленгов и курсов;

$(\mathcal{E}_{P_{j+1}}, \mathcal{E}_{P_{j+1}})$ – координаты места судна в точке $j+1$.

Как в точке j , в точке $j+1$, функция $F(\mathcal{E}_{P_{j+1}})$ после разложения в ряд Тэйлора приобретает линейный вид. Прделав необходимые преобразования, мы получаем следующую задачу оценивания:

$$\begin{cases} V_{j+1} = A_{j+1} \hat{\mathcal{E}}_{X_{P_{j+1}}} + L_{j+1} \\ C_{j+1} = m_0^2 Q_{j+1} = m_0^2 P_{j+1}^{-1} \\ \Psi(\hat{\mathcal{E}}_{X_{P_{j+1}}}) = V_{j+1}^T P_{j+1} V_{j+1} = \min \end{cases}, \quad (16)$$

где $V_{j+1} = [v_{n+1}, v_{n+2}, \dots, v_j]^T$ – транспонированный вектор поправок к измерениям расстояний из точки $j+1$;

$$A_{j+1} = \partial_{X_{p_{j+1}}} F(X_{p_{j+1}}^{zl}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial NR_{R_{n+1}}}{\partial X_{p_{j+1}}} & \frac{\partial NR_{R_{n+1}}}{\partial y_{p_{j+1}}} \\ \frac{\partial NR_{R_{n+2}}}{\partial X_{p_{j+1}}} & \frac{\partial NR_{R_{n+2}}}{\partial y_{p_{j+1}}} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{\partial NR_{R_w}}{\partial X_{p_{j+1}}} & \frac{\partial NR_{R_w}}{\partial y_{p_{j+1}}} \\ \frac{\partial X_{p_{j+1}}}{\partial X_{p_{j+1}}} & \frac{\partial y_{p_{j+1}}}{\partial y_{p_{j+1}}} \\ \frac{\partial KR_{j,j+1}}{\partial X_{p_{j+1}}} & \frac{\partial KR_{j,j+1}}{\partial y_{p_{j+1}}} \\ \frac{\partial X_{p_{j+1}}}{\partial X_{p_{j+1}}} & \frac{\partial y_{p_{j+1}}}{\partial y_{p_{j+1}}} \end{bmatrix};$$

$\delta_{X_{p_{j+1}}}$ – приращения к вычисленным координатам в точке $j+1$;

$$L_{j+1} = F(X_{p_{j+1}}^{zl}) - I_{j+1} = \left[NR_{R_{n+1}}^0 - NR_{R_{n+1}}^{obs} \quad NR_{R_{n+2}}^0 - NR_{R_{n+2}}^{obs} \quad \dots \quad NR_{R_w}^0 - NR_{R_w}^{obs} \quad KR_{j,j+1}^0 - KR_{j,j+1}^{obs} \right]^T,$$

$$Q_{j+1} = \begin{bmatrix} m_{NR_{n+1,j+1}}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{NR_{n+2,j+1}}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{NR_{w,j+1}}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_{KR_{j,j+1}}^2 \end{bmatrix}.$$

Предполагается, что на этом этапе также необходимо произвести контроль и робастную оценку измерений радиолокационных пеленгов и курса судна, которым оно шло. Для этого можно использовать зависимости (6)–(12). В итоге мы получаем робастную оценку в точке $j+1$, которая имеет вид

$$\begin{cases} V_{j+1} = A_{j+1} \delta_{X_{p_{j+1}}} + L_{j+1} \\ C_{j+1} = m_0^2 Q_{j+1} = m_0^2 P_{j+1}^{-1} \\ \bar{P}_{j+1} = T(\bar{V}_{j+1}) P_{j+1} \\ \Psi(\delta_{X_{p_{j+1}}}) = V_{j+1}^T \bar{P}_{j+1} V_{j+1} = \min \end{cases} \quad (17)$$

с итерационным решением

$$\left. \begin{cases} \delta_{X_{p_{j+1}}}^z = -(A_{j+1}^T T(\bar{V}_{j+1}^{z-1}) P_{j+1}^{z-1} A_{j+1})^{-1} A_{j+1}^T T(\bar{V}_{j+1}^{z-1}) P_{j+1}^{z-1} L_{j+1} \\ V_{j+1}^z = Q_{V_{j+1}}^{z-1} T(\bar{V}_{j+1}^{z-1}) P_{j+1}^{z-1} L_{j+1} \end{cases} \right\}_{\substack{z=1,2,\dots \\ j=1,2,\dots,k}} \quad (18)$$

Две представленные выше модификации метода наименьших квадратов с использованием робастного оценивания и попытка объединить два независимых измерения позволяют штурману получить дополнительные методы и их комбинации в интересах оценки собственного местоположения и одновременно позволяют ему уточнить свои измерения на начальном этапе вычислений.

Классическая навигационная задача

Для того чтобы проверить работоспособность предложенного метода робастного оценивания, автор решил испытать его в типовых навигационных условиях. Типовые условия в этом случае означают плавание на судне в море. Однако для целей данной публикации было решено использовать навигационный тренажер, установленный в институте, где работает автор (рис. 2).



Рис. 2. Навигационный тренажер, использованный в этой задаче

Было решено также, что районом плавания судна станут воды Гданьского залива, занимающие площадь к югу между портом Гдыня и Гданьским Северным портом. Маневрирование судна во время проведения эксперимента представлено на рис. 3.

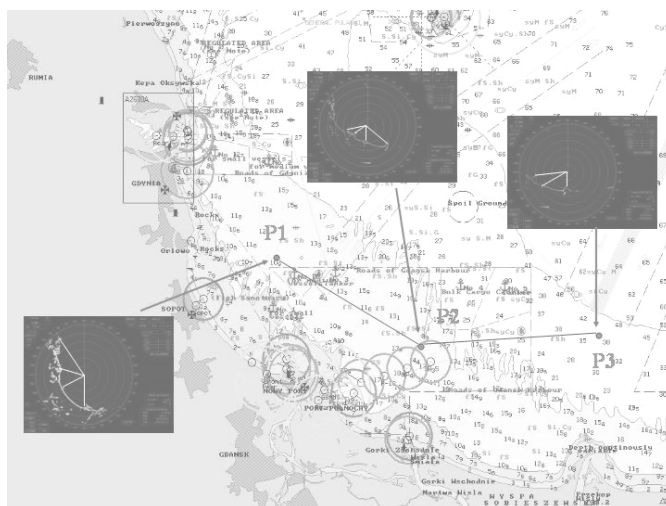


Рис. 3. Способ маневрирования и радиолокационные изображения во время выполнения упражнения

В соответствии с допущениями, принятыми в предыдущем разделе, штурману было дано задание производить наблюдения с использованием радиолокатора. Радиолокационные изображения, полученные во время эксперимента, представлены на рис. 3. Судно должно занять три позиции, рассчитанные координаты которых представлены в табл. 1.

Таблица 1

Вычисленные координаты места судна в море

Позиции судна	Географические координаты		Координаты Гаусса-Крюгера	
	$\varphi[^\circ]$	$\lambda[^\circ]$	$X[m]$	$Y[m]$
<i>P1</i>	54°28,5'N	18°39,1'E	6041433,36	347775,87
<i>P2</i>	54°25,8'N	18°48,3'E	6036085,97	357556,93
<i>P3</i>	54°25,3'N	18°57,7'E	6034871,72	367685,15

Радиолокационные обсервации, которые были использованы штурманом, представляют собой пеленги на характерные отметки берега. Координаты отметок, выбранных для измерений, представлены в табл. 2. Значения пеленгов, снятых с экрана РЛС, приведены в табл. 3.

Таблица 2

Координаты характерных отметок, использованных в эксперименте

Наименования объектов, давших характерные отметки	Географические координаты		Координаты Гаусса-Крюгера	
	$\varphi[^\circ]$	$\lambda[^\circ]$	$X[m]$	$Y[m]$
Причал полигона в Гдыне	54° 33,0' N	018° 34,2' E	6049959,37	342771,51
Скалистый мыс морского берега в Гдыне	54° 29,2' N	018° 34,3' E	6042907,67	342635,95
Оконечность пирса в Сопоте	54° 27,0' N	018° 34,9' E	6038897,69	343146,80
Восточный вход Гданьского Нового Порта	54° 25,1' N	018° 39,6' E	6035107,41	348160,44
Западный волнолом Гданьского Северного Порта	54° 24,6' N	018° 43,2' E	6034054,07	351970,36
Западное побережье Вислы у Гданьска	54° 22,3' N	018° 46,9' E	6029658,50	355893,23
Восточное побережье Вислы у Гданьска	54° 22,3' N	018° 57,3' E	6029319,46	367101,75

Таблица 3

Радиолокационные пеленги, снятые с экрана РЛС во время эксперимента

Позиции судна	Наименование навигационной отметки	Радиолокационные пеленги
<i>P1</i>	Восточная часть входа в Гданьском Новый порт	NR ₁ = 093,0
	Оконечность пирса в Сопоте	NR ₂ = 209,0
	Скалистый мыс морского побережья в Гдыне	NR ₃ = 260,0
	Причал полигона в Гдыне	NR ₄ = 300,0
<i>P2</i>	Восточный вход в Гданьский Новый порт	NR ₅ = 186,0
	Западный волнолом в Гданьском Северном порту	NR ₆ = 160,0
	Западное побережье Вислы у Гданьска	NR ₇ = 195,0
	Восточное побережье Вислы у Гданьска	NR ₈ = 125,0
<i>P3</i>	Западный волнолом в Гданьском Северном порту	NR ₉ = 183,0
	Западное побережье Вислы у Гданьска	NR ₁₀ = 156,5
	Восточное побережье Вислы у Гданьска	NR ₁₁ = 096,0

В начале эксперимента судно находилось в точке *P1* и штурман мог использовать серию отметок, отображенных на экране РЛС. Это радиолокационное изображение представлено на рис. 4.



Рис. 4. Рассчитанная позиция судна P1 и ее радиолокационное изображение

Предвидя возможность ошибки в сделанных измерениях, штурман решил проверить выполненные наблюдения с использованием датской функции ослабления, описанной в данной статье. В первую очередь было проверено, имелись ли в радиолокационных пеленгах промахи, и если имелись, то в каких из них. Для этого была сформирована ковариационная матрица поправок (C_v) в соответствии с зависимостью (7), а также были установлены пределы стандартизованных поправок ($\Delta \bar{v} = \langle -2; 2 \rangle$). В соответствии с требованиями резолюций ИМО эти пределы были определены для доверительного уровня $\gamma = 95\%$, для которого переходной коэффициент в распределении Стьюдента $K = 2$. Стандартизованные поправки, определенные на так называемой нулевой стадии (стадии идентификации) представлены ниже:

$$\bar{v}_1 = \frac{V_1}{\sigma_{V_1}} = -2,623 \notin \Delta \bar{v}, \quad \bar{v}_2 = \frac{V_2}{\sigma_{V_2}} = 6,549 \notin \Delta \bar{v},$$

$$\bar{v}_3 = \frac{V_3}{\sigma_{V_3}} = -7,492 \notin \Delta \bar{v}, \quad \bar{v}_4 = \frac{V_4}{\sigma_{V_4}} = 4,438 \notin \Delta \bar{v}.$$

При оценке результатов нулевой стадии можно предположить, что все радиолокационные пеленги отягощены грубыми ошибками, так как их стандартизованные поправки выходят за границы установленных пределов $\Delta \bar{v} = \langle -2,0; 2,0 \rangle$. В связи с этим нам приходится начать процедуру робастного оценивания, результаты которого для позиции P1 могут быть проанализированы с помощью табл. 4, приведенной ниже.

Таблица 4

Результаты робастного оценивания к измерениям, произведенным в позиции P_1

Шаг итерации	Параметры функции ослабления		Значения функции ослабления для различных наблюдений				Значения стандартизованных поправок для различных наблюдений			
	l	g	$t(\bar{v}_1)$	$t(\bar{v}_2)$	$t(\bar{v}_3)$	$t(\bar{v}_4)$	\bar{v}_1	\bar{v}_2	\bar{v}_3	\bar{v}_4
1	0,01	2,00	0,999	0,813	0,740	0,942	-2,019	5,771	-6,760	3,959
2	0,01	2,00	0,999	0,867	0,797	0,962	-1,606	5,2247	-6,254	3,645
3	0,01	2,00	1	0,901	0,834	0,978	-1,304	4,811	-5,876	3,418
4	0,15	2,00	1	0,306	0,105	0,740	0,718	0,910	-2,448	1,675
5	0,2	2,00	1	1	0,961	1	0,729	0,861	-2,408	1,656
6	0,9	2,00	1	1	0,860	1	0,768	0,689	-2,263	1,589
7	5,0	2,00	1	1	0,707	1	0,845	0,323	-1,949	1,457

Анализ табл. 4 показывает, что пеленг, взятый на мыс Орлово (Orłowo), отягощен грубой ошибкой. Путем быстрого подавления других наблюдений показано, какие стандартизованные поправки получили в начале значение $|\bar{v}_2| > k$. Сказанное легко можно объяснить, используя откорректированные поправки, однако это не входит в задачу данной статьи и здесь не рассматривается.

В конечном итоге матрица весовых поправок после семи итераций выглядит, как показано ниже:

$$P_1 = \begin{bmatrix} 3,999 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,777 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,121 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2,611 \end{bmatrix},$$

что дает возможность вычислить матрицу неизвестных приращений

$$\delta x_{P_1} = \begin{bmatrix} 64,16 \\ 27,62 \end{bmatrix}$$

и матрицу поправок

$$V_1 = \begin{bmatrix} 0,1945 \\ 0,1794 \\ -5,2622 \\ 0,7371 \end{bmatrix}.$$

В заключение координаты обсервованной позиции в системе Гаусса-Крюгера составят

$$\hat{x}_{P_1} = x_{P_1}^{zl} + \delta x_{P_1} = \begin{bmatrix} 6041497,52 \\ 347803,49 \end{bmatrix}.$$

Судно продолжает движение курсом $119,5^\circ$ до тех пор, пока не достигнет позиции P_2 , в которой штурман берет следующие пеленги на характерные точки в соответствии с табл. 4. Для последующих вычислений он принял курс между позициями P_1 и P_2 в качестве дополнительного наблюдения. Радиолокационное изображение в позиции P_2 показано на рис. 5.

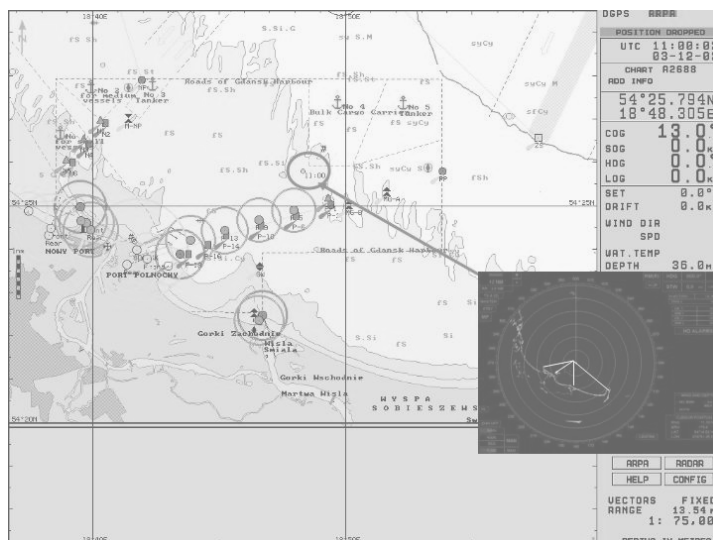


Рис. 5. Навигационная обстановка в позиции P2

Так же, как и раньше, штурман решил проверить выполненные наблюдения. В первую очередь было проверено, имеют ли радиолокационные пеленги грубые ошибки, и если имеют, то какие именно. С этой целью для позиции P2 была разработана ковариационная матрица (Cv), а также установленные допустимые пределы стандартизованных поправок на этом этапе вычислений. Допустимые пределы не были изменены, а стандартизованные поправки, определенные на стадии идентификации, представлены ниже:

$$\bar{v}_1 = \frac{V_1}{\sigma_{V_1}} = -1,493 \in \Delta \bar{v}, \quad \bar{v}_2 = \frac{V_2}{\sigma_{V_2}} = -11,558 \notin \Delta \bar{v}, \quad \bar{v}_3 = \frac{V_3}{\sigma_{V_3}} = 15,067 \notin \Delta \bar{v},$$

$$\bar{v}_4 = \frac{V_4}{\sigma_{V_4}} = -7,872 \notin \Delta \bar{v}, \quad \bar{v}_5 = \frac{V_5}{\sigma_{V_5}} = -8,816 \notin \Delta \bar{v}.$$

На этот раз все поправки, кроме первой, возможно, имеют грубые ошибки. Затем была проведена процедура робастного оценивания, результаты которого для позиции P2 представляется возможным проанализировать с использованием табл. 5.

Таблица 5

Результаты робастного оценивания для наблюдений на позиции

Шаг итерации	Параметры функции ослабления		Значения функции ослабления для различных обсерваций					Значения стандартизованных поправок для различных обсерваций				
	<i>l</i>	<i>g</i>	<i>t</i> (\bar{v}_1)	<i>t</i> (\bar{v}_2)	<i>t</i> (\bar{v}_3)	<i>t</i> (\bar{v}_4)	<i>t</i> (\bar{v}_5)	\bar{v}_1	\bar{v}_2	\bar{v}_3	\bar{v}_4	\bar{v}_5
1	0,01	2,00	1	0,401	0,181	0,708	0,628	-1,866	-5,068	9,025	-3,870	-4,490
2	0,01	2,00	1	0,910	0,610	0,966	0,940	-1,539	-3,842	7,714	-2,875	-3,610
3	0,02	2,00	1	0,934	0,520	0,985	0,910	-1,081	-2,494	6,094	-1,677	-2,627
4	0,02	2,00	1	0,995	0,715	1	0,992	-0,867	-1,942	5,335	-1,140	-2,233
5	0,02	2,00	1	1	0,801	1	0,999	-0,745	-1,626	4,863	-0,826	-2,014
6	0,03	2,00	1	1	0,782	1	0,999	-0,630	-1,322	4,373	-0,523	-1,805
7	0,30	2,00	1	1	0,184	1	1	-0,243	-0,247	1,981	0,545	-1,089

Результаты, представленные в табл. 5, дают информацию о том, что пеленг на устье реки Вислы у Гданьска (Ujście Wisły Śmiałej) содержит грубую ошибку.

В конечном итоге матрица весовых поправок после семи шагов итерации для позиции P_2 имеет следующий вид:

$$P_2 = \begin{bmatrix} 4,000 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1,358 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,020 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2,694 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2,223 \end{bmatrix},$$

матрица неизвестных приращений выглядит, как показано ниже:

$$\delta X_{P_2} = \begin{bmatrix} -1,7040,16 \\ 40,16 \end{bmatrix},$$

а матрица поправок следующим образом:

$$V_2 = \begin{bmatrix} -0,0901 \\ -0,1346 \\ 14,1728 \\ 0,2266 \\ -0,5694 \end{bmatrix}.$$

Наконец, значения координат обсервованной позиции P_2 в системе Гаусса-Крюгера будут

$$X_{P_2} = X_{P_2}^{zl} + \delta X_{P_2} = \begin{bmatrix} 6036084,27 \\ 357597,10 \end{bmatrix}.$$

На конечном этапе эксперимента судно следует курсом 97° до достижения позиции P_3 . В этой точке штурман берет пеленги, значения которых представлены в табл. 3. Навигационная обстановка в этой точке показана на рис. 6.

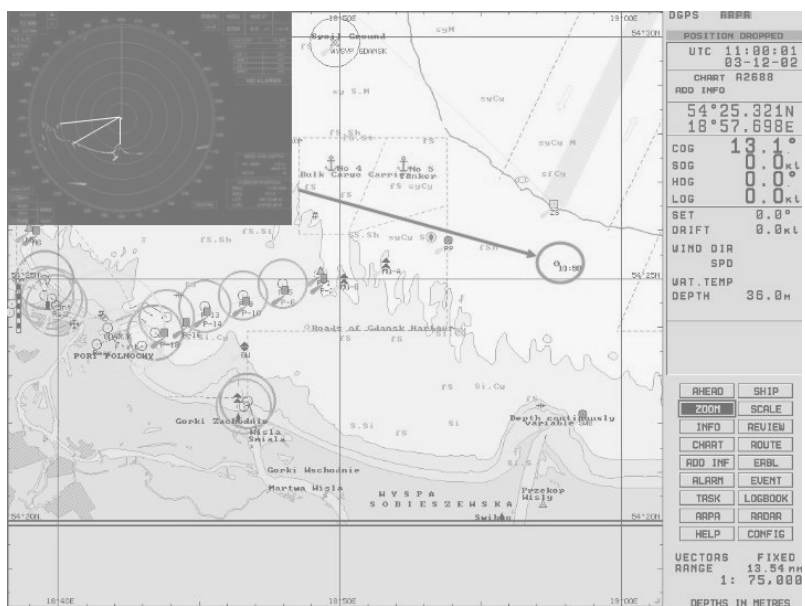


Рис. 6. Навигационная обстановка на позиции P_3

Аналогично предыдущим этапам, штурман считает нужным исключить ошибочные наблюдения и поэтому выполняет процедуру идентификации грубых ошибок при пеленговании. Допустимые пределы не изменены ($\Delta\bar{v} = \langle -2,0;2,0 \rangle$), а стандартизованные поправки представлены ниже:

$$\bar{v}_1 = \frac{v_1}{\sigma_{v_1}} = 0,033 \in \Delta\bar{v}, \quad \bar{v}_2 = \frac{v_2}{\sigma_{v_2}} = -0,705 \in \Delta\bar{v}, \quad \bar{v}_3 = \frac{v_3}{\sigma_{v_3}} = 0,731 \in \Delta\bar{v}, \quad \bar{v}_4 = \frac{v_4}{\sigma_{v_4}} = -0,581 \in \Delta\bar{v}.$$

Как можно видеть, все поправки лежат в принятых пределах; это доказывает, что наблюдения были выполнены правильно, и мы можем приступить к определению местоположения судна. Применение для этого метода наименьших квадратов [см. (15) и (2)–(5)] для измерения пеленгов и курса судна между позициями P_2 и P_3 дает следующие приращения к вычисленным координатам:

$$\delta X_{P_3} = \begin{bmatrix} 9,65 \\ -5,59 \end{bmatrix},$$

матрицу поправок:

$$V_3 = \begin{bmatrix} 0,0146 \\ -0,3010 \\ 0,0657 \\ -0,1964 \end{bmatrix},$$

таким образом, получаем координаты обсервованной позиции P_3 :

$$X_{P_3} = X_{P_3}^z + \delta X_{P_3} = \begin{bmatrix} 6034881,38 \\ 367679,55 \end{bmatrix}.$$

Анализ точности робастного оценивания

В конце мы попытаемся установить достаточно точно, т. е. на математической основе, имеет ли предложенная адаптация робастного оценивания смысл применения для целей навигации. Для этого мы выполним анализ точности для измерений, одновременно произведенных в позициях P_1 и P_2 для двух ситуаций:

- местоположение судна в море определяется путем использования классического метода наименьших квадратов и взятием пеленгов, отягощенных грубыми ошибками;

- местоположение судна в море определяется путем использования классического метода наименьших квадратов и взятием пеленгов, не отягощенных грубыми ошибками.

В первом случае предполагается, что штурман не знает о наличии таких ошибок. Во втором случае для вычислений используются исправленные пеленги на радиолокационные отметки:

- скалистого мыса морского побережья в Гдыне ($NR_{R_3} = 254^\circ$) для позиции P_2 ;

- западное побережье Вислы у Гданьска ($NR_{R_7} = 180^\circ$) для позиции P_2 .

Считая (в соответствии с предыдущими вычислениями), что матрица алгебраических дополнений имеет общий характер

$$Q_{P_j} = \begin{bmatrix} m_{1,j}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{2,j}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_{i,j}^2 \end{bmatrix}_{\substack{i=1,\dots,n \\ j=1,\dots,k}}, \quad (19)$$

определим ковариационную матрицу измерений следующим образом:

$$\mathcal{E}_{P_j} = m_0^2 Q_{P_j}. \quad (20)$$

Кроме того, зная, что

$$M = \sqrt{\text{Tr}(\mathcal{E}_{P_j})_{i,i}} \quad (21)$$

представляет собой СКП обсервованного места судна в море, мы определили эти погрешности для трех ситуаций:

- средняя погрешность, когда местоположение было определено с помощью пеленгов, отягощенных грубой ошибкой (А);
- средняя погрешность, когда местоположение было определено с помощью пеленгования, отягощенного грубой ошибкой, но влияние такого пеленгования было уменьшено за счет использования робастного оценивания (В);
- средняя погрешность, когда местоположение было определено путем пеленгования, не отягощенного грубой ошибкой (С).

Результаты вычисления точности для позиций Р1 и Р2 представлены в табл. 6. Кроме того, для систематизации результатов в данной таблице также приведена СКП обсервации в позиции Р3.

Таблица 6

СКП обсерваций (в метрах) для трех рассмотренных случаев

Точка определения места	А	В	С
Р1	293,25	171,57	82,38
Р2	712,26	227,02	94,48
Р3			59,23

Анализируя вышеприведенную таблицу, можно сказать, что точность места судна, определенного с использованием робастного оценивания, выше в среднем на 45%. Это не исключает полностью влияния неверного измерения (пеленгования) на процесс определения местоположения судна, но значительно повышает точность выполненной работы.

Выводы:

1. Несмотря на развитие технических средств, в навигации, особенно в прибрежной, для определения места судна по-прежнему используются классические методы. Именно поэтому такие методы следует развивать, а также использовать в них новейшие достижения, заимствованные из других областей науки.
2. Хотя робастное оценивание является относительно новым методом, оно уже нашло применение в геодезии. Принимая во внимание междисциплинарное значение робастного оценивания, можно полагать,

что оно найдет применение в навигации как метод повышения качества определения местоположения судна без избыточного числа наблюдений, возможно отягощенных грубыми ошибками.

3. Предлагаемая датская функция для робастного оценивания является одной из многих функций, которые могут быть использованы для этой цели. Выбор таких функций должен зависеть только от ожиданий пользователей в отношении способа ослабления ошибочных результатов, включая их полное устранение.
4. По-видимому, робастное оценивание, может быть наиболее эффективным в навигации с использованием радиолокации. Определение места судна по РЛС осложняется, помимо всего прочего, временной картиной, отображающей ошибки, или неверную интерпретацию радиолокационных отметок штурманом. Поэтому предлагаемый метод мог бы помочь не только улучшить результаты определения местоположения судна в море, но и позволить штурману осуществлять непрерывный контроль качества измерений и их идентификацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Czaplewski K. The observable ship position at sea determined by the usage of the danish damping function // Revista del Instituto de Navegacion de Espana. – 2003. – No 2. (В печати).
2. Czaplewski K., Wiśniewski Z. Fixing the observable ship position with the usage of Danish damping function // Report of Geodesy. – 2003a. – No 1. (В печати).
3. Czaplewski K., Wiśniewski Z. The Using of the Usage of the Interactive Navigational Structure and the Robust Estimation for Fixing Sea Object Position. – The Proceedings of 11th IAIN World Congress, 20–24 October 2003, Berlin. – 2003b. (В печати).
4. Wiśniewski Z. Adjustment Methods in Navigation and Hydrography (in Polish). – Naval University of Gdynia, Poland, 2003. (В печати).

K. Czaplewski

Use of robust estimation methods in navigation

The world literature claims, that Navigation is, in general, a safe and efficient movement of any vehicle from point A to point B. This aim is associated with every type of vehicle in their environment of movement (such as sea, land, air, or space) regardless of vehicle type that is ship, car, plane, or spaceship. The most important component of navigation is the accuracy of fixed position of the ship at sea. In recent 20 years GPS has been the primary system of determining the position at sea. Nevertheless, other ways and methods of determining the position can not be forgotten, even if they are not on the same level of accuracy as satellite systems, but they can be very convenient in everyday use. Radar is the type of equipment that can be easily and quickly used in navigation. Unfortunately accuracy of position acquired from this device is much worse as compared to satellite systems. It is caused, among other things, by errors of representing original picture on the radar display, what eventually can affect quality of observations carried out or even cause their mistaken identification.

For last two years the author has studied the practical application of robust estimation in navigation. Results of those findings are included in [Czaplewski 2003; Czaplewski, Wisniewski 2003a,b]. So far, results of research have referred to fixing single positions at sea or creating Interactive Navigation Structures. Presently the time has come to think if robust estimation might be used in everyday

navigation. In order to complete this idea, we should think about how the robust estimation would look like when using the most popular navigation parameter, bearing. While traveling at sea, measurements taken between consecutive positions must be combined with each other to keep sense for robust estimation connected to time (as continuous geometrical structure). Those positions might be connected by means of course of the ship and way which has been traveled between next estimation positions. Knowledge of the ship's course is necessary not only to determine in which direction vessel is to move in the next stage of the voyage; this information is also useful in order to keep record of vessel's movement in navigation logbook. That is why good knowledge about the passed route and course of the unit is needed by navigator and can be treated as observation during fixing the positions by means of proposed methods.

In this article an adaptation for a known method of adjustment calculation has been proposed, which can significantly decrease or even exclude the influence of blunder observations on accuracy of fixed position. The vessel's course has been taken into consideration as an observation combining two independent fixed positions. The correctness of proposed theoretical assumptions, especially an adjustment task was subjected to verification based on hypothetical navigational situation.

ГРНТИ 47.49.31

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ КООРДИНАТНО-ВРЕМЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

С. И. БИДЕНКО,

А. И. ГОРОХОВ

(ЦДРП ВМФ),

В. С. ЖОЛНЕРОВ,

С. П. ЗАРУБИН,

А. И. КАБИРОВ,

Г. А. СЕМЕНОВ (РИРВ),

В. С. ТРЕГУБОВ (ГНИНГИ МО РФ)

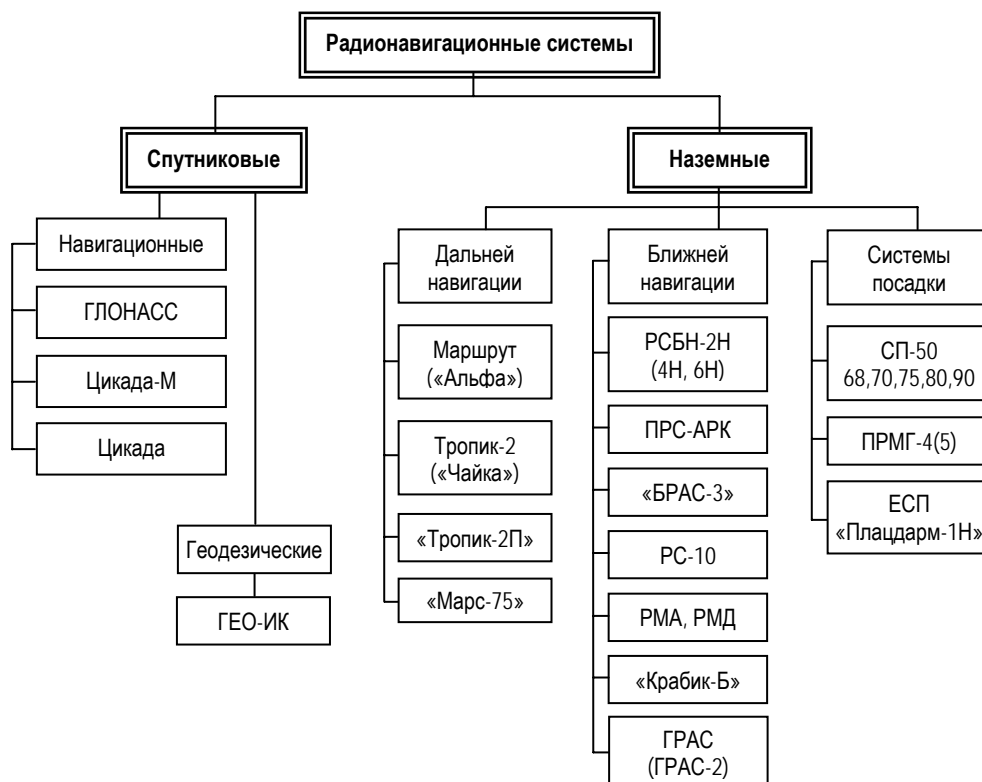
В статье рассматриваются основные пути совершенствования радионавигационных систем наземного и космического базирования для решения широкого круга задач высокоточного определения координат и времени в интересах различных потребителей.

Предисловие редакции

Создание и совершенствование объединенных координатно-временных средств является закономерным этапом развития теории и практики навигационного и частотно-временного обеспечения задач обороны страны и хозяйственной деятельности. К этой проблеме в разные годы обращались специалисты ведущих научно-исследовательских учреждений нашей страны. В частности, в 80-е годы прошлого столетия в 9 НИИ МО РФ (ныне ГНИНГИ Минобороны России) была разработана Концепция Единого радионавигационного поля. Основные положения этой концепции вошли отдельным разделом в Российский радионавигационный план изданий 1994 и 1998 гг. Большой вклад в разработку основ методологии координатно-временного обеспечения внесли ученые Российского института

радионавигации и времени, в особенности В. С. Шебшаевич. В указанных исследованиях были впервые изложены принципы построения ЕС КВО, перспективные направления развития координатно-временного обеспечения. Данная статья направлена на решение практических вопросов построения единой системы координатно-временного обеспечения Российской Федерации.

В настоящее время для решения все расширяющегося круга задач морских, самолетных, космических и наземных потребителей создана и постоянно совершенствуется развитая инфраструктура координатно-временного обеспечения, основанная на наземных радионавигационных системах ближнего и дальнего действия, спутниковых навигационных системах, системах связи, инерциальных системах, системах посадки, системе единого времени и эталонных частот и т. д. Классификация существующих радионавигационных систем (РНС) приведена на рисунке.



Классификация существующих радионавигационных систем

Для работы по сигналам этих систем разработан широкий класс аппаратуры потребителей (АП): для СРНС – 2А-213, СЧ-4, «Бриз-Н», «Бриз-К», «Бриз-ПЛ» (морские); А-724, АСН-21, А-735, А-737, А-744 (самолетные), для ФРНС «Альфа» – КПФ-6, КРНК, КПФ-7, КПФ-3К, РЩ (морские); А-722, А-723, А-727 (самолетные); для ИФРНС «Тропик-2», «Тропик-2П» – КПИ-5Ф, КПИ-7Ф, КПИ-8Ф, КПИ-9Ф, РЩ, «Квиток-3Н» (морские); А-711, А-720, А-723, А-727 (самолетные); для РНС ВМФ «Марс-75» – КПФ-3К, КПФ-5, РС-1м, РКС; для РНС РС-10 – КПФ-3К, РС-1, РКС.

Необходимо отметить, что для обеспечения высокоточного определения координат при выполнении гидрографических и других специальных работ, в том

числе калибровки гидроакустических лагов, оборудования полигонов для испытаний кораблей, оружия и другой военной техники, а также безопасности плавания кораблей в узкостях и при заходах в гавани и порты, требуется применение РНС УВЧ диапазона. В развитие данного направления предполагается создание автоматизированной малогабаритной помехозащищенной РНС специального назначения «Крабик-БН». На базе этой системы планируется создание других специальных систем, в числе которых и перспективные отечественные системы управления кораблей и судов, включающие их интеграцию с системами связи и обмена данными.

Существующие спутниковые радионавигационные системы обеспечивают высокую точность, глобальность и непрерывность определения координат места потребителей. Однако они не могут в полном объеме удовлетворить требования различных классов потребителей, в первую очередь, из-за невысоких показателей целостности и доступности, выявленных еще на стадии опытной эксплуатации. Ограничения этих показателей обусловлены наличием достаточно большого временного интервала между началом нештатного функционирования какого-либо навигационного спутника и формированием сообщения, позволяющего потребителю исключить использование данного спутника, а также тем что при минимально необходимом созвездии спутников решение навигационной задачи в аппаратуре потребителей не обладает требуемой устойчивостью. Кроме того, геометрический фактор минимально необходимого созвездия не всегда обеспечивает получение необходимой точности определения координат. В наибольшей степени указанные недостатки проявляются при быстрых эволюциях летательных аппаратов, передвижении наземных объектов в сложной пересеченной местности или в области высоких широт и т. д.

Радионавигационные системы наземного базирования по сравнению с спутниковыми системами обладают рядом технических преимуществ – более высокой доступностью в гористой и лесистой местности, возможностью местоопределения под водой и подо льдом, сравнительной простотой реализации собственного информационного канала при небольшой стоимости создания и поддержания навигационного поля.

Поэтому актуальность поиска решений, позволяющих повысить эффективность использования наземных и спутниковых РНС, особенно в существующих сложных экономических условиях, не вызывает сомнения.

Основными направлениями решения этой задачи представляются:

- реализация преимуществ дальномерного режима наземных РНС, которые заключаются в основном в существенном увеличении зоны действия при повышении точности местоопределения как за счет избыточности и улучшения геометрии, так и за счет повышения надежности навигационных определений;
- создание локальных и региональных радионавигационных полей с повышенными требованиями к их техническим характеристикам с использованием дифференциальных и относительных методов навигации;
- интеграция полей РНС различных частотных диапазонов для создания единого координатно-временного поля и объединенной инфраструктуры, включающей контрольные пункты и другие объекты различных РНС;

- создание нового поколения бортовой и наземной аппаратуры с улучшенными техническими характеристиками на современной элементной базе, создание интегрированной приемоизмерительной аппаратуры, объединяющей измерения и обработку нескольких датчиков навигационной информации;
- расширение функциональных возможностей РНС для решения задач управления, связи, геодезии, прогноза землетрясений и крупномасштабных ионосферных возмущений, а также других народно-хозяйственных задач.

1. Дальномерные наземные РНС

В настоящее время завершаются испытания отечественной ФРНС «Альфа-Д» в составе четырех станций, обеспечивающих работу в дальномерном и разностнодальномерном режимах. Дальномерный режим позволит увеличить зону действия ФРНС более чем на 60% поверхности земного шара с точностью местоопределения 2,0–5,0 км (СКП) при повышении надежности навигационных определений за счет внутренней избыточности.

Дальнейшее развитие в нашей стране ИФРНС «Чайка», РНС «Марс-75» и РС-10 нашло отражение в целевой комплексной программе развития систем и средств радионавигации или радионавигационного плана, для реализации которого, в частности, предусматривается создание унифицированной модульной аппаратуры, обеспечивающей работу РНС в дальномерном режиме, а также разработка интегрированных и комплексированных приемоиндикаторов.

2. Дифференциальные подсистемы

Повышение точности определения координат в локальной области, необходимое для проведения высокоточных гидрографических работ, прохода в узкостях, маневрирования в портах, траления и других работ, может быть достигнуто за счет дифференциального режима, заключающегося в измерении фактических поправок на условия распространения радиоволн в точке с точно известными координатами и передаче их потребителю в реальном времени. Выигрыш по точности этого режима определяется свойствами пространственно-временной корреляционной функции погрешностей измерений. Так, для ФРНС диапазона СДВ, где радиус пространственной корреляции крупномасштабных погрешностей составляет около 2,8 тыс. км [1], точность местоопределения составляет ~ 0,5–1,0 км (СКП).

Перспективность дифференциального режима в ИФРНС подтверждена большим количеством экспериментов, проведенных в интересах морских и воздушных потребителей [2]–[4]. Данные обработки результатов измерений показывают увеличение точности в 5–10 раз в зонах с радиусом 110 км и 75 км соответственно.

Перспективность создания морской дифференциальной подсистемы рассмотрена в работе [5].

Дифференциальные подсистемы (ДПС) СРНС можно условно разделить на широкозонные, региональные и локальные. Основные характеристики их приведены в табл. 1.

Таблица 1

Тип ДПС	Точность (σ), м	Зона действия, км	Вид поправок	Каналы передачи
Широкозонная	до 4	до 5000	эфемеридные, ЧВП, ионосферные, псевдодальностные	СС, СВ, ДВ, РСДН, проводные каналы связи
Региональная	2...4	до 500	псевдодальностные	СС, УКВ, КВ, СВ, РМ, РСБН, МСП
Локальная	1...2	до 200	псевдодальностные	УКВ, КВ, СВ, РМ
	0,1...1,0	10-40	к фазе несущей	наземные УКВ

Примечание: СС – спутниковая связь; СВ – средневолновый; ДВ – длинноволновый; УКВ – ультракоротковолновый; КВ – коротковолновый; РСДН – радиосистемы дальней навигации; РМ – радиомаяки; МСП – микроволновые системы посадки; РСБН – радиосистемы ближней навигации, ЧВП – частотно-временные поправки.

Выбор канала связи для передачи контрольно-корректирующей информации (ККИ) зависит от дальности и требуемой скорости передачи информации, ограниченной заданной полосой пропускания сигналов информационных кадров и необходимой помехозащищенностью канала.

Сейчас в нашей стране и за рубежом проводится модернизация передающих станций ИФРНС («Чайка», «Лоран-С») [6–8], РНС РС-10 (замена на РНС «Спрут-Н») и радиомаяков [9–11], которая позволит им осуществлять передачу ККИ СРНС без значимых потерь для навигации, обеспечивая при этом на удаленностях до 500 км точность местоопределения (СКП) 2–5 м и 5–10 м соответственно.

Технология ЕВРОФИКС, предложенная специалистами Дельфтского университета (Голландия) для передачи ККИ СРНС по каналу ИФРНС, предусматривает дискретную (на ± 1 мкс) модуляцию временного положения части радиоимпульсов навигационного пакета, что обеспечивает возможность передачи информации со скоростью до 50 бод. Для повышения достоверности передачи ККИ используются помехозащищающие коды (циклический код и код Рида-Соломона).

Проведенные специалистами Российского института радионавигации и времени (г. Санкт-Петербург) эксперименты показали, что при рациональном использовании помехозащищающих кодов, скорость передачи информации по каналу ИФРНС может быть увеличена до 70–80 бод.

Для передачи ККИ СРНС в радиомаячном диапазоне (283,5–325,0 кГц) используется MSK-модуляция с применением дополнительного кодирования ККИ для обеспечения необходимой помехоустойчивости.

3. Интеграция радионавигационных систем

3.1. Интеграция наземных РНС

В настоящее время, когда применение спутниковой РНС ГЛОНАСС ограничено в связи с неполным развертыванием, а также с учетом вышеизложенных преимуществ наземных РНС перед СРНС, использование и совершенствование наземных РНС представляется весьма целесообразным.

До проведения модернизации аппаратуры всех передающих станций ИФРНС «Чайка» и «Лоран-С» и широкого распространения интегрированных

приемоиндикаторов СРНС/ИФРНС указанные системы будут эксплуатироваться автономно. С целью расширения рабочих зон действующих систем без дополнительного строительства новых станций, для повышения достоверности, надежности и доступности навигационно-временного поля при одновременном снижении затрат на эксплуатацию целесообразно объединение цепей РНС «Чайка»/«Лоран-С». С 1995 г. в эксплуатации находится Российско-Американская цепь в составе станций Петропавловск-Камчатский, Александровск-Сахалинский и Атту (США), в опытной эксплуатации – Российско-Японская цепь в составе станций Петропавловск-Камчатский, Александровск-Сахалинский, Уссурийск, Охотск (Россия) и Токатибуто (Япония), а также Российско-Корейско-Японская цепь в составе станций Поханг и Кванджу (Республика Корея), Уссурийск (Россия), Нии Дзима и Гезаси (Япония).

Соглашением между правительствами России и Норвегии от 8 марта 1995 г. предусмотрено создание Российско-Норвежской цепи ИФРНС, а планы по созданию Черноморско-Средиземноморской цепи находятся в стадии разработки.

3.2. Интеграция спутниковых РНС

Основой для создания единого КВО является, безусловно, интеграция полей СРНС ГЛОНАСС и GPS, которая предусматривает совместную обработку информации в приемоиндикаторе. Выигрыш по точности местоопределения в стандартном режиме составляет примерно 30–40 %. Такое незначительное повышение точности при существенном уменьшении геометрического фактора связано с необходимостью оценки расхождения шкал времени СРНС и учета различия используемых геоцентрических систем координат ПЗ-90 (ГЛОНАСС) и WGS-84(GPS). При наличии мер селективного доступа в GPS выигрыш по точности будет еще меньше.

В интегрированной системе обеспечивается доступность порядка 0,99–0,995 и выше. Существенно уменьшается продолжительность нерабочего состояния.

3.3. Интеграция наземных и спутниковых РНС

Интеграция этих систем позволяет получить технические характеристики, превосходящие аналогичные каждой из РНС. Для осуществления интеграции необходимо на наземных передающих станциях, космических аппаратах и аппаратуре потребителя использовать единую временную шкалу наземных и спутниковых РНС (шкалу СРНС ГЛОНАСС) и единую систему координат (систему координат ПЗ-90).

Интегрированная система позволяет повысить точность определения координат, улучшить характеристики доступности и целостности навигационной информации даже в отсутствии требуемого количества спутников, при плохом геометрическом факторе или сбоях в работе наземных РНС. Кроме того, интеграция позволяет эффективно использовать созданную инфраструктуру наземных РНС. Размещение на передающих станциях (ПС) наземных РНС контрольно-корректирующих станций СРНС обеспечит контроль целостности СРНС и передачу ККИ СРНС по собственным радионавигационным каналам наземных РНС. Существующие и создаваемые контрольные пункты наземных РНС при размещении соответствующего

оборудования смогут одновременно контролировать целостность спутниковых и наземных РНС.

4. Основные направления совершенствования аппаратуры потребителей

Основными направлениями совершенствования аппаратуры потребителей (АП) являются:

- использование новых технологий для создания элементной базы, которые бы обеспечивали повышение производительности микропроцессоров, снижение потребления мощности и уменьшение массо-габаритных характеристик;
- создание интегрированных и комплексированных приемоиндикаторов;
- совершенствование методов обработки радионавигационной информации и контроля целостности.

4.1. **Различные модели аппаратуры потребителей GPS** основаны на высокоинтегрированных комплектах больших интегральных схем (БИС), которые состоят из двух-трех специализированных микросхем и двух-трех БИС памяти. Полные комплекты БИС для аппаратуры GPS предлагаются рядом зарубежных фирм. Дальнейшее совершенствование АП (уменьшение массо-габаритных характеристик и др.) определяется развитием новых технологий изготовления БИС.

4.2. **Создание интегрированных и комплексированных приемоиндикаторов** наземных и спутниковых РНС идет в основном по следующим направлениям:

- создание приемоиндикаторов (ПИ) СРНС ГЛОНАСС/GPS, например фирмами Magellan Corporation, Ashtech Precigion Products и др.;
- создание ПИ, работающего по сигналам РНС LORAN-C/ЧАЙКА;
- разработка ПИ, работающего по сигналам СРНС и ИФРНС [12];
- создание ПИ, принимающего контрольно-корректирующую информацию (ККИ) по каналу импульсно-фазовой РНС (СРНС+ИФРНС+EUROFIX) [13].

Необходимо отметить, что еще одним важным направлением создания интегрированных и комплексированных приемоиндикаторов является сопряжение радионавигационной аппаратуры с инерциальными, инерциально-доплеровскими средствами и т. д. [14]. Перспективный бортовой навигационный корабельный приемоиндикатор (комплекс) должен иметь входные каналы для приема информации от датчиков навигационных систем различных типов и общий вычислитель для обработки полученной информации. Приемоиндикаторная аппаратура должна строиться по модульному принципу, что позволит для конкретных объектов выбрать наиболее приемлемую её конфигурацию.

4.3. **Совершенствование методов обработки радионавигационной информации и контроля целостности**

Поскольку организация навигационных комплексов обычно производится по разомкнутой схеме с отдельным функционированием приемников РНС и поступлением входной информации с ее последующей

обработкой в навигационном фильтре, особую важность приобретает решение задач совершенствования алгоритмов оптимального линейного и нелинейного оценивания, уточнения моделей погрешностей автономных средств, априорных сведений о моделях изменения координат подвижного объекта и т. д. [15].

При учете избыточности СРНС возникает задача автономного контроля целостности системы, которая решается методами оценок и фильтрационными методами [16].

5. Расширение функциональных возможностей наземных и спутниковых РНС

5.1. РНС различных диапазонов волн, созданные в интересах обороны страны и гражданских потребителей, обладают также большими интеллектуальными возможностями при решении прикладных и фундаментальных задач в интересах различных министерств и ведомств.

Выше было сказано о необходимости использования инфраструктуры каждой РНС в интересах других с целью:

- оперативного контроля целостности, достоверности и других компонентов качества РНС;
- уточнения параметров математических моделей поправок на условия распространения радиоволн и оперативной их коррекции;
- уточнения параметров перехода из системы координат ПЗ-90 в WGS-84;
- участия в решении задач, возложенных на системы управления каждой из РНС.

В последнее время активно исследуются вопросы использования полей РНС для создания системы глобального электромагнитного мониторинга краткосрочных предвестников землетрясений [17, 18].

Проблема обнаружения крупномасштабных ионосферных возмущений (КИВ), обусловленных рентгеновскими вспышками и выбросами массы вещества Солнца, к которым относятся внезапные ионосферные возмущения, поглощение в полярной шапке, магнитосферные магнитные бури и т. д. исследованы, по данным электромагнитного мониторинга параметров СДВ, значительно лучше [19]. Доклад о существенном влиянии КИВ на точность и надежность местоопределения в системах ЛОРАН-С и GPS был представлен на Второй Международной конференции «Планирование глобальной навигации», состоявшейся в Москве в 1997 г.

Ограничимся кратким перечислением ряда проблем, решению которых может способствовать электромагнитный мониторинг полей ФРНС, ИФРНС и СРНС:

- определение скоростей и направления движения ветра и дрейфа ледяных полей;
- коррекция карт проводимостей подстилающей поверхности Земли;
- обнаружение ядерных взрывов в атмосфере (аналог проявления КИВ), а также подземных и подводных взрывов (аналог очагов землетрясения);
- совершенствование моделей различных слоев ионосферы, озоносферы, атмосферы, магнитного поля Земли;

- уточнение процессов, происходящих в периоды солнечных затмений;
- выявление вариаций вышеперечисленных процессов и явлений в цикле солнечной активности.

Выводы

Исходя из вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Спутниковые РНС по целостности и доступности не в полном объеме удовлетворяют требованиям различного класса потребителей. Они зависят от района обеспечения, возможности определения под водой и подо льдом и т. д., поэтому, наряду со спутниковыми РНС, не потеряло актуальности дальнейшее развитие и совершенствование РНС с наземным базированием.
2. Функциональные возможности имеющихся наземных и спутниковых РНС в навигационном аспекте далеко не исчерпаны. Использование новых технологий позволяет существенно расширить тактико-технические возможности существующих РНС и улучшить основные характеристики качества функционирования и обеспечения. Основными направлениями дальнейшего совершенствования РНС следует считать: развитие дальномерных и дифференциальных методов местоопределения; развитие сети наземных передающих станций и пунктов контроля при оптимизации их размещения, создание мобильных РНС; интеграцию радионавигационных полей при комплексной обработке принимаемой информации в интегрированной и комплексированной аппаратуре потребителя; использование каналов радиомаяков и наземных РНС для передачи дифференциальных поправок собственных РНС и спутниковых РНС. Последнее направление следует считать приоритетным.
3. Создание глобальных систем электромагнитного мониторинга полей РНС позволяет решить целый ряд прикладных и фундаментальных задач, из которых к основным следует отнести: краткосрочный прогноз землетрясений; обнаружение и идентификацию различного типа крупномасштабных возмущений и оповещение потребителей; коррекцию параметров математических моделей ионосферы, магнитного поля Земли, проводимости подстилающей поверхности и т. д.
4. Решение технических проблем для создания систем единого координатно-временного обеспечения с использованием наземных и спутниковых РНС позволит повысить их устойчивость к различным видам естественных и искусственных помех, т. е. обеспечить высокую гибкость их функционирования, а также увеличить площади рабочих зон наземных РНС, повысить доступность (до 99,9998%) и целостность РНС, унифицировать парк приемоиндикаторной аппаратуры, снизить аварийность судов и летательных аппаратов и, следовательно, уменьшить негативные последствия от их катастроф.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котяшкин С. И., и др. Состояние теоретических и экспериментальных исследований дифференциальных методов местоопределения в СДВ РНС «ОМЕГА» // Зарубежная радиоэлектроника. – 1977. – № 11. – С. 28–81.

2. Кочергин Б. К., Кочнев Г. С., Трегубов В. С. Оценка возможности использования РНС «Лоран-С» для обеспечения плавания в узостях и акваториях портов и гаваней // Морской транспорт: Инф. сб., Серия: Судовождение и связь. – 1989. – № 5. – С. 1–10.
3. Баясников Б. Н., Соколов В. Е., Писарев С. Б. Концепция развития и дальнейшего совершенствования местоопределения с помощью импульсно-фазовой радионавигационной системы «ЧАЙКА» // Радионавигация и время. – 1993. – № 1, 2. – С. 31–35.
4. Ситников И. Ю., Трегубов В. С. Повышение точности поправок радионавигационной системы «Марс-75» // Записки по гидрографии. – 1988. – № 220. – С. 70–77.
5. Гордиенко А. И., Баринов С. П. Перспектива создания морской дифференциальной подсистемы в Российской Федерации // Записки по гидрографии. – 2003. – № 257. – С. 71–74.
6. Offermans G. W. A., Helwig A. W. S., Van Essen R. F., Van Willigen D.. Integration Aspects of DGNS and LORAN-C for Land Application // Proc. of the 53-rd Annual Meeting of the Institute of Navigation in Albuquerque, June 30 – July 2, 1997. – P. 7.
7. Offermans G. W. A., Helwig A. W. S., Van Willigen D. Test results of a cost-effective DGNS augmentation system // Proc. NELS 1997. Technical Symposium/Workshop, April 16–17, 1997, Rotterdam. – P. 11.
8. Трегубов В. С. Возможности интеграции среднеорбитальных спутниковых и наземных радионавигационных систем для определения места судна // Морской транспорт. Серия: Судовождение, связь и безопасность мореплавания. Экспресс информация. – М.: Мортехинформреклама, 1999. – Вып. 1 (356). – С. 1–20.
9. Пучков В. Ю., Филатченков С. В., и др. Организация интегрированной дифференциальной подсистемы ГЛОНАСС/GPS на базе морской радиомаячной службы // Радионавигация и время. – 1993. – № 1, 2. – С. 51–59.
10. Мосяков Е. А., Ртищев Ю. В., и др. Состояние и перспективы развития отечественных РНС средневолнового диапазона // Радионавигация и время. – 1994. – № 1. – С. 27–31.
11. Wilson S. DGPS Marine Radiobeacon Systems // RTCM Annual Meeting. Miami, F1, June 2, 1992. — 29 p.
12. Kugler D. The Potential of Hybrid GPS/LORAN-C Receives. XIVth Conference IALA «Radio Aids to Navigation». 9–19 June, 1998, Hamburg, Germany. – P. 149–165.
13. Roland W. F. Synchronised Low-Frequency Augmentation of GPS (SYLFA) // Journal of Navigation (GRR) . – 1998. – Vol. 51. – N 3. – P. 294–303.
14. Бабич О. А.. Обработка информации в навигационных комплексах. Москва: Машиностроение, 1991. – 512 с.
15. Ярлыков М. ., Кудинов А. Т. Повышение качества функционирования аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем за счет использования информационной избыточности // Радиотехника. – 1998. – N 2. – С. 69–78.
16. Дмитриев С. П., Осипов А. В. Фильтрационный подход в задаче контроля целостности спутниковой навигационной системы. Докл. VII Санкт-Петербургской Межд. конф. по интегрированным навигационным системам. 29апреля – 1 мая, 2000. – С. 280.
17. Вербин Ю. П., Кищук В. П., и др. К проблеме прогнозирования землетрясений по данным мониторинга характеристик естественных и антропогенных электромагнитных полей // Радионавигация и время. – 1996. – № 1,2 (7). – С. 29–33.
18. Боллошин С. Б., Кабилов А. И., и др. Интеллектуальные возможности фазовой РНС диапазона СДВ. Докл. III Межд. конф. «Планирование глобальной навигации» . – Москва, 9–11 октября, 2000. С.98–104.
19. Вербин Ю. П., Макарова Л. Н., и др. Детектирование эффектов солнечных протонных событий по записям ОНЧ-фазы на высокоширотных радиотрассах // Геомагнетизм и аэрономия. – 1998. – Т. 38. – № 1. – С. 101–107.

**S. I. Bidenko, A. I. Gorokhov, V. S. Zholnerov, S. P. Zarubin,
A. I. Kabirov, G. A. Semyenov, V. S. Tregubov**

State and Prospects of Improvement for Co-ordinate-Time Provision Infrastructure

The main ways intended to improve the land- and space-based radionavigation systems in order to solve the problems of determining the co-ordinates and time with a high accuracy for a wide range of users, are considered.

ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

ГРНТИ 38.47.19

АДАПТИВНАЯ РЕГУЛЯРНАЯ ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ РЕЛЬЕФА МОРСКОГО ДНА

А. А. ДАДАШЕВ

(Морской корпус Петра Великого)

В статье рассматриваются принципы формирования регулярной и нерегулярной цифровой моделей рельефа морского дна (ЦМР), их достоинства и недостатки. Предлагается модернизация регулярной ЦМР с целью придания ей свойства адаптивности по отношению к характеру рельефа дна.

В настоящее время, наряду с развитием технических средств площадного обследования рельефа морского дна, в различных странах ведется работа по совершенствованию методов математической обработки материалов съемки с целью получения более надежных и точных результатов. Большое внимание уделяется способам формирования цифровой модели рельефа морского дна (ЦМР) при съемке многолучевыми эхолотными системами [1–4]. Наглядное отображение рельефа дна в реальном времени позволяет более полно оценить качество съемки и принять меры по устранению несоответствий ЦМР требованиям точности и надежности. Рассматриваются два типа ЦМР: регулярная и нерегулярная.

Регулярная ЦМР строится на прямоугольной сетке, причем центру каждой ячейки сетки приписывается глубина, определенная интерполированием окружающих глубин с учетом их веса методом наименьших квадратов. В качестве веса используется величина, обратная квадрату расстояния от глубины до центра ячейки. Размеры ячейки задаются оператором-гидрографом в зависимости от характера рельефа дна. Ее основными достоинствами являются отработанный и достаточно простой алгоритм расчетов, а также существенное сжатие информации. Основным недостатком этой модели заключается в том, что размеры ячеек сетки определяются субъективно и не регулируются автоматически при измерении характера рельефа дна. Следует также отметить, что модель строится не на измеренных, а на интерполированных глубинах. Это ведет к некоторой потере точности ЦМР, в результате чего мелкие детали рельефа сглаживаются.

Нерегулярная ЦМР формируется из плоских треугольников, в вершинах которых фиксируются глубины, измеренные многолучевым эхолотом. Объединение глубин в треугольники осуществляется по правилу Делоне, а именно – проведением через три глубины окружности таким образом, чтобы внутри окружности не находилась ни одна измеренная

глубина. Модель рельефа, построенная по этому правилу, получила название триангуляции Делоне или триангуляционной модели Делоне [3, 4]. Достоинством этой модели является высокая точность и большая подробность, связанная с разрешающей способностью многолучевого эхолота. Однако сложность алгоритма триангуляции Делоне затрудняет ее реализацию в реальном времени.

Наиболее перспективным алгоритмом формирования ЦМР по данным съемки многолучевым эхолотом является алгоритм, реализованный скандинавскими специалистами [2]. Этот способ позволяет формировать модель рельефа с заданной точностью во времени, близком к реальному. При этом объем информации существенно сокращается. Степень сокращения массива измеренных данных зависит от заданной точности модели и характера рельефа дна. При ее формировании поперечные и продольные профили глубин подвергаются обработке кадрами с определенным количеством поперечных профилей. Последовательность вычислительных процедур при этом следующая:

- отбираются четыре угловые точки кадра (первые и последние точки первого и последнего поперечных профилей глубин в кадре), глубины в которых принимаются за информативные;
- путем соединения прямой линией двух противоположных углов кадра образуются два плоских треугольника, каждый из которых описывается уравнением плоскости в пространстве;
- в пределах каждого треугольника вычисляются расхождения ΔZ_i каждой измеренной глубины с глубиной, аппроксимированной плоскостью соответствующего треугольника, и определяется точка с максимальным расхождением ΔZ_{max} .
- проверяется условие $\Delta Z_{max} \leq m_{Znp}$, где m_{Znp} – заданная предельная погрешность определения глубины;
- в случае невыполнения условия данная глубина фиксируется как информативная и точка с этой глубиной соединяется прямыми линиями с тремя углами первоначального треугольника, образуя три новых треугольника, каждый из которых проверяется на вышеуказанное условие и так далее;
- процесс проверки глубин на условие и деление треугольников на более мелкие продолжается до тех пор, пока условие не выполнится во всех треугольниках кадра.

Таким образом, формируется ЦМР, аппроксимирующая рельеф дна поверхностью, состоящей из плоских треугольников, с заданной точностью восстановления глубин в любой точке модели. Ее важнейшим достоинством является адаптивность, а именно – зависимость размеров ее треугольников от характера рельефа дна. Она обладает свойством сжатия информации, что позволяет формировать ЦМР в полосе обследования в квазиреальном времени. Опыт работы в Северном море [3] показывает, что данный способ формирования ЦМР позволяет сократить объем информации до 90%. В то же время рекомендуется записывать на технический носитель полный массив

измеренных данных, который необходим для анализа сомнительных данных при последующей обработке.

Контроль достоверности ЦМР должен осуществляться сравнением смоделированных глубин с измеренными глубинами в тех же точках.

Несмотря на очевидные преимущества адаптивной триангуляционной ЦМР, на практике в ряде случаев, особенно в районах со спокойным рельефом, традиционно используется ЦМР с регулярной сеткой. Возникает вопрос, нельзя ли усовершенствовать регулярную ЦМР, придав ей свойство адаптивности по отношению к характеру рельефа дна. Для этого необходимо определить оптимальные размеры ячеек регулярной сетки и затем регулировать их путем деления на более мелкие ячейки в зависимости от характера рельефа дна. Именно такими возможностями обладает описанная в работе [5] методика определения междугалсовых расстояний. В соответствии с этой методикой в начале съемки на контрольных галсах производится отбор информативных глубин путем аппроксимации профиля глубин линейным сплайном. Информативные глубины в узлах сплайна отбираются при условии, чтобы разность между измеренными и аппроксимированными глубинами в промежутке между узлами сплайна не превышала предельную погрешность определения глубин. Междугалсовое расстояние L определяется путем статистической обработки расстояний S_i между информативными глубинами по критериям точности, надежности и экономичности. Это означает, что обеспечивается заданная точность определения глубины в произвольной точке исследуемого района с определенной надежностью при минимуме линейных километров съемки.

В ходе съемки при пересечении основных галсов с контрольными сравниваются расстояния S_i на контрольном галсе с выбранным междугалсовым расстоянием L . Если $S_i < L$, то в данном месте требуемая точность не обеспечивается и здесь необходимо проложить дополнительные галсы сгущения. С учетом галсов сгущения обеспечивается надежность междугалсового расстояния, близкая к 100%.

В приложении рассмотренной методики к формированию регулярной ЦМР роль междугалсовых расстояний L играют расстояния между опорными точками (глубинами) модели по двум направлениям, то есть размерами прямоугольных ячеек сетки. Оптимальные размеры ячеек основной сетки вычисляются по измерениям на контрольном галсе по двум направлениям L_1 , L_2 : вдоль галса по вертикальному лучу и на поперечных профилях по наклонным лучам. В связи с тем, что размеры ячеек сеточной модели получены статистическим путем, надежность P модели будет меньше 100%. Это означает, что заданная точность ЦМР не будет обеспечиваться на какой-то части акватории, соответствующей надежности $1-P$. Поэтому в ходе съемки при выполнении галсов основного покрытия необходимо проверять выполнение условий:

$$\left. \begin{array}{l} S_1 \geq L_1 \\ S_2 \geq L_2 \end{array} \right\}, \quad (1)$$

где S_1 , S_2 – расстояния между информативными глубинами, полученными на контрольном галсе по вертикальному лучу и на поперечных профилях соответственно.

Там, где условия (1) не выполняются, основная ячейка сетки делится в данном направлении на n равных частей в зависимости от соотношения

$$n_1=L_1/S_1 \quad \text{или} \quad n_2=L_2/S_2$$

с округлением до целого числа в большую сторону.

Контроль на поперечных профилях по условию (1) осуществляется с дискретностью, определяемой половиной продольного размера ячейки основной сетки. В каждой вновь образованной ячейке сетки определяется центральная глубина по традиционной программе формирования регулярной ЦМР.

В итоге модель рельефа будет отображать глубины основной регулярной сетки с делением ячеек на более мелкие в местах со сложным рельефом дна. Таким образом, регулярная ЦМР приобретает свойство адаптивности к характеру рельефа дна, обеспечивая заданную точность восстановления глубин интерполяцией в произвольной точке модели.

При отображении на экране дисплея или на графопостроителе очень спокойного рельефа дна расстояния между опорными глубинами модели могут оказаться слишком большими. Это снизит информативность модели и затруднит ее использование. Для предотвращения этого необходимо ограничить максимальные размеры ячеек основной сетки предельным значением.

В общем случае заданная точность рассмотренной ЦМР обеспечивается размерами ячеек прямоугольной сетки. Надежность ее определяется отношением части площади района съемки, на которой выполняются требования точности ЦМР к площади всего района. После завершения работ она должна быть равной 100%.

Экономичность достигается минимизацией общего количества опорных (информативных) точек модели при заданной точности восстановления глубин.

Рассмотренный способ формирования регулярной ЦМР устраняет ее существенный недостаток, а именно – неадаптивность по отношению к характеру рельефа дна. При этом не требуется серьезной модернизации традиционного способа. Она сводится к введению дополнительных вычислительных процедур:

- в начале съемки по измерениям на контрольном галсе вычисляются оптимальные размеры ячеек основной регулярной сетки;
- в ходе съемки контролируется соответствие размеров ячеек сетки требованиям заданной точности восстановления глубин;
- в случае несоответствия ячейки делятся на более мелкие.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. P. Cooper. An overview of swathe bathymetry processing methods. – Proceedings 12-th biennial conference of The Hydrographic Society (27-29 march 2001). University of East Anglia. – Norwich, UK. –2001. – P. 16.1–16.5.
2. P. Bottelier, R. Haagmans, N.Kinneging. Fast reduction of high-density multibeam echosounder data for near real-time applications. // The Hydrographic Journal. – 2000. – № 98. – P. 23–28.
3. U. Lenk, I. Kruse. Multibeam data processing: Data reduction, adaptive triangular meshing and comments resulting from Brouns et al. (THJ, №101, 2001) // The Hydrographic Journal. – 2001. – №102. – P. 9–13.

4. G. Brouns, P. A. De Wulf, D. Constables. Multibeam Data processing: Adding and deleting vertices in a Delaunay triangulation // The Hydrographic Journal. – 2001. – №101. – P. 3–9.
5. Дадашев А. А. Определение подробности съемки рельефа дна с использованием критериев оптимальности // Записки по гидрографии. – 1995. – № 236. – С. 35–41.

A. A. Dadashev

Adaptive Gridded Digital Model of Sea-Bed Relief

The principles of forming the gridded and irregular digital model of sea-bed relief, their advantages and disadvantages are considered. The updating of the gridded digital model of sea-bed relief in order to impart it the quality of adaptivity relative to the sea-bed relief character is proposed.

ГРНТИ 78.25.31

**ЭЛЕКТРОННЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ МОРСКИЕ КАРТЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ
СРЕДСТВА ИХ ОТОБРАЖЕНИЯ**

**Н. С. МЕРКУШОВ,
А. Ю. ОБУХОВ,
Ю. А. ГЛУХОВ**
(ГНИНГИ МО РФ)

На основании данных зарубежной периодической печати излагаются взгляды на причины перехода от традиционных бумажных навигационных морских карт к концепции создания электронной навигационной морской карты. Обсуждаются два типа электронных карт, их достоинства и недостатки, а также наиболее известные образцы технических средств их отображения.

Введение

Суда, курсирующие в открытом океане, оснащены современным электронным навигационным оборудованием: высокоточными средствами коррекции места (СНС, РНС), лагами, компасами, системами автоматической радионавигационной прокладки (САРП), средствами отображения гидрометеорологической обстановки, аппаратурой автоматизированных идентификационных систем и системами связи. Тем не менее все эти технические средства в сочетании с использованием традиционных бумажных карт не могут обеспечить быстрого принятия решений в критических ситуациях.

Потребность в создании копии бумажной карты в цифровой форме стала предпосылкой возникновения концепции электронной навигационной карты (ENC).

Среди мореплавателей есть как сторонники, так и противники обязательного использования электронных картографических систем (ECS). Первые из них одним из важнейших достоинств ECS считают воспроизведение положения судна в реальном времени, так как бумажные карты не дают такой возможности. Недоверие же противников использования электронных технологий основано, главным образом, на том, что ECS лишены основного преимущества бумажной карты – в критической ситуации, когда невозможно использовать ECS, такая карта вместе с магнитным

компасом и другими традиционными средствами навигационного оборудования всегда поможет определить местонахождение судна.

Несмотря на существующие разногласия, развитию ENC придается большое значение. Число имеющихся официальных морских ENC, которые являются основой любой ECS, пока еще очень мало, но в скором времени все бумажные карты будут заменены электронными.

Электронные карты

Существуют два типа ENC: растровые и векторные. Их сочетание в соответствии со стандартом S-57.3 занимает в настоящее время ведущее место в торговом судоходстве.

Растровые системы (RCDS). Растровая карта – это электронная копия традиционной бумажной карты, полученная в результате процесса, подобного фотокопированию/сканированию. Она выглядит точно так же, как бумажная карта. Однако объем карты, который можно легко увидеть одновременно, очень сильно ограничен размером экрана, на котором она воспроизводится. Поэтому для рассмотрения на экране карты целиком, вахтенному приходится изменять масштаб изображения, либо смещать карту, либо просто смотреть на оригинал бумажной карты, которую он должен иметь на борту. Общий вид растровых карт представлен на рис. 1.

Один из недостатков систем растровых карт состоит в том, что по мере того как собственное судно приближается к краю карты, должна будет воспроизводиться рамка листа карты. Может случиться так, что система автоматически не загрузит следующую карту или не переведет собственное судно на следующую карту, и вахтенный вынужден будет делать это вручную.

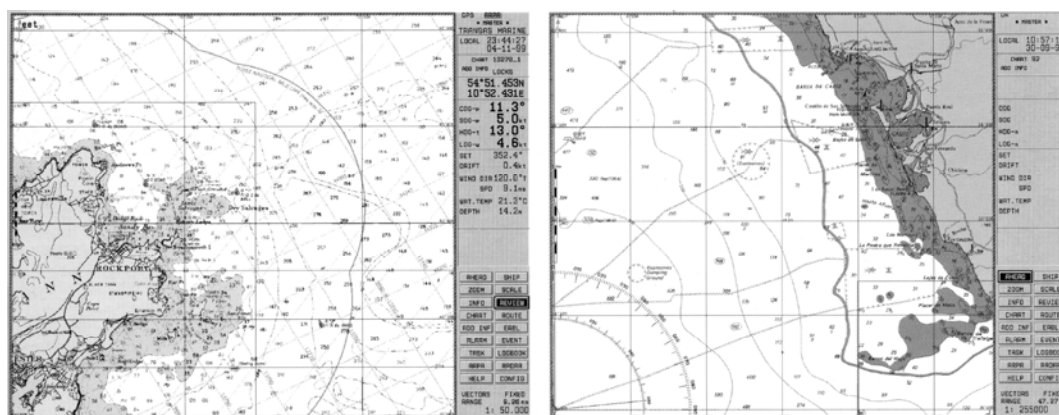


Рис. 1. Вид растровых карт форматов NDI/BSB и ARCS

Системы растровых карт в сущности требуют обработки информации во многом теми же способами, что и на бумажной карте.

Основные типы растровых форматов электронных карт:

- C&GS, разработанный Национальной океанографической службой NOAA США в 1993 г.;
- HCRF, разработанный Адмиралтейской службой растровых карт Великобритании в 1995 г.

Векторные системы

По определению Международной морской организации ENC – это *карта, представленная на основании** официальной векторной базы данных, стандартизированных по содержанию, структуре и формату, и предназначенная для использования в системе отображения электронных карт и информации (ECDIS) по разрешению официальных Гидрографических служб (ГС) или других организаций, утвержденных правительствами. Система ENC содержит всю информацию по картам. Кроме того, она может включать и любые дополнительные сведения, которые могут способствовать безопасной навигации (например, данные лоции) [1].

ENC – крайне сложная продукция, выполненная по слоям, представляющим отдельные элементы содержания карты. Логические возможности структуры ENC позволяют мореплавателю выбирать уровень нагрузки карты. Шесть цветовых палитр делают возможным просмотр ENC с произвольным выбором стиля условных обозначений и при всех условиях освещенности мостика.

Основные типы векторных форматов электронных карт:

- VPF – формат структуры и организации географических баз данных, разработанный по заказу минобороны США (в том числе и НАТО); формат обеспечивает совместимость с самыми разнообразными приложениями и программами для работы с любыми картографическими данными;

- S-57.3 – стандартный формат гидрографических баз данных, разработанный Международной гидрографической организацией (МГО), и соответствующий требованиям стандарта ISO/IES 8211 на передачу данных.

Сложно охватить функциональные возможности всех ENC, но некоторые следует отметить. Преимуществами векторной карты являются:

- возможность изменения нагрузки карты по выбору оператора;
- выбор масштаба отображения в зависимости от целей и задач, решаемых оператором;
- возможность наносить на ENC дополнительную информацию, используя специальный редактор пользователя.

Динамичный характер представления данных на векторной карте предусматривает несколько вариантов, которые невозможны на бумажных и растровых картах. Например, «Временные и предварительные» Notices to Mariners – T(s) и P(s) – можно включать в системную ENC и воспроизводить в течение предписанных сроков.

Разработка векторных ENC в зарубежных странах осуществляется уже в течение нескольких лет. Темпы их разработки различны и зависят от приоритетов страны, ее ресурсов и возможностей.

Частные компании, участвующие в этом процессе, вносят свой вклад в виде передовых технологических разработок, оформления продукции и ее распространения. Однако ответственность за разработку ENC должна оставаться за ГС.

* Выделенная курсивом часть определения дана в редакции авторов статьи. *Прим. ред.*

Некоторые производители издают неофициальные векторные карты, и, к сожалению, гидрографические и электротехнические сообщества не нашли пока способ различить официальный и неофициальный варианты ENC.

Одним из наиболее очевидных достоинств любой ECS является воспроизведение положения судна в реальном времени. Таким образом, системы отображения должны работать с векторными и растровыми картами одновременно. Общий вид векторных карт представлен на рис. 2.

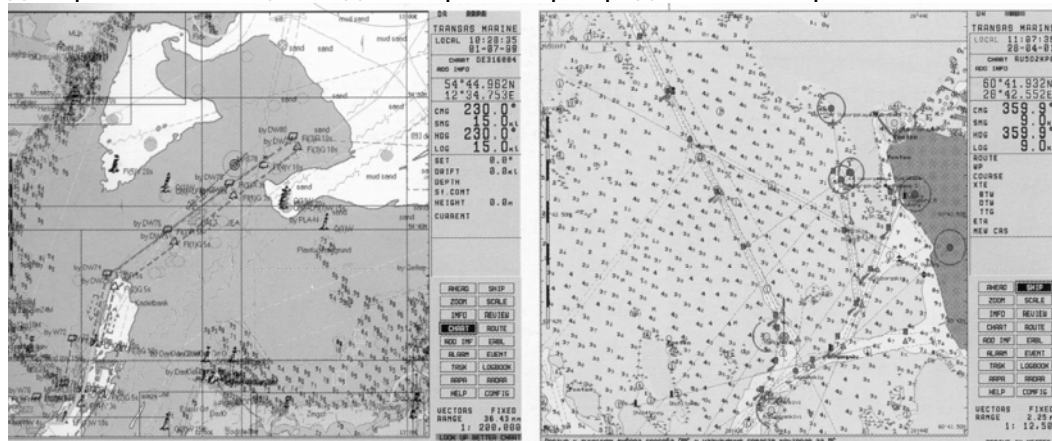


Рис. 2. Вид векторных карт форматов S-57 и TX-97

Важно подчеркнуть, что ECS является лишь средством навигационного обеспечения и не должна отменять основной принцип ведения постоянного наблюдения за навигационной обстановкой.

С появлением системы ENC использование традиционных бумажных карт сокращается.

Пока из-за сложности технологии и неопределенности в стандартах ENC являются гораздо более сложным продуктом по сравнению с обычными бумажными картами, и для обеспечения их производства потребовалось намного больше времени, чем предполагалось вначале. Тем не менее уже сегодня ряд стран снабжает мореплавателей картами ENC, обеспечивая в соответствии с современными требованиями их корректуры.

В силу политических причин любые национальные ГС могут производить векторные карты лишь на свои воды, тогда как в отношении бумажных карт они должны будут заключить соглашение с соседними ГС об использовании и обмене данными и производить полные комплекты бумажных навигационных морских карт. В случае, если векторная карта «пересекает» национальную границу, данные должны распространяться до границы «отечественной» ГС и не дальше.

Для преодоления этого положения и содействия внедрению ENC, использующих официальные данные, МГО предложило создать ряд региональных координационных центров электронных карт (RENC), в которые каждая ГС региона предоставляет свои данные.

В начале 1996 г. был учрежден RENC, работающий под торговой маркой PRIMAR. По существу, это совместное предприятие ГС Великобритании и Центра электронных карт Картографического управления Норвегии. В начале

центр PRIMAR охватывал Северную Европу, но зоны охвата постоянно расширяются.

В 2002 г. по решению Великобритании и Норвегии Центр PRIMAR как совместное предприятие был упразднен, и вместо него были образованы две аналогичные организации: Международный центр электронных навигационных карт (IC-ETNC) в г. Тонтоне (Великобритания) и PRIMAR в г. Ставангере (Норвегия). В настоящее время IC-ENC предоставляет ГС средства распространения их ENC во всемирном масштабе.

Благодаря концепции IC-ENC и RENC, морскому сообществу предложена профессиональная служба, отвечающая правилам Международной конвенции по охране человеческой жизни на море SOLAS-74 для торгового судоходства, которая обеспечивает услуги по предоставлению основных данных ENC, полной их корректуры и каталогов.

С учреждением стандартов электронных карт изготовители морской электроники получили возможность четко настраивать свои системы отображения в соответствии с международными стандартами. Ряд фирм предоставляют уже свою продукцию, основанную на оригинальных решениях.

В настоящее время лучшей признана ENC норвежской фирмы C-MAP NT, которая быстро дает информацию о средствах навигационного оборудования и объектах, портовую информацию, данные о приливах на любые моменты времени. Эта ENC обеспечивает охват фактически всех судоходных прибрежных районов, основных рыбных озер, коммерческих рыболовных батиметрических карт, бланковых и рейсовых карт [2–4].

Компания Maptech исторически поставляла свою продукцию на рынок сбыта в туристическом секторе. Однако большая часть технологии Maptech может успешно применяться и в профессиональной сфере. Возможности ее достигли уровня, который заинтересовал профессиональных мореплавателей, и с недавнего времени она начала разрабатывать морскую цифровую продукцию для коммерческих пользователей. Maptech участвует в соглашении о совместных исследованиях и разработках с США, которое предусматривает создание комплекта растровых цифровых карт, а также разработку интегрированной системы для хранения и распространения картографических данных в растровой и векторной форме.

Большинство пользователей туристического сектора не знают о существовании разных систем координат, используемых на их картах. Формат карты Maptech/BSB позволяет изготовителю цифровых карт внести в карту величину смещения системы координат. Для ГС, которая помещает величины смещения на бумажной карте, Maptech (или любая другая фирма, использующая формат BSB), может ввести эти величины, что позволяет большинству программных пакетов автоматически отображать карту в системе WGS-84 [5].

Как и при внедрении любой новой технологии, обучение использованию ENC имеет первостепенное значение, что подтверждается ответами на анкету ГС Великобритании об использовании векторных карт, – две трети респондентов сообщили о своем прохождении специального курса об использовании ENC и систем их отображения.

Темы, касающиеся ENC и систем отображения, их преимуществ и сфер использования, а также проблемы обучения новым технологиям постоянно обсуждаются на открытом форуме сайта www.openecdis.org. Он дает возможность участникам высказывать свои точки зрения и принимать участие в различных дискуссионных группах.

Системы отображения электронных карт

В 1980-х гг. в ряде стран были сделаны попытки сопряжения ENC с различными датчиками на борту судна (приемники СНС, гирокомпас, лаг, эхолот, РЛС и РНС). Эксперименты по сопряжению датчиков навигационной информации привели к созданию систем отображения ENC, навигационной информации и других данных.

В начале 80-х гг. шведская компания Disc Navigation и ГС Норвегии разработали систему Seatrans Project, которая стала прототипом ECDIS. Практическое ее внедрение сдерживалось тем, что требовались ENC, которые бы издавались и корректировались на регулярной и официальной основе [6].

Сегодня 8–10% судов мирового флота оснащено тем или иным видом электронных систем в виде: электронных картографических и навигационно-информационных систем и ECDIS.

Фирма PC Maritime (Великобритания) предлагает интегрированную картографическую систему Navmaster Office, которая позволяет на портативном компьютере решать задачи кораблевождения и отображения электронных навигационных карт. Данная система предназначена, главным образом, для гидрографов и персонала спасательных служб. Этот пакет программ исключает необходимость обращения к бумажным картам. Система позволяет быстро идентифицировать местоположение происшествия и передавать эти данные другим организациям. Она также обеспечивает запись инцидента для воспроизведения во время его разбора. Агентством морской и береговой охраны Великобритании (MCA) недавно заказано 18 систем Navmaster Office для оснащения своих подразделений.

Компания ICAN (Канада) выпускает две электронные картографические системы – Regulus и Aldebaran, а также вспомогательные модули для сопряжения этих систем с конкретным навигационным оборудованием, установленным на судне. Программное обеспечение компании ICAN упрощает многие задачи за пределами базовой навигации и в отличие от многих ныне действующих систем имеет многочисленные возможности управления и коммуникации. К ним относятся:

- наложение радиолокационной информации на ENC;
- современный уровень системы автоматизированного опознавания для предупреждения столкновений с использованием аппаратуры АИС;
- сбор и отображение данных исследований морского дна;
- обеспечение поиска и спасения;
- обеспечение развертывания средств навигационного оборудования и контроля за их местоположением.

Первым продуктом ICAN явилась картографическая система Regulus, предназначенная для профессионального мореплавателя, использующая один из форматов картографических данных: BSB, S-57, NTX, ARCS или CM-93.

Более сложная система Aldebaran, имеет возможность одновременного отображения форматов растровых или векторных карт, предлагая при этом несколько более расширенные функции, включая отображение охранной зоны предотвращения столкновений.

ICAN предлагает также версии Aldebaran и Regulus для ПК. Они предназначены для обучения, контроля качества электронных карт, для планирования маршрута и обзора, для дистанционного мониторинга и исследовательской работы.

В системы компании ICAN также входят:

- *гидрографический модуль*, который обеспечивает выдачу данных гидрографических промеров, сейсмических съемок и мониторинга окружающей среды;

- *радар-процессор*, позволяющий осуществлять наложение радиолокационного изображения на электронные карты;

- *аппаратура автоматической идентификационной системы (AIS)*, которая обеспечивает другие суда информацией о положении своего судна.

Дополнительные сведения о продукции фирмы ICAN можно найти на сайте [www. ICAN. nf.net](http://www.ICAN.nf.net) [7].

Из-за того что создание ENC для всей акватории Мирового океана еще не закончено, некоторые судовладельцы до сих пор сомневаются в необходимости оснащении своих судов системами ECDIS, однако преимущества ECDIS как очень мощной и передовой навигационной технологии для мореплавателей несомненны. Бумажная морская навигационная карта показывает, где было судно или где ему не следует быть. ENC в ECDIS указывают, где находится судно и каким путем может безопасно следовать, они обеспечивают мореплавателя в реальном времени информацией о метеоусловиях, а также предупреждениями, позволяющими избежать столкновений и прогнозными данными для гарантии безопасного плавания. Некоторые типы навигационных данных нельзя показать на бумажной карте из-за масштабных ограничений, но можно отобразить в ECDIS, при этом система показывает объекты морской информации, которые изменяются во времени, т. е. создает многомерное динамическое отображение реальной обстановки. Пользователь ECDIS может выборочно накладывать необходимую информацию на ENC или уменьшать ее, регулируя таким образом отображение данных на дисплее. Для эффективного использования различных датчиков навигационной информации в сочетании с картами ENC все современные суда рекомендовано оснащать системами ECDIS. Данные системы используются с целью безопасного плавания в открытом океане, при входе в районы с интенсивным движением судов, а также в гаванях при любых погодных условиях.

В настоящее время создание базы данных ECDIS направлено в основном на ее навигационное приложение, но в ближайшем будущем можно будет увидеть ее применение и для других видов морской деятельности. Обобщенная конфигурация системы представлена на рис. 3.

Поскольку данные ENC являются основой для системы ECDIS, то во всем мире ужесточаются требования в отношении создания унифицированной гидрографической базы данных.

Обработанная системой ECDIS база данных, полученная в результате преобразования ENC и других сведений, добавленных мореплавателем, представляет собой системную электронную навигационную карту (SENC). Чтобы соответствовать эксплуатационным характеристикам, установленным МГО, при работе ECDIS должны выполняться следующие условия в отношении SENC:

- ECDIS должна обеспечиваться оборудованием, гарантирующим то, чтобы ENC и все данные корректуры к ней были правильно загружены; информация ENC, предназначенная для использования в системе ECDIS, должна соответствовать стандарту МГО S-57 и быть последним изданием, выпущенным ГС;
- согласно правилу V/20 конвенции SOLAS 1974 г. содержание карты SENC должно быть приведено к современному уровню для района предполагаемого плавания;
- должна быть исключена возможность изменения содержания ENC,
- данные корректуры должны храниться отдельно от самой ENC.

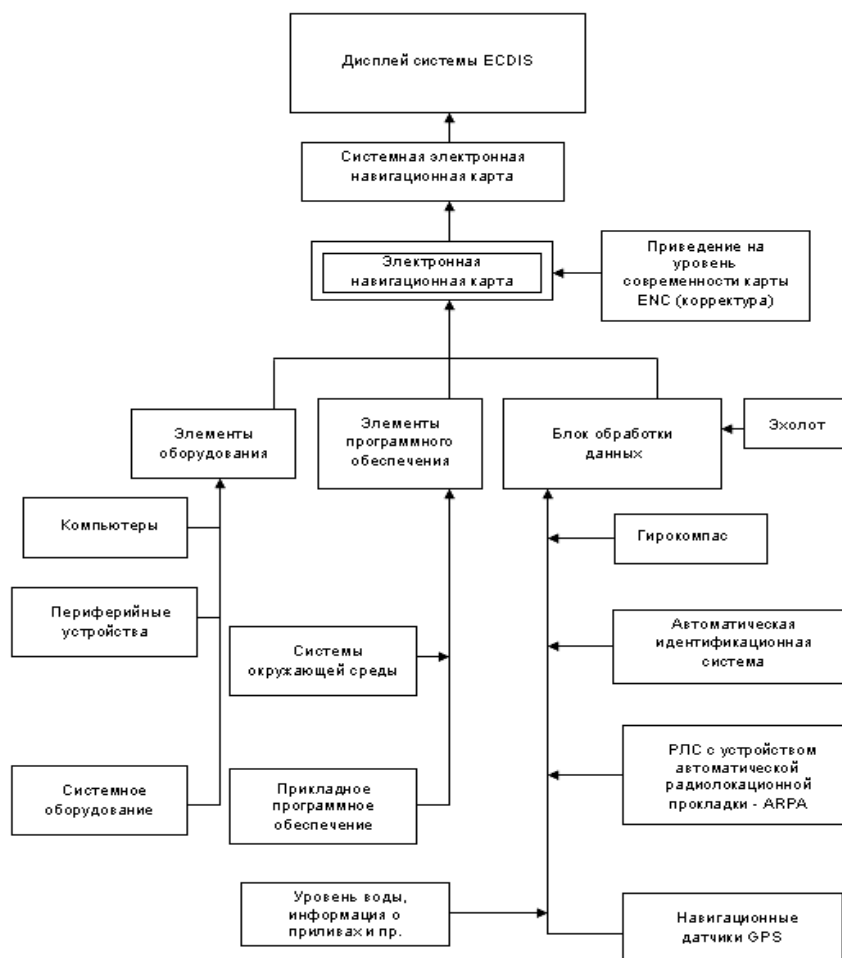


Рис. 3. Конфигурация системы ECDIS

Это означает, что карта SENC является тем компонентом системы ECDIS, который обеспечивает ее соответствие разделу V/20 SOLAS-74 в отношении эквивалентности с бумажной навигационной морской картой.

SENC – продукт перевода основной ENC и связанных с ней корректур с помощью оборудования ECDIS. Она может включать дополнительную информацию, кроме имеющейся на эквивалентной бумажной карте, например текстовые примечания, подготовленные вахтенным.

Хотя ECDIS была разработана в конце 1980-х гг., многие мореплаватели все еще не знакомы с ней. Требуется время для того, чтобы изменить психологию пользователя и приучить его к новой технологии. Мореплаватели современного поколения более восприимчивы к новым технологиям и настроены положительно в отношении концепции ECDIS, однако они нуждаются в обучении для получения навыков использования системы.

Потенциальная пригодность технологии ECDIS для других приложений приводит к постоянному расширению ее использования Международной гидрографической организацией [8].

Оценив важность ECDIS, Международная морская организация (ИМО) и МГО, создали комитеты для определения спецификаций и международных стандартов для системы и данных электронных карт. 23 ноября 1995 г. резолюцией ИМО А.817(19) в стандарт эксплуатационных характеристик ECDIS были включены векторные карты. В 1998 г. подкомитет по безопасности мореплавания ИМО рекомендовал расширить стандарт эксплуатационных характеристик ECDIS и включить в него также технологию растровых карт.

Принятие ИМО требований к ECDIS дало возможность использовать ENC, основанные на официальных данных ГС.

Система ECDIS является частью системы мостика, которая сочетает в себе современные достижения в навигационной технологии.

В стандартах МГО на эксплуатационные характеристики ECDIS предусматривается, что информация карты, используемая в системе, должна также соответствовать стандартам МГО:

- стандарту обмена цифровыми гидрографическими данными S-57.3;
- спецификации по аспектам содержания и отображения карты S-52 [9].

Одной из первых в мире получила одобрение (в том числе Управления Морского транспорта России и Морского Регистра Судоходства России) ECDIS Navi-Sailor 2400, созданная фирмой Transas Marine (РФ) (рис. 4). Это явилось значительным достижением для морской индустрии и для компании, которая была на передовых рубежах развития ECDIS с момента принятия Резолюции ИМО 1995 г.

Основными функциям Navi-Sailor 2400 являются:

- непрерывное определение местоположения, автоматическая прокладка и отображение судна на электронной карте, выработка предупредительных и тревожных сигналов при приближении к опасностям;
- выделение безопасной изобаты, отображение на карте отклонения от запланированного маршрута;

- индексация неисправностей и отказов датчиков с подачей соответствующих сигналов тревоги;
- получение справки по объектам на электронной карте;
- ведение навигационного журнала судна с возможностью его воспроизведения.



Рис. 4. ECDIS Navi-Sailor фирмы Transas Marine

Кроме того, система обеспечивает:

- режим изменения масштаба изображения;
- проигрывание маневра собственного судна для определения оптимального маневра с целью предотвращения аварийных ситуаций;
- отображение движения радиолокационных целей и их автоматическое сопровождение;
- планирование маршрута в графическом и в табличном виде.

Система совместима со следующими картографическими форматами данных:

- с официальными электронными картами в стандарте S-57.3, выпускаемыми национальными ГС;
- с NDI/BSB, созданными Национальной океанографической службой США и ГС Канады;
- с системами адмиралтейских растровых карт ГС Великобритании (ARCS);
- с TX-97 – Transas Marine.

Первой ECDIS, которую одобрило Норвежское классификационное общество Det Norske Veritas (DNV) (ноябрь 2001 г.) была система Vision 2100 компании Litton Marine System (США). Данная ECDIS соответствует международным спецификациям, включая спецификации IMO A.817(19) и IEC 61174. Эта система двойной обработки, которая содержит универсальный

модуль администратора карт, читающий официальные электронные карты гидрографических служб как в растровом, так и в векторном формате.

Такие же возможности имеет система Pathfinder/ST МК 2 компании Raytheon (Германия). Она отвечает требованиям безопасности основных классификационных обществ. Разработанная в соответствии со спецификациями ИМО и международными эксплуатационными стандартами для ECDIS, база данных электронных карт (ECDB) отвечает определению формата ИМО S-57.3. Кроме того, система может отображать электронные карты в формате CM-93 [10, 11].

Компания KonMap Maritime Systems (Норвегия) представила новейшее дополнение к своей модульной серии электронных карт MarINS – MarIES, свойства которого представлены в недавно одобренной DNV системе Maris ECDIS 900 для удовлетворения требований DNV W1. Гибкая и модульная серия MarINS может быть расширена для удовлетворения меняющихся требований со стороны судоводителей. Последние контракты включают Olympic Supplier для Olympic Shipping в Норвегии и буксир для якорных операций, который в настоящее время находится в стадии строительства. Система последней модификации будет иметь особые функции, включая наблюдение, якорные операции и операции с дистанционно управляемыми аппаратами. Система KonMap позволяет Olympic Shipping входить в карты клиентов и использовать систему как пункт планирования. Компания Kelvin Hughes (Великобритания) предлагает свою ECDIS Nucleus 2, которая представляет мореплавателю высокоточную гибкую альтернативу традиционным бумажным картам, она согласуется и объединяется с судовыми датчиками и системами, включая радиолокатор (рис. 5).

Одобрение DNV получила также ECDIS Norcontrol Sea Map 10 норвежской компании KMSS Ship Automation. Стандартные функции Sea Map 10 включают регистрацию и воспроизведение рейса, аварийный сигнал об опасной глубине, планирование маршрута, отображение ENC и непрерывный мониторинг маршрута судна и глубин. Кроме того, Sea Map 10 может предоставить дополнительное отображение информации о швартовке, интегрированный выбор оптимального пути плавания по гидрометеорологическим условиям и отображение информации о пассажирах для операторов круизных судов и паромов. Norcontrol Sea Map 10 поддерживает форматы векторных карт S-57.3, S-57.2 и C-MAP CM 93 и совместима с ARCS ГС Великобритании, что позволит обеспечить всемирный охват электронными картами [12].

В 2003 г. на рынке систем отображения электронных карт появилась ECDIS Шкипер-М, сертифицированная Российским морским регистром судоходства и представленная на Международной выставке «Нева-2003» в Санкт-Петербурге. Аппаратура разработана ЗАО «Промышленные компьютерные технологии» (г. Санкт-Петербург) и ООО «Моринтех» (г. Санкт-Петербург) [13]. В данной ECDIS используется программно-математическое обеспечение ООО «Моринтех» dKart ECDIS-версия 7.32, реализованное на специализированном оборудовании ЗАО «Промышленные компьютерные технологии».

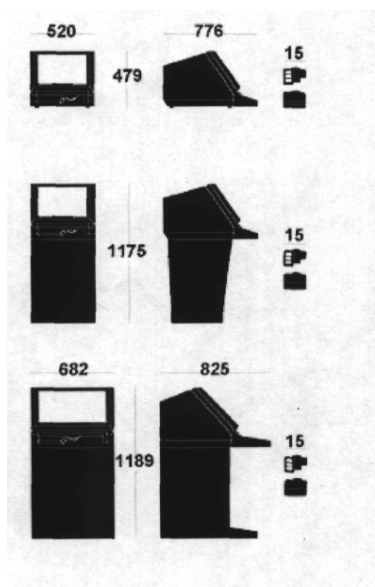
Используемые форматы электронных карт

Векторные карты: ENC IHO S-57 версии 3.0
 Растровые карты: ARCS (HCRF версии 2.0)
 растровые карты национальной гидрографии Великобритании



Подключаемые датчики внешней навигационной информации

Лаг: Протокол NMEA-01830 (VHW)
 Курсоуказатель: Протокол NMEA-0183(HDT)
 Системы определения места: Приемоиндикатор CMC GPS, DGPS,
 Приемоиндикатор PHC LORAN-C, DECCA
 Протокол NMEA-0183(GGA, GLL)
 Авторулевой: Протокол NMEA-0183(CTS, APB)
 Радарпроцессор: Наложение радиолокационного изображения на
 электронную карту; обработка целей
 автосопровождаемых РЛС
 Отображение радиолокационных целей: Возможность отображения до 50 целей на электронной карте
 Система подачи звуковых сигналов: Неисправность датчиков внешней навигационной информации при приближении к навигационным опасностям
 Питание, потребляемая мощность: 115/220В постоянного тока (450 ВА max) ~115В 400Гц



5000 ECDIS
 Настольное исполнение
 Масса: 40 кг

5000 ECDIS
 Стоечное исполнение
 Масса: 60 кг

6000 ECDIS
 Стоечное исполнение
 Масса: 96 кг

Рис. 5. Система отображения электронных карт и информации (ECDIS) Nucleus-2 (фирмы Kelvin Hughes)

ECDIS «Шкипер-М» отвечает требованиям:

- Резолюций ИМО А.817(19), MSC64(67), MSC86(70);
- Стандарту МГО S-52;
- Стандарту МЭК – 61174;
- главе 5.16 «Электронная картографическая навигационно-информационная система» Правил по оборудованию морских судов Российского морского регистра.

Основными функциями ECDIS «Шкипер-М» являются:

- непрерывная прокладка пути судна в режимах истинного и относительного движения;
- ввод и учет поправок к координатам;
- контроль навигационной безопасности плавания;
- контроль движения по маршруту в заданную точку;
- предварительная прокладка в табличном виде и на карте;
- документирование информации с частотой 1 раз в секунду, проигрывание обстоятельств плавания;
- корректура электронных навигационных карт:
 1. автоматизированная корректура карт, конвертированных из формата S-57;
 2. редактор ручной корректуры;
 3. автоматическая корректура карт в формате CM 93 через Интернет.

Основной целью ENC и систем ECDIS пока является обеспечение безопасного плавания. Однако они могут быть использованы и для других специальных приложений GIS о морской среде, если последние будут добавлены к базе данных. Существует потенциальная возможность применять ECDIS в связи с военными операциями на море, для управления судами в портах и гаванях с интенсивным их движением, при научных исследованиях в море, для защиты окружающей среды, при эксплуатации ресурсов океана, при управлении прибрежной зоной, а также при различных работах в портах и гаванях.

ЛИТЕРАТУРА

1. IHO Glossary of ECDIS-related terms. 3-rd Edition. December, 1997. – P.9.
2. Bailey T. Electronic Chart Systems – A Bonus or a Curse? //The Hydrographic Journal. October 2001. – N 102, – P. 15–18.
3. Состояние и направления развития технических средств и методов океанографических исследований в интересах ВМС. – СПб.: Издание ГУНиО МО, 2001. – С. 227–228
4. C-MAP Wins NMEA Award for «Best Electronic Charts» // Hydro International. – January/February 2000. – V. 4. – N 1. – P. 55
5. Markham Ed. A Recreational and Professional Charts Producer // Hydro International. – March 2001. – P. 34–37.
6. ECDIS – From research to commercial system development and marketing. – London: EURNEN-92. – November 1992. – P. 17–19.
7. Проспект фирмы International Communications and Navigation. // Hydro International. – September 2002. – P. 49–51.
8. Yogendran S.. ECDIS Approach for Paperless Navigation // Hydro International – November/December 2001. P. 7–9, 12.
9. Rodrigues I. ECDIS: The role of training Institutions // Hydro Internatuonal. –April 2001. – V. 5. – No 3. – P. 33–35.
10. The First ECDIS Type Approval for Transas. // Hydro Internatuonal. – January/February 2000. – V. 4. – No 1. – P. 53.
11. KMSS ECDIS gets green light // Shipping World and Shipbuilder. – June 2001. – P. 38–40.

12. The playing field starts to level // Shipping World and Shipbuilder. – June 2001. – P. 35–36.
13. Российский морской регистр судоходства, Сертификат об одобрении типа №05130000 МК от 27.08.03 г.

N. S. Merkushov, Y. A. Obukhov, Y. A. Glukhov

Electronic Navigational Charts and their Display Hardware

Based on the data of the foreign periodicals, the views on the cause of transition from traditional paper navigational charts to the concept of creating the electronic navigational chart are set forth. Two types of electronic charts, their advantages and disadvantages as well as the best known kinds of their display hardware are discussed.

ГРНТИ 78.25.31

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОРРЕКТУРЫ ЭЛЕКТРОННЫХ НАВИГАЦИОННЫХ КАРТ

**Н. С. МЕРКУШОВ,
А. Ю. ОБУХОВ**
(ГНИНГИ МО РФ)

На основании данных зарубежной периодической печати изложены данные о функциональных возможностях систем отображения электронных карт по обеспечению процесса корректуры электронных навигационных морских карт. Представлена функциональная схема организации использования электронных карт и их автоматической корректуры в системах отображения.

Бумажные навигационные морские карты являются правовыми документами для плавания на протяжении более чем векового периода. Их значение и роль четко определены Международной конвенцией по охране человеческой жизни на море (SOLAS 1974 г.), согласно которой все суда, плавающие в море, должны иметь на борту традиционные бумажные навигационные морские карты. Как важнейшее техническое и вспомогательное средство для обеспечения безопасного плавания карты следует регулярно обновлять, т. е. наносить на них огни или ограждения новых судоходных путей, а также опасности для судоходства (затонувшие суда и др.). До сих пор текстовая информация и необходимые данные для корректуры карт помещаются в еженедельных выпусках «Извещений мореплавателям». Каждый корректор должен найти, прочитать нужную для данной карты информацию и решить, каким образом поместить ее на карте. Все это приходится наносить на карту вручную; причем каждый корректор обладает своим стилем и точностью корректуры.

В настоящее время еще не закончено создание такого набора электронных навигационных карт (ENC), который бы покрывал все моря и океаны. Это, в свою очередь, вызывает колебание судовладельцев при принятии решения об оснащении судов системами отображения электронных карт и информации (ECDIS). Однако нет сомнения в том, что будущее именно за ECDIS как современной и передовой навигационной технологией для мореплавателя.

Ее основными преимуществами являются:

- более безопасное плавание с автоматическим предупреждением о риске посадки на мель и отображением места судна в реальном времени;
- непрерывная и более точная корректура карт;
- более точная навигация, ведущая к улучшению планирования рейса;
- возможность получения картографической информации по каналам связи, что уменьшает количество карт, которые необходимо иметь на борту;
- возможность включать информацию из других навигационных пособий с возможностью быстрой ее корректуры;
- потенциальная возможность совмещения изображения РЛС с ENC;
- уменьшение нагрузки на вахтенных и, следовательно, дополнительные ресурсы для выполнения других обязанностей [1].

Из всех функций ECDIS наиболее важной является функция корректуры карт. Мореплавателю-штурману больше не придется продирааться сквозь кипы бумаг и калек, он может вставить компакт-диск CD-Rom в персональную ЭВМ (PC) и позволить машине выполнить работу по внесению данных корректуры в ENC. В случае использования растровых ENC исправление достигается через мозаичный процесс (tiling), при котором новый откорректированный элемент вводится в систему, заменяя прежние данные на дисплее [2].

Функциональная схема технологического процесса организации использования ENC и автоматической их корректуры в ECDIS представлена на рис. 1. Она включает:

- базу данных электронной карты национальных ГС в цифровом виде и необходимых навигационных объектов, имеющих географическую привязку;
- данные электронной навигационной карты в формате, приемлемом для регионального центра ENC как посредника, поставляющего на CD-ROM данные, структура и формат которых определены стандартом S-57.3 МГО;
- любую радиосвязь в сети Интернет,
- окно просмотра ENC на борту,
- ECDIS на борту.

Система ECDIS будет удовлетворять требованиям соответствующего раздела конвенции SOLAS V/ 20(4) только после слияния содержания ENC, дополнительных данных и корректур в системную электронную навигационную карту (SENC), которая хранится в электронной памяти ECDIS.

В соответствии с эксплуатационными характеристиками, установленными МГО, при работе ECDIS должны выполняться следующие условия:

- ECDIS должна обеспечиваться оборудованием, гарантирующим правильную загрузку ENC и всех данных корректуры;
- информация ENC, предназначенная для использования в системе ECDIS, должна быть последним изданием, выпущенным национальными полномочными службами, и соответствовать стандарту МГО S-57 и требованиям правила V/20 Конвенции SOLAS 1974 г.;
- должна быть исключена возможность изменения содержания ENC;
- данные корректуры ENC должны храниться отдельно от самой ENC.

SENC как продукт перевода основной ENC и связанных с ней корректур с помощью оборудования ECDIS содержит ту же информацию для мореплавателя, что и традиционная бумажная карта, а также внесенную

дополнительную информацию, например, текстовые примечания, подготовленные вахтенным, и т. п. [3].

На борту судна

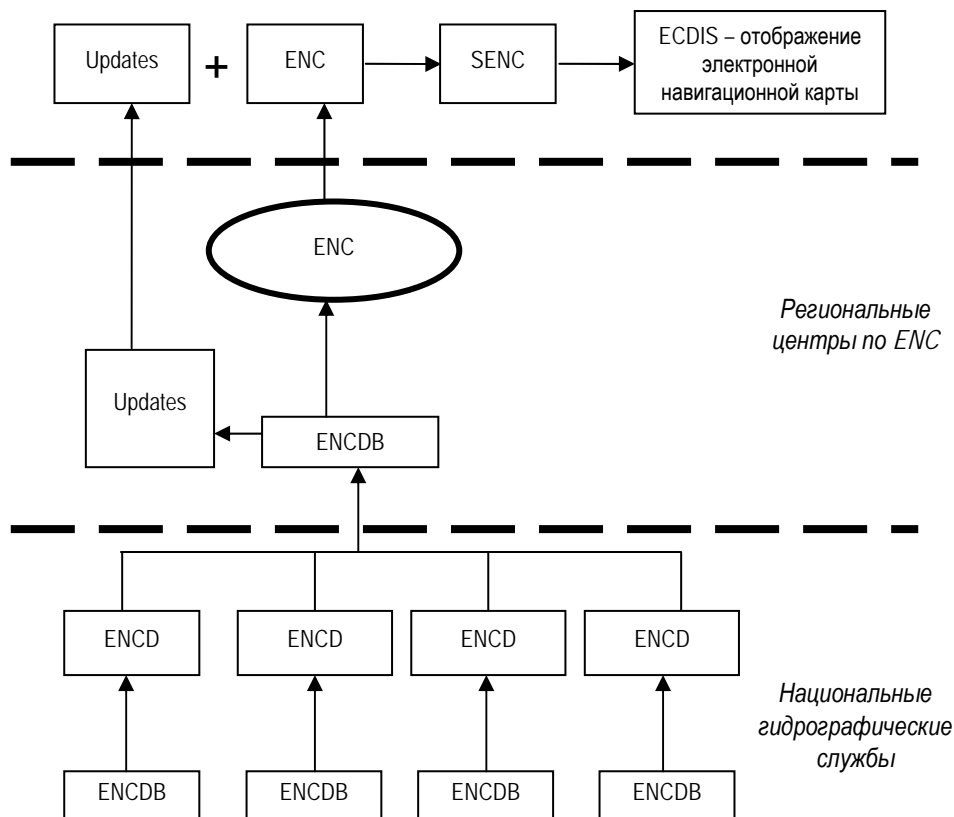


Рис. 1. Функциональная схема организации работ по обеспечению использования ENC и их корректуры на судах

Updates – данные корректуры; **ENCDB** – основная база данных электронной навигационной карты для производства и поддержания ENC; **ENC** – специализированная база данных, стандартизированная по содержанию, структуре и формату, выпускаемая для использования с ECDIS; **SENC** – системная электронная навигационная карта; **ENCDB** – данные электронной навигационной карты в формате, принятом региональным центром ENC; структура и формат определены стандартом S-57.3 МГО; **ENCDB** – основная база данных электронной карты, хранящаяся национальной ГС в цифровом виде.

В ECDIS все имеющиеся и вновь поступающие корректурные наборы данных автоматически преобразуются и поступают в SENC, и таким образом обеспечивается автоматический режим корректуры.

По неофициальным данным о затратах времени при автоматической корректуре ENC, за 40 минут осуществляется тысяча корректур. Правильность получаемых наборов данных и точность вносимой корректуры в ENC не вызывает сомнений у мореплавателя [4].

Очень важно, чтобы ГС разных государств работали вместе, сводя к минимуму различия в своих ENC, в особенности тех, которые перекрывают международные границы.

С этой целью созданы Международный центр ENC (IC-ENC) в Великобритании и региональный центр PRIMAR в Норвегии. Чтобы удостовериться в том, что данные полностью совместимы со стандартом S-57.3, ими используется программное обеспечение третьей стороны. Проверки проводятся на экране компьютера, чтобы гарантировать, что все данные зафиксированы с верными атрибутами и точность координат всех оцифрованных объектов находится в пределах $\pm 0,2$ мм в масштабах растровых изображений соответствующих бумажных карт. ENC производится только тогда, когда известно, что точность преобразования координат из местной геодезической системы в WGS-84 не превышает $\pm 0,3$ мм в масштабе карты. Все процессы производства сертифицированы по стандарту ISO 9001 [5].

ГС Великобритании сохраняет и поддерживает полный комплект всех выпущенных Адмиралтейством карт более чем за 200-летний период. Как сторона, подписавшая Международную конвенцию по охране человеческой жизни на море, правительство Великобритании должно обеспечивать точность его карт, что требует сохранения уникальной коллекции картографических источников, использованных при их составлении. Коллекция карт и картографических источников постоянно растет, и хранилище, построенное для них в 1960 г., уже заполнено. Поэтому ГС Великобритании начала строить новое здание хранилища площадью 2500 м² при ГС в г. Тонтоне. Новое хранилище представляет собой систему с обеспеченным контролем температуры и влажности, сплошной системой обнаружения и подавления огня. В нем также будут располагаться офисы для персонала, комната отдыха, лаборатория, цех консервации и кабинет репрографии. Строительство этого здания является первым этапом в программе обновления ГС. Введение в строй нового хранилища планировалось на конец 2003 г.

ГС Великобритании проделала большую работу в области производства ENC. Самое важное, что IC-ENC в Тонтоне предоставляет гидрографическим службам средства распространения их ENC по всему миру, привлекая к этой деятельности ряд частных фирм [6].

Так, компания Chartco Великобритании специализируется в радиопередаче морской информации через спутник. Ею введены три новые службы Norshipping в Осло: служба корректуры электронных карт OceanXpress и службы ежедневных и еженедельных новостей для экипажей судов. OceanXpress появилась в результате лицензионного соглашения компании Chartco с Международным центром ENC и региональным центром PRIMAR, что позволяет ей сообщать данные для корректуры ENC через свою спутниковую радиовещательную службу Inmarsat непосредственно на суда в море. Выпуск данной продукции означает начало процесса замены бумажных карт электронными. Специалисты Chartco полагают, что к 2007 г. наличие на борту бумажных карт сократится до 50% от нынешнего уровня. В настоящее время с помощью своего стандартного пакета ChartManager компания Chartco предоставляет корректуры для бумажных навигационных карт посредством цифровых извещений мореплавателям Британского Адмиралтейства и США.

Со временем служба будет охватывать ENC и других ведомств. Благодаря использованию недавно принятого пакета MetManager, мореплавателям стали доступны также метеоданные, основанные на спутниковых системах корректуры карт и прогноза погоды.

С 2001 г. ГС Великобритании выпускает еще один новый цифровой продукт – «Цифровые огни», который считается первым в мире навигационным пособием на компакт-дисках, имеющим службу автоматизированной еженедельной корректуры. Данное пособие содержит ту же информацию, что популярное пособие «Описание огней и туманных сигналов» [3, 6]., но разработано таким образом, чтобы сократить время и усилия, затрачиваемые на корректуру бумажной версии. Оно охватывает все огни и туманные сигналы в Великобритании и северной части Франции (включая нефте- и газодобывающие установки в Северном море) и точно соответствуют тому А «Описания...». Цифровое пособие имеет устройство эффективного и всестороннего поиска.

Пособие представляется на CD-ROM и может быть приобретено на основе ежегодной подписки. Еженедельные корректуры в настоящее время имеются только на CD, хотя ведутся испытания службы корректуры по электронной почте, которая станет доступной для пользователей бесплатно.

ЛИТЕРАТУРА

1. ММО. Эксплуатационные стандарты на электронные картографические навигационные информационные системы (ЭКНИС). Резолюция ММО А.817(19) 1995 г.
2. ECDIS. Neues Verfahren zur Aktualisierung von elektronischen Seekarten. Schiff & Hafen. – 2002. – No 8. – P.16
3. S.Yogendran. ECDIS Approach for Paperless Navigation // Hydro International. – 2001. – November/December. – P. 7–9, 12.
4. Trevor Bailey. Electronic chart systems a bonus or a course? //The Hydrographic Journal. – October 2001. – No 102. – P. 15–18.
5. Peter Wright United Kingdom Hydrographic Office Experience of Producing Electronic Navigational Charts. International Hydrographic Review. – 2002. – Vol. 3. – No 2 (New Series). – P. 45–52.
6. UK Hydrographic Office. UKHO begins work on new archive // The Hydrographic Journal. – January 2003. – No 107. – P. 43.

N. S. Merkushov, A. Y. Obukhov

New Possibilities to Update the Electronic Navigational Charts

Based on the data of the foreign periodicals, the functional capabilities of the electronic charts display hardware intended to support the update process of the electronic navigational charts are described. The functional scheme of organizing the technological process of the automatic updating is presented.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ОКЕАНОГРАФИЯ

ГРНТИ 37.31.27

СВОЙСТВА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИЛИВНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ОКЕАНЕ

Ю. Н. ЖУКОВ
(ГНИНГИ МО РФ)

Дается обоснование гармонических свойств пространственного распределения приливных колебаний в океане.

Информация о пространственном распределении приливных колебаний в океане имеет большое значение для решения как теоретических, так и прикладных задач, связанных с изучением и освоением океана. В океанографии пространственное распределение приливных колебаний на акватории принято отображать для отдельных гармонических составляющих прилива [1, 2]. Приливные карты являются графическим представлением пространственно-временного хода приливного уровня моря в виде двух функций – амплитуд и углов положения. Такие карты получают либо методом изогипс, либо численными методами решения соответствующих гидродинамических уравнений [1].

К настоящему времени приливные карты построены практически для всей акватории океана. Появилась возможность косвенного исследования кинематики приливов по приливному картам. В частности, можно попытаться выявить наличие общих закономерностей, присущих графической структуре приливных карт. В более формальной постановке это вопрос о выявлении класса функций, к которому относятся функции амплитуд и углов положения, отображаемые на приливных картах, а, следовательно, и функция пространственного распределения приливного уровня моря. При выявлении такого класса функций появится возможность корректного сопоставления приливных карт, созданных разными авторами и разными методами. Кроме того, свойства этого класса функций могут быть включены в алгоритмы получения приливных карт в качестве дополнительных условий. Все это приведет к повышению достоверности исследования и учета приливных колебаний.

Проведем рассмотрение сформулированного выше вопроса синтетическим методом. Определим набор кинематических свойств пространственного распределения приливных колебаний, предполагаемых при получении приливных карт. Выявим специфические особенности расположения изоамплитуд и котидалей на приливных картах. Приведем интерпретацию некоторых формальных свойств, присущих этому классу функций.

Приведем необходимые технические пояснения. В прикладной океанографии приливные колебания в фиксированной пространственной точке представляются в виде суммы гармоник. Для отдельной гармонической составляющей можно записать [2]:

$$\zeta(t) = h \cos(\omega t - g), \quad (1)$$

где t – время, h и g – локальные амплитуда и угол положения гармонической составляющей, ω – ее частота. Переход от локального представления к пространственному осуществляется путем перехода от локальной функции (1) к пространственным $h(\phi, \lambda)$ и $g(\phi, \lambda)$, где ϕ и λ – географическая широта и долгота, соответственно. Уравнения для изоамплитуд и котидальных линий будут, соответственно

$$h(\phi, \lambda) = \text{const}; \quad (2)$$

$$g(\phi, \lambda) = \text{const}. \quad (3)$$

При построении приливных карт предполагается, что $h(\phi, \lambda)$ и $g(\phi, \lambda)$ не зависят от времени и являются постоянными величинами. Именно это предположение и дает возможность картировать эти величины. Здесь нужно заметить, что хотя численные оценки h и g показывают их изменчивость, эта изменчивость или ее часть может быть артефактом самих численных методов оценок этих величин.

Функция $g(\phi, \lambda)$ описывает пространственное распределение углов положения. Заметим, что она с точностью до переоцифровки на каждом моменте времени соответствует функции распределения фаз приливных колебаний

$$\varphi(\phi, \lambda, t) = \omega t - g(\phi, \lambda). \quad (4)$$

Действительно, для любого фиксированного момента времени t_0 поле фазы будет равно полю $g(\phi, \lambda)$ с учетом постоянного слагаемого, равного ωt_0 .

Наша задача заключается в определении класса математических функций, к которому можно отнести вещественные функции $h(\phi, \lambda)$ и $g(\phi, \lambda)$.

Перейдем от географических координат (ϕ, λ) к декартовым координатам (x, y) . Воспользуемся стереографической проекцией Земного шара, при которой точка проецирования расположена в точке Южного полюса, а плоскость проецирования соприкасается с Северным полюсом. В результате такого проецирования получим отображение акватории всего океана на плоскость (x, y) . Функции $h(\phi, \lambda)$ и $g(\phi, \lambda)$ преобразуются в функции $h(x, y)$ и $g(x, y)$.

Акватория океана (рис. 1) представляет собой многосвязную область, ограниченную замкнутым контуром Антарктиды и всеми контурами, представляющими материки и острова. Желательно обойти трудности, возникающие с анализом функций, заданных на многосвязных областях. Перейти к односвязной области можно путем соединения контуров берегов разрезами, последовательно соединяющими какие-либо два контура (рис. 2). В этом случае многосвязная акватория океана представляется односвязной областью G , ограниченной единым контуром $\gamma(G)$, $x, y \in G$.

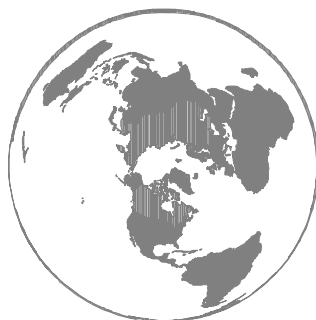


Рис. 1. Замкнутая многосвязная область акватории океана

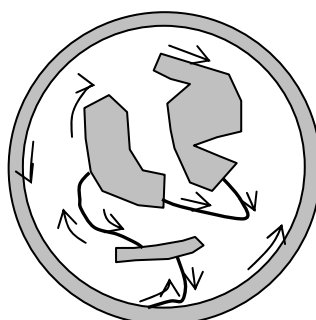


Рис. 2. Иллюстрация проведения разрезов на акватории океана для перехода к односвязной области

Декартова плоскость позволяет перейти к комплексному представлению гармонической составляющей на акватории океана. Для фиксированного момента времени t_0 можно записать

$$z(w, t_0) = \zeta(x, y, t_0) + i \dot{\zeta}(x, y, t_0), \quad (5)$$

или

$$z(w, t_0) = h(x, y) [\cos(\varphi(x, y, t_0)) + i \sin(\varphi(x, y, t_0))]. \quad (6)$$

Здесь $\dot{\zeta}(x, y, t_0)$ – скорость изменения уровня в момент времени t_0 , $w = x + iy$. Переход к комплексной функции позволяет свести вопрос о классе функций $h(\phi, \lambda)$, $g(\phi, \lambda)$, $\zeta(x, y, t_0)$ и $\dot{\zeta}(x, y, t_0)$ к вопросу о классе комплексных функций, к которому принадлежит $z(x, y, t_0)$.

Определим условия, налагаемые на $h(\phi, \lambda)$, $g(\phi, \lambda)$ и $\zeta(x, y, t_0)$, которые всегда явно или неявно предполагаются при изучении приливов. К ним относятся условия гладкости как самих функций $h(\phi, \lambda)$, $g(\phi, \lambda)$ и $\zeta(x, y, t_0)$, так и их градиентов. Во всяком случае, автору неизвестны исследования, в которых эти условия явно или неявно отрицались. Функции $h(x, y)$ и $g(x, y)$ также обладают всеми этими свойствами, так как стереографическое отображение является конформным преобразованием [3].

Заметим, что именно эти условия позволили авторам работы [4] постулировать, что функция $z(w, t_0)$ является однозначной аналитической

функцией, и, как следствие этого предположения, рассматривать функцию $\zeta(x, y, t_0)$ как гармоническую.

Все изложенное достаточно очевидно. Перейдем к исследованию поставленного вопроса. Ответ на него будем искать путем выявления специфических особенностей в графической сети изоамплитуд и котидалей на приливных картах. Примером такого подхода явилось выявление на первых прототипах приливных карт – картах изорахий – точек, в которых сходятся линии изофаз. Эти точки сейчас носят название амфидромических точек. Предметом же нашего рассмотрения будут углы пересечения изоамплитуд и котидалей. Естественно, что для этого необходимо использовать только приливные карты, построенные в равноугольных картографических проекциях. Только в таких проекциях отсутствует искажение углов. Визуальный анализ приливных карт показывает, что для подавляющего числа таких приливных карт изоамплитуды и котидали пересекаются по существу под прямым углом в большинстве акваторий. Это особенно заметно в областях амфидромических точек. Эта, ранее не рассматриваемая, специфическая особенность во взаиморасположении изоамплитуд и котидалей позволит нам определить искомый класс функций, к которому относятся $z(w, t_0)$.



Рис. 3. Приливные карты гармонических составляющих M2 (а), S2 (б) [6].

В качестве примера на рис. 3 и 4 представлены приливные карты двух различных районов океана, построенные в равноугольных проекциях. Приливная карта на рис. 3 получена методом изогипс для акватории с достаточно большим числом береговых пунктов наблюдений. Приливная карта на рис. 4 получена на основе численного моделирования гидродинамических уравнений для акватории с малым числом наблюдений и протяженной открытой границей. На этих приливных картах перпендикулярность изоамплитуд и котидалей выполняется практически на всей акватории, лишь на карте рис. 4 встречаются изолированные области,

на которых обнаруживаются явные нарушения этого свойства. Так, в районе Новосибирских островов и вблизи острова Врангеля отсутствует перпендикулярность между изоамплитудами и котидальями. Более того, в этих районах присутствуют области, ограниченные замкнутыми изоамплитудами. Внутри этих областей нет амфидромических точек и островов. Можно считать, что ситуация, отмечаемая для приливной карты, изображенной на рис. 4, является общей ситуацией, характерной и для всех приливных карт.

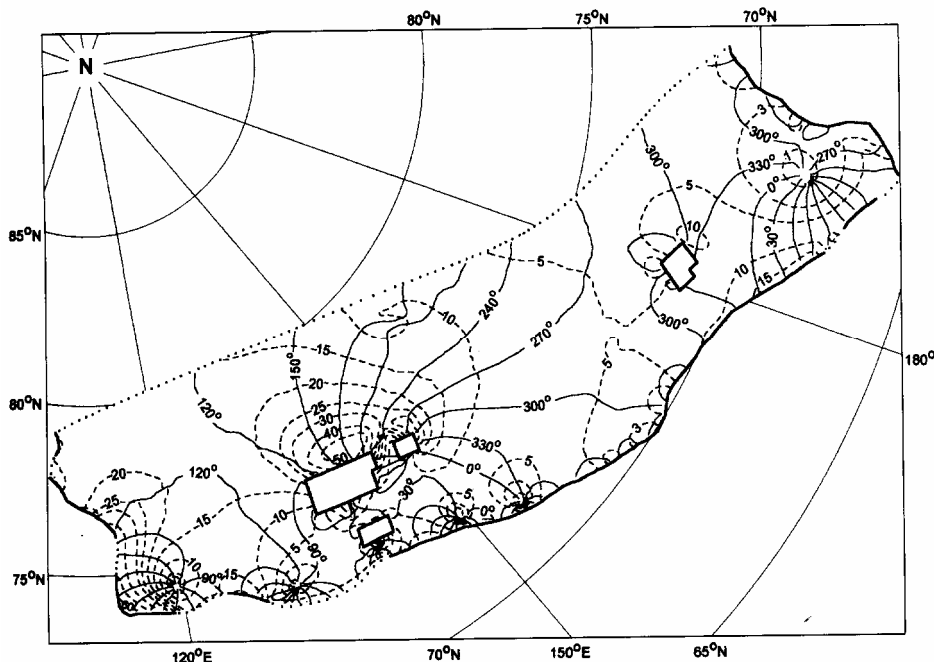


Рис. 4. Приливная карта составляющей M2 [7].

Вначале явно определим класс функций $z(w, t_0)$ для акваторий, в которых наблюдается перпендикулярность изоамплитуд и котидалей, а затем рассмотрим особенности изменения приливного уровня моря в тех областях, где отсутствует свойство перпендикулярности.

Из функций $h(x, y)$ и $g(x, y)$ образуем комплексную функцию

$$f(w) = \ln(z(w)) = \ln|z(w)| + i \arg(z(w)) = \ln h(x, y) + ig(x, y) \quad (7)$$

при некотором фиксированном t_0 , $h(x, y) \geq 0$ как амплитуда гармонической составляющей. Если функция $z(w)$ аналитическая в некоторой области, то функция (7) там же, где и функция $z(w)$, тоже будет аналитической, за исключением точек, являющихся нулями функции $z(w)$. Из теории функций комплексного переменного [5] следует, что если изолинии действительной и комплексной функций перпендикулярны друг другу, то действительная и мнимая части являются гармоническими функциями. Это характеристическое свойство гармонических функций следует из условий Коши-Римана, т. е.

$$\frac{\partial \ln h(x, y)}{\partial x} = \frac{\partial g(x, y)}{\partial y}; \quad \frac{\partial \ln h(x, y)}{\partial y} = -\frac{\partial g(x, y)}{\partial x}. \quad (8)$$

Семейство кривых $\ln|h(x, y)| = const$ ничем не отличается от семейства $h(x, y) = const$, так как функция $h(x, y)$ в смысле возрастания и убывания изменяется так же, как и $\ln h(x, y)$. Таким образом, из перпендикулярности изоамплитуд и котидалей следует, что функции $f(w)$, а, следовательно, и $z(w)$ являются аналитическими функциями. Действительная и мнимые части аналитических функций удовлетворяют уравнению Лапласа, что также является характеристическим свойством [5]. Следовательно

$$\Delta \ln h(x, y) = 0; \quad (9)$$

$$\Delta g(x, y) = 0; \quad (10)$$

$$\Delta \zeta(x, y, t_0) = 0; \quad (11)$$

$$\Delta \dot{\zeta}(x, y, t_0) = 0, \quad (12)$$

где Δ – оператор Лапласа.

Изложение будет неполным, если не привести обоснование гармоничности формы приливной поверхности уровня моря исходя из независимых посылок. Будем считать, что изменение площади океана G , длины и положения контура $\gamma(G)$ за время приливного цикла пренебрежимо мало, т. е. контур $\gamma(G)$ фиксирован. В момент времени t_0 под действием поперечной силы поверхность океана выведена из состояния устойчивого равновесия и принимает форму приливной поверхности. Определим потенциальную энергию приливной формы поверхности океана как величину пропорциональную увеличению площади поверхности относительно ее невозмущенного среднего состояния. В соответствии с теорией поверхностей дифференциальной геометрии [3] величина этой потенциальной энергии для гармонической составляющей $\zeta(x, y, t_0)$ имеет вид

$$\iint_G \left[1 + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} dx dy - \sigma(G) \quad (13)$$

где $\sigma(G)$ – площадь акватории океана G .

В реальном океане частные производные $\partial \zeta / \partial x$ и $\partial \zeta / \partial y$ достаточно малы. Поэтому с точностью до величины более высокого порядка малости по сравнению с квадратами частных производных функции $\zeta(x, y, t_0)$ справедливо приближенное равенство

$$\left[1 + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial y} \right)^2 \right]^{1/2} \approx 1 + \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{\partial \zeta}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial y} \right)^2 \right\}. \quad (14)$$

Следовательно, можно с указанной степенью точности считать, что определенная выше потенциальная энергия приливной формы поверхности океана для гармонической составляющей пропорциональна интегралу

$$\iint_G \left\{ \left(\frac{\partial \zeta}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \zeta}{\partial y} \right)^2 \right\} dx dy. \quad (15)$$

Интеграл (15) в точности является интегралом типа Дирихле [5]. Существование (конечности суммы) этого интеграла не противоречит физическим представлениям о пространственно-временном распределении гармонической составляющей.

Если теперь предположить, что в каждый момент времени форма приливной поверхности для гармонической составляющей соответствует состоянию океана достаточно близкому к устойчивому состоянию равновесия, то можно воспользоваться принципом Дирихле [5]. Этот принцип утверждает, что в таких условиях интеграл (15) будет достигать минимального значения. Среди множества всех гладких функций, дающих минимум интеграла (15), класс гармонических функций дает абсолютный минимум интегралу (15). Поэтому с достаточной для практических задач точностью функцию $\zeta(x, y, t_0)$ можно аппроксимировать некоторой гармонической функцией. Момент времени t_0 – произвольный, а, следовательно, в любой момент времени $\zeta(x, y, t)$ – гармоническая функция. Конкретный вид гармонической функции будет меняться в течение периода гармонической составляющей. Явный вид гармонической функции можно найти путем решения краевой задачи для уравнения Лапласа по заданным значениям $\zeta_{\gamma(G)}(x, y, t_0)$ на границе $\gamma(G)$, так как гармонические функции удовлетворяют уравнению Лапласа.

Приведенные рассуждения согласуются с ранее сделанными выводами. Под функцией $z(w, t_0)$ можно понимать суммарный приливной уровень. Следовательно, он тоже является гармонической функцией. Этот же вывод можно обосновать, используя свойства гармонических функций – сумма гармонических функций является гармонической функцией [5].

Теперь можно выявить некоторые кинематические свойства в пространственном распределении приливных колебаний, используя теоремы, справедливые для гармонических и аналитических функций. Амфидромические точки являются нулями функции (7), а значит, – (6) или (5). Из теоремы единственности для (однозначных) аналитических функций вытекает, что амфидромические точки являются изолированными точками и не могут образовывать непрерывные подобласти или линии на акватории. Положение нулей аналитической функции определяется только фазовыми соотношениями. Теорема Коши [8], например, определяет число амфидромических точек в океане или односвязной части акватории океана. В «приливных» терминах эта теорема имеет следующий вид: число амфидромических точек на акватории конечно и равно суммарному изменению фазы прилива при обходе акватории, деленному на 2π . Гармоническая функция имеет максимальные и минимальные значения только на границе области. Из этого следует, что максимальные значения амплитуд гармонических составляющих на приливных картах должны наблюдаться только у берегов, а области, ограниченные замкнутыми изоамплитудами и не включающие амфидромические точки или острова, должны отсутствовать. Изоамплитуды и котидали должны всегда пересекаться под прямым углом. Наблюдаются ли эти свойства в построенных приливных картах? Визуальный анализ показывает, что на большинстве приливных карт изоамплитуды и котидали имеют указанные свойства.

Из теоремы Руше [3] следует, что если $z_1(w)$ и $z_2(w)$ – приливные карты различных гармонических составляющих для некоторой акватории и если $h_2(w) < h_1(w) \neq 0$ на контуре акватории, то для суммы этих гармонических составляющих число амфидромических точек равно числу амфидромических точек для приливной карты $z_1(w)$. Применение теории аналитических функций позволяет получить формулы аппроксимации приливного уровня моря только по известным координатам амфидромических точек. Кроме того, из этой теории следует, что число амфидромических точек увеличивается при приближении к берегу.

Перейдем к рассмотрению формы уровня моря в областях, где по данным приливных карт нарушается гармоничность. Для простоты рассмотрим поведение уровня в области, ограниченной замкнутой изоамплитудой, без амфидромических точек и островов (рис. 5). Выберем центральную котидаль, проходящую через локальный максимум амплитуд, и рассмотрим форму уровня вдоль линии, перпендикулярной этой котидали. Очевидно, что в таких областях для моментов времени, близких к моментам полной и малой вод, наблюдается локальный подъем или опускание водной поверхности (рис. 6а). Чтобы масса воды в океане за приливной период оставалась постоянной, для этих моментов времени на других акваториях должны появляться области с обратным ходом уровня. Если бы такие области соседствовали друг с другом, это было бы естественно, но они изолированы друг от друга, разделены областями с гармоническими свойствами. Для моментов времени, когда уровень на линии центральной котидали близок к среднему значению (рис. 6б), наблюдаются значительные по сравнению с окружающими областями локальные градиенты уровня. С математической точки зрения, функция гладкая, однако, с физической точки зрения, – это разрыв в пространственном распределении уровня.

Проведенный анализ частного случая свидетельствует об экзотическом поведении уровня в областях с негармоническими свойствами. В общем случае при отсутствии перпендикулярности изоамплитуд и котидалей (изоамплитуды незамкнуты) характер поведения приливного уровня моря будет еще более сложным.

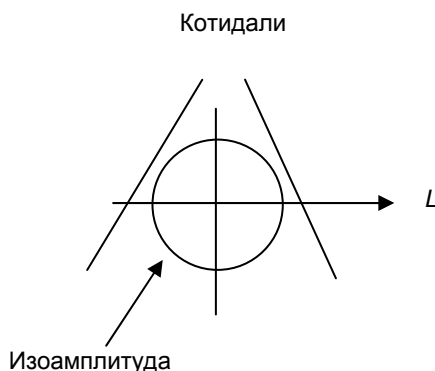


Рис. 5. Схема участка приливной карты с негармоническими свойствами

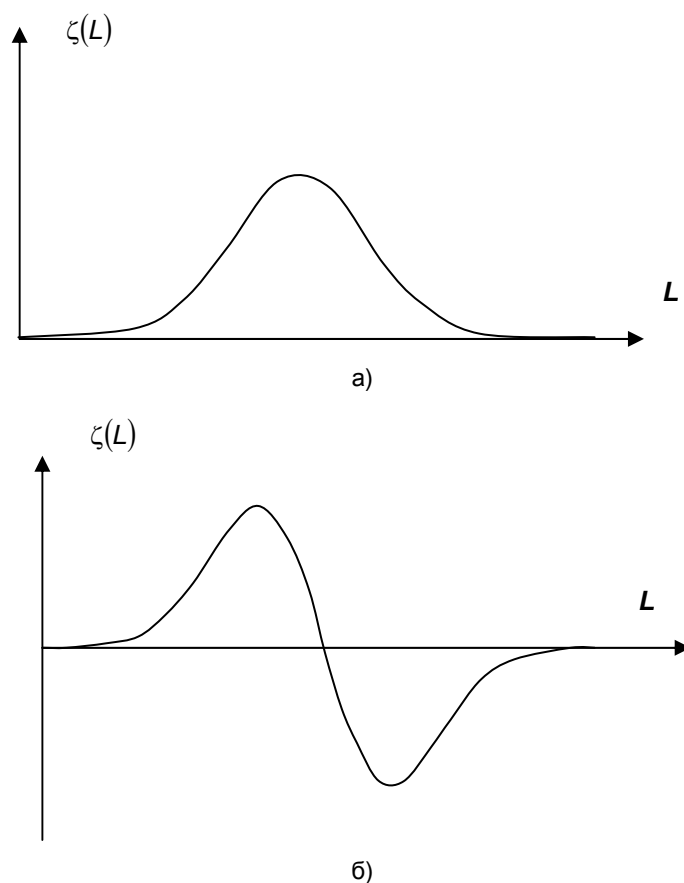


Рис. 6. Типичные формы уровня на момент времени, когда на линии центральной котидали наблюдаются значения 0 (а) и $\pi/2$ (б) фазы гармонической составляющей

Таким образом, показано, что графическая структура изоамплитуд и котидалей на приливных картах свидетельствует в пользу гармонического характера пространственного распределения уровня моря для гармонических составляющих. Следовательно, при описании пространственного распределения приливных колебаний можно использовать все свойства гармонических функций и свойства однозначных аналитических функций, известные в теории функций комплексного переменного.

Однако на приливных картах встречаются изолированные области акваторий с явно негармоническим характером, на которых локальная кинематика формы уровня резко отличается от кинематики уровня на окружающих ее акваториях. Существуют только две возможности: либо эти области являются артефактами методов получения приливных карт, либо они в действительности существуют в реальном океане. Если справедливо второе, то необходимо основные усилия океанологов направить на изучение этих областей для выявления причин, их вызывающих. Полученные результаты позволят прояснить кинематику приливных колебаний во всем океане.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов К. Т. Приливы мирового океана. – М., Наука, 1975. – 116 с.
2. Некрасов А. В. Энергия океанских приливов. – Л., ГИМИЗ, 1990. – 288 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. – М., Наука, 1978. – 832 с.
4. Жуков Ю. Н., Федорова Е. В. Аналитические принципы расчета приливных карт на основе функций комплексного переменного. // Навигация и гидрография. – 2001. – №11. – С. 147–150.
5. Стоилов С. Теория функций комплексного переменного. – М., Иностранная литература, 1962. – Т.1. – 364 с. – Т. 2. – 416 с.
6. Богданов К. Т., Васильев А. С., Федорова Е. В. Распространение приливных волн и приливные колебания уровня на акватории Белого моря. //Тр. ГОИН. – 2001. – Вып. 207. – С. 122–130.
7. Androsov A. A., Liberman Y. M., Nekrasov A.V., Romanenkov D.A., Voltzinger N.E. Numerical study of the M2 tide on the North Siberian Shelf // Continental shelf research. – 1998. – Vol. 18. P. 715–738.
8. Смирнов В. И. Курс высшей математики – М., Наука, 1969. – Т. 3. –Ч. 2. – 672 с.

Y. N. Zhukov

Properties of Spatial Distribution of Tidal Variations in the Ocean

The harmonic character of spatial distribution of tidal variations in the ocean is proved.

ГРНТИ 551.508.9

**ОБОСНОВАНИЕ МАСШТАБА КАРТЫ-ОСНОВЫ ДЛЯ КАРТИРОВАНИЯ
КЛИМАТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Ю. Н. ЖУКОВ
(ГНИНГИ МО РФ)

Предложен способ оценки допустимого масштаба карты-основы для картирования климатических полей гидрометеорологических характеристик, который учитывает число и распределение точек измерения по картируемой области, а также пространственно-временную изменчивость картируемого поля характеристик.

С развитием ГИС-технологий широкое распространение получило картирование гидрометеорологических характеристик. Наиболее часто строят климатические карты. Для визуальной привязки гидрометеорологической информации используют готовые карты соответствующего участка рельефа Земли. Эти последние карты носят название карт-основ. На практике наблюдается тенденция к использованию наиболее крупномасштабных карт-основ без обоснования масштаба, согласованного с климатической информацией. Этим нарушается один из основных принципов картографии – согласованность точностных характеристик всех полей, представленных на карте.

В картографии разработка математической основы карты в обязательном порядке включает этап выбора и обоснования масштаба карты [1]. В картографической практике обоснование масштаба зависит от заданной точности измерений по карте и определяется среднеквадратической ошибкой в положении на карте объектов и среднеквадратической ошибкой в определении координат отдельных точек [1]. Картографический способ определения масштаба карты применяется, когда исходная информация имеет достаточно высокую степень географической привязки. В случае

климатической информации это условие не выполняется. Специфика гидрометеорологической информации, особенно для морских акваторий, заключается в том, что имеющиеся наблюдения редки и неравномерно распределены во времени и в пространстве. Оценка среднеарифметических значений какой-либо гидрометеорологической характеристики по таким наблюдениям носит довольно приближенный характер. Определение масштаба карты-основы, согласованного с точностью среднеарифметических значений гидрометеорологических характеристик, картируемых на климатических картах, является предметом рассмотрения данной статьи.

В принятой практике построения климатических карт поле среднеарифметических значений гидрометеорологической характеристики для некоторого интервала времени рассчитывается в виде дискретного набора значений для «квадратов», регулярно покрывающих картируемую акваторию, т. е. определится среднее значение по всем измерениям в некотором пространственно-временном «кубе». Обычно пространственно-временные размеры «куба» определяют исходя из «достаточного» числа наблюдений. Критерием достаточности служат статистические способы расчета среднеквадратической погрешности оценки математического ожидания для стационарной случайной величины в предположении статистической независимости и равномерной распределенности (в вероятностном смысле) точек измерений. Рассчитанные климатические значения относят к центрам «квадратов», картируют на карте-основе и строят изолинии. Такая технология построения климатических карт некорректна по двум причинам, кроме той, которая уже была указана выше (несогласование масштабов климатической информации и карты-основы).

Во-первых, некорректно использовать методы математической статистики. Нет никаких оснований предполагать, что для рассматриваемой гидрометеорологической характеристики существует математическое ожидание. Требование существования математического ожидания является критическим условием применимости методов математической статистики. Согласно усиленному закону больших чисел Колмогорова для независимых одинаково распределенных случайных величин X_1, X_2, X_3, \dots последовательность

$$\bar{X}_n = (X_1 + X_2 + \dots + X_n)/n$$

сходится к некоторой постоянной M с вероятностью 1 тогда и только тогда, когда у величин X_i существуют математические ожидания. Эти математические ожидания равны как раз M , то есть если M существует, то с вероятностью 1 последовательность \bar{X}_n очень «регулярна»: ее единственной предельной точкой является M . Если M не существует, то \bar{X}_n чрезвычайно «иррегулярна». В этом случае множество предельных точек последовательности \bar{X}_n может быть произвольным (неслучайным) замкнутым множеством, содержащим $-\infty$ и ∞ с вероятностью 1. Поэтому множество предельных точек может совпадать со всей числовой прямой. Это известный парадокс Кестена, доказанный в 1970 г. [2].

Во-вторых, в существующей практике построения климатических карт не рассматривается пространственное «разрешение» получаемой таким образом климатической информации. Под пространственным разрешением понимается превышение разности между средними значениями в двух смежных квадратах по сравнению с ошибками в оценках этих средних. Если эта разность меньше ошибок, то в действительности картируются ошибки, а не среднеарифметические значения. Пояснения даны на рис. 1. Очевидно, что величина разрешения связана с пространственно-временной изменчивостью поля гидрометеорологической характеристики.

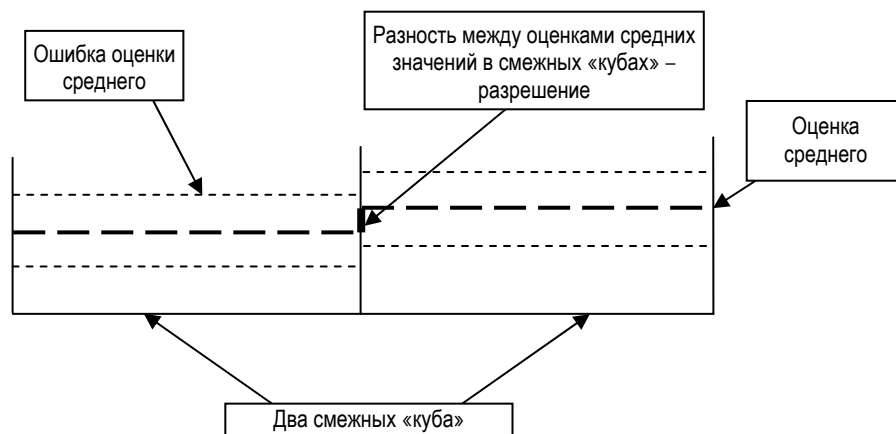


Рис. 1. Иллюстрация к согласованию пространственного разрешения климатических данных и ошибки в оценке среднего арифметического в пространственно-временном «кубе»

В предлагаемом способе оценки масштаба карты-основы учитываются высказанные замечания. Требуемый масштаб определяется таким пространственным масштабом «куба», который позволяет оценить среднее арифметическое значение с точностью, меньшей или равной пространственному разрешению. Точность расчета среднего значения в «кубе» определяется с учетом неравномерности распределения временных и географических координат наблюдений по объему «куба», числом наблюдений и пространственно-временной изменчивостью гидрометеорологической характеристики в «кубе». В свою очередь, величина пространственного разрешения определяется пространственно-временной изменчивостью поля гидрометеорологической характеристики. Пространственно-временное распределение гидрометеорологической характеристики эксплицируется в виде детерминированной действительной функции математического анализа вместо того, чтобы пытаться справиться с «неосязаемым понятием случайности», представляя ее в виде случайной функции. Задачей является получение оценки размера ребра «куба», выраженного в линейных единицах, значение которого определяет корректный масштаб климатической карты.

Определим класс функций, к которому принадлежит пространственно-временное распределение гидрометеорологической характеристики $\varphi(\vec{r})$, где \vec{r} – пространственно-временной вектор. Для этого определим налагаемые на

функцию $\varphi(\bar{r})$ условия. Будем считать, что $\varphi(\bar{r})$ является непрерывной функцией. Это естественное допущение. Резкие скачкообразные изменения в значениях гидрометеорологической характеристики (так называемые фронтальные разделы) связаны с границей разрешающей способности измерительных устройств и при увеличении разрешения не являются таковыми. Непрерывность функции, как известно, заключается в том, что $|\varphi(\bar{r}_2) - \varphi(\bar{r}_1)|$ может быть сделан сколь угодно малым, когда $|\bar{r}_2 - \bar{r}_1|$ достаточно мал, т. е. что приращения аргумента и функции одновременно стремятся нулю. Вопрос о порядке малости приращения функции по отношению к приращению аргумента при этом не рассматривается; этот порядок может быть каким угодно. Однако многие свойства функции, например разложение ее в различного рода ряды и быстрота сходимости этих рядов, представление интегралами и т. п., тесным образом связаны с порядком малости модуля непрерывности функции. (Модулем непрерывности функции $\varphi(t)$ называется функция $\omega(\delta) = \sup_{\delta} |\varphi(t_2) - \varphi(t_1)|$ для $|t_2 - t_1| < \delta$). Поэтому в

математике обширное множество непрерывных функций разбито на классы в зависимости от порядка малости модуля непрерывности. Поля гидрометеорологических характеристик относятся к классу функций, для которых модуль непрерывности есть степенная функция от приращения аргумента [3]:

$$|\varphi(\bar{r}_2) - \varphi(\bar{r}_1)| < A |\bar{r}_2 - \bar{r}_1|^\lambda, \quad (1)$$

где A и λ – положительные числа. A называется постоянной Гёльдера, а λ – показателем Гёльдера ($0 < \lambda \leq 1$). Если $\lambda = 1$, то условие Гёльдера совпадает с известным условием Липшица. Это очень широкий класс функций. Он включает все гладкие функции, которыми обычно аппроксимируются гидрометеорологические поля, но значительно шире класса гладких функций. Достаточно сказать, что мера Лебега гладких функций в этом классе равна нулю. Заметим, что изменчивость уменьшается с ростом значения λ . Оценки значения λ можно получить различными способами, изложенными в работе [3].

Для решения поставленной задачи предположим, что изменчивость гидрометеорологической характеристики на всей картируемой акватории однородна и изотропна. Это предположение упрощает нашу задачу, так как приводит к независимости A , λ и δ от \bar{r} . Заметим, что анизотропность – искусственное привнесенное свойство поля. Оно является проявлением несогласованного с изменчивостью поля выбора координатной системы и единиц измерения на ней. Свойство изотропности можно приближенно получить путем какого-либо геометрического преобразования пространственно-временных координат, изменяя масштабы осей так, чтобы изменчивость по ним имела одинаковое значение. В противоположность свойству изотропности неоднородность является внутренним свойством изменчивости. Неоднородное поле нельзя свести к однородному, да в этом и нет необходимости. Ведь цель картографирования именно в описании неоднородности полей. Однако законы картографирования требуют

стремиться к однородности ошибок картирования. Поэтому на практике необходимо использовать единое значение λ .

Введем величину пространственно-временного разрешения средних значений (Δ), вычисленных в некотором пространственно-временном «кубе» с ребром δ . Величина Δ зависит от δ и λ . Оценку зависимости $\Delta(\delta, \lambda)$ можно получить как оценку коэффициентов в разложении пространственно-временного поля гидрометеорологической характеристики по функциям Хаара [4]. Функцию из класса (1) можно представить в виде разложения по функциям Хаара. Значение коэффициента $c_n(\varphi)$ в этом разложении соответствует разности средних значений в смежных «кубах». Нормированный размер ребра «куба» при этом представлении равен $\delta = 1/2^n$, $n = 2, 3, \dots$. Для функций класса (1) справедливо следующее неравенство [4]:

$$\Delta(\delta, \lambda) = |c_n(\varphi)| \leq (2n)^{-1/2} \omega\left(\frac{1}{n}\right), \quad n > 1. \quad (2)$$

Определим величину погрешности σ в оценке среднего арифметического значения φ в кубе с ребром δ . Для нормированного «куба» погрешность среднеарифметического значения можно записать в виде

$$\sigma = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \varphi(\vec{r}_i) - \int_V \varphi(v) dv. \quad (3)$$

Здесь N – число наблюдений в «кубе» единичного объема V , $\varphi(v)$ – реальное распределение гидрометеорологической характеристики в «кубе». Очевидно, что выражение (3) определяет погрешность оценки интеграла функции по известным данным в дискретных точках. В работе [5] показано, что

$$|\sigma| \leq \frac{D(\vec{r}_0, \dots, \vec{r}_{N-1})}{N} W, \quad (4)$$

где D – отклонение сетки наблюдений, характеризующее неравномерность распределения точек наблюдений в V , а W – вариация φ в V :

$$W = \int_V |\varphi'(v)| dv. \quad (5)$$

В первом приближении W можно оценить с помощью следующего выражения из работы [4]:

$$W(\delta) \leq \frac{1}{\delta} \omega(\delta). \quad (6)$$

Величина D оценивает максимальное отклонение фактического расположения точек наблюдения от идеально равномерного. Значения D лежат в диапазоне $(0, N]$. Для того чтобы набор точек наблюдений был равномерно распределен (в детерминированном смысле) в V , необходимо и достаточно, чтобы при $N \rightarrow \infty$

$$\frac{D(\vec{r}_0, \dots, \vec{r}_N)}{N} \rightarrow 0. \quad (7)$$

В гидрометеорологической практике обычно используются регулярные сетки. Лучшими из них в смысле равномерного распределения точек будут «кубические» [5]. Для них

$$D = N^{1-1/k}/2, \quad (8)$$

где k – размерность «куба». Это далеко не самые эффективные сетки для вычисления среднего арифметического. Уже при $k=2$ порядок D оказывается равным \sqrt{N} , такой же порядок соответствует случайным сеткам, состоящим из N независимых случайных точек, равномерно распределенных (в вероятностном смысле). Значит, при $k \geq 3$ кубические сетки асимптотически (т. е. при $N \rightarrow \infty$) хуже случайных. В тоже время существуют сетки, дающие значительно лучшие точности вычисления среднего арифметического с погрешностями порядка $N^{-1} \log N$ [5]. Практические способы вычисления D можно найти в работе [5].

Погрешности Δ и σ являются искомыми параметрами, по которым можно получить оценку наибольшего масштаба климатической карты. Для этого масштаба эти погрешности должны быть равны между собой: $\Delta = \sigma$. Используя выражения (1), (2), (4), (6) и учитывая, что $\delta = 1/2^n$, можно показать, что это условие выполняется при

$$\frac{\sqrt{2} D n^{\lambda+1/2} 2^{n(1-\lambda)}}{N} = 1. \quad (9)$$

Решение этого уравнения относительно n дает

$$n = -\frac{(1+2\lambda)Lw(x)}{2\ln 2 \cdot (\lambda-1)}, \quad (11)$$

где

$Lw(x)$ – функция Ламберта – решение трансцендентного уравнения вида $w \exp(w) = x$;

$$x = -\frac{2\ln 2(\lambda-1)\exp\left(\frac{2\ln(1/2\theta)+\ln 2}{1+2\lambda}\right)}{(1+2\lambda)};$$

$$\theta = D/N.$$

На рис. 2 представлен график зависимости (11).

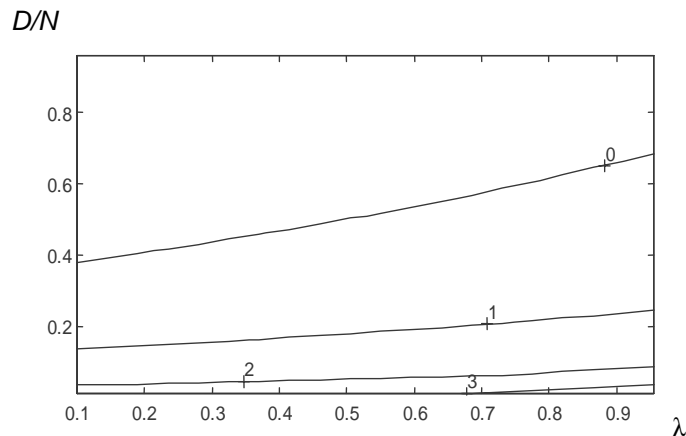


Рис. 2. График $\log_2 n$ зависимости (11)

Конкретизируем решение для кубических сеток. Подставив (8) в (9), получим условие для определения масштаба карты для наблюдений на кубической сетке в виде

$$\frac{N^{-1/3} n^{\lambda+1/2} 2^{n(1-\lambda)}}{\sqrt{2}} = 1. \quad (12)$$

Решение уравнения (12) относительно n имеет вид, аналогичный (11), с другим выражением для x :

$$x = -\frac{2 \ln 2 (\lambda - 1) \exp\left(\frac{2 \ln(N^{1/3}) + \ln 2}{1 + 2\lambda}\right)}{(1 + 2\lambda)}.$$

На рис. 3 представлен график зависимости (12).

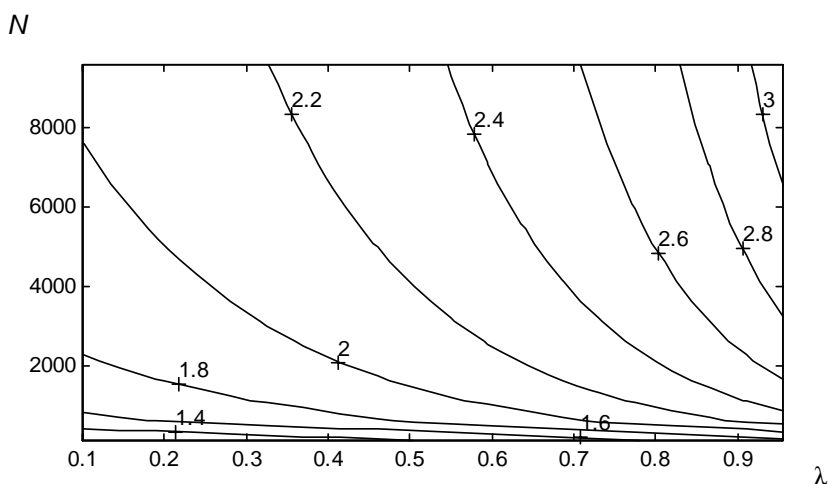


Рис. 3. График $\log_2 n$ зависимости (12)

Представленные результаты свидетельствуют о том, что:

- величина масштаба карты-основы в несколько большей степени определяется распределением положения точек наблюдений, чем изменчивостью гидрометеорологической характеристики;
- приведенные формулы могут использоваться для разработки практической методики оценки максимально допустимого масштаба карт-основ для построения климатических карт и согласования многослойных тематических карт с климатической гидрометеорологической информацией в ГИС;
- предложенный подход дает возможность решить задачу определения наиболее «эффективной» сетки для расчета среднего арифметического.

ЛИТЕРАТУРА

1. Салищев К. А. Проектирование и составление карт. – М.: Изд-во МГУ, 1978. – 240 с.
2. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. – Т. 1. – М.: Мир, 1984. – 527 с.
3. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: ИКИ, 2002. – 655 с.
4. Кашин Б. С., Саакян А. А Ортогональные ряды. – М.: АФЦ, 1999. – 550 с.
5. Соболев И. М. Многомерные квадратурные формулы и функции Хаара. – М.: Наука, 1969. – 288 с.

Y. N. Zhukov

Substantiation for Base Map Scale Used to Map the Climatic Information

The method that can be used to evaluate the allowable base map scale for mapping the climatic fields of hydrometeorological characteristics is proposed. The method takes into account the number and distribution of measurement points over the mapped area, as well as the spatial-temporal variability of the mapped field characteristics.

ГРНТИ 37.31.27

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДВУХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ГАРМОНИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ ПРИЛИВНЫХ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ

С. И. МАСТРЮКОВ
(ГНИНГИ МО РФ)

В статье выполнен анализ двух методов расчета гармонических постоянных приливных колебаний уровня моря, проведена оценка различных методов расчета астрономических параметров, используемых при применении классических методов и показана их идентичность. Подробно изложен классический метод гармонического анализа Дарвина, основанный на ручных вычислениях, и предложен автоматизированный метод. Показано, что точность разработанного автоматизированного метода Дарвина и программного обеспечения, реализующего метод наименьших квадратов, не уступает точности ручного метода анализа Дарвина, применяемого в практике ГС ВМФ. Предложено продолжить работы по созданию нормативно-методической основы расчета гармонических постоянных и предвычислению приливов при решении задач ГС ВМФ.

Введение

Для информационной поддержки планирования и проведения промерных работ в приливных морях, для обеспечения навигационной безопасности общего мореплавания, планирования морских транспортных операций, проектирования гидротехнических сооружений и решения ряда других задач необходимы сведения о приливных колебаниях уровня моря.

В океанологии для анализа данных, полученных в результате наблюдений за приливными колебаниями уровня моря, используется ряд методов, среди которых выделим классический метод гармонического анализа, разработанный Томсоном в 1867 г. и в дальнейшем детально развитый Дарвином в 1907 г. [1] и Дудсоном в 1921 г. [2], а также метод наименьших квадратов [3, 4], метод Фурье, спектральный анализ, и метод частотных характеристик [5, 6].

В отечественной практике для анализа 30-суточных серий наблюдений наиболее широко используется метод Дарвина [7, 8, 2], а для анализа 15-суточных наблюдений – как метод Дарвина, так и метод Дудсона [7, 8, 2]. Для анализа 7-суточной серии наблюдений наиболее точным считается [5] метод гармонического анализа, разработанный Франко [9], для анализа одно- и двухсуточных серий наблюдений используются различные упрощенные методы гармонического анализа, в том числе адмиралтейский [5, 7, 8].

Метод наименьших квадратов для анализа приливов стал использоваться сравнительно недавно, и его применение связано с развитием вычислительной техники [3, 4]. На основе этого метода Фореманом [4] разработано руководство, используемое в Канаде для анализа и предвычисления приливов. Напротив, аналогичное руководство, разработанное Шуреманом в 1924 г. и используемое в США, основано на классических методах гармонического анализа, причем руководство это неоднократно переиздавалось, последний раз в 1976 г.

В единственном отечественном нормативно-методическом документе по расчету гармонических постоянных, каковым являются Правила Гидрографической службы №35 «Приведение глубин к уровню» [10], для анализа 30-суточных серий уровенных наблюдений рекомендовано применение метода Дарвина. Отметим, однако, что ПГС №35 являются руководством только для подразделений ГС ВМФ и предназначены для расчета ограниченного числа гармоник по 30-суточной серии наблюдений.

Руководящего документа, регламентирующего расчет гармонических постоянных для составления таблиц приливов, издаваемых ГУНИО МО, насколько известно автору, нет. Эти таблицы рассчитываются ГОИН и ДВНИИГМИ Росгидромета, которые и несут ответственность за содержание таблиц приливов. Очевидно, что для составления таблиц приливов 11 гармонических постоянных, которые можно получить в результате анализа месячной серии наблюдений, может оказаться недостаточно. Отметим также, что, как и в ряде других областей океанологии, работы по оценке точности разработанных методов анализа и предвычисления приливов практически отсутствуют.

Применение методов гармонического анализа является очень трудоемким. Так, согласно руководству [5] ручной анализ годовой серии наблюдений требует трех месяцев работы двух квалифицированных вычислителей. В практике ГС ВМФ методы расчета приливов в отдельных частях автоматизированы, но единого методического документа, регламентирующего их применение нет. Поэтому до сих пор актуальными является разработка как автоматизированных методов расчета гармонических постоянных, так и нормативно-методической основы их применения.

Целью настоящей работы является разработка программного обеспечения, реализующего наиболее распространенные методы анализа приливов и их сравнительный анализ. Для сравнения выбраны метод Дарвина и метод наименьших квадратов.

В качестве показателя точности методов приняты погрешности наступления моментов малых и полных вод (МВ и ПВ) по исходному и контрольному рядам измерений.

Известно, что гармонические постоянные являются квазипостоянными. Еще Дудсон по результатам анализа годовых серий наблюдений определил, что за 30 лет в Бомбее и С.-Джонсе амплитуда волны M_2 изменилась на 1 см и 3 см, а фаза на 2° и 1° соответственно [1]. При этом в изменении гармонических постоянных выявлена долгопериодная изменчивость, связанная, например, с астрономическими факторами, и случайная. Первую из них можно учесть, вторая не учитывается. Не останавливаясь на анализе

причин случайной изменчивости, отметим, что для снижения ее роли при сравнении методов принято, что контрольный ряд наблюдений должен отстоять от исходного на срок до 5 лет.

Для решения поставленной задачи потребовалось:

- разработать программное обеспечение, реализующее метод Дарвина и метод наименьших квадратов;
- верифицировать метод Дарвина по опубликованным контрольным примерам;
- разработать программное обеспечение предвычисления приливов и расчета моментов наступления ПВ и МВ;
- провести сравнительный анализ погрешности расчета моментов ПВ и МВ по двум методам.

Общие сведения о гармоническом анализе приливов

Теоретическим обоснованием вычисления гармонических постоянных является гармонический анализ [7, 8, 1, 2]. Сложная кривая изменения уровня представляется в виде суммы соответствующих косинусоид вида

$$Z=R\cos(qt-\xi) \quad (1)$$

где z – высота уровня;
 R – амплитуда волны;
 q – угловая скорость волны;
 t – среднее солнечное время;
 ξ – начальная фаза волны.

В выражении (1) величины R и ξ характеризуют местные физико-географические условия приливных колебаний уровня и влияние астрономических факторов, в связи с чем они периодически меняют свои значения.

Для выделения постоянных величин, которые характеризовали бы только местные физико-географические условия распространения составляющих волн прилива, вводят обозначения: $R=f$, $\xi=g-(V_0+u)$,

тогда выражение (1) принимает вид:

$$z=fH\cos(qt+(V_0+u)-g), \quad (2)$$

где f – редуцированный астрономический множитель;
 H – постоянная амплитуда, характеризующая амплитуду данного простого колебания;
 q – угловая скорость светила;
 $V_0 + u$ – начальный астрономический аргумент;
 g – угол положения волны.

Величины H и g каждой волны рассчитываются по данным наблюдений за уровнем. Так как для каждого пункта эти величины квазипостоянны, они называются гармоническими постоянными (гармониками).

Метод Дарвина

Метод Дарвина позволяет рассчитать по 30-суточным рядам гармонические постоянные 11 основных волн приливных колебаний. Обозначение волн, формула для расчета начальных астрономических аргументов (V_0+u) , необходимое число суток волны и угловая скорость этих волн приведены в табл. 1.

Таблица 1

Главные составляющие волн прилива

Волна	V_0+u	Продолжительность наблюдений, сутки	Угловая скорость волны (град/ч)
M_2	$2h_0-2S_0+2\xi-2v$	29	28,9841042
S_2	0	30	30,0000000
M_2	$2h_0-3S_0+P_0+2\xi-2v$	26	28,4397295
K_2	$2h_0-2v''$	27	30,0821373
K_1	$h_0+90^\circ-v'$	27	15,0410684
O_1	$h_0-2S_0+270^\circ+2\xi-v$	25	13,9430356
P_1	$-h_0+270^\circ$	29	14,9589314
O_1	$h_0-3S_0+P_0+270^\circ+2\xi-v$	24	13,9990356
M_4	$4h_0-4S_0+4\xi-4v$	29	57,9682084
MS_4	$2h_0-2S_0+2\xi-2v$	29	58,9841042
M_6	$6h_0-6S_0+6\xi-6v$	29	86,9523127

Обозначения: h_0 – средняя долгота Солнца;
 S_0 – средняя долгота Луны;
 P_0 – средняя долгота лунного перигея;
 ξ, v, v', v'' – малые вспомогательные углы.

В отечественной литературе наиболее подробно с необходимыми пояснениями метод изложен в работе [7], там же приведен контрольный пример расчета. Хотя, к сожалению, в этом примере, как и в примере, приведенном в ПГС 35 [10], не все контрольные суммы соответствуют исходным данным.

Ниже мы остановимся на практических приемах реализации этого метода с точки зрения возможности их автоматизации на различных этапах вычислений. Наличие некоторых несоответствий в расчетных формулах метода Дарвина, изложенного в отечественных публикациях, заставляет подробно описать сам метод.

1 этап. Расчет ежечасных средних ординат волн

Расчет гармонических постоянных начинается с заполнения таблицы ежечасных наблюдений за уровнем моря (обычно по поясному времени). После этого для волн M_2, N_2, S_2, O_1, MS_4 с применением специальных схем (трафаретов) производится расчет сумм ординат на каждый час суток волны. Это является одним из наиболее трудоемких этапов расчета.

Под сутками волны у Дарвина понимается период волны заданной угловой скорости, умноженный на индекс в обозначении волны n (для суточных волн – 1, полусуточных – 2 и т. д.). По суммам ординат затем рассчитываются средние для каждой волны за период, соответствующий необходимому числу суток волны (табл. 1, столбец 3).

Несовпадение продолжительности суток волн приводит к тому, что при построении схем расчета часть измеренных ординат пропадает, а часть рассчитывается как среднее между двумя соседними ординатами. Дарвин так объясняет этот прием. Предположим, имеются пара часов с циферблатом на 24 часа, одни идут по солнечному времени (волна S_2), другие медленнее (волна M_2), поэтому когда первые часы будут показывать, например, 24 часа,

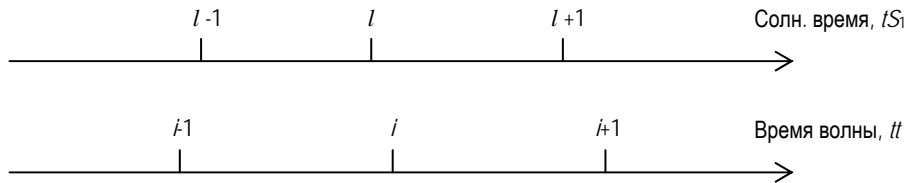
вторые – только 23. Следуя Дарвину, этот прием можно проиллюстрировать с помощью рисунка, где приведены отметки моментов измерения высот волн по солнечному времени (l) и моменты i -ой волны по той же шкале времени, для которых требуется определить значения ординат.

При этом время волны tt можно выразить в шкале солнечного времени tS_1 выражением:

$$tt = TS_1 * 15r / q, \quad TS_1 = 0, 1, 2 \dots 720$$

где q – угловая скорость волны;

r – индекс в обозначении волны (для суточных волн $r=1$, полусуточных – 2, четвертьсуточных 4, волны M_6 – 6)



Часовые отметки по солнечному времени и по времени суток волн

Если переходить к целым значениям часа суток волны, то по Дарвину он должен быть равен ближайшему целому от величины tt : $i = \text{Round}(tt)$, а значение ординаты в этот момент будет равно $h_i = h_{\text{Round}(tt)}$.

Для случая когда значение времени tt попадает на середину промежутка между двумя соседними измерениями, Дарвин предлагает осреднять соседние ординаты, что можно формализовать следующим образом:

если абсолютная величина остатка от величины $tt - 0,5$ меньше величины $(15r/q) - 1$, то

$$h_i = (h_{\text{Round}(tt)} + h_{\text{Round}(tt)+1}) / 2.$$

Дарвин предлагает проводить интерполяцию только для случаев, когда время волны попадает на середину интервала между двумя измерениями. При этом, поскольку другие измерения также не соответствуют целым часам в шкале времени волны, он предлагает [7] при последующих вычислениях использовать увеличивающие множители $rr = 1,00286; 1,01152; 1,0472$ и $1,11072$ для суточных, полусуточных, четвертьсуточных волн и волны M_6 соответственно. Путем непосредственной интерполяции данных измерений для каждого часа волны можно избежать принятого Дарвином введения увеличивающих множителей, что также было реализовано в разработанной программе.

Расчет сумм ординат ведется для такого числа суток волны, которые достаточны для исключения влияния других волн (табл. 1, столбец 3). После этого путем осреднения за соответствующий период определяются средние ординаты волн в каждый час суток h_t .

2 этап. Расчет величин R и ξ

Обе величины вычисляются для каждой из волн отдельно по найденным 24 средним ординатам, соответствующим каждому часу волны. Поскольку эти ординаты включают ординаты волны угловой скорости q , а также ординаты волн кратной скорости ($2q, 3q, \dots, rq$), то согласно Дарвину выражения для расчета вспомогательных параметров A и B имеют вид:

$$A_r = \frac{1}{12} \sum_{t=0}^{t=23} h_t \cos(15^\circ rqt), \quad B_r = \frac{1}{12} \sum_{t=0}^{t=23} h_t \sin(15^\circ rqt). \quad (3)$$

В методе Дарвина расчет величин A и B выполняется по специальным схемам, для удобства ручных вычислений используется то обстоятельство, что значения синусов и косинусов углов в выражениях (3) принимают конечное число значений, поскольку ординаты h_t соответствуют целым часам волны.

При разработке программного обеспечения расчет выполняется непосредственно по формулам (3).

Величины ξ и R определяют по следующим формулам:

$$\operatorname{tg} \xi = B/A, \quad R = A rr \sec \xi, \text{ при } \operatorname{tg} \xi < 1; \quad R = B rr \sec \xi, \text{ при } \operatorname{tg} \xi > 1. \quad (4)$$

Как отмечалось, множитель rr позволяет учесть поправку за счет того, что величины A и B соответствуют не целым часам суток исследуемой волны, а целым часам солнечного времени.

3 этап. Расчет начальных астрономических аргументов (V_0+u) и редуccionных множителей f

Формулы для расчета начальных астрономических аргументов (V_0+u) приведены в табл. 1, столбец 2.

Малые вспомогательные углы ξ , v , v' , $2v''$ определяются долготой восходящего узла лунной орбиты N и рассчитываются по эмпирическим выражениям [7, 1]:

$$\begin{aligned} \xi &= 11,87 \sin N - 1,34 \sin 2N + 0,19 \sin 3N; \\ v &= 12,94 \sin N - 1,34 \sin 2N + 0,19 \sin 3N; \\ v' &= 8,86 \sin N - 0,68 \sin 2N + 0,07 \sin 3N; \\ 2v'' &= 17,74 \sin N - 0,68 \sin 2N + 0,04 \sin 3N. \end{aligned}$$

Долгота восходящего узла лунной орбиты N , а также астрономические параметры h_0 , S_0 и P_0 определяются по числу дней от начала основной эпохи.

Эти астрономические характеристики приводятся в астрономических ежегодниках, и формулы для их расчета зависят от того, что принято за начало основной эпохи. Проблемы, связанные с изменением шкал времени, используемых астрономами, изменением астрономических условий, включая замедление вращения Земли, детально исследованы Картрайтом [11]. По его мнению, несмотря на то что изменения коэффициентов эмпирических уравнений расчета астрономических аргументов возрастают, эти изменения пока не влияют на качество анализа приливов.

В ПГС-35 все астрономические характеристики затабулированы для возможности выполнения ручных расчетов. При разработке программного обеспечения в данной работе использованы цитируемые Картрайтом [11] эмпирические выражения для расчета астрономических параметров N , h_0 , S_0 и P_0 .

За начало основной эпохи в шкале универсального времени (0 часов соответствует прохождению Солнца через 180-й меридиан) принята дата в терминах Картрайта – 1900 г., январь 0,5, что соответствует полудню 31 декабря 1899 года.

Расчет числа дней от начала основной эпохи велся по формуле:

$$dd = 365m + l + k + i/24 + 0,5, \quad (5)$$

где m – число полных лет с 1900 г.;

l – число полных високосных лет к моменту расчета от 1900 г.;

k – число полных дней от начала текущего года;

r – число часов от начала суток.

Общее выражение для расчета астрономических параметров N , h_0 , S_0 и P_0 имеет вид

$$a + b dd + c dd^2. \quad (6)$$

Эмпирические коэффициенты a , b , c для начала основной эпохи 1900 г. январь 0.5 приведены в табл. 2 [11].

Таблица 2

Эмпирические коэффициенты a , b , c , для начала эпохи с 12 ч 31 декабря 1899 г.

Параметр	a	b	$c \cdot 10^{10}$
N	259,1825	-0,05295393	0,015741
h_0	279,697	0,98564733	0,001749
S_0	270,4374	13,176397	0,018740
P_0	334,328	0,11140403	-0,077957

Для начала основной эпохи в терминах Картрайта – 2000 г. январь 1,5, что соответствует полудню 1 января 2000 г., уточненные значения коэффициентов a , b , c уравнения (5), приведены в табл. 3 [11].

Результаты расчета параметров N , h_0 , S_0 и P_0 на 0 часов 1 января 2000 г. по двум наборам эмпирических коэффициентов (табл. 2, 3) приведены в табл. 4.

Таблица 3

Уточненные эмпирические коэффициенты a , b , c для начала эпохи с 12 ч 1 января 2000 г.

Параметр	a	b	$c \cdot 10^{10}$
N	125,0445	-0,052953766	0,015741
h_0	280,4661	0,98564733	0,001749
S_0	218,3165	13,17639648	-0,01199332
P_0	83,3535	0,111403529	-0,077207017

Таблица 4

Результаты расчета параметров N , h_0 , S_0 и P_0 на 0 часов 1 января 2000 г. с применением двух наборов эмпирических коэффициентов

Параметр	Начало эпохи	
	1900 г. январь 0,5	2000 г. январь 1,5
N	125,0666837	125,0709769
h_0	279,9729046	279,9732763
S_0	211,7496265	211,7283018
P_0	83,30449376	83,29779824

Как видим из табл. 4, отличия в значениях астрономических параметров, рассчитанных по старым и новым формулам, хотя и возрастают, но на начало 2000 г. не превышают $0,03^\circ$. Невязки за счет замедления вращения Земли еще меньше.

Для расчета редуцированных астрономических множителей f , Дарвин предложил эмпирические выражения вида

$$B_0 + B_1 \cos N + B_2 \cos 2N + B_3 \cos 3N. \quad (7)$$

Значения эмпирических коэффициентов приведены в табл. 5.

Таблица 5

Значения эмпирических коэффициентов для расчета редуционных множителей f

Волны	B_0	B_1	B_2	B_3
M_2, N_2, MS_4	1,00035	-0,03733	0,00017	0,00001
S_2, P_1	1			
K_2	1,0241	0,2863	0,0083	-0,0015
K_1	1,0060	0,1160	-0,0088	0,0006
O_1, Q_1	1,0089	0,1871	-0,0147	0,0014

Для побочных и сложных приливов редуционные множители получают как произведения редуционных множителей составляющих основных волн.

Величина восходящего узла лунной орбиты N и, соответственно, малые вспомогательные углы $\xi, \nu, \nu', 2\nu''$ и редуционные множители f согласно Дарвину рассчитываются на середину анализируемого периода наблюдений, в то время как астрономические параметры h_0, S_0 и P_0 рассчитываются на 0 часов гринвичского времени 1-го дня наблюдений.

4 этап. Расчет гармонических постоянных H и g

Гармонические постоянные H и g волн $M_2, N_2, O_1, M_4, MS_4, M_6$ вычисляются по общим формулам:

$$H_i = R_i / f_i, \quad g_i = \xi_i + (V_0 + u)_i \tag{8}$$

При расчете гармонических постоянных волн S_2 и K_2 предварительно определяются вспомогательный угол ψ :

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{f_{K_2} \sin(2h - 2\nu'')}{3,84 \left(\frac{1}{\rho}\right)^3 + f_{K_2} \cos(2h - 2\nu'')} \tag{9}$$

и тогда

$$H_{S_2} = \frac{3 < 3,84 \cos(\psi) R_{S_2}}{3,84 \left(\frac{1}{\rho}\right)^3 + f_{K_2} \cos(2h - 2\nu'')} \tag{10} \quad g_{S_2} = \xi_{S_2} + \psi$$

где $2(h - \nu'') = (V_0 + u)_{K_2} + 29,6$.

Величина $1/\rho$ представляет собой отношение параллакса Солнца к его среднему значению. Поскольку выражения для расчета этой величины найти не удалось, для расчета первого слагаемого в знаменателе выражений (9) и (10) по табулированным данным [6, 2] получено эмпирическое уравнение

$$3,84 \left(\frac{1}{\rho}\right)^3 = c_0 + c_1 \cos(2\pi d / ny) + c_2 \sin(2\pi d / ny) + c_3 \sin(2\pi d / ny) \sin(2\pi d / ny) \tag{11}$$

где d – число дней на момент расчета от начала текущего года, ny – среднее число дней в году (365,25).

Значения эмпирических параметров c_0, c_1, c_2, c_3 равны 3,846534139; 0,1925098378; 0,007554115 и -0,010084159 соответственно. Погрешность аппроксимации табличных данных [7, 10] выражением (10) не превышает 0,0012, при трех значащих цифрах после запятой в исходных таблицах.

Гармонические постоянные волны K_2 связаны с гармоническими постоянными волны S_2 соотношениями:

$$H_{K_2} = H_{S_2} / 3,67, \quad g_{K_2} = g_{S_2} - 0,081(g_{S_2} - g_{M_2}). \quad (12)$$

При расчете гармонических постоянных волн K_1 и P_1 предварительно определяются вспомогательный угол φ :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sin(2h - v')}{3f_{K_1} - \cos(2h - v')}, \quad (13)$$

и тогда

$$H_{K_1} = \frac{3,027 \cos(\varphi) R_{K_1}}{3f_{K_1} - \cos(2h - v')}, \quad g_{K_1} = \xi_{K_1} + (V_0 + u)_{K_1} + \varphi + 13,3 \quad (14)$$

где $2(h - v') = (V_0 + u)_{K_1} - (V_0 + u)_{P_1} + 206,6$.

Гармонические постоянные волны P_1 связаны с гармоническими постоянными волнами K_1 соотношениями:

$$H_{P_1} = H_{K_1} / 3,0, \quad g_{P_1} = g_{K_1} - 0,075(g_{K_1} - g_{O_1}). \quad (15)$$

Гармонические постоянные волны Q_1 связаны с гармоническими постоянными волнами O_1 соотношениями:

$$H_{Q_1} = H_{O_1}, \quad g_{Q_1} = g_{O_1}. \quad (16)$$

Приведенные соотношения применимы для случая, когда непосредственные наблюдения приведены к поясному времени, а продолжительность анализируемых наблюдений составляет 30 суток.

Получаемые в результате вычислений специальные углы положения g связаны с углом положения по поясному времени K' соотношением

$$K' = g + (r - q / 15) N p 15, \quad (17)$$

где r – индекс обозначения волны;

Np – номер пояса (с «+», если долгота восточная, и с «-», если долгота западная).

Применение метода наименьших квадратов для расчета гармонических постоянных

Представим приливные колебания уровня в виде суперпозиции 11 гармонических колебаний

$$z(t) = z_0 + \sum_{i=1}^{11} (a_i \varphi(t) + b_i \psi(t)), \quad (18)$$

где $a_i = H_i \cos(g_i)$, $b_i = H_i \sin(g_i)$,

$$\varphi(t) = f_i \cos(q_i t + (V_0 + u)_i), \psi(t) = f_i \sin(q_i t + (V_0 + u)_i),$$

z_0 – средний уровень.

Число уравнений вида (18) равно числу сроков наблюдений N , а число неизвестных a и b соответствует числу рассчитываемых гармоник. Метод наименьших квадратов позволяет минимизировать квадрат невязки между наблюдаемыми и расчетными значениями высот уровня. Для этого исходная система из N уравнений (при 30-суточной серии $N=720$) преобразуется в систему из 22 линейных уравнений. Решение нормализованной системы уравнений осуществлялось с применением метода Гаусса.

Отметим, что астрономические аргументы (V_0+u) и f в этом случае рассчитываются на каждый срок наблюдений. После определения неизвестных коэффициентов a и b расчет гармонических постоянных H и g выполнялся по формулам

$$H = \sqrt{a^2 + b^2}, \quad g = \text{arctg}(b/a). \quad (19)$$

Результаты верификации автоматизированного метода Дарвина

В качестве контрольных использованы данные, приведенные в работе [7]. Невязки между средними месячными, рассчитанными с использованием опубликованных ежечасных данных, и средними, приведенными в контрольном примере [7], признаны незначимыми. В качестве истинных приняты данные ежечасных наблюдений.

Ввиду больших значений аналогичных невязок в работе [10], приведенный там контрольный пример забракован.

В табл. 6 представлены результаты расчета начальных астрономических аргументов, а в табл. 7 – промежуточные результаты расчета.

Таблица 6

Начальные астрономические аргументы

Зеленый, 9 июля 1934 г.	На 0 ч по Гринвичу первого дня			Для середины наблюдений				
	h_0	S_0	P_0	N	ξ	v	v'	$2v''$
Пример [7]	106,3	71,8	298,9	310,8	-7,76	-8,58	-6,07	-12,73
Расчет	106,25	71,86	298,85	310,78	-7,76	-8,57	-6,07	-12,78

Как видим, результаты автоматизированного и ручного расчета соответствуют друг другу. Отличия вызваны числом значащих цифр.

Таблица 7

Промежуточные результаты

Волна		M_2	S_2	M_2	K_1	O_1	M_4	MS_4	M_6
		1	2	3	5	6	9	10	11
Зеленый, 9.07–7.08.1934 г., 4 пояс									
B	Пример	14,51	-1,83	-4,65	-7,23	-0,29	-0,13	0,26	0,08
	Расчет	14,53	-1,86	-4,79	-7,18	-0,33	-0,17	0,25	0,04
A	Пример	-20,87	5,04	-1,79	10,82	-3,71	-1,86	0,81	-0,32
	Расчет	-20,88	5,07	-1,81	10,80	-3,72	-1,83	0,56	-0,34
V_0+u	Пример	70,64	0	297,74	202,37	225,76	141,28	70,64	211,92
	Расчет	70,39	0	297,38	202,32	225,56	140,77	70,39	211,16
ξ	Пример	145,2	339,85	249,3	326,38	185,1	185,3	24,3	173,3
	Расчет	145,18	340,04	248,96	326,26	184,39	183,96	17,77	165,71
f	Пример	0,975	1	0,975	1,083	1,134	0,951	0,975	0,928
	Расчет	0,976	1	0,976	1,083	1,132	0,952	0,976	0,930

Отличия в значениях A и B не превосходят 0,3 см, невязки в астрономических аргументах V_0+u достигают $0,7^\circ$. Как те, так и другие вызваны только разной точностью ручных и автоматизированных расчетов.

Окончательные результаты расчета гармонических постоянных приведены в табл. 8. Там же даны гармонические постоянные, рассчитанные с использованием метода наименьших квадратов (МНК).

Таблица 8

Гармонические постоянные

Волна	Зеленый, 9.07–7.08.1934 г., 4 пояс					
	Пример		Расчет		МНК	
	H	g	H	g	H	g
M_2	26,4	215,7	26,05	215,57	25,9	215,39
S_2	5,9	320,5	5,80	320,78	14,42	345,2
N_2	5,3	186,7	5,10	186,33	4,85	184,73
K_2	1,6	320,8	1,58	312,26	7,5	62,5
K_1	10,1	168,6	10,42	167,98	9,4	176,6
O_1	3,3	50,8	3,28	49,96	3,1	54,7
P_1	3,4	168,2	3,47	167,98	3,1	127,0
Q_1	0,7	48,6	0,66	49,96	1,8	315,6
M_4	2,0	326,4	1,96	324,73	2,0	328,5
MS_4	0,7	94,8	0,87	88,16	0,8	84,6
M_6	0,4	24,9	0,35	16,87	0,4	17,5

Таким образом, имеются отличия между гармоническими постоянными, полученными по методу Дарвина с помощью ручных и с помощью автоматизированных расчетов, но связаны они только с разным числом значащих цифр исходных данных в первом и втором случае и разными формулами для расчета угла положения волн K_2 и P_1 .

Чтобы проверить независимо точность тех и других расчетов были рассчитаны невязки времен наступления T малых и полных вод, а также невязки значений уровня h в моменты МВ и ПВ. По этим невязкам определены средние ошибки Δ , средние абсолютные ошибки $Abs(\Delta)$ и среднеквадратические погрешности σ указанных величин по отношению к наблюдаемым данным. Результаты представлены в табл. 9.

Как видим, результаты автоматизированного расчета соответствуют результатам ручных вычислений, приведенным в примере [7].

Таблица 9

Характеристики точности предвычисления уровня

	о. Зеленый				
	Время, мин			Уровень, см	
	ΔT	$Abs(\Delta T)$	σ	Δh	σ
Пример по Дарвину [7]	-8,2	21,9	27,6	-0,14	10,0
Расчет по Дарвину	-5,4	21,4	27,0	-0,30	10,0
МНК	-7,5	22,0	26,5	-0,18	9,5

Следовательно, результаты автоматизированного расчета по методу Дарвина по всем показателям не хуже результатов ручных вычислений, приведенных в примере [7], что свидетельствует о правильности разработанного программного обеспечения.

Для оценки правильности программного обеспечения расчета гармонических постоянных с применением метода наименьших квадратов

проведенной проверки недостаточно. Требуется выполнить оценку точности предвычисления уровня по независимым наблюдениям, не использованным для расчета гармонических постоянных.

Результаты верификации автоматизированного метода наименьших квадратов

В качестве исходных данных для расчета гармонических постоянных по методу Дарвина и МНК использованы данные наблюдений в п. Кандалакша в июне и июле 2000 г. Расчет гармонических постоянных по методу Дарвина выполнен для каждого месяца, «окончательные» результаты получены путем геометрического сложения [10] и представлены в табл. 10. Расчет по методу наименьших квадратов выполнен по всей выборке за июнь и июль 2000 г.

Таблица 10

Гармонические постоянные для п. Кандалакша

	Метод Дарвина						МНК	
	Июнь		Июль		Средние		Июнь-июль	
	<i>H</i>	<i>g</i>	<i>H</i>	<i>g</i>	<i>H</i>	<i>g</i>	<i>H</i>	<i>g</i>
<i>M</i> ₂	81,3	124,7	81,1	123,3	81,2	124,0	81,63	125,3
<i>S</i> ₂	22,2	175,4	21,2	171	21,7	173,2	22,5	180,0
<i>N</i> ₂	19,9	95,8	18,8	78,9	19,2	87,6	18,7	88,3
<i>K</i> ₂	6,1	171,3	5,8	167,0	5,9	169,0	8,3	181,7
<i>K</i> ₁	6,6	109,0	6,1	99,8	6,3	104,6	7,5	105,6
<i>O</i> ₁	2,1	328,9	1,1	289,0	1,5	315,0	0,9	312,6
<i>P</i> ₁	2,2	109,0	2,0	99,8	2,1	104,6	1,5	89,4
<i>Q</i> ₁	0,4	328,9	0,2	289,0	0,3	316,0	0,8	209,9
<i>M</i> ₄	20,5	173,3	20,3	170,8	20,4	172,1	21,4	171,7
<i>MS</i> ₄	11,4	222,1	10,4	239,5	10,8	230,4	10,7	229,2
<i>M</i> ₆	5,9	289,6	6,9	289,3	6,4	289,4	7,1	290,5

Для оценки расчета гармонических постоянных с применением МНК выполнена оценка тех же следующих показателей точности предвычисления уровня, что и при проверке программного обеспечения, реализующего метод Дарвина. Результаты приведены в табл. 11.

Таблица 11

Оценка показателей точности предвычисления уровня по гармоническим постоянным, рассчитанным с применением метода Дарвина и метода наименьших квадратов

			Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Средняя
Метод Дарвина	Время ПВ и МВ, мин.	ΔT	-7	-13	-14	12	-5,5
		$Abs(\Delta T)$	13	19	18	28	19,5
		σ_T	16	23	17	33	22,3
	Высота ПВ и МВ, см	Δh	8	5	-4	-5	1
		σ_h	15	16	20	19	17,5
МНК	Время ПВ и МВ, мин.	ΔT	-8	-14	-16	6	-8
		$Abs(\Delta T)$	13	19	19	22	18,3
		σ_T	15	22	16	26	19,8
	Высота ПВ и МВ, см	Δh	8	6	-4	-7	0,75
		σ_h	14	17	21	23	18,8

Безусловно, для корректного сравнения двух выбранных методов проведенных расчетов недостаточно. В нашем случае метод наименьших квадратов оказался несколько точнее метода Дарвина при оценке времени наступления ПВ и МВ, однако это не означает, что и в других пунктах будет наблюдаться то же соотношение точности.

Хотя приведенные оценки нельзя рассматривать как действительные погрешности расчета характеристик приливных колебаний, поскольку в них не отфильтрованы апериодические колебания уровня, все же представляется, что точность предвычисления времен наступления ПВ и МВ с применением рассматриваемых методов может оказаться недостаточной для отдельных видов морских операций. В связи с этим продолжение работ по созданию нормативно-методической основы расчета гармонических постоянных и предвычислению приливов для решения задач ГС ВМФ представляется актуальным. При использовании старой методической основы целесообразно привести методы, используемые в различных подразделениях ГС ВМФ к единообразию.

Выводы

1. Оценка различных методов расчета астрономических параметров, используемых при применении классических методов гармонического анализа приливов показала, что для практических целей разница между ними незначима, хотя и возрастает с течением времени.
2. Разработан автоматизированный метод расчета гармонических постоянных на основе метода Дарвина.
3. Точность разработанного автоматизированного метода Дарвина для расчета гармонических постоянных не уступает точности «ручного» метода Дарвина.
4. Разработан автоматизированный метод расчета гармонических постоянных на основе использования метода наименьших квадратов.
5. При использовании в качестве исходных двухмесячных рядов наблюдений за уровнем можно достаточно уверенно полагать, что точность предвычисления уровня по гармоническим постоянным, рассчитанным с применением метода наименьших квадратов не будет уступать точности предвычисления уровня по гармоническим постоянным, рассчитанным с применением классического метода Дарвина.
6. Следует продолжить работы по созданию нормативно-методической основы расчета гармонических постоянных и предвычислению приливов при решении задач ГС ВМФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Darwin G. H. The tides and kindred phenomena of the Solar System. San Francisco, CA.: Greenman and Cooper, 1888, republished 1962.. – 378 p.
2. Doodson A. T. The harmonic development of the tide generating potential // Proc. Roy. Soc. – 1921. – Ser. A100. – P. 306–328.
3. Кобаев Е. В., Воронцов А. А. Применение метода наименьших квадратов для расчета гармонических постоянных приливного уровня и приливных течений по рядам измерений произвольной продолжительности. Тр. ВНИИГМИ-МЦД. – 1983. – Вып. 88. – С. 43–58.
4. Foreman M. G. G. Manual for tidal heights analysis and prediction // Canada. Institute of Ocean Sciences press. – Sidney, 1977. – P. 24.

5. Альтшулер В. М. Практические вопросы анализа и расчета морских приливов. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 311 с.
6. Cartwright D. E., Catton Diona B. On fourier analysis of tidal observations. // Int. Hydrogr. Rev. V. 40. – N1. – 1962. P. 130–136.
7. Березкин В. А. Динамика моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1947. – 684 с.
8. Дуванин А. И. Приливы в море. – Л.: Гидрометеиздат, 1960. – 390 с.
9. Franco A. dos. S. Tides – Fundamentals analysis & prediction. – Inst. Pesquisas Technolog., San Paulo, 1981. – 232 p.
10. Правила гидрографической службы № 35. Приведение глубин к уровню. – Управление Начальника Гидрографической службы ВМФ. – 1956. – 194 с.
11. Cartwright D. E. Tidal prediction and modern time scale // Int. Hydrogr. Rev. – V. 62. – N1. – 1985. P. 127–138.

S. I. Mastryukov

Comparative Analysis of Two Calculation Methods of Harmonic Constants for Tidal Variations of Sea Level

Two calculation methods of harmonic constants for tidal variations of the sea level are analysed. Different calculation methods of astronomical parameters used in the classical methods are evaluated; their identity is shown. The classical Darwin harmonic analysis method based on manual calculations is set forth in detail. The automated method is proposed. It is shown that the accuracy of the suggested Darwin automated method and the software using the least-squares method, is not lower than that of the Darwin manual analysis method employed in the Navy Hydrographic Office. It is proposed to continue the work intended to establish the normative-methodic basis of harmonic constants calculation and tide prediction when carrying out the tasks of the Navy Hydrographic Office.

ГРНТИ 37.21:37.27

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА КАСПИЙСКОМ МОРЕ

**Б. Ю. БОЛДЫРЕВ (ГМЦ КФ),
П. И. БУХАРИЦИН (ИВП РАН)**

В статье освещаются особенности гидрометеорологического обеспечения (ГМО) на Каспийском море в современной экономической ситуации. Обосновывается необходимость более тесной интеграции гидрометеорологических служб всех Прикаспийских государств с целью прогнозирования гидрометеорологических явлений, являющихся наиболее важными с точки зрения обеспечения безопасности мореплавания. Предлагаются меры в целях обеспечения безопасности мореплавания на Каспии, в частности создание с круглогодичной сети станций наблюдения за уровнем моря и составление ледового атласа на базе данных многолетних ледовых исследований.

Судоходство на Каспийском море имеет давнюю историю. Уже в конце XVII века в дельте Волги имелся значительный торговый флот, который играл большую роль в торговых связях России с Кавказом, Ираном, Индией и другими странами.

Дальнейшее развитие судоходства в этом районе началось с середины XIX века с развитием капитализма в России. С Кавказа в Россию шли караваны с нефтью, а из России в южные порты Каспия – большое количество леса, соли

и других грузов. В 1878–1882 гг. был построен Волго-Каспийский канал (ВКК), который непрерывно совершенствовался и к настоящему времени стал основной судоходной артерией, связывающей порты Каспийского моря с портами Черного и Балтийского морей. В перспективе он станет основой транспортного пути «Север-Юг» протяженностью 188 км.

Сейчас по этому водному пути следуют суда различных парокходств, стран, разных министерств и ведомств. За навигацию здесь проходят десятки тысяч единиц флота. Значительно возрос и тоннаж судов. Если в средней и южной частях Каспийского моря навигация была круглогодичной, то в северной части она ограничена периодом с окончания весеннего до начала осеннего ледохода. Сегодняшняя экономическая ситуация потребовала дальнейшего увеличения объема перевозок и продления сроков навигации за счет эксплуатации флота в условиях зимнего плавания под ледокольной проводкой.

Важное значение для экономики районов дельты Волги и Северного Каспия имеют рыбный и тюлений промыслы. Большую опасность для орудий лова и для самих рыбаков представляет первое, особенно раннее появление льда на взморье Волги. Промысел тюленя производится с помощью тюленебойных судов, которые в середине зимы (конец января – февраль) заходят в лед. Распределение льдов, их толщина и прочность являются важными элементами ледового режима, от которых зависит успех промысла.

Проводимые в последнее время нефтяными компаниями в мелководной части Северного Каспия поисковые работы по разведке углеводородного сырья также требуют серьезного научного, экологического, технического и гидрометеорологического обеспечения.

Северным Каспием условно названа акватория, лежащая к северу от линии, проходящей от о. Чечень у западного побережья Каспийского моря до мыса Тюб-Караган – на восточном. Ввиду мелководности (глубины здесь не превышают 25 м) гидрологический режим Северного Каспия сильно отличается от режима его средней и южной частей. Наличие исключительно пологих берегов и частые штормовые ветры в весенний и осенне-зимний периоды создают в этом районе условия для значительных сгонно-нагонных колебаний уровня. В течение последних ста лет особо опасные и катастрофические нагоны наблюдались в 1877, 1910, 1925, 1952, 1960 и 1981 гг. (в 1981 г. дважды). Максимальный подъем уровней при этом составлял 2–4,5 м. Штормовые нагоны представляют серьезную опасность для земснарядов, ведущих дноуглубительные работы и судоходных каналах.

Развивающееся при этом значительное волнение моря с высотой волн от 2,5 и более метров опасно для судов, идущих по маршрутам Астраханский рейд – Махачкала, Астраханский рейд – Баутино, Астрахань – Энзели, Астрахань – Баку, причем особую опасность такое волнение представляет для судов смешанного плавания типа «река-море». Так, в конце 1986 г. в результате сильного волнения вызванного штормовым юго-восточным ветром в районе Дербентской впадины потерпел катастрофу сухогруз «Геокчай» водоизмещением 5000 т, весь экипаж погиб. 22 октября 2002 г. также в результате сильного волнения моря (с высотой волн более 4 м), вызванного штормовым северо-западным ветром до 27 м/с, потерпел катастрофу и затонул паром «Меркурий-2», спасено было 9 человек из 51. Штормовые нагоны

представляют опасность для экономических объектов, расположенных в прибрежной полосе моря и на островах устьевого взморья Волги, так как при этом может происходить затопление прибрежной полосы шириной до 40–60 км.

Сгоны воды вызывают опасное уменьшение глубин на морских участках судоходных каналов, а также являются причиной гибели рыбы на мелководных банках, особенно зимой, когда она оказывается прижатой льдом ко дну и весной в период хода рыбы на нерест.

Опасные сгоны и нагоны с понижениями уровня воды до 1,5 м от фонового, наблюдаются довольно часто. Только за последние 7 лет на Северном Каспии наблюдалось 102 опасных сгона и нагона, т. е. примерно 15 явлений в год.

В результате сгонов движение судов на ВКК останавливается на неопределенный период до восстановления уровня, что составляет по времени от нескольких часов до нескольких суток и приводит к большим финансовым потерям. Для исследования и прогнозирования сгонно-нагонных явлений в ВКК необходимо создание круглогодичной сети наблюдений за уровнем с оперативной передачей данных в оперативно-прогностический орган.

Серьезные трудности для судоходства возникают в низовьях Волги в маловодные годы, когда в летнюю межень уровни падают ниже критических отметок. Высокие же зимние уровни, вызываемые подпором ледяного покрова и повышенными сбросами Волгоградского гидроузла, приводят к образованию мощных заторов на Нижней Волге и наводнениям на некоторых участках Волго-Ахтубинской поймы, что существенно затрудняют работу ледоколов. При этом неустойчивые подвижные заторы делают эту работу опасной, так как из-за невозможности маневрирования в движущемся льду на узком фарватере судно может быть выброшено на мель. Так, в конце 1980-х гг. из-за тяжелой ледовой обстановки на Волго-Каспийском канале сухогруз «Баку» был выброшен на мелководье на 5 миль к западу от проходной части ВКК и затерт льдами (см. рисунок).



Посадка сухогруза «Баку» на мель в условиях интенсивной подвижки льдов

Для улучшения гидрометеорологического обеспечения, в частности успешного прогнозирования ледовых условий на Северном Каспии, необходимо привлечение современных технических средств. Весьма полезным будет разработка и создание ледового атласа на базе данных многолетних ледовых исследований.

Таким образом, гидрологический режим Нижней Волги, дельты и Северного Каспия весьма сложен и оказывает существенное влияние на деятельность военно-морского и гражданского флотов, многих морских отраслей хозяйства и экономики, а также отраслей, не связанных непосредственно своей деятельностью с рекой или морем, но постоянно испытывающих на себе их влияние.

Немалая доля в судоходстве на Каспии приходится на корабли и суда Каспийской флотилии и морские части Федеральной пограничной службы. Отрабатывая задачи по защите политических и экономических интересов России на Каспийском море, в августе 2002 г. Каспийская флотилия осуществила широкомасштабные учения с привлечением войск СКВО МВД, Федеральной пограничной службы, других силовых структур, гражданских министерств и ведомств. Единое гидрометеорологическое обеспечение сил и средств, участвующих в учении, осуществляла Гидрометеорологическая служба КФл. На учениях присутствовали министр обороны С. Иванов, главнокомандующий ВМФ адмирал флота В. Куроедов, директор ФПС К. Тоцкий, президент Татарстана М. Шаймиев, губернатор Астраханской области А. Гужвин, наблюдатели иностранных государств, представители многих центральных и региональных средств массовой информации. Проведенный сбор-поход получил широкую огласку как у нас в России, так и далеко за ее пределами.

Уникальный опыт этих учений представляет огромный интерес для отечественных и зарубежных военных специалистов, поскольку впервые в мировой практике чисто военно-морская структура в лице Каспийской флотилии училась не только обезвреживать террористов, но и бороться с браконьерством (биотерроризмом), с наркомафией, защищать гражданское судоходство, спасать терпящих бедствие на море и предотвращать экологические катастрофы на акватории. Цивилизованный мир внимательно следил за действиями военных моряков-каспийцев. Известно, что поставленные Президентом России В. В. Путиным задачи этих учений, были успешно выполнены.

Решая проблемы гидрометеорологического обеспечения, основное внимание Гидрометеорологическая служба КФл уделяет изучению и прогнозированию гидрометеорологических явлений, являющихся наиболее важными с точки зрения обеспечения безопасности мореплавания. Данные исследовательские работы выполняются силами самой службы, а также посредством привлечения других мореведческих организаций (КаспНИРХ, ИВП РАН). Полученные в результате работ первичные материалы предполагается использовать для расчета элементов гидрометеорологического режима по районам Каспийского моря с целью улучшения гидрометеорологического обеспечения судоходства.

В результате распада СССР была разрушена единая сеть станций наблюдения на Каспийском море. В настоящее время акватория всего Северного Каспия освещается данными лишь одной метеостанции на

о. Тюлений с четырьмя сроками наблюдений (реально сводки передаются два раза в сутки) и плавучего маяка «Астраханский-Приемный», который работает только в безледный период, а последние два года находится на ремонте. Ближайшие же береговые станции расположены на удалении от моря на 10–80 км и реальной картины погоды на море не отражают.

Существует достаточно много действующих морских станций Прикаспийских государств, не показанных на имеющихся картах погоды (п. Баку, п. Нефтяные камни). При дальнейшем отсутствии информации со Среднего и Южного Каспия зона гидрометеорологической ответственности по части прогноза погоды станет зоной безответственности.

Для более полного освещения гидрометеорологической обстановки на Каспийском море необходима, на наш взгляд, более тесная интеграция гидрометеорологических служб всех Прикаспийских государств, мореведческих и судовладельческих организаций и гидрометеорологических подразделений ВС РФ.

B. Y. Boldyrev, P. I. Bukharitsyn

Features of Hydrometeorological Support on the Caspian Sea

The features of hydrometeorological support (HMS) on the Caspian Sea in the present-day ecological situation are described. The necessity of closer integration for Nearcaspien States Hydrographic Services in order to predict the hydrometeorological phenomena that are of the greatest importance from the point of view of navigation safety provision is substantiated. Measures aimed at navigation safety provision on the Caspian Sea are proposed. They include, in particular, the creation of the network of stations for the sea level observation that would operate all the year round and compilation of the ice atlas, based on the data of the ice observations lasting for many years.

ГРНТИ 16.21.41

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МОРФОСЕДИМЕНТОГЕНЕЗА В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ
ЮГО-ВОСТОЧНОГО СЕКТОРА ПЕЧОРСКОЙ ГУБЫ
(РАЙОН ВАРАНДЕЙ)**

С. М. УСЕНКОВ
(СПбГУ)

На основе широкого обобщения данных исследования литологических параметров донных прибрежных осадков и сопоставления их с данными, характеризующими литодинамический режим, выявлены особенности морфоседиментогенеза в береговой зоне юго-восточного сектора Печорской губы. В формировании структуры отложений пляжа и подводного берегового склона главным осадкообразующим материалом является средне-мелкопесчаный. В верхней части склона распределение гранулометрических типов осадков определяется волновыми процессами. В мористой части главная роль в транспортировке осадочного материала принадлежит приливно-отливным течениям при возможном влиянии постоянных течений, несущих осадочный материал из Печорской губы. Установлено, что по мере снижения мощности вдольберегового потока наносов в песчаных фракциях повышается содержание

гидравлически менее крупных минералов (роговая обманка, эпидот). На участках дивергенции потоков наносов с активной динамикой, напротив, накапливаются гидравлически более крупные минералы (гранат, циркон).

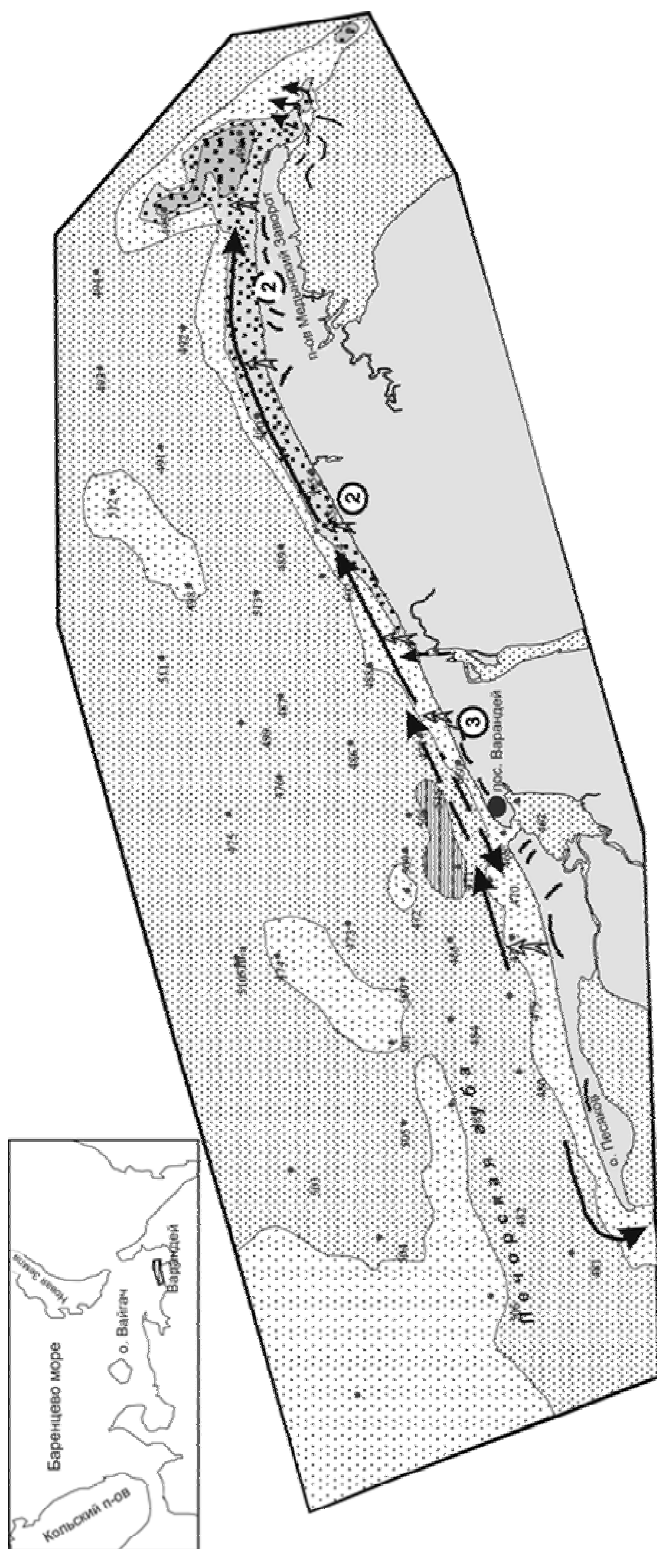
Береговая зона – зона контакта литосферы, гидросферы и атмосферы. Именно сюда вначале поступает осадочный материал с суши и здесь он проходит первую и наиболее существенную обработку, от которой во многом зависит его последующая история. Морфоседиментогенез береговой зоны определяется, с одной стороны, активными факторами, обладающими кинематической энергией, достаточной, чтобы производить работу по перестройке берега и подводного берегового склона, по перемещению и дифференциации осадочного материала, а также по созданию крупных аккумулятивных форм рельефа, с другой стороны, – пассивными факторами, способными влиять на интенсивность и характер проявления активных. К первым следует отнести гидродинамические и субазральные факторы, ко вторым – строение и состав пород, слагающих берег и подводный береговой склон, крутизну и ширину берегового склона и пляжа, специфику осадочного материала и источников питания им береговой зоны и т. п. Активные факторы определяются физико-географическими условиями, а пассивные – геолого-геоморфологическим строением побережья.

Цель и задача данной статьи – дать общее представление об особенностях морфологии, литологического состава донных отложений и процессах перемещения осадочного материала в береговой зоне восточного сектора Печорской губы (район Варандей). Исследовался пляж и подводный береговой склон до глубин 17–20 м на отрезке побережья от острова Песяков на западе до восточного окончания полуострова Медынский Заворот (рис. 1). Береговая линия здесь относительно выровнена и простирается в направлении запад – юго-запад – восток – северо-восток. Остров Песяков и расположенный юго-западнее остров Чаячий отделяют от основной части Печорского моря мелководную Паханческую губу. Полуостров Медынский Заворот, в свою очередь, изолирует акваторию мелководной Перевозной губы.

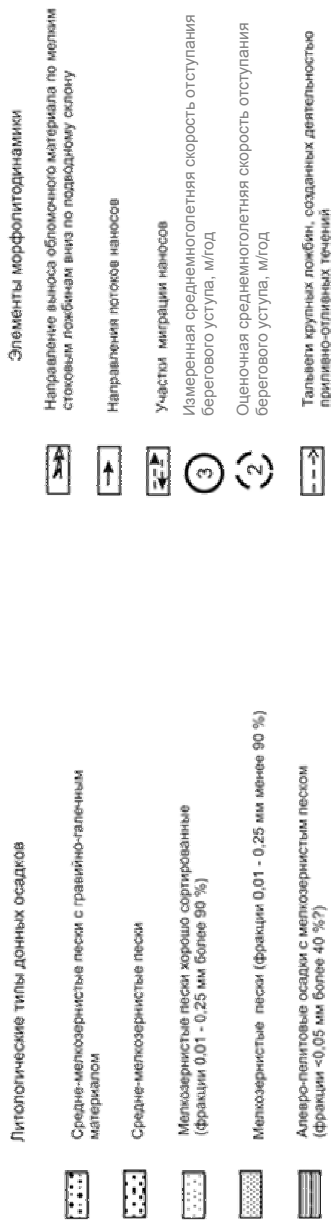
Изучение процессов морфоседиментогенеза в данном районе имеет практическое значение, так как именно в этом секторе шельфа и побережья Печорского моря расположены основные нефтегазоносные площади (Варандей-море, Приразломная, Медынское-море и др.). Именно здесь под угрозой находится ряд промышленных и гражданских объектов (нефтебаза, часть пос. Новый Варандей, аэропорт и др.), построенных без учета природных динамических факторов. Несколько хозяйственных строений пос. Новый Варандей уже подверглись разрушению в связи с ускорившимся отступанием берегового уступа, причем материальные потери растут с каждым годом.

Особенности морфологии и литодинамики береговой зоны

В геоморфологическом отношении берег района Варандей представляет собой молодую морскую аккумулятивную террасу с отметками 2–6 м, максимум до 9 м. Обращенную к морю часть террасы венчает тело древнего песчаного бара с отметками 4–9 м, сложенного песчаной толщей эолово-морского генезиса. Поверхность бара в настоящее время слабо задернована и преобразована эоловыми процессами. Высота отдельных дюн достигает 3–4 м.



Литология и морфодинамика береговой зоны



Пляжи и осушки прослеживаются по всему побережью. Представлены пляжи двух типов. Первый тип – это широкие песчаные пляжи-осушки, сформировавшиеся в местах разгрузки вдольберегового потока наносов. Как правило, их положение соответствует дистальным окончаниям аккумулятивных форм, где наблюдается снижение мощности потоков наносов. Широкая песчаная полоса частично или полностью заливается водой при высоких штормовых нагонах на высоту до 1,5–2,0 м, особенно в период приливов. В ряде случаев на пляже развиты штормовые валы, имеющие высоту 2–3 м, ширину 50–100 м. Второй тип – узкие песчаные и песчано-галечные пляжи шириной 5–30 м, фиксирующие приливный и отливный уровни регулярных осушек.

Рельеф дна в пределах подводного берегового склона достаточно сложный. Поперечный профиль подводного склона (выпукло-вогнутый) не выработан и соответствует абразионным берегам. Высокие уклоны в верхней части способствуют выносу материала вниз по склону, где он отлагается на абразионно-аккумулятивной подводной морской равнине в соответствии с законами гидродинамики. Подводный склон подвержен размыву, о чем здесь свидетельствуют выходы суглинков с включением гравия, гальки и валунов. Средняя часть подводного склона изрезана сетью желобов стока отливных течений, через который и выносится материал, поступающий от абразии берега. Плоская абразионно-аккумулятивная равнина полого наклонена в сторону Южно-Новоземельского желоба. Встречаются крупные ложбины и гряды, сформированные деятельностью приливно-отливных течений. Возможно, крупные ложбины заложены по субэральным формам – древним руслам и долинам рек. Амплитуда рельефа в системах ложбина-гряда может достигать 2–4 м.

Наиболее разрушительное воздействие на берега оказывают штормовые нагоны в сочетании с экстремальным волнением, формирующие сильные вдольбереговые и нормальные к линии берега компенсационные течения, которые за короткое время могут переместить большое количество обломочного материала с одних участков на другие, что, в свою очередь, вызывает вертикальные деформации дна, пляжей и приводит к размыву берегов. Максимальный уровень, обусловленный приливом и штормовым нагоном, достигает в районе пос. Варандей 277 см, а минимальный (сгонный) – 122 см [1].

В структуру равнодействующей волнового режима наибольший вклад вносят составляющие северо-западных и северных румбов. Ориентировка равнодействующей, близкая к нормали относительно линии берега, обуславливает перенос обломочного материала с подводного берегового склона к берегу, если имеются запасы рыхлого материала на дне, а профиль подводного склона выработан (С. А. Огородов, устное сообщение). В случае отсутствия или дефицита наносов, такая ориентировка равнодействующей обычно обуславливает размыв берега и подводного берегового склона.

В пределах исследованного участка активно идут процессы абразии берегов и подводного берегового склона, а также термоабразия [2, 3]. Абразионные и термоабразионные берега являются ведущими типами берегов изученного района. Они приурочены здесь к зонам дивергенции потоков волновой энергии или к участкам усиления этих потоков. Береговые уступы

выработаны либо в мелкозернистых песках с прослоями торфа, либо в глинах и плотных суглинках. Высота уступов колеблется от 1 до 10 м. К подножию берегового уступа часто примыкает регулярная осушка шириной до 100–200 м, которая в прилив почти полностью покрывается водой. Небольшие (шириной 10–30 м) песчаные и песчано-галечные пляжи приурочены к уровню прилива и отлива. Далее, к берегу они часто переходят в глинистый бенч.

Темп разрушения берега неодинаков. В районе пос. Варандей интенсивность отступления берега составляет в среднем 2–3 м год⁻¹, изменяясь на разных участках от 1–2 до 5–8 м год⁻¹ [4]. Максимальные величины размыва берега приурочены к участкам техногенных нарушений (автодороги, места изъятия пляжевого материала). Наименьшие скорости абразии (1–2 м год⁻¹) свойственны участкам выхода песчано-галечного материала, где пляжи более мощные и способны защитить берег от разрушения [3].

Литологические особенности донных осадков

Литолого-фацциальное звено физико-географического процесса в аквальных системах определяет образование форм аккумулятивного рельефа, вещественный состав донных осадков, что является важнейшим условием формирования береговых и субаквальных ландшафтов [5]. Особенно сильно его действие в прибрежно-шельфовой зоне [6].

Гранулометрический состав, характеризующий степень дисперсности осадков, служит надежным индикатором среды осадконакопления, и поэтому изучение его во многом способствует проведению литодинамического районирования.

На основе результатов комбинированного водно-ситового и пипеточного гранулометрического анализа выделены следующие типы осадков: средне-мелкозернистые пески с гравийно-галечным материалом, средне-мелкозернистые и мелкозернистые пески, алевро-пелитовые (глинистые) осадки с мелкозернистым песком (фракции <0,1 мм более 50%). Главным типом осадков описываемого района являются средне- и мелкозернистые пески. В случае формального подхода к выделению типов осадков при картографическом отображении поле их развития заняло бы более 70% площади. Чтобы не потерять более тонкие структурные особенности, совокупность песчаных осадков была разделена на три разновидности: средне-мелкозернистые пески, мелкозернистые хорошо сортированные пески (содержание фракции 0,1–0,25 мм более 90%) и мелкозернистые пески (доля фракции 0,1–0,25 мм составляет 50–90%).

С помощью специально разработанной компьютерной программы были построены эмпирические полигоны гранулометрического распределения (ЭПР), кумулятивные кривые, а также рассчитаны основные статистики гранулометрического распределения (коэффициенты): средний размер зерен, стандартное отклонение (стандарт), коэффициент вариации, асимметрия и эксцесс.

Средний размер зерен (M_n) указывает на относительный энергетический уровень динамических сил среды седиментации. Увеличение средних размеров зерен функционально связано в основном с увеличением значений критерия подвижности осадков.

Меры однородности или отсортированности осадков (*стандарт* – σ и *вариация* – ν) связаны с относительной турбулентностью живых сил среды седиментации и выражают энергетические уровни и их относительные перепады. Величина стандартного отклонения является не только признаком отсортированности, но и отражает, на наш взгляд, меру устойчивости системы. Значения вариации (отношение стандарта к среднему) служат мерой отсортированности осадков и указывают на разброс экстремальных уровней энергии динамических сил среды седиментации [7].

Асимметрия ЭПР (эмпирических полигонов распределения) характеризует изменения в ходе обмена частицами различных размеров в процессе осадкообразования и дает информацию о результатах взаимодействия процессов дифференциации и интеграции в различных гранулометрических ассоциациях обломочных частиц.

Экссесс ЭПР информирует о соотношениях между скоростью динамической переработки и интенсивностью привноса обломочного материала. При этом большие положительные значения этого параметра отражают некоторую стабильность динамического воздействия. Отрицательные значения эксцесса характеризуют нестабильные, с низких уровней энергии динамических сил условия седиментации.

В общем виде асимметрия и эксцесс являются, соответственно, мерами скошенности и островершинности кривой распределения гранулометрического состава.

Распределение основных гранулометрических типов осадков показано на карте (рис. 1), построенной по методу преобладающей фракции с учетом коэффициента отсортированности и батиметрии.

Средне-мелкозернистые пески с гравийно-галечным материалом распространены локально и в основном встречаются в приурезовых частях побережья, а также в отдельных пробах на участках размыва в верхней части подводного берегового склона. Заметное поле этих осадков отмечается на востоке участка (за полуостровом Медынский Заворот) на глубинах 8–12 м, где его появление обусловлено размывом локальных подводных возвышенностей. В отдельных пробах осадков подводного берегового склона визуально отмечалось присутствие небольшого (5–10%) количества более грубого материала. В одной из проб центральной части исследованного района на глубине около 14 м был отмечен чистый гравийно-галечный осадок с ракушечным детритом (зерен гравийной размерности около 70%, гальки средних классов окатанности – 20%).

Средне-мелкозернистые пески. Достаточно большое по площади поле развития этих осадков отмечается в восточной части участка, где они занимают верхнюю часть подводного берегового склона от уреза до глубины 5–10 м. Здесь они являются вмещающими для более грубых осадков.

Для осадков это типа характерны «расташенные» по шкале размерности ЭПР с отчетливым максимумом в диапазоне 0,2–0,315 мм (рис. 2а). Значения среднего размера зерен колеблются от 0,21 до 0,34 мм, степень отсортированности по значениям стандарта и вариации относительно низкая: σ – 0,15–0,19; ν – 0,27–0,40. Высокие положительные значения эксцесса

(1,65–4,02) свидетельствуют о стабильном активном динамическом воздействии на осадок.

Мелкозернистые пески являются основным гранулометрическим типом осадков исследованного полигона. Среди них по соотношениям гранулометрических разностей условно можно выделить две разновидности: хорошо отсортированные мелкозернистые пески (фракция 0,1–0,25 мм составляет более 90%) и собственно мелкозернистые пески (содержание фракции 0,1–0,25 мм от 50 до 90%). Цвет песков варьирует в зависимости от характера придонной обстановки: серый, темно-серый, зеленовато-серый, желтовато-серый, коричневатого-серый, бурый. Часто встречаются примазки или тонкие прослои темно-серой пластичной глины. Пески обычно однородные, иногда заиленные, в отдельных случаях содержат включения грубого материала и органогенный детрит.

Хорошо отсортированные мелкозернистые пески образуют два основных поля: первое лежит в верхней части подводного берегового склона на глубинах до 8 м, второе зафиксировано мористее в западной части района на глубинах 5–12,5 м. Дополнительно два локальных поля этих осадков отмечаются в центральной части исследованной акватории.

Прибрежные мелкозернистые пески характеризуются несколько уплощенными ЭПР с сильно отрицательной асимметрией («хвосты» более крупных фракций) и средней степенью отсортированности по значениям стандарта и вариации (рис. 2б).

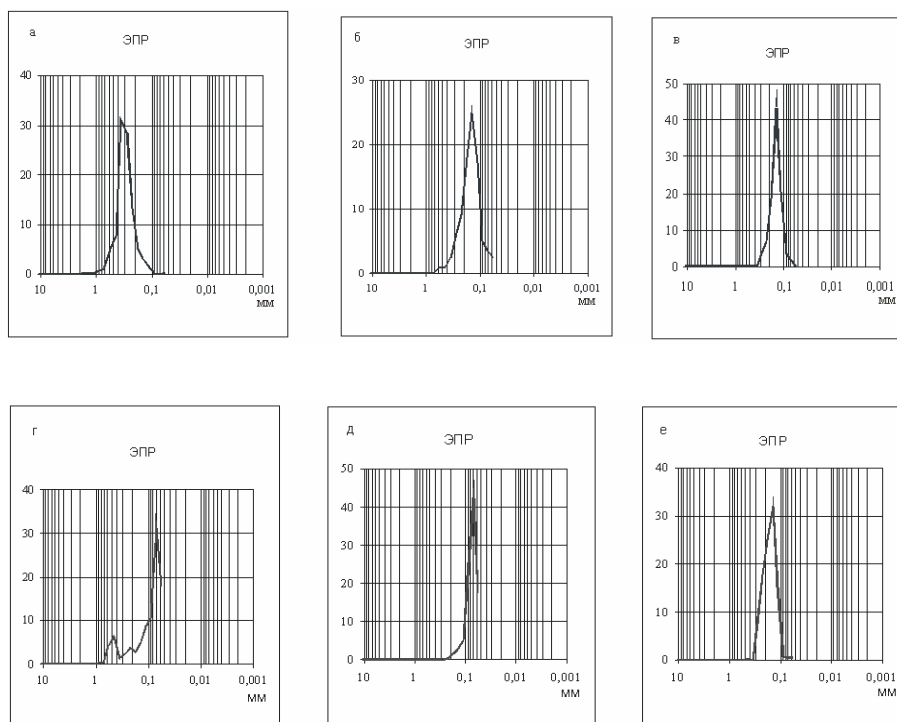


Рис. 2. Эмпирические полигоны распределения (ЭПР) гранулометрического состава различных типов донных осадков береговой зоны

Мелкозернистые пески, лежащие мористее, отличаются симметричными хорошо сформированными ЭПР с положительными значениями эксцесса, обладают высокой степенью дифференциации по значениям стандарта ($\sim 0,05$) и вариации ($\sim 0,15$) (рис. 2в). Перечисленные факты свидетельствуют о стабильности динамической переработки этих осадков. Возможно, это связано с поступлением с запада хорошо отсортированного материала из Печорской губы.

Мощность песков по данным опробования в ряде случаев не превышает 5–10 см. В некоторых пробах отмечаются двух-трехслойные разрезы, в которых покровные песчаные осадки подстилаются темно-серыми глинистыми алевролитами с включениями гравия и детрита или вязкой глиной с прослоями гидротроилита черного цвета.

Алевро-пелитовые (глинистые) осадки с мелкозернистым песком. В целом эти осадки распространены не столь широко. Развиты они в основном на глубинах от 7,5 до 15 м. Главное поле распространения этих отложений выявлено в центральной части исследованного района, небольшое по площади локальное поле зафиксировано также на западе полигона. Вероятно, полузамкнутые губы Паханческая на юго-западе и Перевозная на северо-востоке почти полностью сложены подобным тонкими отложениями. Цвет осадков темно-серый иногда бурый, чаще они однородные и вязкие, иногда содержат небольшое количество гравийно-галечного материала и включения органогенного детрита.

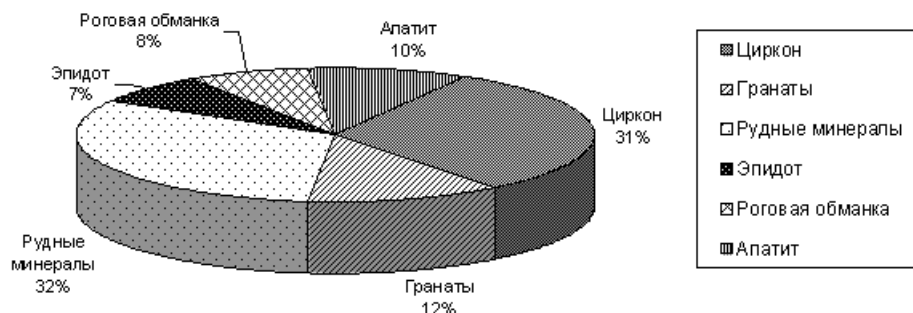
В структурном отношении это смешанные осадки, где, наряду с преобладающей крупноалевритовой фракцией (55–72%), присутствует песчаная (16–27%) и пелитовая (6–14%). Материала крупнее 0,1 мм практически нет (менее 1,5%). Характерны два типа ЭПР: 1) плохо сформированные «расташенные» бимодальные, свойственные периферийным областям, граничащим с полями развития мелкозернистых песков (рис. 2г); 2) унимодальные с отчетливым максимумом в области алевроитовой размерности (рис. 2д), присущие пробам из центральных частей поля развития тонких осадков. И та, и другая разновидности характеризуются отрицательными значениями эксцесса, что свидетельствует о непостоянстве динамического воздействия. Следует отметить тот факт, что чистых глинистых осадков практически нет. Лишь в единичных пробах содержание материала менее 0,005 мм превышает 30%.

Особенности минерального состава донных осадков. Изучение минеральной составляющей осадков иммерсионным методом показало, что мелкопесчаная фракция осадков сложена, главным образом, аллотигенными компонентами, среди которых явно преобладают кристаллокласты и, в меньшей степени, – литокласты, что свидетельствует об относительно высокой степени механической переработки обломочного материала в процессе седиментогенеза. Главным минералом мелкопесчаной фракции (0,05–0,1 мм) является кварц, содержание которого колеблется в пределах 75–90%. Зерна кварца преимущественно слабо окатаны, обладают мелкочаеистым раковистым изломом, прозрачны или полупрозрачны. Литокласты, суммарная концентрация которых не превышает 20%, представлены обломками разнообразных горных пород. Общее содержание

полевых шпатов в большинстве случаев не превышает 5%. Помимо аллотигенной составляющей, отражающей состав источников питания, в поверхностных осадках содержатся аутигенные агрегаты слюдисто-глинистого состава (до 6%), образующиеся при цементации алевроглинистых частиц гидроксидами железа и марганца. В большинстве проб легкой фракции отмечено небольшое количество (до 1%) железистых микроконкреций и черного вещества в виде агрегатов уплощенной формы.

В составе тяжелой подфракции, выход которой изменяется от 0,1 до 3,15%, выявлено около 20 минералов. Основными являются черные рудные минералы (в основном ильменит), циркон, минералы группы граната (альмандин), минералы группы эпидота, амфиболы (главным образом, обыкновенная роговая обманка) и апатит (рис. 3а). Их суммарное содержание – более 90%. Содержание акцессорных минералов (гиперстен, рутил, сфен, лейкоксен, ставролит и анатаз) редко превышает первые проценты. Таким образом, тяжелая фракция сложена практически целиком аллотигенными компонентами. Среди аутигенных образований наиболее распространены ксеноморфные стяжения гидрооксидов железа. В единичных знаках в поверхностных осадках установлены сферические слабомагнитные микроконкреции, диагностированные как аморфный моносульфид железа (гидротроилит). В целом роль вторичных минералов невелика, что обусловлено заторможенностью диагенетических преобразований осадочного вещества вследствие малой минерализованности поровых растворов и придонных вод и относительно низкого содержания органического вещества в изученных отложениях.

а) Минеральный состав тяжелой подфракции, %



б) Минеральный состав глинистой составляющей донных осадков, %

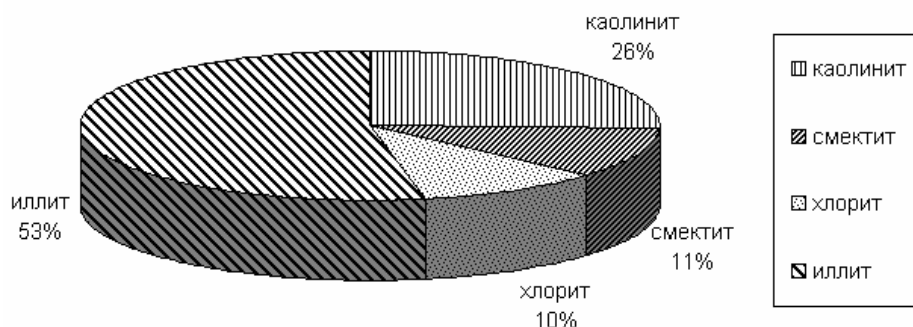


Рис. 3. Минеральный состав песчаных (а) и глинистых (б) фракций донных осадков.

Результаты изучения распределения тяжелых минералов по латерали показали, что с запада на восток по мере снижения мощности потока наносов содержание в песчаных фракциях гидравлически менее крупных минералов (роговая обманка, эпидот) повышается, а гидравлически более крупных минералов (циркон, гранат) падает. На участках дивергенции потоков наносов с активной динамикой, напротив, накапливаются гидравлически более крупные минералы.

Глинистая составляющая донных осадков, по данным рентгеновского дифрактометрического анализа, в минералогическом отношении является полиминеральной смесью, состоящей из хлорита, иллита (гидрослюда), смектита, кварца, амфибола, плагиоклаза (олигоклаз) и ортоклаза с примесью гипса и предположительно цеолита. Превалируют гидрослюды (иллит), каолинит, смектит и хлорит (рис. 3б). Данные особенности минерального состава осадков обусловлены тем, что основным источником поступления тонкого материала в аквальную систему Печорской губы служат плейстоценовые отложения, широко развитые на берегах и дне бассейна. Глинистая фракция береговых образований представлена в основном гидрослюдами и небольшими примесями хлорита, каолинита и др. Гидрослюды рассматриваются как промежуточный продукт гипергенного преобразования слюд, хлоритов и других минералов в каолинит. Наиболее благоприятной обстановкой для их возникновения является относительно слабое химическое разложение материнских пород. Это происходит при холодном и умеренно-холодном климатах, что вполне соответствует условиям, господствовавшим в данных широтах в плейстоцене. Гидрослюды в основном попали в глинистую составляющую четвертичных отложений в результате разрушения и переотложения нивальной коры выветривания.

Таким образом, результаты литологических исследований показали, что донные осадки береговой зоны исследованного района представлены в основном терригенными разностями, лишь в отдельных пробах органический детрит составляет заметную часть. В формировании структуры отложений участвует материал разной крупности (от частиц пелитовой размерности до гальки), но результаты гранулометрического изучения показывают, что главным осадкообразующим материалом является средне-мелкопесчаный материал, –

его доля заметна во всех без исключения типах осадков, и в абсолютном большинстве проб превышает 50%. Столь постоянная гамма размерности поверхностных донных осадков, несомненно, определяется структурной однородностью пород источников питания: берег и подводный береговой склон исследованного района сложены в основном средне-мелкозернистыми песками (рис. 2е). В результате интенсивной абразии и термоабразии этот материал поступает в береговую зону, где перемещается и аккумулируется в соответствии с литодинамическими особенностями, формируя основные черты структурной организации поверхностных донных осадков.

Распределение гранулометрических типов осадков не всегда подчиняется батиметрическому контролю. Лишь в прибрежной полосе на глубинах до 7,5 м, где преобладает влияние волнового фактора осадки распространены полосами, параллельными изобатам. В мористой части, в особенности на западе участка, границы полей осадков в ряде случаев секут изобаты. Здесь главная роль в транспортировке осадочного материала принадлежит другим седиментологическим факторам. Вероятно, приоритет следует отдать приливно-отливным течениям, но возможно и влияние постоянных течений, несущих осадочный материал из Печорской губы.

Итак, морфоседиментогенез в береговой зоне восточного сектора Печорской губы (район Варандей) происходит в условиях взаимодействия гидродинамических и седиментологических факторов. Достаточно объективно и детально выявить особенности формирования морфологии и осадконакопления в этой верхней части шельфа можно лишь на основе широкого обобщения данных исследования литологических параметров донных прибрежных осадков и сопоставления их с данными, характеризующими литодинамический режим.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Баренцево море. Т. 6. – Л., Гидрометеоиздат, 1985. – 346 с.
2. Попов Б. А., Совершаев В. А. Некоторые черты динамики арктических берегов Азии // Вопросы геоморфологии. Сб. 119. Морские берега, – М.: Мысль, – 1982. – С. 105–116.
3. Новиков В., Федорова Е. Разрушение берегов в юго-восточной части Баренцева моря // Вестник МГУ. – Сер. 5: География 1989. – № 1. – С. 64–68.
4. Геоэкология Севера (введение в геоэкоэкологию) / Под ред. В. И. Соломатина. – М.: Изд-во МГУ, 1992. – 272 с.
5. Петров К. М. Биогеография океана. Биологическая структура океана глазами географа. – СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 1999. – 232 с.
6. Усенков С. М., Барков Л. К. Морфоседиментогенез прибрежной зоны северо-востока Сахалина. СПб.: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 1995. – 158 с.
7. Усенков С. М. О реконструкции особенностей прибрежно-морской среды седиментации с использованием динамических Диаграмм // Океанология. –1992. – Вып. 1. – Т. 32. – С. 159–165.

S. M. Usenkov

Some Features of Morphosedimentogenesis in the Coastal Zone of the South-East Sector of the Pechora Bay (Varandei Area)

Based on the wide generalization of exploration data on lithological parameters of bottom nearshore sediments and comparison with data characterizing the lithodynamic regime, the specific features of morphosedimentogenesis in the coastal zone of the south-east sector of the Pechora Bay have been revealed. The medium fine sand is the main sediment-forming material in the structure of the beach and submarine coastal slope

sedimentation. In the upper part of the slope, the distribution of the granulometric sediment types is determined by the wave processes. In the offshore part, the main role in transport of the sedimentary material is played by the tidal currents; the influence of continuous currents carrying the sedimentary material from the Pechora Bay is possible. It has been established that as the thickness of the alongshore sediment flow decreases, the content of hydraulically less large minerals (hornblende, epidote) in the sand fractions increases. On the contrary, in the divergence sections of the sediment flows with active dynamics, the hydraulically large minerals (garnet, zircon) are accumulated.

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

В нашем журнале впервые публикуется присланный с Северного флота материал, в котором содержатся сведения о средствах навигационного оборудования. Письмо автора и предложенная им историческая справка приводятся без сокращений и научной редакции. Редакционная коллегия приветствует поступление такого рода материалов с флотов и надеется, что эта публикация откроет новый раздел в нашем журнале.



В редакцию журнала
«Навигация и гидрография»

Здравствуйте!

Пишет Вам ведущий инженер отделения маячной службы гидрографического района г. Островной Мурманской области.

В 2002 году юбилей у двух маяков – Святоносского (Баренцево море) и Сосновецкого (Белое море), извещение об окончании постройки которых было сделано 6 (по старому стилю) ноября 1862 года. К нашему району относится маяк Святоносский. Если я не ошибаюсь, то это уникальный случай, что деревянный маяк дожил до наших дней практически в первоначальном виде. Менялось только фонарное сооружение и в связи с этим частично перестраивалась верхняя часть маячной башни. Несущие же конструкции не менялись вот уже 140 лет. Представляю на ваш суд историческую справку по маяку Святоносский, написанную по материалам, найденным в ЦГА ВМФ и библиотеках. Поэтому не буду повторять в этом письме информацию, которая есть в справке.

К письму и справке прилагаю несколько фотографий и почтовый конверт, посвящённый маяку Святоносский, который выпущен к 140-летию маяка. 15 августа сего года на маяке было проведено гашение таких конвертов специальным почтовым штемпелем «Маяк Святоносский». Почему 15 августа, а не 6 ноября? Погодные условия в нашем районе в ноябре месяце не позволяют сколько-нибудь точно спрогнозировать возможность проведения данного мероприятия. Поэтому была выбрана дата начала осветительного периода.

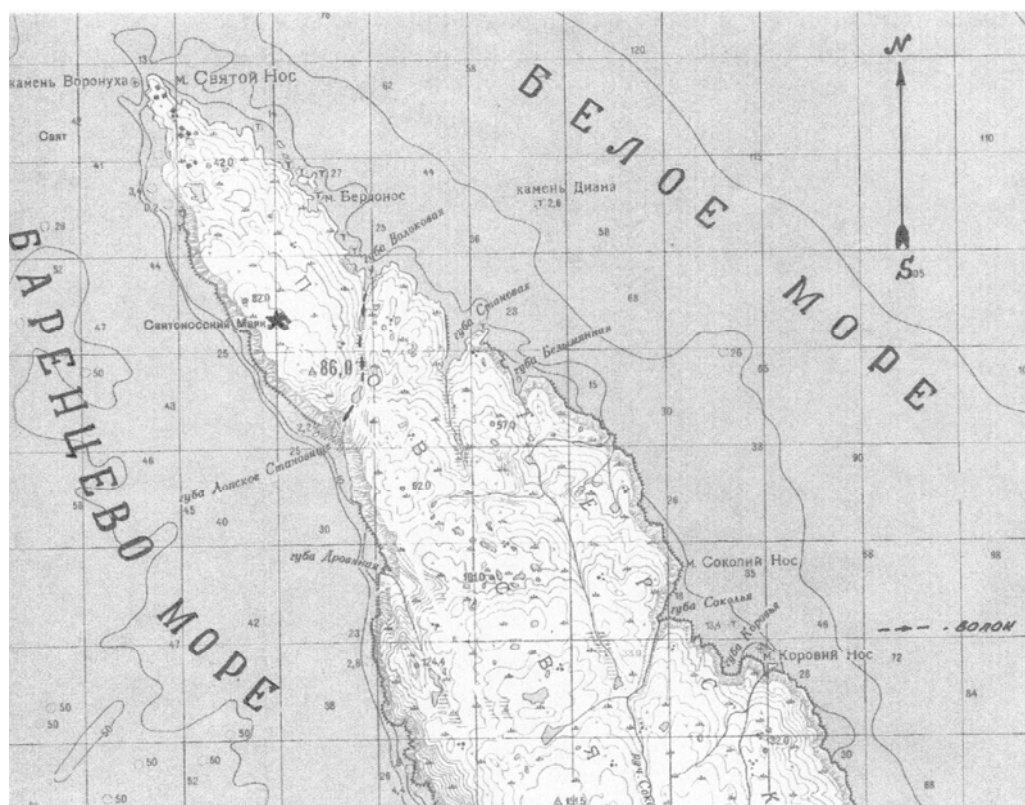
Если данный материал заинтересует ваш журнал, и вы сочтёте возможным его опубликовать, то я готов к сотрудничеству. Буду признателен за объективные поправки и любую дополнительную информацию о маяке.

Ведущий инженер отделения маячной службы в/ч 26909

С. Балашов

27.10.2002 г.

г. Островной



МАЯК СВЯТОНОССКИЙ

Историческая справка

С. И. БАЛАШОВ

(Маячная служба военной части 26909)

«Русские люди должны знать и помнить, что сделано славного предшествующими поколениями, гордиться этим и, в свою очередь, дать возможность и право потомкам так же относиться к ним самим».

Ю. М. Шокальский



Маяк Святоносский. Работники гидрографии следуют на маяк

«Маяк Святоносский (68° 10 N, 39° 45 E) установлен на полуострове Святой Нос» [1]. Всего две строчки в «Лоции Баренцева моря», а за этими строчками – многовековая история освоения северных берегов России и 140-летняя история самого маяка и людей, судьбы которых коснулись или переплелись с событиями, составляющими эту историю.

Своё название маяк получил от полуострова Святой Нос, на котором он и стоит. Вот и начнём с истории полуострова.

Писатель К. С. Бадигин писал: «Отдалённость северного края от центров резко отличала развитие нашего северного мореплавания от развития мореплавания в других странах, где инициатива и руководство морскими походами принадлежали привилегированным слоям населения. И именно из-за своей "простонародности" походы русских мореходов оставались долгое время неизвестными, а имена их – забытыми. В других странах морскими походами руководили люди, известные при королевских дворах, причём походы снаряжались во многих случаях при участии и на средства коронованных особ. Все обстоятельства таких путешествий подробно описывались историками, печатались и становились известными всему миру» [2, с. 31].

Может быть, именно поэтому и о полуострове Святой Нос впервые упоминается в «Записках о Московии» австрийского дипломата Сигизмунда Герберштейна [3], посещавшего Москву в 1517 и 1526 гг. В них он описывает

плавание на четырёх судах русского посла в Дании Григория Истома (Малого) от устья Северной Двины до побережья Норвегии: «...Отсюда, обогнув с трудом излучистый берег, который тянулся вправо, они прибыли к одному мысу, который называется Святым Носом (Sanctus Nasus, Swetinoss). Святой Нос – это огромная скала, выдающаяся в море, наподобие носа. Под этой скалой видна полная водоворотов пещера, которая каждые шесть часов то всасывает море, то с большим шумом возвращает пучину, извергая её обратно. (Одни называют это пупом моря, а другие – Харибдой.) Сила этого водоворота настолько велика, что он притягивает корабли и всё прочее, находящееся поблизости, крутит их и поглощает; по словам толмача, он никогда не находился в большей опасности, ибо когда водоворот стал сильно засасывать корабль, на котором они плыли, то они едва спаслись, из всех сил налегая на вёсла» [3, с. 200–204].

У мыса Святой Нос действительно наблюдаются сильные приливо-отливные течения. В «Лоции Баренцева моря» указывается: «...У мыса Святой Нос при встрече течений почти всегда образуются сулои, достигающие при приливе значительной силы; они весьма опасны для малых судов. Сулои распространяются на 6 миль от берега при ширине их до 3,5 кбт. ... Когда дуют ветры от Е (востока) при сулоях высота волн достигает 5,5 м.» [1, с. 190–191]. Можно представить, с какими трудностями приходилось сталкиваться крохотным парусным судам в этих водах. «Вот почему здесь ставились опознавательные “кресты-признаки” и могильные кресты появлялись не раз, – пишет С. В. Попов, – это были почитаемые мысы. И не потому, что здесь древние мореходы воздевали руки к небу, – не до того было, а потому, что у этих опасных мысов надо было менять курс (норвежцы Святой Нос (Терский) так и называли – «Вегестад» – «Путевая скала»). Недаром через полуостров Святой Нос существовал тогда волок, почему и находящаяся неподалёку на Терском берегу губа называется Волоковая» [2, с. 33]. Известно, что этим волоком, ещё будучи «зуйком» ходил с отцом на тресковый промысел и Михаил Васильевич Ломоносов [4]. Следы этого волока и сейчас можно увидеть. В начале волока, у губы Волоковая, есть несколько небольших озёр, в пресной воде которых поморы очищали свои суда от морского червя, разрушавшего деревянные корпуса судов. Волок заканчивался в губе Лопское Становище, где суда спускались на воду. А вот что говорит о происхождении названия Святой Нос писатель А. Шишов: «В старину для русских мореходов-поморов приметный мыс служил «отчётной точкой – за ним начиналась полная опасностей дорога на свободные летом ото льда просторы Северного Ледовитого океана к далёкому острову Груманту, ныне Шпицбергену... Тем смельчакам, к коим благоволила судьба и студёный океан, когда они добирались обратно к Мурману, уходящая в океан скалистая гряда мыса была святостью. Ведь за ней начинался так хорошо знакомый Терский берег Кольского полуострова, родное Беломорье. Поэтому и называли древние поморы мыс Святым Носом. И больше никак».

Осваивая побережье северных морей, поморы ставили на приметных местах кресты или сложенные из камня башни, так называемые «гурии». Дело в том, что северные берега однообразны и приметные ориентиры были



Поморский крест.
Установлен на мысе Святой Нос.

просто необходимы для безопасного плавания. Эти кресты и «гурии» и были предшественниками будущих маяков. Поморы прекрасно знали особенности плавания в суровых северных водах. Они научились строить хорошие суда (коч, раньшина, карбас), приспособленные для плавания и промысла зверья во льдах. Шведский полярный исследователь А. С. Норденшельд отмечал: «... суда, употреблявшиеся в то время русскими и финнами, не были плохи в сравнении с судами западных европейцев. Скорость их при попутном ветре даже превосходила скорость английских судов» [5, с. 98–99]. Поморы проложили морские пути и к Новой Земле, и к Шпицбергену (Груманту), и далеко на запад и восток от Белого моря. От отца к сыну передавалась морская наука, основанная на опыте плавания в этих суровых водах многих поколений поморов.

Они применяли для плавания старинные чертежи ещё в XV–XVI веках. Те знания, которыми владели поморы, легли в основу первых навигационных карт северных морей. Многие географические названия и на современных картах ведут свою историю от русских первопроходцев севера. 13 сентября 1996 г. на мысе Святой Нос в честь этих мужественных людей установлен и освящён Поморский крест.

Развитие мореплавания и морской торговли требовало составления подробнейших и точнейших навигационных карт. Первая карта Белого моря была издана Андрианом Шенбоком в 1701 г. в Москве. Основой для её издания послужила морская карта Белого моря, помещённая в голландском «Зей факеле» («Морском светильнике») Ван Кейлена. В 1727 г. была издана новая карта Белого моря на основе описи, произведённой штурманом Казаковым и капитаном Деоптером [5, с. 60–61].

Судами эскадры, крейсировавшей у Лапландского (Мурманского) берега в 1779 г. под начальством контр-адмирала Хмелевского, были описаны многие якорные места между Святым Носом и Кольским заливом. Как отмечал знаменитый русский мореплаватель Фёдор Петрович Литке, эти описания были сделаны «... довольно точно, но многие совсем не точно и не верно и все поверхностно» [6]. Развитие судоходства и торговли требовало составления точных карт и лоций для обеспечения безопасности мореплавания как российских, так и иностранных судов вдоль северных берегов.

В 1822 г. Ф. П. Литке получил задание Государственного Адмиралтейского Департамента «...составить обозрение берега российской Лапландии, Северным океаном омываемым» [6]. 17 июня 1822 г. (даты до 1917 г. указаны по старому стилю – *Прим. авт.*) военный бриг «Новая Земля» вышел из Архангельска и взял курс на мыс Святой Нос. Экспедицией

Ф. П. Литке были впервые подробно описаны как сам полуостров Святой Нос, так и внутренний рейд. Были даны названия Иоканьгским островам, были описаны жизнь и быт местных жителей. На острове Сальный был обнаружен крест 1786 г., но надпись на нём разобрать не удалось. Вот как описывает Ф. П. Литке полуостров Святой Нос: «Святой Нос есть низкий, каменистый мыс, выдающийся строго оконечностью к N. От него к NW в одном кабельтове лежит подводный камень Воронуха. Между ним и оконечностью мыса чистый проход, которым ходят малые рыбацьи суда, когда ветер не позволяет обогнуть камня с севера. Около версты южнее берег поднимается вдруг особенно высоко и идёт отрубистыми чёрными скалами, между которыми в расселинах лежит снег, вероятно, никогда совершенно не сходящий. Как этот берег, так и самую оконечность Святого Носа отличить весьма легко, ибо далее к югу нет ни низменностей таких, какою выдаётся этот мыс, ни столь мрачного вида скал. Но в царствующие здесь мрачные погоды различие это приметно в таком лишь расстоянии, на какое подходить к берегу бывает иногда сопряжено с опасностью, и потому башня (опознавательный знак – *Прим. авт.*) на Святом Носу, подобная поставленным в других местах, была бы для мореплавания весьма полезна» [6]. Так впервые был поставлен вопрос о необходимости установки на полуострове Святой Нос навигационного знака.



Вид на полуостров Святой Нос. Виден маяк Святоносский

Дело Ф. П. Литке было продолжено его соратником и учеником Михаилом Францевичем Рейнеке в 1827–32 гг. Несмотря на частые бури и туманы, возглавляемая им экспедиция провела в районе Иоканьгских островов тщательные промерные работы, метеорологические и гидрографические наблюдения. Результаты огромной работы экспедиции Рейнеке легли в основу составленного им «Географического описания Северного берега России» в 1833 г. Под его руководством в 1828 г. в 300 сажнях от оконечности мыса Святой Нос поставлена деревянная башня – четырёхугольная пирамида, высотой 45 футов. Она названа «нижней» или «северной».

В 1833 г. в 1170 саженях от северной башни на $S0\ 26^\circ$ была построена другая башня, названная «верхней» или «южной». Таким образом, идея постройки знаков на полуострове Святой Нос, высказанная Ф. П. Литке, нашла своё воплощение.

В 1835 г. Морским Министерством было принято решение построить на Белом море 9 маяков для обеспечения необходимого для безопасности плавания освещения берегов. В их числе значился маяк на полуострове Святой Нос. Причём этому маяку было уделено особое внимание. В «Докладе по Департаменту Гидрографическому», подписанному генерал-майором Зелёным сказано: «Маяк на Святом Носе, входный маяк в Белое море, существенно необходим, а не существование подобного входного маяка, единственный пример в Европейских морях; причина подобного случая разве может объясняться тем, что наши военные суда, по преимуществу выходят из Белого моря, а не входят в него, и потому не ощущают той настоящей потребности, в которой нуждаются купеческие суда. Подобные входные маяки должны иметь самое яркое освещение, какое только возможно, и потому Департамент полагает, что на Святом Носе действительно нужно иметь огонь первоклассный и даже с проблесками, которые усиливают яркость света и ясно отличают маячный огонь от постороннего» [7].

Первоначально на полуострове Святой Нос планировалось построить каменный маяк с аппаратом диоптрической системы Френеля. Из-за дороговизны такого проекта и сложности последующих ремонтных работ было принято решение о закупке чугунного или железного маяка за границей с последующей доставкой его в разобранном виде на Святой Нос, где планировалось его собрать.

18 марта 1859 г. Главный командир Архангельского порта генерал-адъютант Глазенап обратился в Гидрографический Департамент Морского Министерства со следующим предложением: «... я полагаю, что при самом ограниченном ассигновании, устройство деревянных маяков, с должным расчётом проектированных, при меньшей их ценности сравнительно железными и каменными, может принести надлежащую пользу и на весьма продолжительное время» [8]. Английский заводчик Гриссель (Henry Gritsell, Recents canal iron works, London), с которым велись переговоры по изготовлению металлического маяка, не предоставил соответствующих детальных чертежей, а сделал только фасады маяка. Чертёж фасада маяка (ныне хранится в ЦГА ВМФ) был сделан на высоком художественном уровне, но не позволял проверить соответствие требуемой им суммы в 57 тыс. рублей. К тому же анализ климатических условий показал необходимость соответствующей обработки металлических деталей, что существенно увеличивало стоимость всей конструкции маяка. Всё это при недостатке средств привело к тому, что Его Императорское Величество Государь Император Александр Николаевич «...Высочайше утвердить изволил...» проект деревянного маяка на полуострове Святой Нос. Вместо аппарата системы Френеля (современнейшего на это время) было принято решение установить на маяке обыкновенные рефракторы, изготовить которые в ламповой мастерской Дирекции Балтийских маяков в Ревеле (Таллинне) [9].

Подряд на постройку деревянных служб для маяка и доставку их на место взял архангельский купец Иван Ермолаевич Торопов. Постройка велась в селении Соломбала. Службы в разобранном виде были перевезены на полуостров и там собраны. Были построены: дом смотрителя, казарма, баня, кладовая с ледником, сарай для цистерн. Позже в Архангельске была собрана и маячная башня, которая в разобранном виде была перевезена морем на полуостров Святой Нос, где и была установлена предположительно к 15 сентября 1862 г. В этом же году на маяк была доставлена катоптрическая система с аргантовыми лампами из Ревеля (Таллинна) [10].

6 ноября 1862 г. Гидрографический Департамент сделал известие по Морскому ведомству о том, что «...в Белом море окончены ныне постройкою два маяка, из коих один при входе из Северного океана, на верхнем, или южном холме северной части мыса, называемого Святой Нос, в расстоянии около 300 сажений к NW от башни и в 2 ¹/₂ верстах от оконечности мыса на SO 29 ¹/₂ °, в широте 68° 8 51 N и долготе 39° 48 54 O от Гринвича,....» [11]. (Вторым является маяк Сосновецкий – *Прим. авт.*). Освещение маяка произведено 01 (по старому стилю) августа 1863 г. Огонь на маяке зажегся 1 августа и гасился 1 октября. Для обслуживания маяка назначалась команда, которая состояла из смотрителя маяка и шести рядовых. Первым смотрителем на Святоносский маяк был определён отставной унтер офицер Филиппов [12]. Условия жизни на маяках Белого моря, а особенно самом северном на то время в Российской Империи Святоносском, были суровые. В первую же зимовку 1862/1863 г. от цинги из шести человек команды погибло пять. Смотритель маяка тоже перенёс эту болезнь, «...что и заставило его, с истечением контрактного срока, оставить службу на маяке» [12]. В 1863 г. вместо Филиппова был назначен новый смотритель маяка – отставной унтер-офицер Алексеев. Следующая зима 1863/1864 гг. принесла новые испытания для маячных команд. В эту зиму от цинги на маяке погибла вся команда, кроме смотрителя. Эти трагические события стали предметом серьёзного анализа в Морском Министерстве. Из «Отчёта по морскому ведомству»: «...В суровом климате наших северных морей, в пустынных и отдалённых от всякого жилья местностях Белого моря, при постоянном одиночестве и отсутствии разумной деятельности в течении двух третей года, люди гибли от цинги, несмотря на улучшение пищи и медицинские средства... причина смертности – упадок духа, к которому располагает угрюмая и унылая природа Беломорья и недостаток деятельности, сопряжённой с какой либо занимательностью» [13]. С 1864 г. смотрителю и прислуге Святоносского маяка было разрешено после освещения маяка выезжать в деревню Варзугу, отстоящую на 300 верст от маяка. На время отсутствия маячной команды маяк оставался под присмотром лопаря из Йоканьгского погоста. В апреле команда вернулась из Варзуги и нашла маяк и маячное хозяйство в полном порядке. Летом 1864 г. на шхуне, обходившей маяки первый раз, находился священник, который совершил освящение маячных зданий, «...исповедывал и приобщал Святых таинств каждого из маячных жителей. Такое назначение оказало большую пользу и самое благотворное влияние, не только на команды, долгое время лишённые исполнять обязанности веры, но и на лопарей, рассеянных по Терскому берегу Белого моря, которые не находили

слов для выражения благодарности, когда обряд Святого крещения совершён был над детьми их» [13]. В последующее время обеспечение и быт маяка были улучшены.

В 1866 г. казённая прислуга заменена вольнонаёмной. На маяк приняты: отставной унтер-офицер, солдатский сын, мещанин, крестьянин и лопарь - всего 5 человек.

В 1876 г. при маяке поставлен туманный аппарат системы Гольмса с двумя горнами, действующими сжатым и нагретым воздухом. Туманные сигналы слышны в тихую погоду на 3–4 мили, а по ветру на 4–5,5 миль. В 1890 г. на маяке установлен новый фонарь и осветительный прибор системы Френеля, который открыл освещение 14 августа 1890 г. Фонарь и осветительный прибор были изготовлены в Париже на фирме «F. Barbier & C^{ie}», а установлены русскими работниками под руководством архангельского губернского инженера Савицкого. Подряд на доставку, выгрузку и подъём фонаря и аппарата на маячную башню взял архангельский купец Шмидт. В связи с заменой фонаря была произведена частичная перестройка верхней части маячной башни.

В 1900 г. начат перевод маяков на новое освещение с помощью керосино-калильных горелок с колпачком Ауэра. Маяк Святоносский светил постоянным белым огнём. Дальность видимости огня составляла 18 миль. Во время Первой Мировой войны Йоканьгский рейд служил местом формирования караванов судов, следовавших из Англии в Архангельск с запасами угля, провизии, воды и материалами. Основным ориентиром для входа на Йоканьгский рейд служил маяк Святоносский. Для увеличения дальности видимости огня маяка и более лёгкого отличия его от других, рядом расположенных маяков, было принято решение сделать огонь проблесковым, а дальность видимости увеличить до 25 миль [14].



**Начальник маяка Горбунов
Михаил Иванович.
На маяке с 1968 года**

Для этого в Стокгольме акционерному обществу «Gassacumulator» было заказано новое фонарное сооружение и осветительный газокалильный аппарат «Dallen». 15 февраля 1917 г. фонарное сооружение и аппарат были приняты в казну и записаны на приход.

В последующие годы в связи с развитием и совершенствованием светооптической аппаратуры на маяке проводились соответствующие модернизации.

В настоящее время штат маяка составляет 8 человек. С 1968 г. работами по бесперебойному функционированию маяка Святоносский для обеспечения безопасности плавания российских и иностранных судов в данном районе руководит начальник маяка Михаил Иванович Горбунов. Условия жизни и работы на маяке остаются по-прежнему тяжёлыми. Сказывается и отдалённость маяка от пунктов снабжения, и сложные погодные условия.

В 1971 г. комиссией, которая проводила проверку технического состояния маяка, был сделан вывод о том, что маяк пришел в ветхое состояние, и требуется постройка нового. Денежных средств тогда на строительство нового маяка не нашлось. За следующие 30 лет маяк обветшал ещё больше, значительно повреждён коррозией фонарь, а проблемы с финансированием стали ещё острее. В 2001 г. была произведена тщательная повторная проверка технического состояния маяка. Комиссия установила, что несущие конструкции маяка находятся в хорошем состоянии (хотя и простояли 140 лет), но требуется замена внешней обшивки и фонарного сооружения. Если в ближайшее время не принять срочных и серьёзных мер по восстановлению маячной башни и фонарного сооружения, мы потеряем один из старейших маяков Русского Севера и старейший маяк на Мурманском берегу.



БГК-755 осуществляет доставку грузов и людей на маяк Святоносский

В настоящее время найдена и изучена лишь часть документов, связанных с маяком Святоносский. Но даже то, что удалось обнаружить, показывает, что история этого маяка является звеном в истории не только Севера, но и России, примером беззаветного служения людей своему Отечеству.

3 июня 2001 г. совершено освящение маяка Святоносский, о чём сделана собственноручная запись ключарем Свято-Вознесенского кафедрального собора г. Мончегорска священником Сергием Погодиным.

В 2002 г. по решению Комитета по культуре и искусству Мурманской области маяк Святоносский был внесён в «Список вновь выявленных объектов на территории Мурманской области, представляющих историческую, научную или иную художественную ценность» под № 7/316 и теперь подлежит охране в соответствии с требованиями закона РСФСР «Об охране и использовании памятников истории и культуры» 1978 г. В том же году был выпущен художественный почтовый конверт, посвящённый 140-летию маяка Святоносский, а 15 августа в почтовом отделении г. Островной и на самом маяке проведено гашение таких конвертов специальным почтовым штемпелем «Маяк Святоносский». Этот штемпель является постоянно действующим, и теперь маяк Святоносский изображён на всех конвертах с письмами, которые начинают свой путь в г. Островной и

разлетаются в разные уголки нашей планеты. Так маяк стал не только фасадом города, но и его визитной карточкой.

140 лет маяк Святоносский верно служит людям, обеспечивая безопасность мореплавания, но сейчас он нуждается в нашей помощи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лоция Баренцева моря. Ч. II. – Л.: ГУН и О МО СССР. – 1983. – 280 с.
2. Попов С. В. Названия студёных берегов. – Мурманск, Книжное изд-во, 1990. – 190 с.
3. Герберштейн С. Записки о Московии.. М.: Изд-во МГУ, 1988. – 429 с.
4. Двинин Е. А. Край, в котором мы живём. – Мурманск, Книжное изд-во, 1966. – 246 с.
5. Галенко В. И. Курс-север. Мурманск: Мурманское книжное изд-во, 1978. – 190 с.
6. Литке Ф. П. Четырёхкратное путешествие в Северный Ледовитый океан на военном бриге «Новая Земля» в 1821–24 годах. 2 изд. – М., 1948.
7. Ф № 402, опись № 2, лист 11(оборот), ЦГА ВМФ, Санкт-Петербург.
8. Ф № 402, опись №2, лист 48, ЦГА ВМФ, Санкт-Петербург.
9. Ф № 402, опись № 2 , ед. хран. 1069, ЦГА ВМФ, Санкт-Петербург.
10. Ф № 402, опись № 2, лист 16, ед. хран. 1379-1383, ЦГА ВМФ, Санкт-Петербург.
11. Ф № 84, опись № 1, лист 40, ед. хран. 5617-6439, ЦГА ВМФ, Санкт-Петербург.
12. Ф № 402, опись № 2, дело 1262, ЦГА ВМФ, Санкт-Петербург.
13. «Отчет по Морскому ведомству за 1864 год», ЦГА ВМФ. Санкт-Петербург.
14. Ф №404, опись № 3, дело 2212, ЦГА ВМФ, Санкт-Петербург.

S. I. Balashov

Svyatonossky Lighthouse

The article is written on the occasion of the 140-th anniversary of Svyatonossky lighthouse (the Barents Sea) and is devoted to its history.

ГРНТИ 78.09

ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА БЕРЕГАХ ЯПОНСКОГО МОРЯ (К 130-ЛЕТИЮ СТАНЦИИ ГГУ «ВЛАДИВОСТОК-ПОРТ»)

Л. В. КОБЫЛИНСКИЙ
(ГМС ТОФ)

Очерк посвящен истории систематических гидрометеорологических наблюдений в Японском море, начало которым было положено созданием в 1873 г. станции «Владивосток-порт».

Метеорологические наблюдения на берегах Японского моря начаты во второй половине XIX столетия [1]. Они проводились в Императорской гавани на посту Константиновском, который был основан лейтенантом Н. К. Бошняком из экспедиции Г. И. Невельского. С июня 1855 г. по январь 1856 г. они велись прапорщиком П. Поповым. Позднее метеорологические наблюдения проводились врачом корвета «Воевода» Вульфiusом в гавани Тихая пристань (залив Ольга) во время зимовок в 1858–1859 гг., а с августа 1860 г. по апрель 1861 г. – в бухте Золотой Рог, где 20 июня 1860 г. был основан военный пост Владивосток.

Позже наблюдения велись на Дуэссском маяке (западный берег Сахалина): с 13 июля по 4 октября 1860 г. – Карельским, с 18 октября 1860 г. по февраль 1861 г. – лейтенантом Черкасским. После завершения перевода главной базы

Сибирской военной флотилии из Николаевска-на-Амуре во Владивосток приказом Главного командира портов Восточного океана с 1 февраля 1873 г. во Владивостокском порту были организованы систематические метеорологические наблюдения на станции «Владивосток-порт», которая находилась в ведении Дирекции маяков и лоции Восточного океана.

Метеорологические наблюдения на станции «Владивосток-порт» производились 3 раза в сутки: в 7 часов утра, в 1 час пополудни и в 9 часов вечера. Измерялись давление (в английских дюймах), температура воздуха (в градусах Реомюра), направление и сила ветра (в баллах), облачность, влажность воздуха, явления и количество осадков (в миллиметрах). В графе «Примечание» указывались погода между сроками наблюдений, начало или окончание явлений и др.

Первое наблюдение на метеорологической станции «Владивосток – порт» произведено 20 января (1 февраля н. ст.) 1873 г. в 7 часов утра поручиком Корпуса флотских штурманов (КФШ) Н. Шмитом (рис. 1) [2].

С января по октябрь 1874 г. наблюдения производил поручик Баданин. По распоряжению Главной физической обсерватории с 18 февраля по 30 июня 1874 г. им производились также дополнительные ежедневные наблюдения в 09 часов 31 минуту вечера.

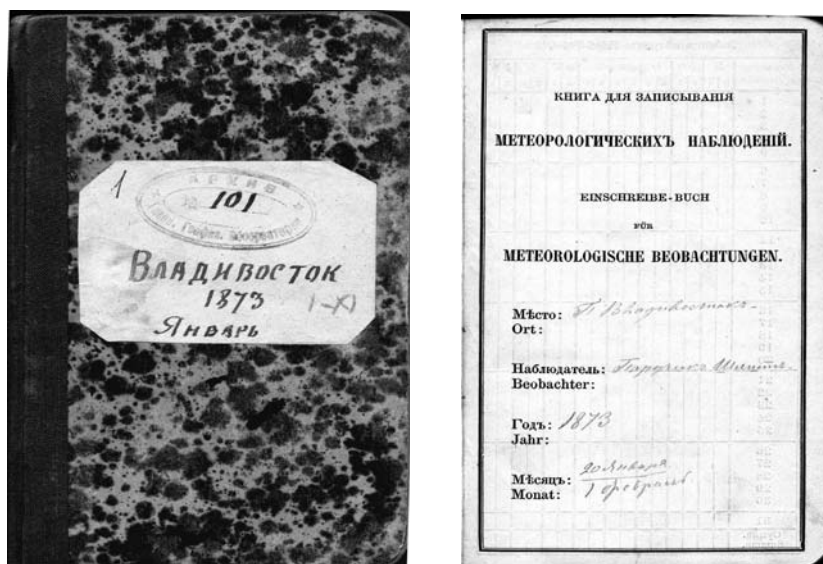


Рис. 1. Книга метеорологических наблюдений, Владивосток, 1873 г. январь

В июле 1874 г. начальником телеграфа и метеорологических станций был назначен лейтенант Э. В. Майдель, который стал уделять большое внимание изучению гидрометеорологических условий Восточного океана. В 1875 г. он разработал комплексную программу развития гидрометеорологических исследований, где предусматривал устройство постоянных метеорологических станций, производство систематических гидрометеорологических наблюдений на кораблях и судах, организацию взаимного обмена телеграфными

сообщениями о погоде и прогнозами «о бурях между русскими, японскими и китайскими портами», а также покупку здания для размещения станции.

Докладная записка Э. В. Майделя и предложения Вильда-Рыкачева о создании обсерватории во Владивостоке обсуждались на заседании совместной комиссии из представителей Академии наук и Гидрографического департамента. Однако по причине больших расходов комиссия отвергла предложения о постройке здания обсерватории [3].

В 1875–1878 гг. Э. В. Майдель провел исследования гидрологического режима Японского моря, Татарского пролива и пролива Лаперуза. Их результатом явилось описание системы течений в этих акваториях. Э. В. Майдель выполнял также гидрографические и гидрометеорологические работы в заливе Петра Великого и обследовал вход в реку Суйфун. На основании этих исследований Главным гидрографическим управлением была издана карта «План входа в реку Суйфун» [4].

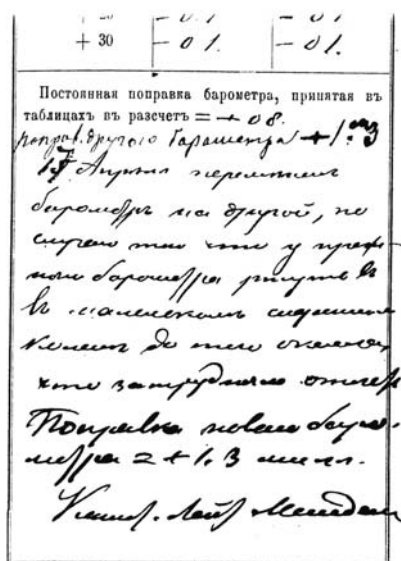


Рис. 2. Пояснения Э. В. Майделя в связи с заменой барометра [5]

Большое внимание Э. В. Майдель уделял производству гидрометеорологических наблюдений на станции «Владивосток-порт» и изучению климата Дальнего Востока. Бессменным наблюдателем станции с ноября 1874 г. по декабрь 1878 г. был Валясин. При этом в книгах метеорологических наблюдений за 1875–1878 гг. можно найти некоторые пояснения самого Э. В. Майделя в связи с изменениями условий производства наблюдений или при замене приборов (рис. 2).

Выступая 26 марта 1899 г. с докладом в Обществе изучения Амурского края (ОИАК), М. Е. Жданко сказал: «...Майдель много лет провел на службе во Владивостоке, руководя гидрографическими работами. Занимаясь, с особенною любовью, магнитными и метеорологическими наблюдениями и изучением течений Японского моря, он первый доказал, что холодного Лиманского течения с севера на юг, омывающего, будто бы, наше побережье, как это думал академик Л. И. Шренк, – в действительности не существует. Он

же дал правильное объяснение особенностей нашего климата с его упорными летними туманами и крайне сухой зимой» [6].

С 1879 по 1892 гг. в производстве гидрометеорологических наблюдений участвовали многие офицеры Отдельной съёмки Восточного океана: Иванцов, Игнатов, Корякин, Максимов, Марков, Панов, Петров, Попов, Сердюков, Филиповский, Фритц, Яковлев [7].

С 1 февраля 1890 г. по 14 мая 1892 г. обязанности начальника берегового телеграфа и метеорологической станции исполнял штабс-капитан В. А. Панов, впоследствии редактор газеты «Дальний Восток» (1892–1922).

Книги метеорологических наблюдений отправлялись в Главную физическую обсерваторию для анализа и опубликования результатов исследований в «Летописях Николаевской Главной физической обсерватории», однако приходили они с большим опозданием.

С ноября 1880 г. станцией проводились также эпизодические наблюдения за температурой почвы.

Все наблюдения на станции производились в установленные сроки с введением поправок гидрометеорологических приборов. Об изменениях местонахождения станции или отдельных приборов производилась запись в книге, например: «1(13) апреля станция переведена в другую комнату того же здания, обращенную окнами на W. Наблюдения с 1/13 апреля производились по барометру Фусса № 73, который помещен на внутренней стене комнаты в расстоянии от печки 11 фут, от окна 9 фут на той же высоте, как и раньше. Все остальные инструменты те же и остались на прежних местах» [8].

В мае 1892 г. впервые заведующим станцией назначается купец Ю. И. Бринер, которому предложено «принять ее на законном основании от штабс-капитана Панова». (Приказ командира Владивостокского порта № 244 от 13 мая 1892 г.). Ю. И. Бринер производил наблюдения с июня 1892 г. по июль 1896 г. Книги метеорологических наблюдений по-прежнему отправлялись в ГФО с подробной информацией в «Примечаниях» или на отдельных листах.

С 12 августа 1896 г. наблюдения продолжил капитан П. Н. Славинский, который начал составлять таблицы наблюдений на станции [9].

С 1899 по 1908 гг. гидрометеорологические наблюдения производил капитан КФШ Г. П. Смирнов, в 1908–1909 гг. – подполковник КФШ К. Г. Гурин [10].

С появлением первой газеты во Владивостоке начали составление и публикацию метеорологических бюллетеней [11].

В 1879 г. первым пробным рейсом во Владивосток прибыл торговый пароход Добровольного флота «Нижний Новгород». В 1880 г. было положено начало развитию торгово-промышленных компаний, коммерческого флота, торговли по всему побережью Восточного океана.

В 1880 г. 7 июня по Высочайшему Государя Императора Александра Николаевича Приказу № 62 порт Владивосток приобретает статус города, а главный командир портов Восточного океана назначается Военным губернатором Владивостока.

В 1881 г. учреждается общественно-литературная и морская газета «Владивосток» (редактор – Н. В. Соллогуб), 17 апреля 1883 г. выходит её первый номер. В газете освещаются все вопросы жизнедеятельности порта и города Владивостока, публикуются приказы Главного командира портов

Восточного океана, а в рубрике «Справочный листок» появляется первый бюллетень Владивостокской метеорологической станции. К сожалению, не сохранился первый номер газеты, а также номера за 1883–1884 гг., но можно видеть (табл. 1), как выглядел «Бюллетень» в № 2 от 13 января 1885 г. [11] – в таком виде «Метеорологический бюллетень» печатался в течение длительного периода. По мере развития порта, мореплавания в дальневосточных морях и сельского хозяйства в прибрежной зоне интерес к наблюдениям станции возрастал, и в июне 1887 г. появляется новая форма «Бюллетеня...», в котором уже публикуются данные за все сроки наблюдений [12].

Таблица 1

Метеорологический бюллетень.

Владивосток, с 4 по 10 января 1885 г. [11]

	бар.	Ветер	Обл.	влажн.	темпер.
Птн.	-30.08	-тихий	ясно	82	-11.5
Суб.	-30.06	-умер.	ясно	64	-13.7
Вос.	-29.99	-умер.	обл.	67	-15.8
Пон.	-30.11	-умер.	обл.	74	-19.2
Вт.	-30.21	-умер.	ясно	68	-15.0
Ср.	-29.99	-умер.	пасм.	92	-13.0
Чет.	-30.09	-умер.	ясно	69	-10.4

Примечание: Данные выведены из троекратных наблюдений в сутки (Метеор. станц.)

Со временем станция «Владивосток-порт» начинает выполнять функции Службы штормовых предупреждений для обеспечения мореплавания в дальневосточных морях.

По телеграфу из Шанхая поступают телеграммы от Цикавейской обсерватории со штормовыми предупреждениями и сообщениями о появлении тайфунов в Китайском море. В 1886 г. в приказе № 326 от 18 сентября Главный командир портов Восточного океана сообщает, что «... на здании управления портов Восточного океана подымаются на ноке гафеля днем два конуса вершинами вверх, а ночью два фонаря в случае извещения телеграммой из Шанхая о тайфуне, появившемся в Китайском море» [13]. Поскольку метеорологическая станция не располагала необходимыми данными, для капитанов судов предупреждение имело рекомендательный характер, и им предоставлялось право «...руководствоваться своими собственными соображениями на этот счет».

С развитием сети метеорологических и сигнальных станций, появлением первых синоптических карт в Китае и Японии, метеорологическая станция «Владивосток-порт» получала уже телеграммы из Шанхая, Гонконга, Манилы, Сингапура, Нагасаки. Был накоплен статистический материал метеорологических наблюдений и на самой станции.

В 1896 г. сигнал штормового предупреждения уже поднимается только в том случае, если есть «...вероятность, что тайфун проникнет в Японское море» [14]. Любой желающий мог ознакомиться с телеграммой на морском телеграфе.

В 1896 г. в газете «Владивосток» был опубликован русский перевод английской «Лощи ближайших к Владивостоку вод и побережий» [15]. Несколько разделов было посвящено службам штормовых оповещений, в частности японской. В разделе «Метеорологические и физические особенности» публикуются практические правила для расхождения с тайфунами.

Главное гидрографическое управление также издает «Описание маяков, башен и знаков по берегам Восточного океана», где указывает порядок штормовых предупреждений в портах и на маяках.

С 1893 г. для предупреждения командиров судов Владивостокского порта о туманах на маяках устанавливаются колокола и пушки [16]. С 11 мая во время тумана на маяке Поворотном «производится звон в колокол». Пушки были предназначены «...для ответных выстрелов во время тумана на всякие сигналы, услышанные с моря». 29 ноября 1893 г. на Петропавловском маяке была установлена паровая сирена, «...звуковая труба которой может поворачиваться вокруг своей оси на 90° от SO до SW. При действии сирены в течение 55–60 секунд получается один звук, продолжительностью от 5 до 7 сек., звук высокого тона» [17].

В 1897 г. директор Цикавейской обсерватории Р. П. Фрок [18] обратился в письме к Военному губернатору Владивостока с предложением «...что-либо сделать для мореходства, столь быстро развивающегося в водах Дальнего Востока» за предоставляемые Владивостокской метеорологической станции в течение длительного (с 1873 г.) периода ежедневные метеорологические наблюдения. Кроме того, Р. П. Фрок предложил свод сигналов с пояснениями и передачу бесплатных телеграмм с информацией о местах нахождения центров барических образований.

С января 1898 г. в портовых городах Китая для организации штормового предупреждения капитанов судов, на сигнальных станциях был введен свод сигналов с использованием разноцветных флагов. Информация на сигнальные станции передавалась из обсерватории в Ци Ка Вее телеграммой с использованием кода.

Газета «Владивосток» в течение длительного периода уже поднимала вопрос о необходимости составления синоптических карт и их издания. Однако Владивостокская метеорологическая станция Морского ведомства не в состоянии была составлять синоптические карты из-за отсутствия специалистов, малого количества поступающих наблюдений и различной ведомственной принадлежности метеорологических станций

С октября 1909 г. на должность смотрителя инструментальной камеры и заведующего метеорологической станцией был зачислен корреспондент ГФО, капитан 1 разряда И. И. Зубрицкий. Вплоть до июля 1916 г. он производил метеорологические наблюдения и участвовал в издании первых во Владивостоке синоптических карт, что стало возможным только с созданием в 1914 г. Морской обсерватории [19].

Наблюдения за состоянием льдов в бухте Золотой Рог производились с первого дня метеорологических наблюдений на станции «Владивосток-порт». Выборка из метеорологических журналов вскрытия и замерзания бухты Золотой

Рог, составленных подполковником КФШ М. Клыковым, приведена С. О. Макаровым в его труде «"Витязь" и Тихий океан» [20].

Специальные бланки и инструкции появились только с созданием метеорологической части Главного гидрографического управления. Знание сроков замерзания, вскрытия и очищения ото льдов бухты Золотой Рог и залива Петра Великого было необходимо для определения сроков навигации, почтовых сообщений по льду и т. д.

В рубрике «Морские заметки» газеты «Владивосток» [21–23] в зимний и весенний периоды появлялась информация о состоянии льда в заливе Петра Великого и некоторые пояснения следующего содержания:

«Сегодня рейд покрылся льдом до м. Эгершельд»;

«5-го декабря вся бухта "Золотой Рог" покрылась льдом»;

«Дувший 3 марта свежий NW увеличил полынью под западным берегом Амурского залива. Полынья начинается мили на 4 севернее мыса Песчаного, в ширину же против устья р. Мангугай достигает 5 миль. Почтовое сообщение по льду с ст. Речной прекращено; почта, проезжающие и грузы теперь направляются береговой дорогой»;

«Лед в заливе Посъет разломало еще на масляной и место стоянки судов ото льда очистило; остались забереги. К 1 марта при такой оттепели можно рассчитывать, что залив Посъет будет чист. Из бухт Новгородской и Экспедиции часть льда унесено в море».

К 1892 г. на побережье Восточного океана существовало всего 5 пунктов для наблюдения за состоянием льда.

Суда торгово-промышленных компаний вынуждены были простаивать в зимний период во Владивостоке до открытия навигации, теряя драгоценное время, при этом порт Владивосток посещали многие иностранные корабли. Поэтому вопрос круглогодичной навигации беспокоил командира порта и всех жителей города Владивостока.

Осенью 1893 г. к ледокольным работам был привлечен портовый спасательный пароход «Силач» водоизмещением 600 тонн. С 3 декабря 1893 г. до 12 января 1894 г. «Силач» совершал рейсы по несколько раз в день, «...покуда наконец пароход, заклинившись в 24-дюймовом льде, не продавил себе борт и приостановился в дальнейшей попытке пробиться в море» [24]. С 12 по 26 февраля командой моряков Сибирского флотского экипажа был пропилен канал от мыса Назимова до пристани Добровольного флота. При этом команда парохода «Силач» «...размеряла и провешивала линии канала для пильщиков, пробивала лунки во льду, взрывами дробила лед между пропиленными резами, и отводила разбитый лед от места работы» [24]. В течение 15 дней во льду был вскрыт канал шириной «у открытого моря 35, на повороте у м. Голдобина 20 и по рейду 10 саж., общей длиною 3000 саж.» [25]. Портовым пароходом «Силач» при проведении ледокольных работ командовал капитан 2 ранга Павловский.

27 февраля 1894 г. в канале показался пароход «Байкал» Шевелева и К° с коммерческим грузом на борту. Это было целое событие для жителей Владивостока, – «...первый серьезный опыт зимней навигации, имеющий в будущем громадное значение» который, как писала газета «Владивосток» [24], «...должен быть записан в летописях Владивостока первым, положившим у нас начало неслыханно ранней навигации».

После проведения первого опыта управляющим Морским министерством была утверждена «Программа ледокольных работ для исследования состояния льда в Амурском заливе». С 1896 г. на производство работ выделялись денежные средства.

Команде, назначенной на пароход «Силач», командиром Владивостокского порта в приказе № 19 от 5.01.1896 г. была дана инструкция: «Исследования льда делать галсами поперек Амурского залива, употребляя, если возможно достать, санную спасательную лодку, причем измерять толщину льда и температуру моря у поверхности и на глубине; необходимые для партии конные подводки нанимать на отпущенный командиру «Силача» аванс по исполнению ледокольных работ» [26].

При производстве ледокольных работ на «Силаче» была составлена первая карта состояния льда на 15 декабря 1896 г., ее обнаружил при написании «Очерка ледокольных работ в бухте Золотой Рог с 1893 по 1899 г.» лейтенант А. Н. Пелль [25].

«Силач» проработал 4 зимы, а 23 мая 1897 г. ему в помощь прибыл специально построенный в Дании для Владивостока пароход-ледокол «Надежный». Этот ледокол имел водоизмещение 1500 т, скорость по чистой воде – 10 узлов, во льдах – до 2 узлов, мощность машин – 300 лошадиных сил. Первым командиром на ледокол «Надежный» был назначен капитан 2 ранга Юрьев, который и принял его «... от лейтенанта датского флота Гарда» [27].

Теперь навигация в бухте стала круглогодичной. В 1924 г. ледокол был вооружен и переименован в канонерскую лодку «Красный октябрь». После похода к острову Врангеля, в 1925 г. он снова стал портовым ледоколом и стал называться «Давыдов». Ледокол проработал более полувека и был списан лишь в 1956 г.

Наблюдения за температурой воды (в градусах Реомюра) **и высотой уровня моря по футштоку** (в дюймах и футах) начаты поручиком Баданиным в июне 1874 г. и производились 3 раза в сутки до ноября 1875 г. Затем температура воды измерялась 1 раз в сутки (в 7 часов утра), а с августа 1878 г. – в «1 час пополудни».

Из-за сложных ледовых условий в бухте Золотой Рог футшток приходилось иногда заменять, так, например, «12 апреля 1881 года футшток сломало льдом» [28].

С 16 апреля 1881 г. до июня 1892 г. наблюдения за температурой воды и высотой уровня моря производились регулярно, три раза в сутки.

Данных с июня 1892 по июль 1896 г. в книжках гидрометеорологических наблюдений Ю. И. Бринера отыскать не удалось.

В августе 1896 г. наблюдения производил П. И. Славинский. Он определил поправку футштока для измерений высоты уровня моря.

Таким образом, к 1892 г. на станции «Владивосток-порт» время проведения регулярных наблюдений за температурой воды и высотой уровня моря составило полных 13 лет, вопреки утверждению директора Дальневосточной метеорологической обсерватории М. М. Партанского. В своём труде «Климат Владивостока» (1923) [29] он опубликовал сведения о температуре морской воды, о колебании уровня моря и о вскрытии и

замерзании бухты «Золотой Рог», которые были «...любезно предоставлены Гидрометеорологической частью Морской обсерватории во Владивостоке...». М. М. Партанский указывает в книге, что «...регулярные, 3 раза в сутки, наблюдения над температурой морской воды в бухте "Золотой Рог" организованы Гидрометеорологической частью Морской обсерватории с 1911 года», что не соответствует действительности.

Начальник Морской обсерватории Н. П. Владимирский в 1929 г. определил положение среднего многолетнего уровня воды в бухте Золотой Рог, обработав данные за 1896–1928 гг. Книги гидрометеорологических наблюдений станции «Владивосток-порт» хранились в Главной физической обсерватории, а затем были отправлены в Приморское Управление гидрометеорологической службы (УГМС) для формирования Гидрометфондов на местах в 1957 г.

В газете «Владивосток» данные о температуре воды в бухте Золотой Рог появлялись, как правило, в летний период и носили информативный характер. Например, «Температура воды в бухте Золотой Рог 12 ноября в 7 час утра была + 5 °, а затем до 7 час утра 15 ноября +4° и далее +3°» [30].

Офицерами Отдельной съемки Восточного океана при выполнении гидрографических работ был собран большой материал о гидрологическом режиме бухты Золотой Рог, залива Петра Великого. В зимний период во время проведения ледокольных работ с 1893 по 1897 гг., на пароходе «Силач» также производились измерения поверхностной температуры воды.

В газете «Владивосток» первые данные футшточных наблюдений были опубликованы в июне 1894 г. [30] за апрель того же года (табл. 2).

Таблица 2

«Наблюдения высоты воды по футштоку, расположенному на Адмиральской пристани в бухте «Золотой Рог», дали следующие результаты за апрель месяц.

Высота воды в дюймах	7 ч утра	1 ч дня	9 ч вечера	Всего наблюдений
	Числа месяца			
+ 20			20	1
+ 19			>>	>>
+ 18			>>	>>
+ 17			19	1
+ 16			>>	>>
+ 15	27	20, 25, 27	27	5
+ 14	28	19, 26	>>	3
+ 13	11, 14, 18	>>	>>	3
+ 12	19, 21, 22, 25, 26	12, 13, 28	4, 10, 3, 17	12
+ 11	4, 5, 13	11, 14, 21, 12, 24	18, 21, 26, 28	12
+ 10	1, 2, 4, 29	4, 6, 30	11, 22, 24, 25	10
+ 9	12, 30	10, 18, 29	3, 12, 16, 23	9
+ 8	9, 16, 23	>>	7, 14, 30	6
+ 7	10, 20	3, 9, 23	1, 8, 15, 29	9
+ 6	3, 17	7	5	4
+ 5	2, 6, 15	8, 17	9	6
+ 4	8	5	6	3
+ 3	7	2, 15	>>	3
+ 2		6	2	2
+ 1		1	>>	1
Итого:	30	30	30	90

	Часы	Числа месяца	Высота воды	Наибольшая, наименьшая высота
maxi- mum	7	27	+15	>>
	1	27	+15	>>
	9	20	+20	+20
mini- mum	7	7	+3	
	1	1	+1	+1
	9	2	+2	

7 ч утра 1 ч дня 9 ч вечера

Средняя высота воды в дюймах 9,366 – 9,033 – 9,700

Общая средняя высота воды – 9,36[6]...»

Затем «...ввиду важности, какая представляется при постройке разных морских сооружений, и вообще для мореходства знания уровня воды...» [31] с сентября 1894 г. они публикуются еженедельно. А с января 1895 г. в «Бюллетене Владивостокской метеорологической станции» появляется дополнительная колонка: «Высота воды по футшт.». Данные публиковались до 1900 г., возобновлены с 1903 г.

Гидрометеорологическое обеспечение мореплавателей и всей жизнедеятельности Владивостока, организованное станцией «Владивосток-порт» Главного гидрографического управления, осуществлялось только ею и фактически оставалось неизменным до создания Морской обсерватории в 1914 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Груздев А. И. Хроника освоения Россией Дальнего Востока и Тихого океана. 1693–1989. – Владивосток: ГС ТОФ, 1989.
2. Архив ОИАК. – Владивосток. – Ф. 28. – Оп. 1. – Д. 1.
3. Бедрицкий А. И., Борисенков Е. П., Коровченко А. С., Пасецкий В. М. Очерки по истории Гидрометеорологической службы России. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1997.
4. Архив ОИАК. – Владивосток. – Ф. 28. – Оп. 0. – Д. 8. –Л. 607
5. Архив ОИАК. – Владивосток. – Ф. 28. – Оп. 1. – Д. 61.
6. Отчеты ОАИК за 1899 г. – Владивосток: ОАИК, 1899.
7. Архив ОИАК. – Владивосток. – Ф. 28. – Оп. 1. – Д. –483.
8. Архив ОИАК. – Владивосток. – Ф. 28. – Оп. 1. – Д. 84.
9. Архив ОИАК. – Владивосток. – Ф. 28. – Оп. 1. – Д. 245.
10. Мошениченко И. Е. Очерки развития метеорологии на Дальнем Востоке. Л.: Гидрометеоиздат, 1970.
11. «Владивосток». Общественно-еженедельная и морская газета. № 2 от 13.01. 1885 г. – С. 8. – ОИАК. – Владивосток.
12. Там же. № 25 от 21.06.1887 г.
13. Там же. № 38 от 21.09.1886 г.
14. Там же. № 29 от 14.07.1896 г. – С. 5.
15. Там же. № 19 от 05.05.1896 г. – С. 2–3.
16. Там же. № 21 от 23.05.1893 г. – С. 1.
17. Там же. № 48 от 28.11.1893 г. – С. 1.
18. Там же. № 40 от 05.10.1897 г. – С. 3–4.
19. Отчет ГГУ Морского министерства за 1915 г. – СПб.: – Петроград, 1916.
20. Макаров С. О. «Витязь» и Тихий океан. СПб.: 1894.
21. «Владивосток». Общественно-еженедельная и морская газета.. № 50 от 10.12.1889 г. – С. 5.
22. Там же. № 8 от 25.02.1890 г. – С. 2.
23. Там же. № 9 от 08.03.1897 г. – С. 2.
24. Там же. № 14 от 03.04.1894 г. – С. 1.
25. Пелль А. Н. Очерк ледокольных работ в бухте Золотой Рог с 1893 по 1899 г. // «Владивосток». Общественно-еженедельная и морская газета. 16, 23 мая 1899 г., 13, 20 июня 1899 г., 27 июля 1899 г.
26. «Владивосток». Общественно-еженедельная и морская газета. № 3 от 14.01.1896 г. – С. 1.
27. Там же. № 22 от 03.06.1896 г. – С. 1.
28. Архив ОИАК. – Владивосток. – Ф. 28. – Оп. 1. – Д. 92.

29. Партанский М. М. Климат Владивостока. – Никольск-Уссурийск, 1923.
30. «Владивосток». Общественно-еженедельная и морская газета. № 47 от 20.11.1894 г. – С. 3.
31. Там же. № 37 от 11.09.1894 г. – С. 2.

L. V. Kobylinsky

Organization of Systematic Hydrometeorological Observations on the Coasts of the Sea of Japan (On the occasion of the 130-th anniversary of "Vladivostok-port" station, Head Hydrographic Department)

The sketch is devoted to the history of systematic hydrometeorological observations on the Sea of Japan that began after the creation of the "Vladivostok-port" station in 1873.

ИНФОРМАЦИЯ

В 2001 г. отпраздновала 300-летие Штурманская служба ВМФ. Датой ее основания принято считать 25 января 1701 г., – день, когда по указу Петра Первого в Москве была открыта Школа математических и навигационных наук. Через три года со дня юбилея в результате огромного, напряженного и кропотливого труда большого числа штурманов (как кадровых офицеров, так и находящихся в запасе и отставке), капитанов, ученых и преподавателей вышла в свет книга «История Штурманской службы Флота России» (М.: Большая Российская Энциклопедия, 2003. – 599 с.).

Идея написания и издания книги, ставшей первым масштабным и многоплановым историческим повествованием о штурманах Российского флота, зародилась давно, но окончательно созрела в 2000 г. и получила горячую поддержку контр-адмирала Е. Г. Бабинова, в то время Главного штурмана ВМФ, принявшего на себя обязанности главного редактора этой книги.

Основная цель издания – проанализировать и обобщить исторический путь штурманской профессии в Российском флоте, а также мореплавательский, боевой, педагогический и научный опыт, накопленный многими поколениями флотских штурманов, и показать значение деятельности Штурманской службы в становлении, развитии и совершенствовании флота России. Одной из главных задач было освещение истории штурманских служб всех составляющих Российского флота – военно-морского, транспортного, промыслового и других. Авторами книги стали флотские офицеры, преподаватели и ученые, многие из которых отдали десятилетия своей жизни служению любимому штурманскому делу. С обращением к читателям книги выступил Главнокомандующий Военно-Морским Флотом адмирал флота В. И. Куроедов.

Книга «История Штурманской службы Флота России» представляет собой попытку частично восполнить пробел в нашей военно-морской литературе, в которой до сих пор отсутствовал систематизированный указатель важнейших событий в истории штурманской службы Российского флота. До настоящего времени этой теме были посвящены лишь отдельные статьи в журналах «Морской сборник», «Записки Гидрографического Департамента» (ныне «Записки по гидрографии») и др., а также труд Н. Коргуева «Штурмана русского военного флота», изданный в 1886 г. В наше время упомянутая книга и многие статьи уже вошли в число библиографических редкостей. Деятельность штурманов в советский период вообще не получила должного отражения в отечественной литературе.

Авторы благодарны всем, кто, искренне интересуясь историей Штурманской службы Российского флота, оказывал творческую помощь и поддержку авторскому коллективу книги, высказывал критические замечания и делал дополнения, позволившие более точно и полно осветить рассмотренные вопросы в представляемом издании.

Перечислить всех, благодаря кому стал возможным выход в свет книги, не представляется возможным. Тем не менее, хотелось бы отметить

инициативную и творческую работу сплоченного авторского коллектива, участники которого, жертвуя личным временем, глотая архивную и библиотечную пыль, писали страницы книги, и, особенно, руководителя авторского коллектива, научного редактора и составителя книги – заместителя начальника отдела Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института МО РФ, доцента, кандидата технических наук, капитана 2 ранга Г. И. Безбородова.

Представляемое издание рассчитано не только на специалистов, но и на широкий круг читателей, интересующихся историей Советского и Российского Военно-Морского Флота.

Редакционная коллегия приглашает к дальнейшему сотрудничеству всех заинтересованных лиц и с благодарностью примет отзывы о книге, а также рекомендации и пожелания по адресу: 105175, г. Москва, Козловский пер., 6, в/ч 36105, Главному штурману ВМФ.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

АЛЕКСЕЕВ Сергей Петрович, начальник ГНИНГИ, заслуженный военный специалист РФ, председатель СПб регионального отделения Российского общественного института навигации, академик Академии транспорта РФ, контр-адмирал, докт. техн. н. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1972) и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1983). Специализация – штурман. Автор более 100 печатных трудов.

БАЛАШОВ Сергей Игоревич, ведущий инженер отделения маячной службы гидрографического района.

БИДЕНКО Сергей Иванович, главный инженер Центра дальней радионавигации ВМФ, докт. техн. н., капитан 1 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники им. А. С. Попова (1979). Специализация – радионавигация. Автор около 60 публикаций.

БОЛДЫРЕВ Борис Юрьевич, начальник 550 гидрометцентра Гидрометеорологической службы Каспийской флотилии, капитан 2 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище подводного плавания (1989). Специализация – гидрометеорология.

БРОДСКИЙ Павел Григорьевич, главный научный сотрудник ГНИНГИ, капитан 1 ранга, докт. воен. н. Окончил Каспийское ВВМУ (1974), Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1986). Специализация: штурман. Автор около 90 печатных трудов.

БУХАРИЦЫН Петр Иванович, ведущий научный сотрудник Института водных проблем РАН, заведующий Астраханской экспедиционной базой, ведущий океанолог Гидрометеорологической службы Каспийской флотилии, доктор географ. наук, профессор. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт (1975). Специализация – океанография. Автор более 100 публикаций, в том числе трех монографий и географического атласа.

ВОЛЧЕК Федор Семенович, ведущий инженер проектного отдела ФГУП «18 Специализированное конструкторско-технологическое бюро ВМФ» МО РФ, капитан 1 ранга в запасе. Окончил Ленинградское Высшее инженерно-мореходное училище им. адм. С. О. Макарова (1969). Специализация – гидрография.

ГЛУХОВ Юрий Андреевич, начальник лаборатории ГНИНГИ, капитан 2 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище подводного плавания им. Ленинского комсомола (1987), Высшие специализированные офицерские классы ВМФ (1993). Специальность – штурман. Автор 10 публикаций.

Sergey P. ALEKSEYEV, Chief of the State Research Navigation-Hydrographic Institute, 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 (1972) and Naval Academy (1983). Speciality: navigation. Author more than 100 publications.

Sergei I. BALASHOV, leading engineer, Lighthouse Service section of hydrographic district.

Sergei I. BIDENKO, chief engineer, the Navy Centre of Long-Range Navigation, Captain I-st rank, DSc. Graduated from Popov Naval College of Radioelectronics (1979). Speciality: radionavigation. Author of about 60 publications.

Boris Y. BOLDYREV, chief of 550 Hydrometeorological Centre, Hydrometeorological Service, the Caspian Flotilla. Graduated from Naval College of Submarine Navigation (1989). Speciality: hydrometeorology.

Pavel G. BRODSKY, chief researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, Captain 1-st rank, DSc. Graduated from Caspian Naval College (1974) and Naval Academy (1986). Speciality: navigation. Author of about 90 publications.

Pyotr I. BUKHARITSYN, leading researcher, Institute of Water Problems, RAS, chief of Astrakhan Expeditionary Base, leading oceanologist of Hydrometeorological Service, the Caspian Flotilla, DSc, professor. Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute (1975). Speciality: oceanography. Author of more than 100 publications, including three monographs and geographical atlas.

Fyodor S. VOLCHEK, leading engineer of design department, Federal State Unitary Enterprise "The Navy 18 Specialized Design-Technology Bureau", the Russian Federation Ministry of Defence, Captain I-st rank (Ret). Graduated from Makarov Higher Engineering Marine College (1969). Speciality: hydrography.

Yuri A. GLUKHOV, chief of laboratory, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, Captain 2-nd rank. Graduated from Naval Submarine Navigation College (1987), Navy Higher Officers' Classes (1993). Speciality: navigator. Author of 10 publications.

ГОЛОВАН Андрей Андреевич, ст. научн. сотр. ФГУП ЦНИИ «Дельфин», канд. техн. н. Область научных интересов – гироскопия, навигация. Автор более 40 печатных работ.

ГОРОХОВ Александр Иванович, ведущий инженер Центра дальней радионавигации ВМФ, капитан 1 ранга в отставке. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1964). Специальность – военный инженер-гидрограф. Автор 30 печатных работ.

ГРИГОРОВ Валерий Сергеевич, инженер-технолог проектного отдела ФГУП «18 Специализированное конструкторско-технологическое бюро ВМФ» МО РФ, капитан 3 ранга запаса. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1971). Специализация – гидрография.

ДАДАШЕВ Анатолий Аганасирович, профессор кафедры гидрографии Санкт-Петербургского военно-морского института – Морского корпуса Петра Великого, канд. в.-м. н, капитан 1 ранга в отставке. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1947), ВРОК (1952), адъюнктуру при ВВМУ им. М. В. Фрунзе (1967). Специализация – гидрографические исследования и их автоматизация. Автор более 40 печатных трудов, в том числе двух монографий.

ДАНИЛОВА Галина Кирилловна, старший научный сотрудник ГНИНГИ, канд. техн. н. Окончила Петрозаводский государственный университет (1961). Специализация – математика. Автор около 40 публикаций.

ДОБОРИН Андрей Михайлович, инженер Санкт-Петербургского филиала КБ «Навис» студент Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета, специализация – проектирование и технология радиоэлектронных средств.

ДОБРОТВОРСКИЙ Александр Николаевич, зам. начальника ГНИНГИ, член-корреспондент Академии Инженерных наук РФ, полковник, докт. техн. н., профессор. Окончил военную инженерно-космическую академию им. А. Ф. Можайского (1973). Специализация: системное проектирование. Автор около 170 печатных трудов.

ДУБИНКО Юрий Сергеевич, ведущий специалист КБ «Навис», капитан 1 ранга (в отставке), канд. техн. н., доцент. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1958) и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1966). Специализация – спутниковая радионавигация. Автор более 50 печатных трудов, в том числе двух монографий

Andrei A. GOLOVAN, senior researcher, Federal State Unitary Enterprise, Central Research Institute «Dolphin», CandSc. Sphere of scientific interests: gyroscopy, navigation. Author of more than 40 publications.

Alexandr I. GOROKHOV, leading engineer, the Navy Centre of Long-Range Navigation, Captain 1-st rank (Ret). Graduated from Frunze Naval College (1964). Speciality: military engineer-hydrographer. Author of 30 publications.

Valery S. GRIGOROV, engineer-technologist of design department, Federal State Unitary Enterprise "The Navy 18 Specialized Design-Technology Bureau", the Russian Federation Ministry of Defence, Captain 3-rd rank (Ret). Graduated from Frunze Naval College (1971). Speciality: hydrography.

Anatoly A. DADASHEV, professor, Chair of Hydrography, St. Petersburg Naval Institute – Peter the Great Maritime Corps, CandSc, Captain 1-st rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College (1947), Higher Radiolocation Officers' Classes (1952), postgraduate studies at Frunze Naval College (1967). Speciality: hydrographic explorations and their automatization. Author of more than 40 publications, including 2 monographs.

Galina K. DANILOVA, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, CandSc. Graduated from Petrozavodsk State University (1961). Speciality: mathematics. Author of about 40 publications.

Andrei M. DOBORIN, engineer of «Navis» Design Bureau, student of St.Petersburg Electrotechnical Institute. Speciality: design and technology of radioelectronic equipment.

Alexandr N. DOBROTVORSKY, Deputy Chief of the State Research Navigation-Hydrographic Institute, Colonel, DSc, professor, Corresponding Member of the Academy of Engineering Sciences RF. Graduated from Mozhaisky Military Space Academy (1973). Speciality: system design. Author of about 170 publications.

Yuri S. DOUBINKO, leading specialist of «Navis» Design Bureau, Captain 1-st rank (Ret.), CandSc, senior researcher. Graduated from Frunze Naval College (1958) and Naval Academy (1966). Speciality: satellite radionavigation. Author of more than 50 publications, including two monographs.

ЗАРУБИН Сергей Петрович, зам. Начальника отделения ФГУП «Российский институт радионавигации и времени» (РИРВ). Окончил Ленинградский механический институт (1980). Область научных интересов – радионавигационные системы и радиопередающие устройства. Автор более 50 печатных работ.

ЖОЛНЕРОВ Вадим Степанович, зам. генерального директора ФГУП «Российский институт радионавигации и времени» (РИРВ). Окончил Ленинградский электротехнический институт (1968). Область научных интересов – квантовая радиофизика. Автор более 210 публикаций.

ЖУКОВ Юрий Николаевич, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ, канд. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт в 1972 г. Специализация – гидрометеорология. Автор 20 печатных трудов.

ИВАНОВ Борис Евгеньевич, главный научный сотрудник ГНИНГИ, 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 в 1957 г., Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова в 1969 г. Специализация – морская геодезия, гравиметрия, гидрография, навигация. Автор около 200 печатных трудов.

КАБИРОВ Андрей Ильгизарович, зам. директора ФГУП «Российский институт радионавигации и времени» (РИРВ). Окончил Ленинградский институт связи в 1988 г. Специализация – радионавигационные системы и радиопередающие устройства. Автор около 40 печатных трудов.

КОБЫЛИНСКИЙ Леонид Владимирович, начальник Гидрометеорологической службы Тихоокеанского флота, капитан 1 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1985) и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1994). Специализация – гидрография, гидрометеорология.

ЛАПШИНА Валентина Ивановна, старший научный сотрудник ГНИНГИ. Окончила Ленинградский институт точной механики и оптики (1959). Сфера научных интересов – программно-математическое обеспечение навигационных задач. Автор 15 научных публикаций.

МАЛЕЕВ Павел Иванович, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ, капитан 1 ранга в отставке, докт. техн. н. Окончил Казахский государственный университет в 1952 г., Специальные курсы при Военно-морской академии им. А. Н. Крылова (1953). Специализация – технические средства навигации. Автор около 200 печатных трудов.

Sergei P. ZARUBIN, deputy head of section, Federal State Unitary Enterprise «Russian Institute of Radionavigation and Time». Graduated from Leningrad Mechanical Institute (1980). Speciality: radionavigation and radiotransmitting devices. Author of more than 50 publications.

Vadim S. ZHOLNEROV, deputy director general, Federal State Unitary Enterprise «Russian Institute of Radionavigation and Time», DSc. Graduated from Leningrad Electrotechnical Institute (1968). Speciality: quantum radio physics. Author of more than 210 publications.

Yuri N. ZHUKOV, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, CandSc. Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute (1972). Speciality: hydrometeorology. Author of 20 publications.

Boris E. IVANOV, chief researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, Captain 1-st rank (Ret.), DSc, professor, RF State Prize Winner, Honoured Scientist, chairman of Krylov STO section. Graduated from Baltic Naval College (1957) and Naval Academy (1969). Speciality: marine geodesy, gravimetry, hydrography, navigation. Author of about 200 publications.

Andrey I. KABIROV, deputy director of Federal State Unitary Enterprise "Russian Institute of Radionavigation and Time". Graduated from Leningrad Institute of Communications (1988). Speciality: radionavigation systems and radiotransmitters. Author of about 40 publications.

Leonid V. KOBYLINSKY, Chief of Hydrometeorological Service, the Pacific Fleet, Captain 1-st rank. Graduated from Frunze Naval College (1985) and Naval Academy (1994). Speciality: hydrography, hydrometeorology.

Valentina I. LAPSHINA, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute. Graduated from Leningrad Institute of Fine Mechanics and Optics (1959). Sphere of scientific interests: software for navigation problems. Author of 15 publications.

Pavel I. MALEYEV, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute. Captain 1st rank (Ret.), DSc. Graduated from Kazakh State University (1952), Specialized Course at Krylov Naval Academy (1953). Speciality: technical means of navigation. Author of about 200 publications.

МАСТРИУКОВ Сергей Иванович, начальник отдела ГНИНГИ, полковник, канд. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт в 1978 г. Специализация – океанология. Автор более 10 печатных трудов.

МЕРКУШОВ Николай Степанович, старший научный сотрудник ГНИНГИ, канд. техн. н., капитан 1 ранга в отставке. Окончил Балтийское военно-морское училище (1957), Северо-западный заочный политехнический институт (1967). Специализация – военная гидрография, радиотехника. Автор 30 публикаций, включая книгу (в соавторстве) и брошюру.

НИКИТИН Олег Викторович, начальник лаборатории ГНИНГИ, капитан 2 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники им. А. С. Попова (1988). Специализация – спутниковая навигация.

ОБУХОВ Алексей Юрьевич, начальник информационного отдела ГНИНГИ, капитан 1 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1987) и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1998). Специализация – военный гидрограф. Автор 10 печатных трудов.

СЕМЕНОВ Георгий Алексеевич, главный специалист ФГУП «Российский институт радионавигации и времени», канд. техн. н. Окончил Ленинградский политехнический институт в 1960 г. Специализация – радиолокация и радионавигация. Автор 150 печатных трудов и одной монографии.

ТРАВИН Сергей Викторович, зам. начальника – начальник проектного отдела ФГУП «18 Специализированное конструкторско-технологическое бюро ВМФ» МО РФ, капитан 3 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1994). Специализация – гидрография.

ТРЕГУБОВ Виктор Свиридович, старший научный сотрудник ГНИНГИ. Окончил Государственную морскую академию им. адм. С. О. Макарова (1975). Область научных интересов – радионавигация. Автор 80 печатных трудов.

УСЕНКОВ Святослав Михайлович, доцент Санкт-Петербургского государственного университета, канд. геол.-минер. н. Окончил Ленинградский государственный университет в 1975 г. Специализация – морская геология, седиментология береговой зоны, геоэкология. Автор 80 печатных трудов, в том числе 3 монографий.

ЧАПЛЕВСКИ Кшиштоф, преподаватель Военно-морского университета г. Гдыня (Польша), докт. техн. н. Окончил Военно-морской университет г. Гдыня (1991). Специализация – средства навигации. Автор 60 печатных трудов.

Sergei I. MASTRYUKOV, chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, Colonel, CandSc. Graduated from St. Petersburg Hydrometeorological Institute (1978). Speciality: oceanology. Author of more than 10 publications.

Nikolai S. MERKUSHOV, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, CandSc, Captain 1st rank (Ret). Graduated from Baltic Naval College (1957), North-West Extramural Polytechnical Institute (1967). Speciality: military hydrography, radio engineering. Author of 30 publications, including a book (as co-author) and a booklet.

Oleg V. NIKITIN, chief of laboratory, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, Captain 2nd rank. Graduated from Popov Naval College of Radioelectronics (1988). Speciality: satellite navigation.

Alexei Y. OBUKHOV, chief of information section, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, Captain 1st rank. Graduated from Frunze Naval College (1987), Naval Academy (1998). Speciality: military hydrographer. Author of 10 publications.

Georgy A. SEMYONOV, senior specialist, Federal State Unitary Enterprise "Russian Institute of Radionavigation and Time", CandSc. Graduated from Leningrad Polytechnical Institute (1960). Speciality: radiolocation and radionavigation. Author of about 150 publications including one monograph.

Sergei V. TRAVIN, deputy chief, chief of design department, Federal State Unitary Enterprise "The Navy 18 Specialized Design-Technology Bureau", the Russian Federation Ministry of Defence, Captain 3-rd rank (Ret). Graduated from Frunze Naval College (1994). Speciality: hydrography.

Victor S. TREGUBOV, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute. Graduated from Makarov State Maritime Academy (1975). Speciality: radionavigation. Author of 80 publications.

Svyatoslav M. USENKOV, Senior reader of Geological faculty, St. Petersburg State University. CandSc, Graduated from St. Petersburg State University (1975). Sphere of scientific interests: marine geology, coastal zone sedimentology, environmental geology. Author of 80 publications, including three monographs.

Krzysztof CZAPLEWSKI, lecturer, Naval University of Gdynia, Poland, DSc, Graduated from Naval University of Gdynia (1991). Speciality: aids to navigation. Author of 60 publications.

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА

Информация о правилах оформления подписки на издания Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института Министерства обороны Российской Федерации

Юридические и физические лица могут приобрести журнал "Навигация и гидрография", материалы конференций, информационные материалы, разработанные информационным отделом ГНИНГИ МО РФ (аналитические и реферативные обзоры, переводы), оформив подписку как за безналичный, так и наличный расчет. Время оформления подписки не ограничено.

Журнал "Навигация и гидрография" выходит 2 раза в год. В 2002 г. выйдут 14 и 15 номера. Заказ можно оформить на любой номер журнала, начиная с 12. НДС на все печатные издания не начисляется. Цена одного номера журнала – **150** руб.

Ежеквартально информационным отделом ГНИНГИ МО РФ выпускаются:

- Аналитические справки. Стоимость одного выпуска - **60** руб.
- Информационные справки. Стоимость одного выпуска - **60** руб.
- Реферативные обзоры. Стоимость одного выпуска - **60** руб.
- Реферативно-библиографический указатель. Стоимость одного выпуска - **60** руб.
- Переводы. Стоимость одного выпуска - **60** руб.

Можно приобрести также сборник докладов Четвертой Российской научно-технической конференции "Современное состояние, проблемы навигации и океанографии" (НО-2001) Стоимость 2-х томов Сборника – **350** рублей.

Главному редактору журнала «Навигация и гидрография»
Алексееву С. П.
199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41

БЛАНК-ЗАКАЗ

Прошу оформить подписку (заказ) на:

- ___ экз. журнала «Навигация и гидрография», №№;
- ___ экз. реферативно-библиографического указателя, №№;
- ___ экз. реферативного обзора, №№;
- ___ экз. сборника переводов, №№;
- ___ экз. сборника докладов конференции (НО-2001).

Стоимость подписки в сумме _____

перечислена на расчетный счет ГНИНГИ МО РФ:

ИНН 7801020940

р/сч 4050281010000000107; (кор/сч - нет)
БИК 044081002; ОКОНХ 95120; ОКПО 08303504

ПУ ЦБ РФ Флагманское г. С. -Петербург.

Платежное поручение № _____ от " _____ " _____ 200_ г.

Заказ направить по адресу:

индекс п/о _____, область (край, респ.) _____

город, улица, дом _____

Кому _____

(полное название организации и ФИО контактного лица или ФИО заказчика)

В платежном поручении указать: «**Подписная плата за журнал(ы) ...**».

Заполненный бланк-заказ перешлите (почтой/факсом) в редакцию по указанному ниже адресу.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

В журнале публикуются результаты исследований в области навигации, гидрографии, океанографии, гидрометеорологии, морской картографии, морской геофизики и экологии. Издание освещает концептуальные научные положения, 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.

Требования к оформлению материалов

1. Статьи принимаются на дискетах 3,5" или CD в формате текстового редактора **MS Word for Windows** (версия не ранее 1997 г.) с приложением текста на бумаге (размер шрифта 14, межстрочный интервал 1,5). Все материалы должны быть подписаны авторами.
2. Объем статьи не должен превышать 0,5 авторского листа (20 000 печатных знаков), включая рисунки, таблицы и список литературы.
3. Название статьи должно в наиболее краткой форме отражать ее содержание.
4. 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, сведения об авторах и иллюстрации 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 акт экспертизы о возможности открытого опубликования.
5. Для написания формул следует использовать редактор формул **MS Word for Windows**.
6. Используемые в статье величины и единицы измерения должны соответствовать стандартным обозначениям согласно Международной системе единиц СИ.
7. Рисунки представляются отдельным файлом в черно-белом изображении в форматах **.jpg** или **.gif** с разрешением до **300 DPI**. Все рисунки должны быть размером не более 210x140 мм и иметь порядковые номера и подписи.
8. Таблицы должны иметь порядковые номера и названия. Длина строки таблиц при шрифте "Arial" размером 9 не должна превышать 200 мм. При этом таблицы, у которых длина строки при указанном шрифте превышает 145 мм, должны иметь вертикальную ориентацию.

9. 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.
10. Материалы, отправляемые по E-mail, следует направлять в виде присоединенных к письму файлов. Размер одного сообщения не должен превышать 0,5 Мб. Письма большего объема необходимо компрессировать архиваторами (**ZIP, RAR**) или разделять. Графические файлы не должны содержать более одного рисунка.

**Адрес редакции: Россия, 199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41.
Телефон: (812) 322-21-42 (доб. 215), 322-22-43, 322-18-88 (доб. 249),
Факс: (812) 322-33-19, 327-99-80 (с 9.00 до 17.00).
E-mail: gningi@navy.ru**

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ, 2003, №17

Редактор И. Ю. Бугрова

Компьютерная верстка: А. А. Смирнова

Подписано в печать 24.02.2004 г.

Заказ № 5

Рег. № 013267 от 26.01.95 г.

Комитет РФ по печати

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