

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

---

**НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ**

ИЗДАЕТСЯ С 1995 ГОДА

**19  
2004**

**МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

---

Санкт-Петербург

# **Главный редактор**

## **д. т. н., проф. С. П. Алексеев**

### **Редакционная коллегия:**

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

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

**2004**

**THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC  
INSTITUTE**

---

**NAVIGATION AND HYDROGRAPHY**

PUBLISHED SINCE 1995

**19  
2004**

**RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE**

---

*Saint-Petersburg*

# **Editor-in-chief**

## **S. P. Alekseyev, DSc, professor**

### **Editorial board**

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

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

**2004**

## СОДЕРЖАНИЕ

**С. П. Алексеев , А. Б. Опарин** Роль ВМФ в создании единой системы информационного обеспечения морской деятельности ..... 8

**А. Н. Батуев, А. Н. Добротворский, С. А. Дружевский, С. В. Яценко** Методологические аспекты оценки рисков проектирования морских участков трасс трубопроводов..... 17

### НАВИГАЦИЯ

**Б. Е. Иванов, А.Н. Батуев** О влиянии неопределенности положения кромок фарватера на вероятность навигационной безопасности плавания ..... 34

**П. И. Малеев** Свободный гироскоп на контактном сверхнизком трении..... 39

**М. Л. Богданович, К.А. Виноградов, Н. И. Леденев, К. Ю. Лысенко** Результаты испытаний технических средств юстировки относительных лагов подводных лодок в Балтийском море .....42

**Б. И. Лобойко, В. С. Трегубов, В. Н. Баринов** Состояние и направления исследований по повышению помехоустойчивости спутниковых радионавигационных систем..... 48

**В. А. Пыленков, Г. К. Данилова, В. И. Лапшина, В. Н. Баринов** Оптимизация методов объединения дифференциальных поправок наземных станций ..... 54

### ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

**Ю. Н. Жуков** определение формы рельефа по данным дискретных измерений ..... 65

**П. И. Малеев, Б. М. Смирнов** Корректировка параметров Пуассона и проекций вектора магнитной индукции от постоянной намагниченности подвижного ферромагнитного объекта ..... 69

**Б. М. Смирнов** Привязка осей трехкомпонентного магнитометрического датчика к осям навигационной системы ферромагнитного подвижного объекта..... 72

**А. В. Каврайский** О выборе картографических проекций для электронного отображения морских карт ..... 80

## ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ОКЕАНОГРАФИЯ

- Е. А. Захарчук, Н. А. Тихонова** Об интенсивности течений разных временных масштабов в Чукотском море и Беринговом проливе ..... 87
- Н. Е. Иванов В. А. Рожков** Изменчивость приливо-отливных явлений ..... 98
- С. И. Мастрюков М. Н. Бобкова** Методика и результаты расчета волнового режима на основе базы судовых метеорологических наблюдений НИЦ ГНИНГИ МО РФ ..... 109
- Ю. Н. Жуков** Определение вертикального распределения скорости звука с эхолотов ..... 118
- А. Б. Опарин, А. М. Абрамов** Функционально-технологические аспекты сопряжения информационных систем об обстановке в Мировом океане..... 121
- В. Г. Лямзина С. И. Мастрюков** Состояние разработки интегрированных баз океанографических данных в НИЦ ГНИНГИ МО РФ ..... 125
- Ю. Н. Жуков** Способ генерализации точечных объектов в ГИС..... 131

## КОНФЕРЕНЦИИ

- Zdzislaw Korpacz, Wacław Morgaś, Jozef Urbański** Maritime navigational information and its provision..... 139
- З. Копач, В. Моргась, Ю. Урбаньский** Морская навигационная информация и ее обеспечение..... 150

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**..... 162

**CONTENTS** Ошибка! Закладка не определена.

**РОЛЬ ВМФ В СОЗДАНИИ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**С. П. АЛЕКСЕЕВ,  
А. Б. ОПАРИН**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*В статье рассматривается проблема информационного обеспечения морской деятельности, а также особенности функционирования объектов различного назначения при формировании Единой системы информации об обстановке в Мировом океане. Основное внимание уделено вопросу функционирования военного контура ЕСИМО с учетом требований государственной системы освещения надводной и подводной обстановки.*

90-е годы XX века охарактеризованы повышенным вниманием к проблеме создания информационных банков накопления и использования информационных ресурсов о природной среде Мирового океана (гидрографических, гидрометеорологических, ледовых, биологических, минеральных, экономических, географических и т.д.) и особенностях функционирования в его пределах объектов различного назначения [1].

Информационное обеспечение морской деятельности в России в первую очередь предусматривает поддержание и развитие навигационно-гидрографического, гидрометеорологического и других видов обеспечения единой государственной системы освещения надводной и подводной обстановки. Они создаются на базе сил и средств Министерства обороны Российской Федерации, Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и других заинтересованных федеральных органов исполнительной власти Российской Федерации [2].

В рамках Федеральной целевой программы «Мировой океан» выполняется подпрограмма «Создание единой системы информации об обстановке в Мировом океане» ЕСИМО (головной исполнитель – Росгидромет), которая характеризуется как система информации, интегрирующая действующие в Российской Федерации технологии производства наблюдений сбора, обработки, накопления и распространения информации об обстановке в Мировом океане. ЕСИМО предназначена для информационной поддержки морской деятельности на федеральном, региональном и ведомственном уровнях.

В другой подпрограмме «Военно-стратегические интересы России» (головной исполнитель – Министерство обороны РФ) одним из направлений реализации является создание единой государственной системы освещения надводной и подводной обстановки (ЕГСОНПО), которая формируется как совокупность интегрированных на базе сил и средств Министерства обороны (Военно-Морского Флота) Российской Федерации автоматизированных систем, комплексов и средств различного ведомственного подчинения, осуществляющих сбор, обработку, анализ и доведение информации о морской (надводной и подводной) обстановке в Мировом океане.



Анализ проектов Концепций создания и развития ЕГСОНПО и ЕСИМО, а также проектов Положений об этих системах показывает, что основными принципами их создания являются:

- целостность и управляемость информационного пространства, его независимость от ведомственной принадлежности;
- интегрируемость разнородных источников первичной информации через специализированные телекоммуникационные каналы, независимо от ведомственной принадлежности, в целях исключения дублирования и информационной избыточности, а также достижения своевременности и гибкости реагирования на изменение обстановки (ситуации);
- достаточность разнородных источников информации для получения целостной картины обстановки в Мировом океане;
- интегрируемость ведомственных систем в единую информационную систему федерального уровня;
- формирование информационного пространства в единой координатной системе для отображения морской обстановки и состояния среды;
- единство требований по сопряжению разнородных информационных источников, каналов приема и передачи информации, по режимам функционирования всех звеньев и уровней ЕГСОНПО и порядку их взаимодействия как с потребительскими, так и с информационными системами управленческого уровня.

С учетом перечисленных принципов достижение основной цели функционирования ЕГСОНПО может быть обеспечено решением следующих основных задач:

- формирование информационных массивов, содержащих сведения о времени и местонахождении выявленных, классифицированных и распознанных надводных и подводных объектов военного и гражданского предназначения;
- формирование информационных массивов, содержащих данные и результаты гидрометеорологического и экологического мониторинга Мирового океана, необходимых для оценки надводной и подводной обстановки и анализа действий обнаруженных объектов;
- навигационно-ориентированная поддержка деятельности на море и обеспечения безопасности: сил Военно-Морского Флота (ВМФ); кораблей и судов других ведомств Российской Федерации; комплексов и средств, используемых для разработки и транспортировки полезных ископаемых;
- накопление информации о деятельности на море иностранных государств, корабельном составе и группировках военно-морских сил, маршрутах переходов и предназначении военных кораблей и гражданских судов;
- выработка и обобщение прогнозов действий обнаруженных в Мировом океане надводных и подводных объектов, целеуказания силам и средствам ВМФ и других видов Вооруженных Сил РФ, рекомендаций владельцам морских судов РФ;

- подготовка информации для использования при контроле над выполнением международных договоров и соглашений о деятельности на море;
- создание автоматизированных банков данных по Мировому океану, обеспечивающих оптимальные анализ и прогноз действий сил и средств параметров природной среды по освещению надводной и подводной обстановки.

Анализ указанных задач позволяет сформировать следующие основные направления взаимодействия двух подпрограмм:

- комплексное использование системами информации о местоположении объектов в море, добываемой различными источниками информации и накапливаемой в соответствующих центрах ее обработки;
- комплексное использование характеристик и аномалий широкого спектра физических полей, регистрируемых различными средствами мониторинга (освещения) морской обстановки;
- комплексное использование результатов решения информационных и аналитических задач в центрах обработки информации.

В настоящее время для реализации сформированных направлений в области информационного обеспечения ВМФ предложены следующие решения:

- участие организаций ВМФ в создании и развитии ЕСИМО путем выполнения научно-исследовательских работ по сопряжению ЕСИМО и ЕГСОНПО в рамках планов НИОКР подпрограммы ЕСИМО (создание военного контура ЕСИМО);
- формирование на базе ГНИНГИ МО РФ Единого центра данных океанографических и гидрографических исследований Мирового океана.

Предложенные направления взаимосвязаны, и военный контур ЕСИМО определен как совокупность информационных ресурсов, технологий, программных и аппаратных средств приема, хранения, обработки и передачи информации, которые объединены организованной по унифицированным с ЕСИМО нормативным и технологическим стандартам сетью передачи данных для их использования в решении задач обороны страны, а также обмена необходимой для этого информацией с различными категориями пользователей ЕСИМО.

Целевое назначение военного контура – повышение эффективности информационного обеспечения Минобороны и ФПС России данными о состоянии природной среды Мирового океана в интересах обороны страны.

Исходя из специфики требований ВМФ по всему спектру проблем, решаемых на море (включая систему ЕГСОНПО), задачи военного контура сформулированы в следующем виде:

- интеграция информационных ресурсов ВМФ по природной среде Мирового океана;
- информационное сопряжение центров ВК ЕСИМО с субъектами ЕСИМО на базе единых нормативных и информационно-технологических стандартов;

- обеспечение сопряжения ЕСИМО с другими информационными системами Минобороны (ЕГСОНПО и др.);
- введение единых информационно-технологических стандартов по предметной области системы;
- формирование и ведение баз и банков данных по природной среде Мирового океана;
- долговременное и гарантированное хранение данных Гидрографической службы ВМФ по Мировому океану;
- получение и представление данных и информационной продукции для информационного обеспечения задач обороны страны и морской деятельности в оперативном и задержанном режимах в соответствии с категориями доступа пользователей;
- реализация функций выделенных от Минобороны России центров сбора в государственных и международных программах.

В ВМФ функционируют следующие основные информационные системы, обеспечивающие принятие решений данными о природной среде Мирового океана:

- гидрометеорологического обеспечения (ГМО);
- навигационно-гидрографического обеспечения (НТО).

Эти информационные системы, различаясь по тематической направленности, обладают достаточно общей структурой и представляют совокупность средств получения данных (производства наблюдений); сбора, первичной обработки и передачи данных; обработки данных; хранения информации; представления и доведения информации до пользователя.

В состав этих систем входят ответственные по ВМФ центры, осуществляющие сбор, накопление, хранение информации и распространение данных о природной среде Мирового океана.

К таким центрам в ВМФ относятся:

- Научно-исследовательский (океанографический) центр Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института МО РФ (НИЦ ГНИНГИ МО), который на постоянной основе осуществляет сбор, обработку, контроль, хранение результатов океанографических наблюдений ВМФ и других ведомств, обеспечивает ВМФ, а также Главные штабы видов Вооруженных Сил, штабы военных округов, главные и центральные управления Министерства обороны и другие организации океанографической, метеорологической, сейсмической, геофизической и иной информацией в задержанном режиме;
- 280 Центральное картографическое производство ВМФ (280 ЦКП ВМФ)
- ответственный по Министерству обороны центр сбора батиметрических и геофизических данных, осуществляющий обеспечение Министерства обороны, а также всех заинтересованных организаций и частных лиц морскими картами и пособиями, другой навигационно-гидрографической и морской информацией в задержанном режиме;

– 373 Центр ВМФ, который производит сбор гидрометеорологической информации от Росгидромета, частей и подразделений ВМФ и обеспечивает ВМФ, а также Главные штабы видов Вооруженных Сил, штабы военных округов, главные и центральные управления Министерства Обороны гидрометеорологической и иной информацией в оперативном режиме;

– НИЦ радиоэлектронного вооружения (НИЦ РЭВ) войсковой части 30895 – ответственный по ВМФ центр сбора данных гидроакустических исследований, обеспечивающий ВМФ пособиями по гидроакустическому режиму морских акваторий, разработку информационно-справочных систем и методов расчета гидроакустических условий, используемых в гидрометцентрах флотов при оперативном гидрометеорологическом обеспечении, а также непосредственно в море.

Сфера деятельности, функции и возможности позволяют рассматривать перечисленные центры в качестве основных звеньев военного контура ЕСИМО.

В целях создания и поддержания единого информационного пространства по проблемам Мирового океана и прибрежных территорий военный контур ЕСИМО должен удовлетворять ряду основных требований, перечисленных ниже.

*Адекватность отображения предметной области и доступность информационных ресурсов.* Адекватность отображения предметной области достигается, с одной стороны, посредством включения в информационный фонд системы всех доступных исторических данных по природной среде Мирового океана, с другой – путем поддержки развития высокоэффективных («цена-качество-полнота») и высокопроизводительных систем наблюдений. Кроме этого, ЕСИМО должна обеспечить доступ ко всем имеющимся государственным информационным ресурсам путем их перевода в единое информационное пространство по проблемам Мирового океана. Учитывая своеобразие современных условий взаимодействия участников деятельности, это требование реализуется посредством развития нормативной базы функционирования системы, решениями по организации размещения информационных ресурсов и разграничению полномочий доступа.

*Качество информационных ресурсов и координированность их получения.* Первое из этих требований связано с обеспечением необходимого уровня сертификации информационной продукции, создаваемых информационных технологий и систем, а второе – координацией работ НИУ МО РФ и ВМФ по формированию интегрированных информационных ресурсов военного контура ЕСИМО для снижения совокупных затрат.

При создании военного контура ЕСИМО необходимо обеспечить поддержку двух видов координации работ – горизонтальную и вертикальную. Горизонтальная координация необходима для создания единой межведомственной методологии и средств комплексного сбора текущей информации о состоянии природной среды Мирового океана и актуализации (перенесения в фонды) исторической информации, вертикальная координация – для эффективной адаптации информации ЕСИМО к ведомственным задачам.

*Разграничение полномочий по доступу к информационным ресурсам и защите информации.* Это требование реализуется посредством категорирования информации и абонентов военного контура ЕСИМО, что закрепляется в «Положении о военном контуре ЕСИМО», а также путем использования систем связи, обеспечивающих защиту информации, комплексом других мер по защите информации от несанкционированного доступа. При невыполнении условий защиты информации в состав информационных ресурсов военного контура первой очереди ЕСИМО закрытая информация включена не будет.

*Интегрированность информационных ресурсов* реализуется за счет развития и использования единых средств унификации данных, форматов и протоколов обмена данными и систем классификации и кодирования информации.

*Развитие информационных ресурсов и информационных технологий* на постоянной основе обеспечивается посредством плановой деятельности по вовлечению новой информации в информационное пространство и разработки средств обработки, управления и анализа данных с применением современных систем типа СУБД, ГИС и коммуникационных систем.

На рисунке приведена обобщенная структурная схема Единого центра данных о природной среде Мирового океана Министерства обороны. Актуальность создания Единого центра также непосредственно связана с повышением значимости системы НГО и ГМО ВМФ для обеспечения сил и средств системы освещения подводной и надводной обстановки в океанских стратегических районах и морских зонах, для решения задач создания и поддержания соответствующей мощи морских стратегических ядерных сил и сил общего назначения, береговой инфраструктуры флота, поисково-спасательной, военно-научной и других видов морской деятельности на перспективу.

Безопасность плавания и эффективность применения оружия пл и нк в значительной степени определяется состоянием морской природной среды, характеризующимся гидрометеорологическими, гидрофизическими, геофизическими и другими параметрами. Особенно важно обеспечить полноту учета сведений о состоянии среды и ее аномальной изменчивости на этапе проектирования кораблей и специальных комплексов ВМФ и при проведении их испытаний. В связи с этим возникает проблема обеспечения сбора, контроля качества и усвоения в интересах ВМФ всех доступных материалов изучения параметров природной среды в оперативно-важных районах Мирового океана и морских зонах, включая сформированные в различных мореведческих ведомствах России и за рубежом базы и банки данных.

Аппаратно-программный комплекс Единого центра МО РФ целесообразно формировать из нескольких независимых сегментов:

- абонентского пункта автоматизированной системы гидрометеорологического обеспечения ВМФ;
- абонентского пункта сетей общего пользования;
- локальной вычислительной сети сегмента океанографических данных;
- локальной вычислительной сети сегмента гидрографических и геофизических данных;

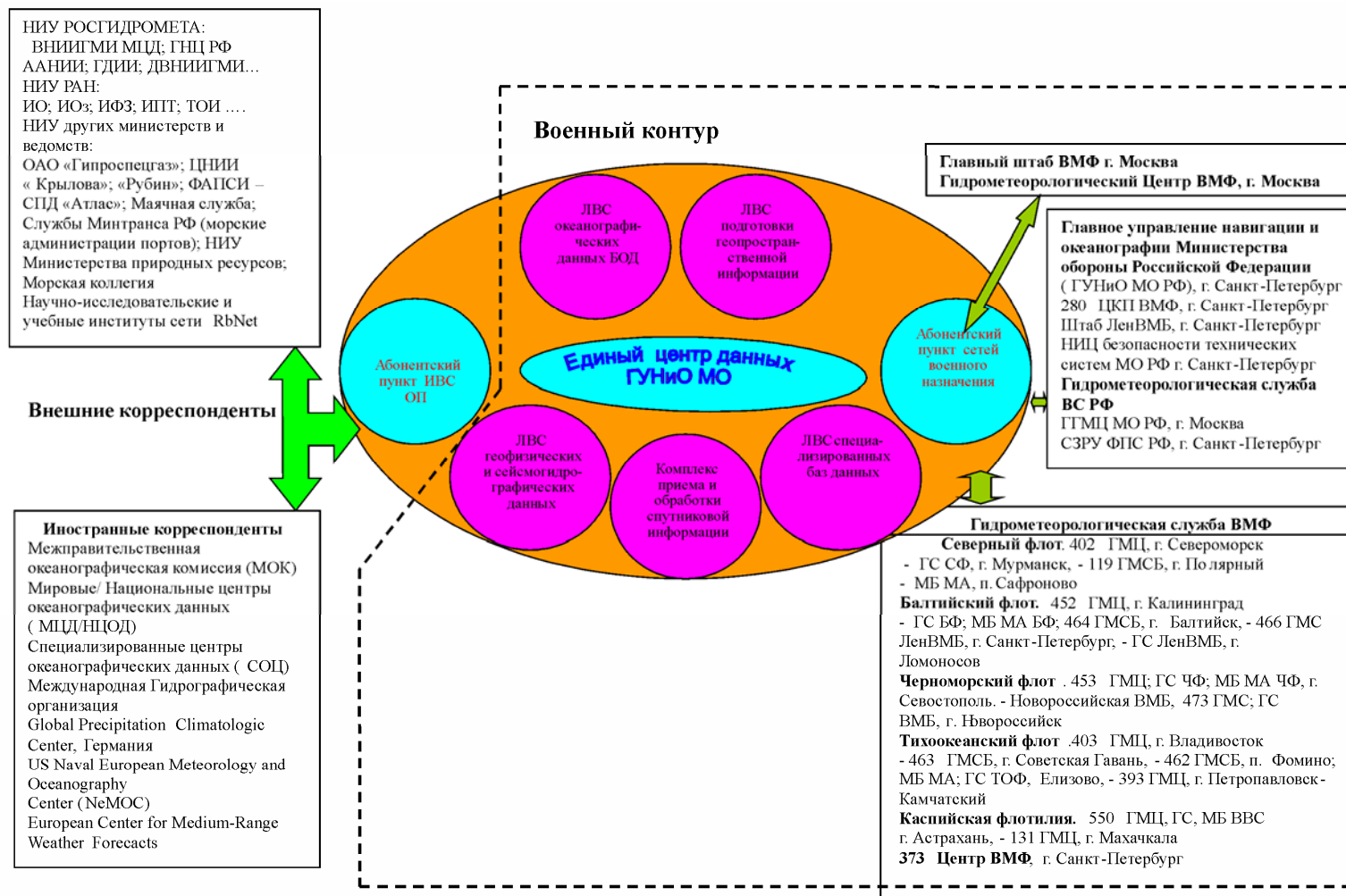


Рис. 1. Функциональная схема Единого центра данных МО РФ

- локальной вычислительной сети сегмента картографических материалов;
- локальной вычислительной сети сегмента специализированных баз данных.

Абонентские пункты Единого центра МО РФ не должны иметь физической связи с локальными сетями сегментов.

*Абонентский пункт автоматизированной системы ГМО* по оптоволоконной линии связи получает информацию с флотов о проведенных океанографических исследованиях Мирового океана, запросы флотов на расчеты по имеющимся в банке данных наблюдениям и на картографическую продукцию. Принятая информация проходит первичную обработку (перекодирование, логический и синтаксический контроль, контроль на отсутствие вирусов и т. п.) и записывается на переносимые носители информации, которые передаются для занесения в соответствующие сегменты Единого центра. Сформированные в сегментах Единого центра по запросам потребителей специализированные базы данных и другая информационная продукция помещаются на сервере абонентского пункта, а затем используются для передачи ответов на запросы или для работы с ними пользователей корпоративной сети.

*Абонентский пункт сетей общего пользования* служит для организации обмена информацией о морской среде как с отечественными источниками и потребителями информационных ресурсов, так и с иностранными (в соответствии с межправительственными соглашениями РФ).

На абонентский пункт сетей общего пользования информация поступает в основном от учреждений и организаций Росгидромета, МПР России, РАН, входящих в ЕСИМО, а также других мореведческих организаций.

Поступившая информация проходит первичную обработку и записывается на переносимые носители информации, которые передаются для занесения в соответствующие сегменты Единого центра МО РФ для долговременного хранения.

Спутниковая информация (1–2 Гбайта в день) передается для дальнейшей обработки в картографический сектор Единого центра МО РФ.

На сервере абонентского пункта открытых сетей может находиться справочная информация общего пользования – сайт Единого центра МО РФ. Остальная информация передается после получения соответствующих запросов в соответствии с подтвержденными правами доступа потребителя.

*Сегмент Банка океанографических данных Министерства обороны РФ* содержит в своем составе информацию, накопленную за многолетний период океанографических наблюдений оценочной стоимостью порядка 1,5–2 млрд. рублей на 1984 г. В настоящее время ввиду резкого снижения финансирования экспедиционных исследований пополнение банка данных в основном может быть обеспечено за счет информации, циркулирующей в открытых сетях различных ведомств, экспедиций разного назначения и других источников. Информация из абонентских пунктов (ориентировочно до

10 Мбайт ежедневно) после специальной обработки вносится в фонды Банка океанографических данных. В этот же Банк информация вносится путем занесения данных с бумажных носителей информации – отчетов экспедиционных исследований, ранее проведенных и не конвертированных в машинные коды из-за отсутствия необходимой материальной базы (до 40% занесенной информации). По существующим программам из Банка данных делаются пользовательские и специальные выборки. Специальные выборки осуществляются по заданиям командования и передаются в сегменты специализированных баз данных и картографических материалов. Сегмент имеет архив бумажных носителей информации и архив машинных носителей информации (диски CD, DVD, магнитооптика, стриммерные картриджи и другие современные машинные носители).

*Сегмент гидрографических и геофизических данных* обеспечивает занесение, обработку и хранение гидрографической и геофизической информации. Сегмент имеет архив данных на бумажных, магнитных лентах и машинных носителях. Результаты машинной обработки представляются в виде цифровых моделей распределения параметров полей, акустических и геолого-геофизических схем, разрезов, профилей, включаемых в различного рода пособия, автоматизированные информационно-справочные системы и электронные атласы.

*Сегмент картографических материалов* получает информацию, включая спутниковую, из абонентских пунктов, из сегментов океанографической, гидрографической и геофизической информации, производит формирование картографических слоев, в том числе для геоинформационных систем (ГИС) и приложений, формирует соответствующую информационную продукцию. Производится специализированная обработка спутниковой информации в целях создания визуальной базы данных и специфических параметров, определяющих структурные характеристики, которые в последующем используются для обеспечения ВМФ.

*Сегмент специализированных баз данных* получает информацию от сегментов Банка океанографических данных и, обрабатывая ее по определенным параметрам, формирует специализированные базы данных, данные для лоций и т. п. Сформированные материалы передаются в абонентские пункты или издаются.

Создание такого Центра, по нашему мнению, позволит повысить эффективность функционирования информационного обеспечения морской деятельности Министерства обороны и усилить роль военного контура в формировании Единой системы информации об обстановке в Мировом океане.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Федеральная целевая программа «Мировой океан». Военно-стратегические интересы России в Мировом океане. – СПб.: МО РФ ВМФ, 2000. – 106 с.
2. Национальная морская политика Российской Федерации. – СПб.: МО РФ ВМФ, 2002. – 53 с.



**S. P. Alekseyev, A. B. Oparin (GNINGI, RF MoD)**

The Role of Navy in Creation of the Unified Information Support for the Maritime Activities

*The problem of information support for the maritime activities, as well as the specific operational features of the objects intended for various purposes when forming the Unified System of Information on the World Ocean State (USIWOS), are considered. Special attention is paid to the problem of functioning of the USIWOS military sphere, taking into consideration the requirements of the state system of information about the surface and underwater situation.*

ГРНТИ 67.13.29; 73.34.15

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
МОРСКИХ УЧАСТКОВ ТРАСС ТРУБОПРОВОДОВ**

**А. Н. БАТУЕВ,  
А. Н. ДОБРОТВОРСКИЙ,  
С. А. ДРУЖЕВСКИЙ,  
С. В. ЯЦЕНКО**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*В статье проанализирован опыт оценки рисков при создании морских трубопроводных систем с учетом особенностей региона Балтийского и Северного морей. Определены основные опасности, выполнена их компонентная идентификация и качественная оценка. Предложены пути создания комплексной системы обеспечения безопасности как вариант реализации технологии сквозной оценки и управления рисками, предусмотренной системой стандартов DNV-2000.*

Интенсивное развитие мировой экономики диктует необходимость увеличения числа трубопроводных систем морской транспортировки углеводородного сырья. Известно, что транспортировка опасных грузов сопровождается определенной степенью риска возникновения нештатных ситуаций. Появление у Российской Федерации опыта проектирования сверхпротяженных морских подводных трубопроводов, и в частности в акваториях Балтийского и Северного морей (проект Северо-Европейского газопровода), несомненно, способствует повышению авторитета РФ как крупной морской державы.

**Анализ состояния нормативно-правовой базы**

Одним из основополагающих приоритетов при проектировании Северо-Европейского газопровода является строжайшее соблюдение норм и правил безопасности.

В отечественном законодательстве понятие безопасности отражено в Федеральном Законе Российской Федерации (ФЗ РФ) «О безопасности» [1]. В соответствии с этим законом безопасность – это состояние защищенности жизненно важных интересов личности, общества и государства от внутренних и внешних угроз. Субъектом обеспечения безопасности является государство.

Государство создает соответствующую систему нормативно-правового регулирования и опирается на нее в этой деятельности. Вектор развития российской системы нормативно-правового регулирования ориентирован на гармонизацию с зарубежными нормами и стандартами в сфере обеспечения безопасности на основе положений ФЗ РФ «О техническом регулировании» [2]. Можно выделить несколько периодов развития нормативной базы в области безопасности проектирования.

1. *До 2003 г.* В течение этого периода сложилась определенная система регулирования в области обеспечения безопасности проектирования, строительства, эксплуатации и других соответствующих процедур.

2. *2003–2010 гг.* Переходный период. В этот период предусматривается разработка и принятие общих и специальных технических регламентов безопасности проектирования, строительства и эксплуатации сложных объектов. Уполномоченными органами принимаются общие технические регламенты по вопросам безопасности эксплуатации объектов и экологической безопасности. Требования общего технического регламента обязательны для применения и соблюдения в отношении любых видов продукции и процессов производства. Требованиями специального технического регламента учитываются технологические и иные особенности отдельных видов продукции и процессов.

Со дня вступления в силу ФЗ РФ «О техническом регулировании» [2] и до вступления в силу соответствующих технических регламентов требования, установленные нормативными правовыми актами РФ и нормативными документами федеральных органов исполнительной власти, подлежат обязательному исполнению только в части, соответствующей целям безопасности. На этом этапе обязательными будут только общие технические регламенты. В качестве основы для технических регламентов должны будут использоваться международные стандарты. Ранее разработанные стандарты носят добровольный характер применения при проектировании.

3. *После 2010 г.* В этот период планируется ввести в действие установленную федеральными законами систему технических регламентов, а также сформировать соответствующие системы стандартов всех уровней, системы сертификации продукции, подтверждения соответствия и т. д. Практически это означает полную гармонизацию российской и зарубежных систем нормативно-правового регулирования в сфере обеспечения безопасности работ, продукции и услуг. В связи с этим исключительно важным представляется строгое следование правилам компании Det Norske Veritas, Норвегия (DNV), которые определены как нормативная база проектирования подводного газопровода [3].

В настоящее время в РФ фактически продолжает действовать отмененная в 2003 г. система нормативно-правового регулирования обеспечения безопасности, которая имеет целый ряд внутренних противоречий и существенные отличия от правил DNV и других зарубежных стандартов по

многим позициям. В частности это касается понятия «риск». Так, Федеральный Закон РФ «Об охране окружающей среды» [4] определяет риск как вероятность наступления события, имеющего неблагоприятные последствия для окружающей среды (сами последствия в определении риска не присутствуют), а ФЗ РФ «О техническом регулировании» [2] учитывает тяжесть неблагоприятных последствий.

Кроме того, по отдельным составляющим общей угрозы безопасности национальные законодательства и международная практика не адекватны их современному уровню (терроризм, атаки на энергоресурсы).

Система стандартов DNV связывает безопасность с устранением угрозы причинения вреда персоналу, имуществу и/или окружающей среде, а риск – с размером причиненного ущерба и предусматривает гарантии и реальные механизмы обеспечения защищенности жизненно важных интересов личности, касающиеся обеспечения:

- прав на получение экологической информации (Орхусская конвенция);
- адекватного уровня страховой защиты ущербов от осуществляемой хозяйственной деятельности;
- эффективных процедур экологического страхования.

Процедуры обязательного государственного аудита предприятий и деятельности на соответствие экологическим нормам также различаются в законах ЕС и РФ:

- в соответствии с законодательством Европейского Союза при экологическом аудите выставляется требование непрерывной модернизации производства, улучшения условий производства для повышения вклада предприятия в охрану окружающей среды (учитывается хорошая практика менеджмента на соответствие требованиям стандартов ISO 14000);
- в РФ требуется только соответствие требованиям ГОСТ ИСО Р:14 000.

Таким образом, принципиальное отличие отечественных стандартов от стандартов DNV лежит в самом подходе к обеспечению безопасности: в первом случае это административно-командная система, представленная большим количеством нормативных документов и сложной системой контрольно-надзорных органов; во втором – система, ориентированная главным образом на «культуру безопасности», реализующая технологии непрерывного анализа, оценки и управления рисками.

Требования проверки на основе оценки рисков (RBV), подразумевают наличие системы сквозного управления рисками от проекта до утилизации объекта (рис. 1).

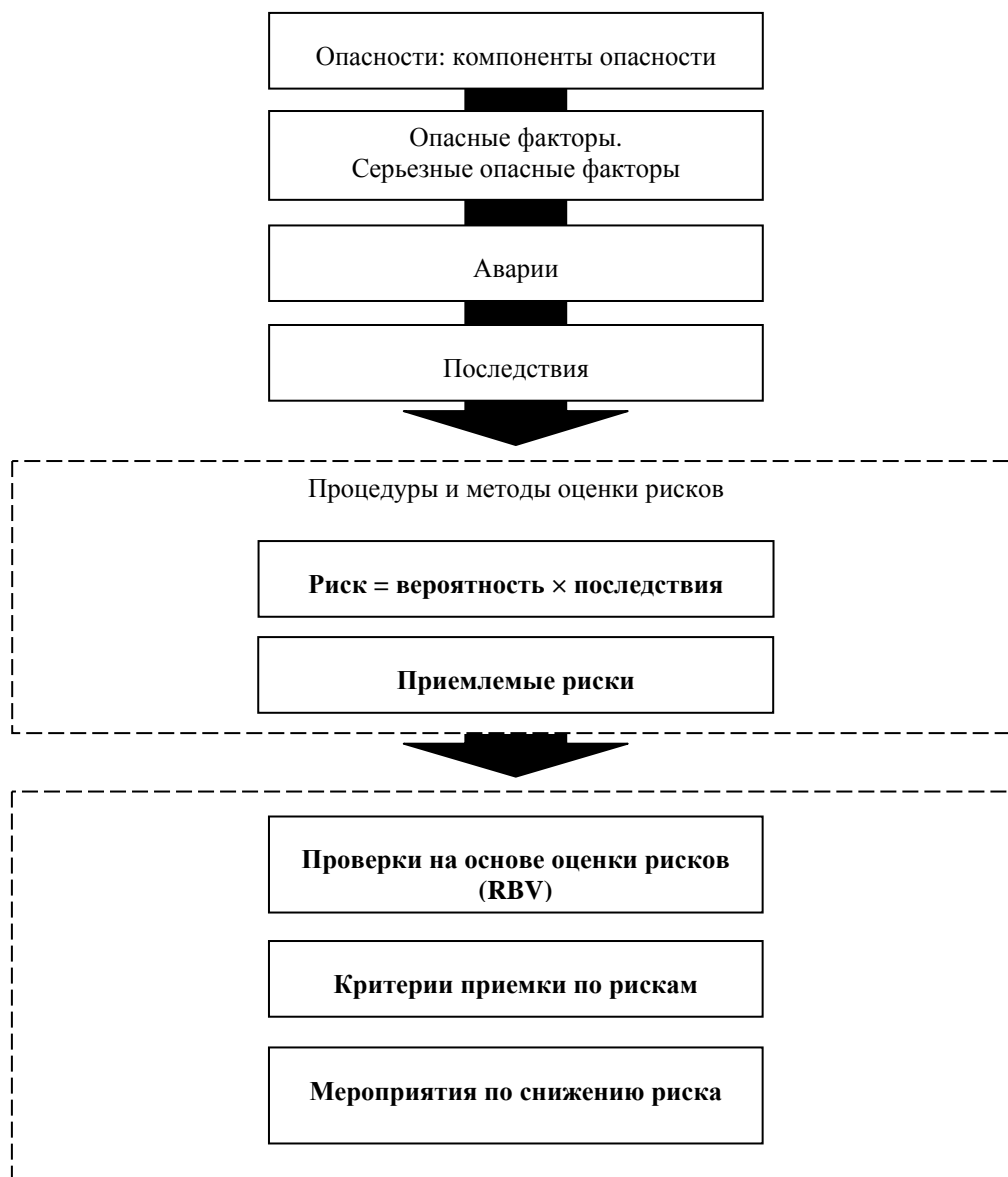


Рис. 1. Подход DNV к безопасности на основе рисков

Чем выше требуемый уровень безопасности объекта, тем строже и точнее оцениваются риски, тем точнее формируется комплекс демпфирующих мероприятий (рис. 2).

Реализация системы RBV обеспечивает снижение риска проекта до уровня ALARP (As Low As Possible) – настолько малого, насколько это может быть обеспечено разумными практичными мерами. Это означает, что степень риска любой конкретной деятельности может быть сбалансирована со стоимостью, временными и трудовыми затратами на принятие мер для сокращения риска.

**Процедуры:**

- идентификации и оценки рисков с использованием технологий HAZOP (Hazard and Operability Study), HAZID (Hazard Identification) и др.;
- оценки воздействия на окружающую среду (EIA);
- управления рисками проекта (PRM);
- контроля в зависимости от рисков (RBI);
- технического обслуживания, ориентированного на надежность и безопасность (RCM);
- проверки соответствия международным требованиям.

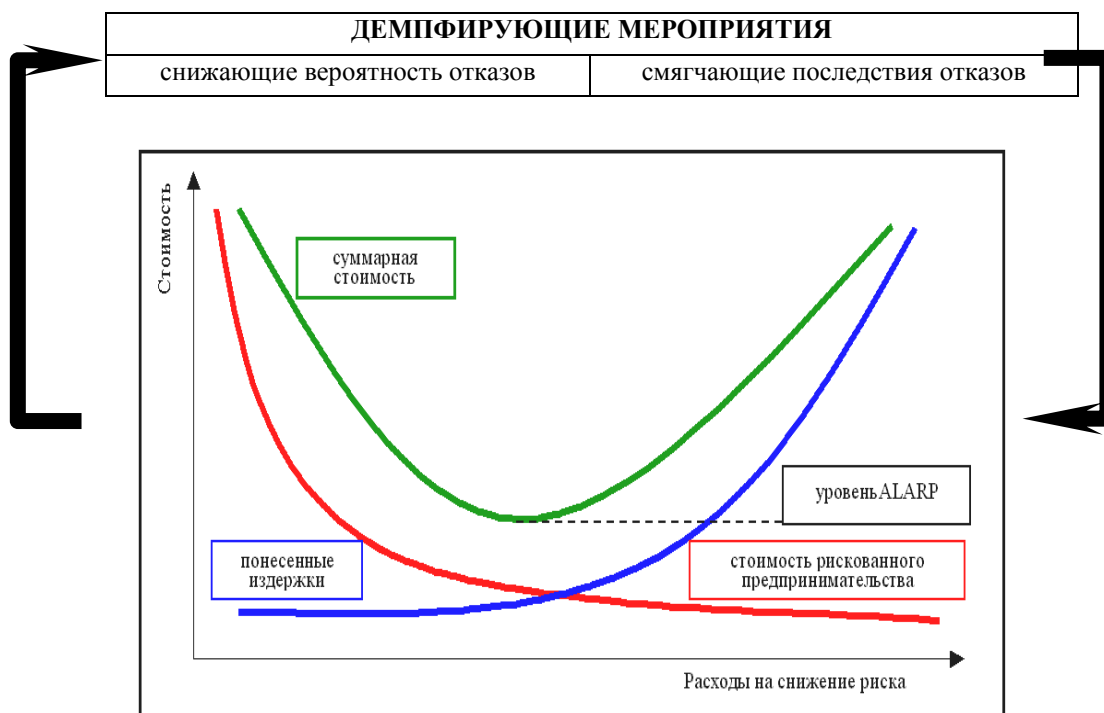
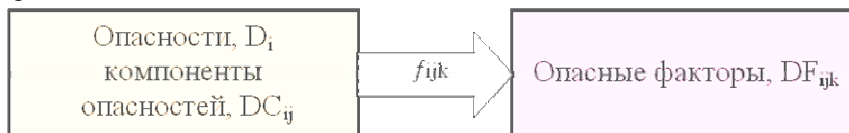


Рис. 2. Основные процедуры оценки и управления рисками в системе RBV

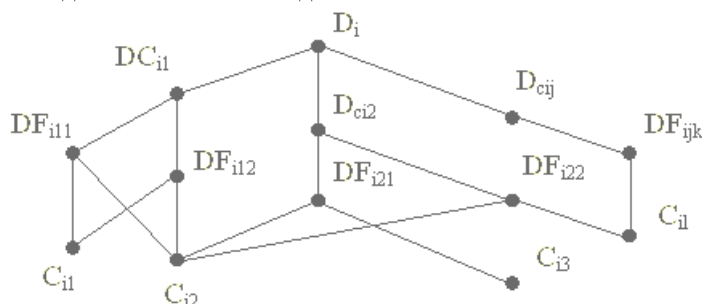
### Теоретическая схема оценки и управления рисками

Теоретическая схема оценки и управления рисками выглядит следующим образом (рис. 3).

1. Разработка моделей частных опасностей



2. Разработка моделей частных последствий



3. Разработка моделей рисков

$$R_{i1}=F(C_{i1}); R_{i2}=F(C_{i2}); \dots R_{in}=F(C_{in})$$

$$R_i = F(C_i) = F(C_{i1}) \otimes F(C_{i2}) \otimes \dots \otimes F(C_{in})$$

$R_i$  – риск, генерируемый опасностью  $D_i$

$$R = F(C) = F(C_1) \otimes F(C_2) \otimes \dots \otimes F(C_n)$$

$R$  – риск проекта.

4. Оценка доминирования рисков

$$R_n \geq R_m \geq \dots \geq R_i \geq \dots R$$

5. Формирование и оптимизация комплекса действующих мероприятий

Рис. 3. Теоретическая схема оценки и управления рисками (объяснения в тексте)

Рассмотрим схему более подробно.

1. Разработка моделей частных опасностей

На этапе концептуального проектирования модель носит качественный характер, на последующих этапах проектирования степень детализации и глубина исследования увеличивается, акценты переносятся на получение количественных оценок по основным группам риска.

В процессе разработки моделей частных опасностей осуществляется:

- содержательный анализ опасности  $D_i$ , включая компонентную идентификацию опасности  $DC_{ij}$ ;
- параметрический анализ  $D_i$  и  $DC_{ij}$ ;
- идентификация опасных факторов  $DF_{ijk}$ ;

- расчет передаточной функции.
- 2. *Разработка моделей частных последствий*  
В процессе разработки моделей частных последствий осуществляется:
- содержательный анализ последствий по результатам идентификации опасных факторов  $DF_{ijk}$ ;
- идентификация последствий  $C_{il}$ ;
- расчет передаточной функции;
- параметрический анализ последствий  $C_{il}$ .

Содержательный анализ частных последствий проводится с целью формирования общих качественных представлений по составу, масштабам и характеру развития процессов, связанных с реализацией опасных факторов  $DF_{ijk}$ .

Последствия реализации опасных факторов всегда имеют вероятностный характер даже в том случае, когда опасности имеют детерминистскую природу.

### 3. *Разработка моделей частных рисков*

В процессе разработки моделей частных рисков осуществляется:

- построение моделей производства работ на различных этапах жизненного цикла с определением районов, последовательности выполнения операций, состава оборудования, параметров технологических процессов и других исходных данных для дальнейших расчетов;
- формирование баз данных по результатам параметрического анализа опасностей  $D_i$  и опасных факторов  $DC_{ij}$ , обеспечивающих оценку параметров распределений вероятностей их осуществления;
- расчет частных рисков с использованием моделей производства работ, параметров вероятностных распределений опасностей  $D_i$  и опасных факторов  $DC_{ij}$ , передаточных функций  $f_{1ijk}$ .

### 4. *Разработка модели доминирования рисков*

Формирование комплекса демпфирующих мероприятий начинается с оценки доминирования рисков, т. е. построения их ранжированного перечня.

Оценка доминирования рисков осуществляется путем сравнения указанных выше распределений с использованием известных моделей доминирования:

- вероятностного;
- среднedisперсионного;
- стохастического.

Далее риски ранжируются по степени доминирования и отбрасываются те из них, которые относятся к категории приемлемого риска.

## **Основные методы анализа и оценки рисков**

Анализ и оценка рисков проводятся следующими основными методами.

1) Метод проверочного листа, который отличается от метода «Что будет, если...?» более обширным представлением исходной информации и анализа возможных последствий.

2) Метод относительного ранжирования рисков – это частично субъективная техника присвоения оценок, в которой составляющим риска присваиваются относительные веса, которые затем комбинируются в общей числовой оценке риска.

3) Метод FMECA (Failure Mode, Effects and Critical Analysis) предусматривает ранжирование отказов всех видов с учетом двух составляющих критичности – вероятности (или частоты) и тяжести последствий отказа.

4) Упрощенный вариант метода – метод анализа вида и последствий отказов FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) – применяется для качественной оценки безопасности технических систем. Существенной чертой этого метода является рассмотрение каждого аппарата (установки, блока, изделия) или составной части системы (элемента) на предмет того, как он стал неисправным (вид и причина отказа), и как этот отказ воздействует на техническую систему (последствия отказа).

5) Метод HAZOP – метод исследования опасности и работоспособности. Данный метод предусматривает исследование влияния отклонений технологических параметров (температуры, давления и др.) от регламентных режимов с точки зрения возникновения опасности. Применяется обычно в сочетании с методом идентификации опасностей (HAZID).

Степень опасности отклонений может быть определена количественно путем оценки вероятности и тяжести последствий рассматриваемой ситуации по критериям критичности.

Метод используется для анализа возможных причин возникновения аварийной ситуации и расчета ее частоты (на основе знания частот исходных событий). ЕТА – алгоритм построения последовательности событий, исходящих из основного события (аварийной ситуации). Используется для анализа развития аварийной ситуации.

Состав и параметры разрабатываемых моделей определяются особенностями конкретного проекта. Проведение количественного анализа требует высокой квалификации исполнителей, большого объема информации по аварийности, а также надежности оборудования, учета особенностей региона и других факторов.

6) Методы оперативного управления безопасностью на базе концепции сквозного управления качеством продукции и приемлемыми рисками (предвестники аварии, статистика, прогноз, непрерывный анализ безопасности).

### **Новые подходы к оценке и управлению рисками**

1. Относительное ранжирование опасностей как решение общей задачи нечеткого математического программирования.

*D* – опасности;

*P* – эксперты.



$\varphi: D \times D \times P > [0,1]$  – экспертные оценки доминирования опасностей;  
 $\mu: P \times P > [0,1]$  – оценки квалификации экспертов,  
 где  $\varphi$  – функция принадлежности, описывающая степень уверенности эксперта;

$\mu$  – функция принадлежности, описывающая степень уверенности во мнении эксперта.

Решение в форме нечеткого множества деноминируемых опасностей:

$$\eta = \frac{D_1 \ D_2 \ D_3 \ D_4}{1 \ 0,4 \ 0,5 \ 0,8}. \quad (1)$$

Задача ранжирования рисков, выраженных в качественных категориях, может быть сведена к общей задаче нечеткого математического программирования. Решение этой задачи строится в форме нечеткого множества недоминируемых опасностей, имеющего функцию принадлежности  $\eta$ . Максимальному значению функции принадлежности  $\eta$  соответствует недоминируемая (основная) опасность.

2. Метод количественной оценки многофакторного риска (рис. 4) для общего случая нечетких исходных данных и неопределенности причинно-следственных связей.

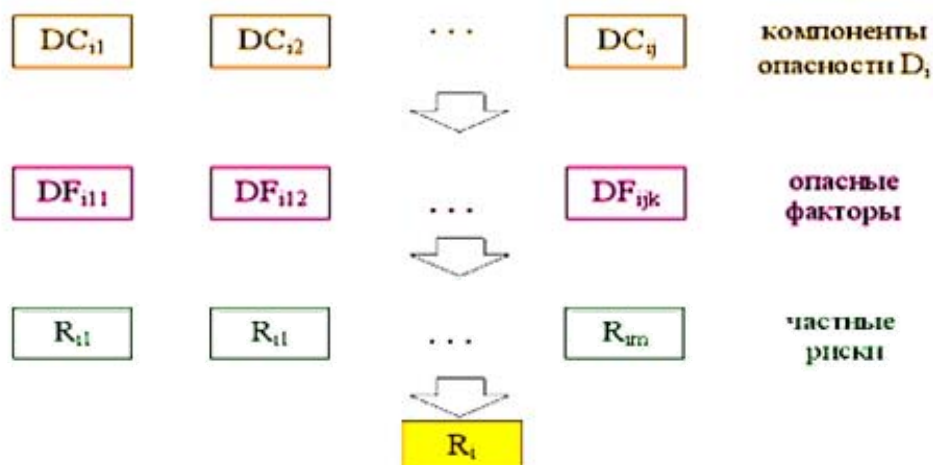


Рис. 4. Метод количественной оценки многофакторного риска

Метод позволяет получить наилучшую устойчивую оценку интегрального риска, точность которой согласована с точностью исходных данных и учитывает фактический уровень неопределенности причинно-следственных связей. Решение строится в форме нечеткого множества (рис. 5), что является наиболее адекватной формой представления рисков для большинства практических ситуаций.

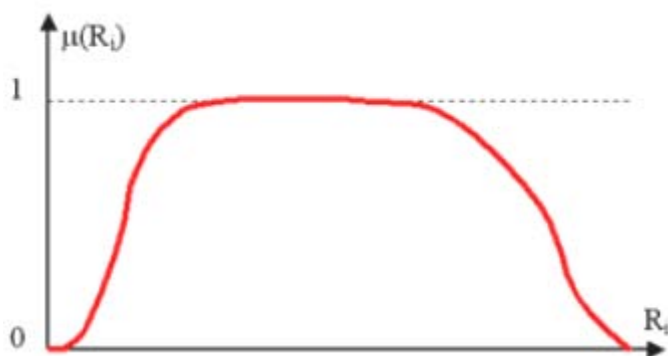


Рис. 5. Решение в форме нечеткого множества

Чрезвычайно важный этап обеспечения безопасности на базе технологий сквозной оценки и управления рисками – формирование и оптимизация комплекса демпфирующих мероприятий, куда могут входить:

- изучение районов строительства;
- подготовка районов строительства;
- использование наилучших существующих технологий;
- страхование рисков и др.

Строгое решение задачи оптимизации комплекса демпфирующих мероприятий на практике сопровождается значительными трудностями и зачастую поэтому сводится к использованию неоправданно простых процедур.

Перспективным представляется использование метода нечеткой последовательной индукции, т. е. волновых алгоритмов на нечетких сетях, что позволяет оптимизировать состав и количественные показатели комплекса демпфирующих мероприятий с учетом специальным образом сформированной системы отношений нестрогого предпочтения.

Технологии сквозной оценки и управления рисками, предусмотренные системой RBV, могут быть реализованы путем создания комплексной системы обеспечения безопасности (КСБ). КСБ – это сбалансированная совокупность нормативных положений, проектных, технических и организационных решений, обеспечивающих сквозную оценку и управление рисками на всех этапах реализации проекта Северо-Европейского газопровода. КСБ реализует предусмотренный правилами DNV системный подход к управлению рисками, ориентированный на нахождение устойчивого равновесия между безопасностью, функциональными возможностями и стоимостью объекта. Система предназначена для демпфирования общей угрозы безопасности реализации проекта Северо-Европейского газопровода и снижения риска до разумно осуществимого уровня.

Анализ мирового опыта создания морских трубопроводных систем, особенностей региона Балтийского и Северного морей, а также имеющихся исходных данных по морским участкам Северо-Европейского газопровода,

позволил выявить шесть основных групп опасности и выполнить их компонентную идентификацию. Основные опасности обусловлены:

- процессами и явлениями в геологической среде;
- экстремальными гидрометеорологическими условиями и природно-климатическими факторами;
- экономической и оборонной деятельностью на море;
- явлениями техногенного происхождения;
- нештатными технологическими процессами и режимами;
- умышленными действиями третьих лиц.

Протекание литодинамических и гидрометеорологических процессов можно проиллюстрировать на примере Финского залива (рис. 6, 7; табл. 1).

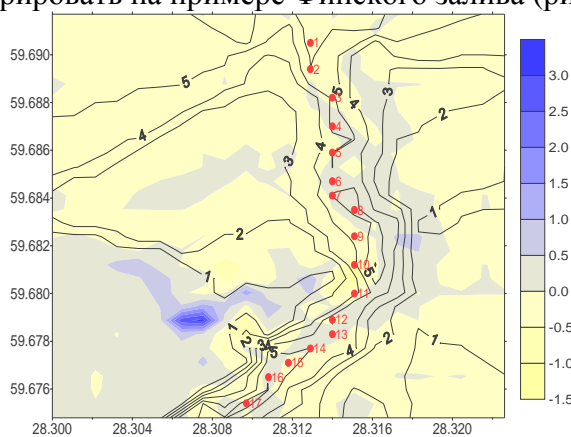


Рис. 6. Естественные деформации дна в южной части Финского залива



Рис. 7. Торосистые образования на побережье Финского залива

Характеристика ледяного покрова Финского залива

Пункт	Характеристики ледяного покрова		
	максимальная толщина, м	максимальная высота торосов, м	максимальная высота навалов, м
Портовая	0,8	1,5–2	3–4
Калининград	0,4–0,5	1–2	1–2
Грайсвальд	0,7–0,8	0,3–0,4	–

*Экономическая и оборонная деятельность на море*

Развитие судоходства характеризуется следующими особенностями:

- формированием мощных судопотоков, плотность которых на конечных участках путей непрерывно растет;
- изменением качественного состава судопотоков за счет значительного увеличения доли крупнотоннажных судов и судов, перевозящих опасные грузы (нефть и нефтепродукты, в перспективе – сжатый и сжиженный газ);
- концентрацией судопотоков в навигационных узкостях на подходах к портам и особенно в портовых водах;
- активной деятельностью по проектированию, оборудованию и установлению новых путей движения судов, расширению действующих фарватеров и подходных каналов, значительным увеличением объемов дноуглубительных работ.

В результате к 2007 г. через Финский залив будет вывозиться около 100 млн. тонн нефти и нефтепродуктов в год. В свою очередь это потребует примерно 1000 заходов танкеров грузоподъемностью 100 000 тонн нефти в год, чтобы вывезти этот груз. Таким образом, уже в период строительства Северо-Европейского газопровода на акватории Финского залива может сложиться предельно опасная для судоходства обстановка. В настоящее время количество крупных аварий на судоходных путях Балтийского моря составляет 7–10 в год и увеличится до 15–20 в год.

Экономическая деятельность на Финском заливе море показана на табл. 2.

Таблица 2

Экономическая деятельность на Финском заливе

Период	Объем перевалки нефти, млн. тонн	Число судозаходов, тыс.	Максимальная осадка судов, м
2002 г.	21	18	до 11
2007 г.	100	30-36	до 15-17

Реализация проекта подводного газопровода в той или иной степени затрагивает интересы Военно-Морских сил многих государств. В связи с тем, что осуществление боевой подготовки ВМС строго регламентировано, возникающие при этом риски невелики.

*Опасности техногенного происхождения*

Характерные опасности техногенного происхождения представлены на рис. 8, 9 и в табл. 3.

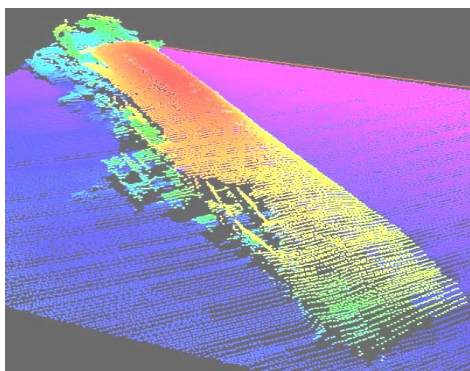


Рис. 8. Затопленное в акватории Балтийского моря судно с боезапасом на борту



Рис. 9. Карта-схема минных полей и заграждений в Финском заливе

Таблица 3

**Опасности техногенного происхождения**

Время сохранения опасности		Масса взрывчатого вещества		
– якорные мины 65–87 лет – донные мины 105–140 лет – авиабомбы 13–80 лет – артснаряды 22–150 лет		– якорные мины 20–350 кг – донные мины 300–825 кг – авиабомбы до 1000 кг – артснаряды до 10 кг – глубинные бомбы до 100 кг – торпеды до 300 кг		
Масса заряда, кг	Дистанция до объекта			Безопасное расстояние, м
	Уничтожение, м	Повреждение, м		
100	30	80		100
250	40	110		120
500	60	150		160
1000	80	220		240

*Нештатные технологические процессы и режимы*

Компоненты опасности:

- отклонения параметров технологических процессов от требуемых номиналов;

- отклонения от установленных правил производства строительномонтажных, пуско-наладочных, ремонтно-восстановительных работ, регламентов технического обслуживания;
- появление свободно висящих пролетов, локальных промоин морского дна, перемещение трубопровода, движение песчаных волн, влияющих на целостность трубопровода;
- повреждение покрытий трубопровода;
- ошибки персонала;
- постепенное ухудшение технических и эксплуатационных характеристик отдельных конструкций, оборудования и механизмов.

*Умышленные действия третьих лиц, террористические действия*

Особое место могут занимать риски, обусловленные террористической и диверсионной деятельностью.

Целями таких действий могут быть:

- влияние на конъюнктуру рынка газа путем срыва контрактных обязательств по его поставкам;
- политические и экономические уступки под угрозой (путем осуществления угрозы) разрушения газопровода или создания препятствий для его функционирования в расчетном режиме;
- нанесение ущерба компаниям, осуществляющим строительство, эксплуатацию или утилизацию газопровода.

Представление об уровне опасности дает неполная статистика террористических актов на трубопроводах за последние 20 лет (табл. 4), представленная на международной конференции «Symposium on The Oil and Gas Routes from Caspian-Caucasus Region of Pipelines, Stability and International Security».

Таблица 4

**Статистика террористических актов**

Ближний Восток – 17	Ирак – 2, Кувейт – 4, Ливан – 5, Саудовская Аравия – 1, Турция – 5
Африка – 18	Алжир – 3, Ангола – 6, Конго – 1, Мозамбик – 3, Южная Африка – 3, Судан – 2
Латинская Америка – 29	Аргентина – 2, Колумбия – 19, Эквадор – 2, Гватемала – 1, Перу – 2, Суринам – 1, Венесуэла – 2
Северная Америка – 2	США – 1, Канада – 1
Европа – 17	Бельгия – 3, Кипр – 1, Германия – 7, Норвегия – 1, Испания – 4, Великобритания – 1
Азия – 6	Афганистан – 2, Япония – 2, Филиппины – 1, Таиланд – 1.

Для разработки систем безопасности используются модели возможных угроз:

- случайный нарушитель или вандал;
- преступник-дилетант;
- подготовленный нарушитель;
- нарушитель с профессиональными знаниями;

– профессиональная преступная организация.

Обобщенный вывод по результатам содержательного анализа опасностей выглядит следующим образом.

1. Наиболее трудным районом по всему комплексу опасностей является Финский залив.

2. Весьма сложными по отдельным видам опасностей являются районы выхода на берег в Германии, для которых характерны интенсивные литодинамические процессы и экономическая деятельность на море.

3. В целом по морским участкам газопровод по масштабу потенциального ущерба на первом месте стоят опасности техногенного происхождения и ледовая экзарация.

По мнению авторов, система стандартов DNV является наиболее полной при оценке рисков во время строительства и эксплуатации потенциально опасных объектов.

В соответствии с положениями системы DNV- 2000:

- выполнен содержательный анализ опасностей;
- качественно определены причинно-следственные связи: «опасные факторы →последствия»;
- проанализированы методы анализа, оценки и управления рисками.

Рекомендуемая DNV практика концептуального проектирования предусматривает пять категорий рисков:

- высокий уровень (++);
- средний\высокий уровень (+);
- средний уровень (O);
- низкий\средний уровень (-);
- низкий уровень (--).

В соответствии с подходом DNV для принятых категорий рисков выполнено районирование трассы подводного газопровода по видам опасностей и категориям рисков. Рассмотрим в качестве примера Северо-Европейский газопровод (СЕГ).

Тщательный анализ показал, что все риски могут быть снижены до приемлемого уровня путем осуществления соответствующих мероприятий в рамках Программы создания КСБ.

В состав КСБ входят четыре функциональные подсистемы (рис. 10):

- автоматизированная система управления КСБ;
- «Труба»;
- «Спасение»;
- «Защита».

В ходе реализации проекта в рамках КСБ реализуются четыре подпрограммы работ:

- «Изыскания» (морские инженерные изыскания);

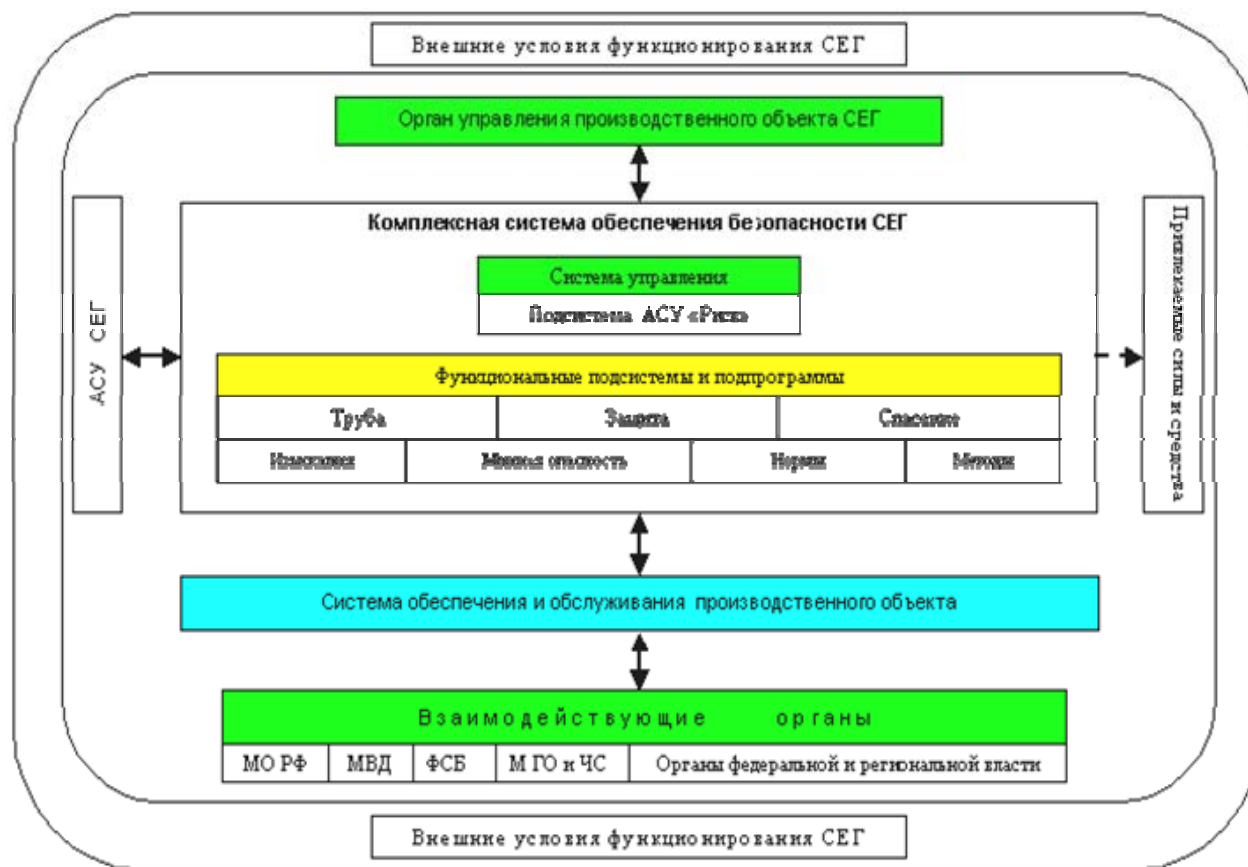


Рис. 10. Укрупненная схема организационно-технической структуры КСБ СЕГ



- «Минная опасность» (подготовка морских участков в части опасностей техногенного происхождения);
- «Нормы» (совершенствование нормативной базы обеспечения безопасности проекта СЕГ);
- «Методы» (научно-исследовательские работы).  
Функциональные подсистемы КСБ подводного газопровода
  1. Подсистема комплексного мониторинга технического состояния морских участков СЕГ (шифр «Труба»).
  2. Подсистема автоматизированного управления КСБ, оценки и управления рисками (шифр АСУ «Риск»).
  3. Подсистема аварийно-спасательных и других неотложных работ (шифр «Спасение»).
  4. Подсистема охраны морских участков, мониторинга, общего и специального обеспечения (шифр «Защита»).

Программа работ по обеспечению безопасности включена в состав документации концептуального проекта подводного газопровода, рассмотрена и одобрена Службой Безопасности ОАО «Газпром» и ЗАО «Ямалгазинвест». Разработка эскизного и технического проектов КСБ рекомендована в период 2004–2005 гг.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный Закон Российской Федерации «О безопасности» с изменениями от 24 декабря 1993.
2. Федеральный Закон Российской Федерации «О техническом регулировании» №184-ФЗ от 27.12.2002.
3. Комплекс стандартов по проектированию морских трубопроводов DNV-2000, Det Norske Veritas, 2000.
4. Федеральный Закон Российской Федерации «Об охране окружающей среды» № 7-ФЗ от 10.01.2002.

**A. N. Batuev, A. N. Dobrotvorsky, S. A. Druzhevsky, S. A. Yatsenko (GNINGI, RF MoD)**

#### Methodological Aspects of Risk when Designing the Marine Gas Pipelines

*The experience of the risk appraisal when creating the sea pipeline systems, features of the Baltic and North Seas region are analysed. The basic dangers are specified; their component identification and quality evaluation are carried out. Ways of creating the complex system of safety provision as a variant of the through appraisal and risks control technology implementation stipulated by the DNV-2000 standards system, are proposed*

## НАВИГАЦИЯ

ГРНТИ 78.21.41.19

### **О ВЛИЯНИИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ КРОМОК ФАРВАТЕРА НА ВЕРОЯТНОСТЬ НАВИГАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВАНИЯ**

**Б. Е. ИВАНОВ,  
А. Н. БАТУЕВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Выведены зависимости для оценки вероятности навигационной безопасности плавания при наличии неравноточных коррелированных погрешностей положения кромок фарватера. Методом статистического моделирования доказана достоверность полученных зависимостей и ошибочность зависимостей, предложенных Н. М. Груздевым.*

На вероятность навигационной безопасности плавания (ВНБП) по фарватеру влияет не только неопределенность места судна, но и неопределенность положения кромок фарватера. В статье [1] выведены зависимости для оценки ВНБП с учетом неравноточных и некоррелированных погрешностей положения кромок фарватера. Однако при выполнении дноуглубительных и гидрографических работ, в результате которых определяются кромки фарватера, указанные погрешности могут быть коррелированными. В связи с этим целесообразно получить зависимости для оценки ВНБП с учетом неравноточных и коррелированных погрешностей положения кромок фарватера. Такая задача решается в данной работе.

Пусть на фарватере шириной  $L$  с кромками  $A$  и  $B$  проложена линия пути судна на расстоянии  $r$  от правой кромки фарватера (см. рисунок). Вследствие погрешности  $u$  определения места судна по направлению, перпендикулярному кромкам фарватера, определяемое место судна  $C$  смещается в истинное место  $C'$ . В то же время вследствие коррелированных погрешностей  $s_1$  и  $s_2$  обозначенные на карте кромки фарватера  $A$  и  $B$  смещаются и занимают истинные положения  $A'$  и  $B'$ , а принятая ширина  $L$  фарватера становится равной  $L'$ .

Коррелированные погрешности  $s_1$  и  $s_2$  можно представить в виде сумм некоррелированных составляющих

$$\left. \begin{aligned} s_1 &= l_0 + l_1 \\ s_2 &= l_0 + l_2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $l_0$  – одинаковая для обеих кромок составляющая погрешность;

$l_1$  и  $l_2$  – некоррелированные составляющие погрешности положения левой и правой кромок соответственно.

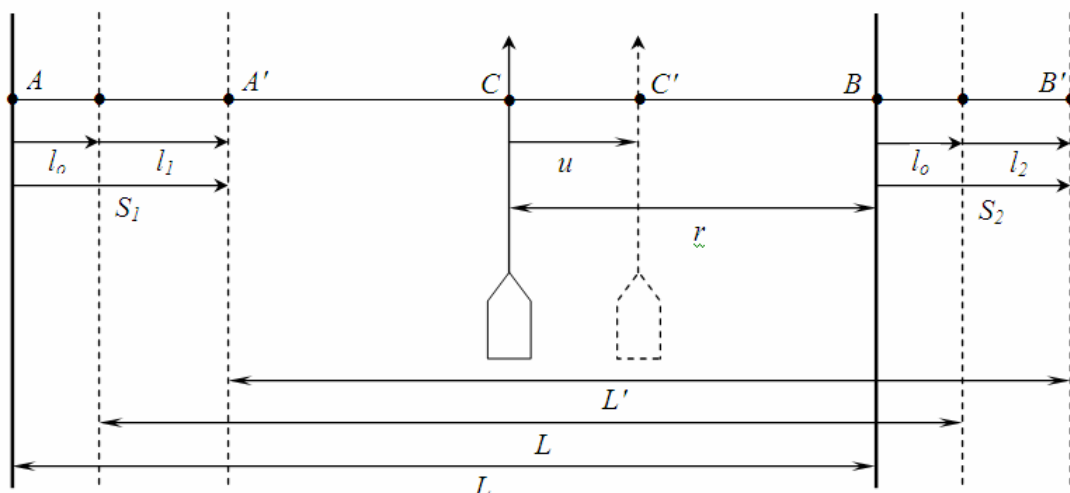
Применяя к формулам (1) теорему сложения дисперсий из работы [2], получим средние квадратические погрешности (СКП) левой  $m_{s_1}$  и правой  $m_{s_2}$  кромок фарватера

$$\left. \begin{aligned} m_{s_1} &= \sqrt{m_{l_0}^2 + m_{l_1}^2}, \\ m_{s_2} &= \sqrt{m_{l_0}^2 + m_{l_2}^2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $m_{l_0}$ ,  $m_{l_1}$ ,  $m_{l_2}$  – СКП составляющих  $l_0$ ,  $l_1$  и  $l_2$  соответственно.

На основании работы [3] коэффициент корреляции  $r$  погрешностей  $s_1$  и  $s_2$  равен

$$r = m_{l_0}^2 / (m_{s_1} m_{s_2}). \quad (3)$$



**Рис. 1. Положение судна относительно кромок фарватера**

$A, B$  – кромки фарватера, обозначенные на карте;  $L$  – ширина фарватера, обозначенная на карте;  $A'$  и  $B'$  – истинные положения кромок фарватера,  $L'$  – истинная ширина фарватера;  $C$  – определяемое место судна;  $C'$  – истинное место судна;  $s_1, s_2$  – погрешности положения кромок фарватера;  $l_0, l_1, l_2$  – составляющие погрешностей положения кромок фарватера;  $u$  – погрешность определения места судна в направлении, перпендикулярном кромкам фарватера

Если рассматривать только составляющие погрешности  $l_1$  и  $l_2$ , то в соответствии со статьей [1] ВНБП  $P_0$  может выражаться в виде суммы двух слагаемых

$$P_0 = P_1 + P_2. \quad (4)$$

Слагаемое  $P_1$  оценивается по формуле из работы [2] как вероятность попадания случайной величины  $u+l_1$  на заданный участок от 0 до  $L-r-b/2$ , где  $b$  – ширина судна [1]. Слагаемое  $P_2$  оценивается по той же формуле как вероятность попадания случайной величины  $u+l_2$  на заданный участок от 0 до  $r-b/2$  [1].

Если рассматривать только составляющую погрешность  $l_0$ , то в соответствии со статьей [4] ВНБП оценивается по формуле из работы [2] как вероятность попадания случайной величины  $u+l_0$  на заданный участок от  $r+b/2-L$  до  $r-b/2$ . В этом и только в этом случае величина  $u+l_0$  выступает как

суммарная погрешность определения места судна относительно заданных кромок фарватера.

Поскольку в последнем случае имеет место суммарная погрешность  $u+l_o$  определения места судна, то ее можно подставить в формулы статьи [1] вместо погрешности  $u$  определения места судна. Тогда при рассмотрении всех трех составляющих погрешности  $l_o$ ,  $l_1$  и  $l_2$  на основе статьи [1] ВНБП можно оценивать по формуле (4) с учетом выражений для ее слагаемых

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \int_0^{L-r-b/2} \varphi_1(\vartheta_1) d\vartheta_1 \\ P_2 &= \int_0^{r-b/2} \varphi_2(\vartheta_2) d\vartheta_2 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где  $\varphi_1(\vartheta_1)$  и  $\varphi_2(\vartheta_2)$  – плотности распределения сумм  $\vartheta_1 = u + l_o + l_1$  и  $\vartheta_2 = u + l_o + l_2$  соответственно.

Плотности распределения сумм находятся на основании положения о композиции законов распределения из работы [2]. При этом средние квадратические отклонения  $m_{\vartheta_1}$  и  $m_{\vartheta_2}$  сумм  $\vartheta_1$  и  $\vartheta_2$  будут равны

$$\left. \begin{aligned} m_{\vartheta_1} &= \sqrt{m_u^2 + m_{l_o}^2 + m_{l_1}^2} \\ m_{\vartheta_2} &= \sqrt{m_u^2 + m_{l_o}^2 + m_{l_2}^2} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где  $m_u$  – СКП определения места судна в направлении, перпендикулярном кромкам фарватера.

Определим оптимальное значение  $r$ , при котором ВНБП имеет максимальное значение. Для этого продифференцируем выражение (4) по  $r$  с учетом формул (5), приравняв найденную производную нулю, получим

$$\varphi_2(r-b/2) - \varphi_1(L-r-b/2) = 0. \quad (7)$$

В уравнении (7) оптимальное расстояние выражено в неявном виде, поэтому его следует определять методом последовательных приближений. В частном случае, когда  $m_{l_1} = m_{l_2}$ , функции  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  становятся идентичными. Тогда из уравнения (7) получим  $r=0,5L$ , что соответствует нахождению судна на оси фарватера.

Зная СКП определения места судна, СКП положения левой и правой кромок фарватера, ширину судна и его расстояние от правой кромки фарватера, можно оценить ВНБП по формулам (2) – (5) с учетом положений композиции законов распределения из работы [2].

По-иному пытался решить эту задачу Н.М. Груздев в монографии [5] и в статье [6], в которых вместо учета влияния на ВНБП неопределенности положения кромок фарватера рассматривалось формальное изменение ВНБП за счет замены СКП определения места судна на не имеющую в общем случае никакого смысла «суммарную СКП». При этом если в статье [6] делалась попытка объяснить такое предложение, то в монографии [5] такая попытка и не предпринималась.

Суть предложений Н. М. Груздева можно свести к следующему. ВНБП может оцениваться по формуле

$$P_{\bar{A}} = \int_{r+b/2-L}^{r-b/2} \varphi(\vartheta) d\vartheta, \quad (8)$$

где  $\varphi(\vartheta)$  – плотность распределения суммы  $\mathcal{A}=u+s_1+s_2$ . При этом в работах [5, 6] приводятся разные зависимости для «суммарной СКП». Для того чтобы выполнить сравнительный анализ положений данной статьи и работ [5, 6], необходимо эти зависимости привести к виду формулу (6). С этой целью в формуле (2.2.5) монографии [5] СКП положения левой и правой кромок фарватера и их коэффициент корреляции выражались через СКП составляющих  $m_{l_0}$ ,  $m_{l_1}$  и  $m_{l_2}$  с помощью формул (2) и (3). Тогда «суммарная СКП» приобретала вид

$$m_{\bar{A}1} = \sqrt{m_u^2 + 3m_{l_0}^2 + m_{l_1}^2 + m_{l_2}^2}. \quad (9)$$

Аналогичным образом на основе формул (1) и (7) из статьи [6] получалось другое выражение «суммарной СКП»:

$$m_{\bar{A}2} = \sqrt{m_u^2 + 4m_{l_0}^2 + m_{l_1}^2 + m_{l_2}^2}. \quad (10)$$

Ошибочность положений работ [5, 6] доказана в статье [7] для двух частных случаев, когда составляющие погрешности  $l_1$  и  $l_2$  отсутствуют, и когда их СКП равны друг другу. Оценим достоверность положений данной статьи и работ [5, 6] в общем случае путем сравнения вероятности  $P_0$ , вычисленной по формулам (4) – (6), вероятности  $P_{\Gamma_1}$  вычисленной по формулам (8) и (9), и вероятности  $P_{\Gamma_2}$ , вычисленной по формулам (8) и (10), с эталонным значением вероятности  $P_M$ , полученным методом статистического моделирования. При этом будет использоваться нормальное распределение погрешностей.

Для получения  $P_M$  на ЭВМ моделировались случайные погрешности  $u$ ,  $l_0$ ,  $l_1$  и  $l_2$ . Число всех четверок указанных погрешностей составило 30 000. Первоначально из всей совокупности отбирались только те четверки погрешностей, которые соответствовали фактической ширине  $L'$  фарватера, превышающей ширину судна. Число  $n$  таких четверок находилось из условия  $l_1 - L + b < l_2$ . В результате моделирования определялось число  $n_0$  навигационных происшествий (выходов судна за пределы фарватера), которое находилось из условий  $u + b/2 > r + l_0 + l_2$  и  $l_0 + l_1 + b/2 - u > L - r$ . Эталонное значение ВНБП вычислялось по формуле  $P_M = 1 - n_0 / n$ .

Были вычислены значения ВНБП для  $r$  от 0 до  $L$  с шагом  $0,05L$  при  $m_u=0,1L$ ,  $m_{l_0}=0,3L$ ,  $m_{l_1}=0,2L$ ,  $m_{l_2}=0,3L$  и  $b=0,01L$ . Результаты вычислений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Изменение вероятностей  $P_{Г_1}$ ,  $P_{Г_2}$ ,  $P_0$  и  $P_M$  в зависимости от расстояния  $r$  судна от правой кромки фарватера, нормированного шириной  $L$  фарватера

$R/L$	$P_{Г_1}$	$P_{Г_2}$	$P_0$	$P_M$	$R/L$	$P_{Г_1}$	$P_{Г_2}$	$P_0$	$P_M$
0,00	0,437	0,417	0,492	0,492	0,55	0,559	0,515	0,777	0,777
0,05	0,458	0,435	0,535	0,536	0,60	0,555	0,512	0,768	0,768
0,10	0,478	0,451	0,578	0,578	0,65	0,548	0,506	0,752	0,752
0,15	0,496	0,465	0,618	0,618	0,70	0,539	0,499	0,729	0,730
0,20	0,512	0,478	0,656	0,656	0,75	0,527	0,489	0,700	0,700
0,25	0,527	0,489	0,690	0,690	0,80	0,512	0,478	0,665	0,665
0,30	0,539	0,499	0,719	0,719	0,85	0,496	0,465	0,625	0,624
0,35	0,548	0,506	0,743	0,743	0,90	0,478	0,451	0,580	0,580
0,40	0,555	0,512	0,762	0,762	0,95	0,458	0,435	0,533	0,533
0,45	0,559	0,515	0,774	0,774	1,00	0,437	0,417	0,483	0,484
0,50	0,561	0,516	0,779	0,779					

Из табл. 1 видно, что вероятности  $P_{Г_1}$ ,  $P_{Г_2}$  значительно отличаются от вероятности  $P_M$ ; их относительная разность составляет от 10% до 30%. В то же время вероятности  $P_0$  и  $P_M$  достаточно близки друг к другу; их относительная разность составляет менее 0,1%.

Кроме того, несмотря на разные значения СКП положения левой и правой кромок фарватера, вероятности  $P_{Г_1}$  и  $P_{Г_2}$  симметричны относительно  $r=0,5L$ , что подтверждается при анализе формулы (8). Этому значению  $r$  соответствуют максимальные значения вероятностей  $P_{Г_1}$  и  $P_{Г_2}$ . В то же время значения вероятности  $P_0$ , а также вероятности  $P_M$  не обладают симметрией. Оптимальное расстояние, вычисленное по формуле (7), оказалось равным  $r=0,513L$ .

Кроме выполненных расчетов, результаты которых представлены в табл. 1, были проведены вычисления ВНБП для  $r=0,5L$  и  $b=0,01L$  при различных значениях СКП определения места судна и СКП положения кромок фарватера. Результаты вычислений показаны в табл. 2.

Таблица 2

Вероятности  $P_{Г_1}$ ,  $P_{Г_2}$ ,  $P_0$  и  $P_M$  в зависимости от СКП определения места судна  $m_u$  и СКП положения кромок фарватера  $m_{l0}$ ,  $m_l$  и  $m_{l2}$ , нормированных шириной  $L$  фарватера

$M_{l1}L$	$M_{l0}L$	$M_{l2}L$	$M_{l1}L$	$P_{Г_1}$	$P_{Г_2}$	$P_0$	$P_M$
0,1	0,3	0,2	0,3	0,561	0,516	0,779	0,780
0,1	0,1	0,1	0,1	0,957	0,939	0,996	0,996
0,1	0,1	0,01	0,1	0,973	0,957	0,998	0,998
0,1	0,0	0,2	0,2	0,901	0,901	0,973	0,973
0,01	0,1	0,01	0,1	0,986	0,973	1,000	1,000
0,3	0,03	0,01	0,03	0,894	0,892	0,898	0,898
0,01	0,3	0,01	0,01	0,659	0,590	0,901	0,901

Так же, как в табл. 1, данные в табл. 2 показывают, что вероятности  $P_{\Gamma_1}$  и  $P_{\Gamma_2}$  значительно отличаются от вероятности  $P_m$ , а вероятности  $P_o$  и  $P_m$  достаточно близки друг к другу.

Основываясь на данных, приведенных в табл. 1 и табл. 2, можно сделать вывод, что методом статического моделирования подтверждена достоверность зависимостей для оценки ВНБП, теоретически обоснованных в данной работе. В то же время этим методом подтвержден ранее сделанный вывод об ошибочности зависимостей для оценки ВНБП из монографии [5] и статьи [6] Н. М. Груздева.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Б. Е., Михальский В. А., Батуев А. Н. Оценка вероятности навигационной безопасности плавания с учетом неопределенности положения кромок фарватера // Навигация и гидрография. – 2004. – № 18. – С.17–19.
2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. 3-е изд., испр. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
3. Кондрашкин В. Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения. – М.: Транспорт, 1969. – 256 с.
4. Иванов Б. Е. Влияние погрешностей положения кромок фарватера на вероятность навигационной безопасности плавания // Навигация и гидрография. – 2001. – № 13. – С. 31–37.
5. Груздев Н. М. Навигационная безопасность плавания. – СПб.: ГУНиО МО РФ, 2002. – 221 с.
6. Груздев Н. М. Вероятность нахождения корабля в пределах фарватера с учетом погрешностей его границ // Записки по гидрографии. – 2003. – № 258. – С. 23–27.
7. Иванов Б. Е. Проверка достоверности зависимостей для оценки вероятности навигационной безопасности плавания по фарватеру // Навигация и гидрография. – 2004. – № 18. – С.12–17.

**В. Е. Ivanov, A. N. Batuev (GNINGI, RF MoD)**

**On the Influence of the Channel Edge Position Uncertainty on the Navigation Safety Probability**

*The relationships for evaluation of the navigation safety probability in the presence of the nonuniformly accurate correlated errors for the channel edge positions, are derived. The validity of the obtained relationships and the erroneousness of the relationships proposed by N. M. Gruzdev are proved by the statistical modeling method.*

ГРНТИ 78.25.31

#### **СВОБОДНЫЙ ГИРОСКОП НА КОНТАКТНОМ СВЕРХНИЗКОМ ТРЕНИИ**

**П. И. МАЛЕЕВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Рассмотрен вариант гироскопа на основе открытого отечественными учеными эффекта сверхнизкого трения в условиях, не требующих использования низких температур и сверхпроводимости.*

Данный гироскоп основан на эффекте сверхнизкого трения, который был открыт отечественными учеными [1]. Сущность этого эффекта состоит в том, что при облучении потоком заряженных частиц поверхности некоторых материалов, перемещающихся в вакууме по поверхности другого материала, (например при облучении потоком электронов полиэтилена,

перемещающегося по стали), величина коэффициента сухого контактного трения падает от 0,1–0,4 до практически нулевого значения. После прекращения облучения коэффициент трения в течение нескольких минут восстанавливается.

Вместо полиэтилена можно использовать пропилен, графит, дисульфид молибдена, т. е. материалы различной жесткости и структуры. В экспериментах скорость относительного перемещения трущихся поверхностей достигала 33 м/с, удельная нагрузка превышала  $10^3$  кг/см<sup>2</sup>, рабочая температура находилась в пределах от 20°С до 600°С.

На основе этого эффекта нами был предложен и защищен авторским свидетельством на изобретение свободный гироскоп [2]. Схема его представлена на рисунке.

Герметичный корпус 1 гироскопа, состоящий из двух соединенных между собой полусфер, образует своей внутренней поверхностью сферическую полость.

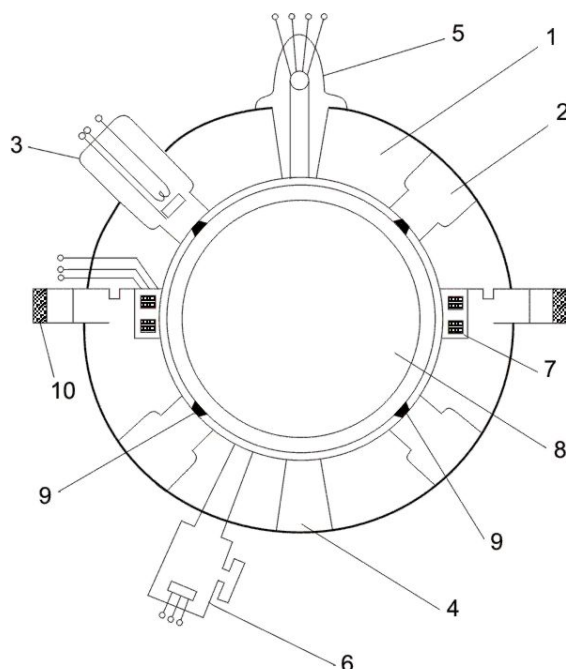


Рис. 1. Свободный гироскоп на контактом сверхнизком трении (объяснения в тексте)

В корпусе в радиальных относительно центра направлениях выполнены сквозные гнезда 2 с вмонтированными в них источниками направленного излучения заряженных частиц 3. Кроме того, в корпусе имеются сквозные гнезда 4 с вмонтированными в них неподвижными элементами двухкоординатных датчиков угла 5, а также устройство 6, обеспечивающее поддержание на заданном уровне вакуума во внутренней полости корпуса гироскопа. Таким устройством, в частности, может быть ионно-геттерный насос. В корпус вмонтирован также кольцевой статор 7 гиromотора.



Сферический ротор 8 гироскопа, размещенный во внутренней полости корпуса 1, является ротором гиromотора с осью собственного вращения. На роторе гиromотора укреплены кольцевые профильные пояски 9, образующие кольцевые выступы над поверхностью ротора. Наружные поверхности этих выступов обработаны под сферу. С помощью этих выступов ротор 8 опирается непосредственно на внутреннюю поверхность корпуса 1, образуя с ним механический контакт. Пояски 9 размещены на роторе так, чтобы их пересекали продольные оси гнезд 2, а ширина этих опорных поясков выбрана из такого расчета, чтобы при угловом рассогласовании корпуса относительно ротора вокруг входных осей гироскопа на несколько (2–3) градусов контактирующие поверхности поясков 9 не выходили из области облучения заряженными частицами.

Корпус гироскопа снабжен установочным буртом 10, предназначенным для крепления гироскопа к основанию.

При подаче электропитания в статорную обмотку ротор 8 гироскопа начинает вращаться. Опорные пояски 9, вращаясь вместе с ротором относительно источников излучения заряженных частиц 3, облучаются потоками этих частиц через отверстия в корпусе гироскопа.

Благодаря возникновению эффекта сверхнизкого трения, в процессе разгона ротора в подвесе уменьшается трение между облучаемыми поверхностями опорных поясков и корпусом, и к моменту набора полного числа оборотов оно становится минимальным. В дальнейшем гироскоп работает обычным образом, обеспечивая с помощью двухкоординатного датчика угла выработку сигналов об углах рассогласования между ротором и корпусом.

Для обеспечения разгона ротора в начальный период запуска гироскопа, когда контактное трение в подвесе еще велико, в статоре гироскопа предусмотрена дополнительная форсажная обмотка, которая отключается при достижении ротором заданного числа оборотов.

Остановка гироскопа осуществляется путем выключения статорной обмотки гиromотора и последующим отключением источников излучения заряженных частиц. Возрастающее в связи с этим трение между контактирующими поверхностями подвеса ротора создает тормозящий момент, благодаря чему ротор останавливается.

Предварительные исследования показали, что в отличие от известных типов свободных гироскопов с электрическим, магнитным и газовым подвесами ротора в предложенном свободном гироскопе за счет уменьшения степени неравножесткости и упругой податливости опоры ротора уменьшается составляющая дрейфа, пропорциональная квадрату действующей на гироскоп перегрузки, расширяется диапазон допустимых перегрузок и повышается надежность работы гироскопа. Важно и то, что в этом случае снижаются требования к точности балансировки ротора и внутренней поверхности корпуса гироскопа, расширяются допуски на его изготовление, и тем самым упрощается технология его производства.

С целью подтверждения возможности создания рассматриваемого свободного гироскопа был разработан и испытан узел его трения. Этот узел представлял собой сферу (ротор), на которую было нанесено покрытие из дисульфида молибдена в виде кольцевой дорожки толщиной 20–30 мк. Ротор помещен в корпус из двух полусфер. На корпусе были закреплены обмотки вращения ротора и две электронные пушки с энергией до 2 Кэв при плотности тока до 200 мка/см<sup>2</sup>. Узел трения помещался в вакуумную камеру. При достижении вакуума около 10<sup>-6</sup> торр включалось облучение вращающейся поверхности узла трения ротора и система его разгона. Скорость вращения ротора в эксперименте достигала 11000 об./мин. и оставалась неизменной в течение всей длительности эксперимента (10 ч).

В дальнейшем планировалась постановка НИР по созданию полномасштабного образца свободного гироскопа на аномально низком трении и проведению его всесторонних испытаний, однако из-за отсутствия финансирования эта НИР до настоящего времени не выполнена.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Духовской Е. А., Тальрозе В. Л., и др. // Бюллетень изобретений. – 1973. – №13. – Открытие СССР, №121.
2. А.С. 98750 (СССР). – Свободный гироскоп // Ананченко Е. А., Малеев П. И., и др. – Приоритет от 26 мая 1976 г.

**P. I. Maleyev (GNINGI, RF MoD)**

Free Gyroscope Based on Employment of Contact Superlow Friction

*The variant of gyroscope based on the superlow friction effect discovered by the Soviet scientists, under the conditions that do not require the employment of low temperatures and superconductivity, is considered.*

ГРНТИ 47.55.31; 78.25.31

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЮСТИРОВКИ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ЛАГОВ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК В БАЛТИЙСКОМ МОРЕ**

**М. Л. БОГДАНОВИЧ**  
(ГНИНГИ МО РФ),  
**К. А. ВИНОГРАДОВ**  
(ЗАО "Акварин"),  
**Н. И. ЛЕДЕНЕВ,**  
**К. Ю. ЛЫСЕНКО**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Рассматривается принцип действия и результаты испытаний навигационной гидроакустической системы «Фольклор-Ю» для юстировки относительных лагов подводных лодок в подводном положении. Приводятся результаты сопоставительного анализа нового и использовавшихся ранее способов юстировки.*

Относительная скорость подводных лодок (пл) является элементом ходкости и принадлежит к числу основных маневренных элементов. Ее определяют перед вводом лага в эксплуатацию и затем один раз в год или после выполнения специальных работ.

Относительную скорость подводных лодок определяют на мерной линии, представляющей собой совокупность технических средств, действующих на различных физических принципах и развернутых на специальных полигонах.

На мерных линиях производится юстировка относительных лагов в подводном и надводном положении, которая включает:

- определение средней продольной составляющей абсолютной скорости пл на пробеге;
- определение средней относительной скорости пл на режиме движения;
- расчет (с использованием данных о скорости по лагу) и ввод соответствующих поправок;
- определение остаточных погрешностей лага.

Для определения средней продольной составляющей абсолютной и средней относительной скорости пл в подводном положении с целью юстировки относительных лагов традиционно использовались кабельные и гидроакустические веерные мерные линии (табл. 1). Однако в последнее время использование этих мерных линий для юстировки относительных лагов связано со следующими трудностями:

- выработан технический ресурс аппаратуры;
- элементная база технических средств устарела и в настоящее время не производится;
- восстановление работоспособности технических средств невозможно из-за распада СССР и ликвидации (или репрофилирования) ряда предприятий.

Таблица 1

**Характеристики кабельных и гидроакустических веерных мерных линий**

Тип мерной линии	Минимальная СКП определения скорости на пробеге, уз	Необходимое обеспечение	Примечание
Кабельная	0,11	Стационарная береговая станция, две сильноточные кабельные трассы от станции до района мерной линии, специальная бортовая аппаратура пл	Длины кабельных трасс до нескольких десятков километров
Гидроакустическая веерная	0,21	Два обеспечивающих судна, оборудованных специальными гидроакустическими излучателями, штатный гидроакустический комплекс пл	

В связи с этим кабельные и гидроакустические мерные линии на флотах практически не используются. Кроме того, кабельные и гидроакустические мерные линии обеспечивают относительно низкую точность определения скорости пл, которая не отвечает (с метрологической точки зрения) характеристикам современных относительных лагов, так как для юстировки

последних СКП определения средней продольной составляющей абсолютной скорости пл на пробеге должна быть не более 0,026 уз.

В связи с этим специалистами ГНИНГИ МО РФ и ЗАО «Акварин» (г. С-Петербург) был обоснован новый способ определения средней продольной составляющей абсолютной скорости пл относительно грунта с использованием гидроакустических донных маяков-ответчиков (ДМО), получивший название – гидроакустическая травезная мерная линия (ГА ТМЛ) [1].

Для определения скорости пл в подводном положении ГА ТМЛ оборудуется ДМО, необходимое количество которых определяют в зависимости от максимальной скорости хода пл.

ДМО располагают на ГА ТМЛ на расстоянии  $B_{ij}$  так, чтобы направление базы  $A_{ij}$  приблизительно совпадало с направлением течения в данном районе. Постановку ДМО производят в точках, обеспечивающих значения длины базы, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Соответствие длин пробега  $S$  и скорости пл (приблизенно)

Скорость пл, уз	6	12	20
Длина базы, мили	0,5	1,0	1,5

Скорость пл на ГА ТМЛ определяют путем измерения продолжительности пробега между пересечениями секущих траверзов ДМО. Пробеги выполняют по направлению базы  $A_{ij}$  взаимнообратными курсами, перпендикулярными секущим траверзам.

В полигоне пл ложится на курс, параллельный направлению базы, и развивает назначенную скорость. В момент подхода к траверзу первого ДМО (ДМО $i$ ) с помощью бортовой аппаратуры производятся его запросы и он излучает ответные акустические сигналы. Бортовая аппаратура принимает излучаемые ДМО сигналы и измеряет времена  $\tau_i$  их распространения. В момент прохождения пл траверза ДМО $i$  значение  $\tau_i$  будет минимальным. Для уточнения момента прохождения траверза продолжают прием сигналов ДМО $i$  с последующей аппроксимацией в бортовой аппаратуре значений  $\tau_i$  и определением (по минимуму  $\tau_i$ ) времени  $T_{ni}$  начала пробега.

После этого запросы ДМО $i$  прекращают и продолжают движение ко второму ДМО (ДМО $j$ ). При подходе к траверзу ДМО $j$  описанные выше действия повторяются и определяют момент  $T_{kj}$  прохождения пл траверза ДМО $j$ .

По известной базе  $B_{ij}$  и разности времен  $T_{ni}$  и  $T_{kj}$  прохождения пл траверзов ДМО $i$  и ДМО $j$  в бортовой аппаратуре рассчитывается истинная скорость  $V_i$  на пробеге.

С целью реализации указанного способа юстировки относительных лагов пл в подводном положении ЗАО «Акварин» по заказу ФГУП «ЦНИИ “Электроприбор”» была выполнена соответствующая опытно-конструкторская работа (главный конструктор А. И. Монахов). Разработанная

в ходе выполнения аппарата, получившая название навигационной гидроакустической системы (НГС) «Фольклор-Ю», состоит из:

- унифицированных программируемых ДМО (прибор 15), обеспечивающих время автономной работы не менее пяти лет;
- прибора программирования и проверки ДМО (прибор 40);
- переносной бортовой аппаратуры в составе гидроакустических антенн для надводного (гидрографического) судна и плп, гидроакустического дальномера (прибор 16) и переносной ЭВМ.

Назначение и массогабаритные характеристики указанных приборов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Назначение и массогабаритные характеристики приборов НГС «Фольклор-Ю»

Наименование	Назначение	Габариты, мм			Масса, кг
		ширина	высота	глубина	
Прибор 15	Донный маяк-ответчик	диаметр 406		2170	556
Прибор 40	Программирование и проверка ДМО	340	137	314	5,5
Устройство антенное	Для установки на пл проекта 677	2250	200	290	64,5
Устройство антенное левого борта	Для установки на пл проекта 636	780	370	180	26,5
Устройство антенное правого борта	Для установки на пл проекта 636	1180	370	180	22,0
Устройство антенное	Для установки на надводном судне	560	330	346	28,0
Прибор 16	Гидроакустический дальномер	500	125	450	14,9
ПЭВМ	Персональная ЭВМ в промышленном исполнении	400	292	210	8,5

Отличительной особенностью разработанной НГС является ее маневренность. Так, например, антенное устройство надводного судна крепится на его днище легководолазом при помощи постоянных магнитов. При этом в реальных условиях время, затрачиваемое на установку (снятие) антенны, не превышает 1 часа. Антенное устройство устанавливается на время юстировки лага на специальных фундаментах на крыше рубки пл и подключается к бортовой аппаратуре через кабель, проложенный в прочный корпус.

В июне-июле 2004 г. в районе военно-морской базы Балтийск были проведены межведомственные испытания НГС «Фольклор-Ю» на гидрографическом судне (гс) «Андромеда». В состав межведомственной комиссии (председатель – начальник отдела ТСК гидрографической службы Балтийского флота капитан 2 ранга А. А. Травников), назначенной приказом Начальника кораблестроения, вооружения и эксплуатации вооружения-заместителя Главнокомандующего ВМФ по вооружению, входили специалисты гидрографической службы Балтийского флота, ГНИНГИ МО РФ, 24 ВП МО, ФГУП «ЦНИИ “Электроприбор”» и ЗАО «Аквамарин».

Перед выходом на борту гс «Андромеда» были проведены проверки бортовой аппаратуры и программирование и проверка (с помощью прибора 40) двух ДМО (рис. 1).

С приходом гс «Андромеда» в район развертывания ГА ТМЛ (глубины моря около 100 м) были взяты пробы грунта и проведены необходимые гидрологические работы (рис. 2, 3) для определения вертикального распределения скорости звука (ВРСЗ).



**Рис. 1. Программирование и проверка ДМО на борту гс «Андромеда» с использованием прибора 40**



**Рис. 2. Взятие проб грунта с использованием трубки ударного типа ТГ-1**



**Рис. 3. Взятие проб воды с использованием морского батометра БМ-48**

Пробы грунта показали, что в районе постановки ДМО грунт состоит из глины и жидкого ила толщиной 60–100 см.

Полученный по результатам гидрологических работ ВРСЗ и соответствующие ему лучевые картины приведены на рис. 4. Анализ этих

данных показывает, что максимальная дальность связи с ДМО во время испытаний не должна превышать 500 м.

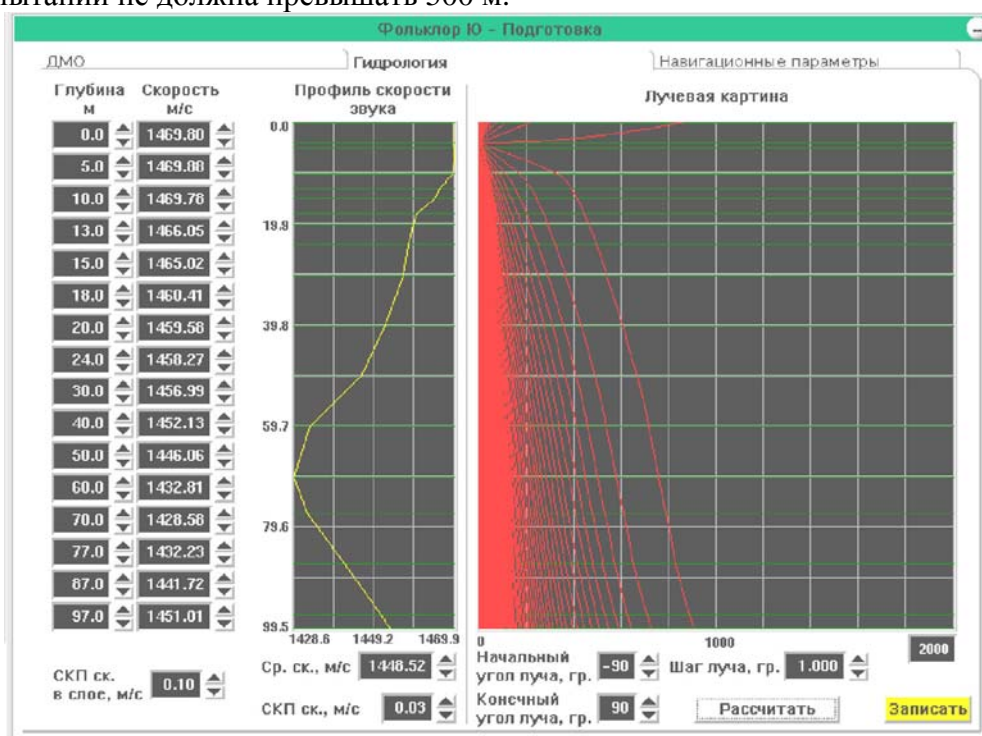


Рис. 4. ВРСЗ и лучевые картины в районе испытаний

$$\sigma_{V_{\delta}} = \left\{ (\Delta \bar{V})^2 / 3 + [\sigma(\Delta \bar{V})]^2 - (\sigma \bar{V}_{\bar{n}})^2 \right\}^{1/2} = 0,008 \delta c.$$

Таким образом, результаты испытаний показали, что созданная аппаратура, позволяет в соответствии с ПОМЭК-85 [4] проводить юстировку всех существующих относительных лагов установленных на пл и других подводных объектах.

Результаты оценки экономической эффективности ГА ТМЛ (на 5 лет эксплуатации при удалении от береговой черты на 20 миль при проведении семи юстировок в год продолжительностью одни сутки каждая) приведены в табл. 5, из которой следует, что затраты на проведение одной юстировки на ГА ТМЛ, как минимум, в 3 раза меньше, чем для использовавшихся ранее способов.

Таблица 5

Оценка экономической эффективности

Тип мерной линии	Затраты на проведение одной юстировки, тыс. руб.	Примечание
Кабельная	85,7	Без стоимости капитального строительства, береговой станции и бортового оборудования, при стоимости 1 м кабеля 100 руб.
Гидроакустическая веерная	100,0	Без стоимости излучателей, при стоимости эксплуатации 1 гс в море 100 тыс. руб.
Гидроакустическая траверзная	28,6	Без стоимости бортовой аппаратуры, при стоимости одного ДМО 500 тыс. руб.

В заключение отметим, что в ходе проведения испытаний НГС «Фольклор-Ю» была оборудована первая в ВМФ ГА ТМЛ, на которой в августе 2004 года в ходе заводских ходовых испытаний головной пл проекта 636, построенной ФГУП «Адмиралтейские верфи» для иностранного заказчика, была успешно обеспечена юстировка ее относительного лага в подводном положении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов К. А., Кошкарёв В. Н., Осюхин Б. А., А. А. Хребтов. Абсолютные и относительные лаги. – Л.: Судостроение, 1990. – 263 с.
2. Виноградов К. А., Леденев Н. И. Гидроакустическая траверзная мерная линия. – Морской сборник ВМФ. – 2002. – № 4. 97 с.
3. Инструкция по использования навигационной гидроакустической системы СНП-2, ГУНИО МО, адм. № 9255, 1985. – 32 с.

**M. L. Bogdanovich, N. I. Ledenev, K. Y. Lysenko (GNINGI, RF MoD), K. A. Vinogradov (“Akvamarin” Closed Type Joint Stock Company)**

Test Results of Technical Adjustment Means for the Water Speed Logs of Submarines in the Baltic Sea

*The principle of operation and test results of «Фольклор-Ю», navigation hydroacoustic system used to adjust the water speed logs of submerged submarines is considered. The results of comparative analysis for the new adjustment method and those used previously are presented.*

УДК 621.396.932

#### **СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**Б. И. ЛОБОЙКО,  
В. С. ТРЕГУБОВ,  
В. Н. БАРИНОВ  
(ГНИНГИ МО РФ)**

*Приведен анализ влияния современного состояния электромагнитной обстановки на работу спутниковых навигационных систем, показаны пути совершенствования их функционирования.*

#### **1. Анализ современного состояния электромагнитной обстановки функционирования спутниковых радионавигационных систем**

При разработке концепции построения спутниковых радионавигационных систем (РНС) главное требование состояло в минимизации уязвимости систем и их элементов, реализации всей совокупности функциональных возможностей и значительном увеличении круга и числа военных потребителей. На последующих этапах создания систем спутниковых РНС была существенно расширена возможность их использования многочисленными гражданскими потребителями. Одновременно, с момента разработки систем спутниковых РНС изменились условия их применения. В первую очередь это относится к



усложнению электромагнитной обстановки (ЭМО), в том числе за счет следующих факторов:

- роста общего количества радиоэлектронных средств (РЭС) наземного, воздушного и космического базирования, повышения плотности их размещения и концентрации частот в отдельных участках радиоэлектронного спектра, в том числе в диапазоне частот спутниковых РНС;
- увеличения уровней излучаемой мощности передатчиками отдельных РЭС, расширения спектров излучения за счет использования широкополосных сигналов для достижения требуемых характеристик канала связи по помехоустойчивости и скорости передачи информации;
- высокого уровня нежелательных излучений (побочных, внеполосных и шумовых) передатчиков некоторых РЭС через антенну и помимо антенны.

В диапазоне частот *L1* наибольшую опасность для работы аппаратуры потребителей (АП) в настоящее время представляют излучения систем персональной спутниковой связи (ПСС) типа ГЛОБАЛСТАР, ЕССО, ОДИССЕЙ и некоторых других. Частоты этих систем располагаются в непосредственной близости или совпадают с частотами РНС ГЛОНАСС. В диапазоне *L2* мешающее воздействие на работу АП могут оказывать сигналы некоторых радиолокационных систем, средства воздушной навигации и т. д.

Значения выделенных для ПСС частот, а также заявленные уровни основных и нежелательных излучений дают полное основание для серьезного беспокойства о возможности совместного функционирования АП с терминалами ПСС без комплексного решения проблемы их электромагнитной совместимости (ЭМС). Анализ основных и нежелательных излучений терминалов ПСС показывает, что их значения в ряде случаев могут превышать пороговые уровни АП. Это может привести к перегрузке входных каскадов и появлению большого числа комбинационных составляющих в приемном тракте. Положение усугубляется еще и тем, что в супергетеродинных приемниках АП с несколькими преобразованиями частоты, где имеют место побочные каналы приема, в особенности прием по зеркальному каналу, крайне трудно обеспечить качественный прием навигационных радиосигналов, высокий уровень частотной избирательности и надежное выделение навигационной информации.

Например, летом 1998 г. на гидрографическом судне «Николай Матусевич» были проведены натурные испытания навигационной аппаратуры потребителей НАП СЧ-4, «Бриз-К» и «Шкипер» на ЭМС с абонентскими терминалами (АТ) системы ПСС «Iridium». Испытания проводились в портах Ломоносов, Кронштадт и на акватории Финского залива.

Перед началом испытаний была проверена работа НАП в условиях фоновых помех радиоэлектронных средств порта и корабля. При этом НАП, представленные на испытаниях, обеспечивали выполнение требований, заданных в технических условиях.

Испытания показали подверженность НАП СЧ-4 и «Бриз-К» воздействию излучаемых сигналов АТ, которое проявлялось в сбоях при вхождении в синхронизацию с сигналами навигационных спутников СРНС ГЛОНАСС. В этих же условиях НАП «Шкипер» оказалась устойчивой к излучению АТ.

При испытаниях были получены следующие результаты:

- излучение АТ системы ПСС не влияло на работу НАП «Шкипер»;
- излучение АТ системы ПСС подавляло функционирование НАП СЧ-4 на расстояниях менее 2,5 кбт (при мощности излучения АТ, равной 5 дБВт) и менее 1,5 кбт (при мощности излучения АТ, равной 1,5 дБВт) от антенного устройства АТ системы ПСС;
- излучение АТ системы ПСС подавляло работу НАП «Бриз-К» в режиме поиска и захвата сигналов навигационных спутников на расстояниях менее 22 кбт от антенного устройства АТ системы ПСС.

Таким образом, в условиях воздействия излучаемых сигналов АТ системы ПСС «Iridium»:

- НАП «Шкипер» может использоваться без ограничений;
- НАП СЧ-4 и «Бриз-К» не могут использоваться на судне при работе АТ на излучение; для обеспечения соответствия требованиям ИМО необходима доработка этих НАП.

В целях улучшения ЭМС НАП СРНС ГЛОНАСС с АТ системы ПСС типа «Iridium» необходимо обеспечить прием сигналов навигационных спутников СРНС ГЛОНАСС с новыми литерами частот, вводимыми в соответствии с частотным планом поэтапного изменения частотного диапазона системы ГЛОНАСС, что позволит увеличить частотный разнос с системами ПСС [1].

Серьезную угрозу для АП представляют преднамеренные помехи, создаваемые при противодействии или диверсионных актах. Механизм воздействия таких помех на АП определяется их мощностью и частотно-временными характеристиками.

Значительную угрозу входным каскадам приемных устройств АП могут представлять поражающие электромагнитные факторы в виде коротких импульсов СВЧ-излучений большой мощности, создаваемых мощными РЛС, работающими промышленными СВЧ установками и т. п. или формируемых целевым образом. Наиболее уязвимыми при действии мощных СВЧ-излучений являются чувствительные элементы входных каскадов приемных устройств, имеющие полупроводниковые структуры.

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

- невосстанавливаемым отказам;
- восстанавливаемым отказам в виде «ослепления», приводящим к ускоренному «старению» полупроводниковых структур.

Восстанавливаемые отказы могут быть как с сохранением, так и с ухудшением (деградацией) параметров АП после восстановления работоспособности. Интервал времени выхода АП из строя может изменяться в широких пределах от единиц миллисекунд до десятков минут. Причиной невосстанавливаемых отказов в большинстве случаев является тепловой пробой полупроводниковых структур входных устройств АП.

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

## **2. Обеспечение помехоустойчивости спутниковых радионавигационных систем на современном этапе их функционирования**

В современных спутниковых РНС требования устойчивости, в том числе помехоустойчивости навигационно-временного обеспечения, достигаются следующими основными способами и техническими средствами [2]:

- использованием сложных сигналов с большой базой для передачи навигационной, временной и служебной информации;
- передачей навигационных радиосигналов одновременно на частотах  $L1$  и  $L2$  с правой круговой поляризацией;
- применением оптимальных методов приема сигналов и обработки навигационной информации;
- использованием в наиболее ответственной аппаратуре военных потребителей приемных адаптивно управляемых фазированных антенных решеток (ФАР), обеспечивающих формирование «провалов» в диаграмме направленности в направлении на источники помеховых сигналов;
- обработкой навигационной информации с использованием объема априорной информации, в том числе данных о структуре рабочего созвездия навигационных спутников и стабильности их орбит, частоте и фазе высокочастотных и временных сигналов, что исключает или затрудняет искажение передаваемых радиосигналов и имитацию навигационных и временных сообщений и служебной информации;
- применением высокостабильных бортовых и наземных эталонов времени и частоты;
- комплексированием аппаратуры потребителей СРНС с другими навигационными средствами, включая наземные средства радионавигации и бортовые навигационные датчики.

Тем не менее проблема обеспечения помехоустойчивости спутниковых РНС вообще и АП в частности до настоящего времени не решена. Об этом свидетельствуют многочисленные публикации в отечественных и зарубежных источниках, а также многолетний опыт применения СРНС в реальных условиях, включая сложные условия ЭМО. Требуется поиск новых, а также пересмотр уже известных путей для решения проблемы повышения помехоустойчивости. Это

должны быть системные мероприятия и согласованные с ними схемно-технические решения, направленные на совершенствование структуры системы и основных устройств приемоизмерителей АП, включая средства оперативного контроля за целостностью системы и достоверностью навигационной информации, а также контроль за процессами и результатами воздействия помех и управления устройствами радиоэлектронной защиты от помеховых воздействий.

### **3. Возможные направления повышения помехоустойчивости СРНС в ближайшей перспективе**

С учетом современного состояния орбитальной группировки спутников ГЛОНАСС, достигнутого уровня производства отечественной АП и ее использования в гражданских и военных транспортных, связных и других технологиях, основные направления и содержание работы по обеспечению помехоустойчивости СРНС должны носить комплексный характер и координироваться из единого центра.

На уровне подсистемы навигационных спутников необходима разработка требований к их модернизации с увеличением технического ресурса и автономности функционирования, с повышением бортовой энергетики, выделением дополнительной рабочей частоты для массовых гражданских потребителей и новых структур навигационных сигналов повышенной скрытности и помехоустойчивости.

Разработка направлений на повышение помехоустойчивости СРНС ГЛОНАСС в целом и ее подсистем (сегментов) в частности, приобретает в настоящее время особую значимость и актуальность, так как исследования, проводимые в последнее время в области совместного ее использования с американской системой GPS, практически породили поток информации по структуре навигационных сигналов этих систем, что предопределило возможность их несанкционированного использования, а также возможность подавления радиоканала. К тому же технология передачи и обработки информации с помощью синусоидальных сигналов сегодня практически себя исчерпала – достигнут предел как по количеству передаваемой информации к числу каналов связи, так и по возможности ее дешифровки.

Следовательно, необходимо уделить особое внимание следующим направлениям:

- исследованию и разработке методов оценки помехоустойчивости и ЭМС существующей и перспективной АП (разработка моделей помеховых воздействий и базовых методик, выбор показателей для оценки качества функционирования АП, создание имитационных моделей ЭМС для группировки средств, а также разработка сертифицированного стендового оборудования для экспериментальной оценки помехоустойчивости и ЭМС существующей и перспективной АП);
- разработке способов и средств повышения помехоустойчивости существующей и перспективной АП, поиску новых структур АП и ее основных устройств, устойчивых к воздействию непреднамеренных и

преднамеренных помех, разработке методов математического и имитационного моделирования для исследования помехоустойчивости АП, оптимизации структуры тракта приема и обработки сигналов с учетом широкого использования цифровой обработки радиосигналов, военно-техническому обоснованию и разработке предложений по комплексированию АП с другими РНС и инерциальными навигационными измерителями, а также использованию приемных фазированных адаптивных антенных решеток в составе АП для повышения помехоустойчивости;

– оценке стойкости и защите навигационного канала типовой АП от поражающих электромагнитных факторов (ЭМФ) – разработке моделей входных устройств чувствительных к воздействию, выбору показателей качества и экспериментальной оценки критериальных уровней поражения, разработке рекомендаций и изготовлению устройств для защиты входных элементов типовой АП.

Определенный интерес в направлении повышения помехозащищенности (помехоустойчивости) представляет идея возможности технической реализации сверхширокополосных сигналов без несущей (СШПСБН). Исходные идеи применения СШПСБН изложены в основополагающих работах Х. Хармута (1969–1985). Естественно, что обычные методы модуляции АМ, ФМ к этим сигналам неприменимы, здесь необходимо применять временную модуляцию, что позволит скрыть информацию в особо точно контролируемом сочетании временных промежутков между отдельными импульсами. В этом случае время может быть чрезвычайно малым, но количество передаваемой информации огромно и число каналов ее передачи практически неограничено. Такой сигнал не может быть перехвачен и расшифрован, т. е. будет гарантирована конфиденциальность информации. Кроме того, сигнал исключительно устойчив ко всем видам помех. Следовательно, возникает естественная необходимость исследований этого направления.

Одним из базовых направлений может быть создание приемоизмерителей с прямым преобразованием частоты.

Современные приемоизмерители СРНС ГЛОНАСС и GPS строятся, как правило, по схеме супергетеродинного типа с двойным или тройным преобразованием частоты. Нелинейное преобразование принимаемых навигационных радиосигналов  $f_c$ , их усиление и частотная селекция производится на первой промежуточной частоте в смеси с шумом при действии непреднамеренных и преднамеренных помех  $f_p$ . В результате преобразования на выходе смесителя образуются гармоники и комбинационные частоты

$$f_{\text{вых.см}} = F(f_c, f_r, f_p) = (mf_c + nf_r + pf_p),$$

где  $f_r$  – частота гетеродина;  $m, n, p = 0; \pm 1; \pm 2, \dots$

Количество составляющих этих частот тем больше, чем больше нелинейность характеристики преобразователя и порядок суммы  $M = |m| + |n| + |p|$ . При использовании приемного тракта с двойным и тем более с тройным преобразованием частоты количество продуктов нелинейного преобразования

резко возрастет. При большей интенсивности помех, в том числе гармонической или узкополосной, это может привести к срыву режима слежения.

Принципиальным решением в борьбе с помехами такого типа является уменьшение числа преобразователей при одновременном улучшении усилительных и частотно-избирательных свойств каскадов усилителя промежуточной частоты или переход к использованию приемника с прямым преобразованием частоты в составе АП [3].

Реализация приемного устройства с прямым преобразованием частоты позволит исключить прием побочных каналов, свойственных традиционным приемникам супергетеродинного типа, обеспечит функциональную простоту и надежность АП в целом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бублик С. М., Иванников А. А., Шашков А. А. Электромагнитная совместимость отечественной навигационной аппаратуры потребителей космической навигационной системы ГЛОНАСС с абонентскими терминалами систем подвижной спутниковой связи США. //Записки по гидрографии. – 2001. – № 252. – С.29–30.
2. Морозов В. М. Спутниковая радионавигационная система «Навстар-GPS». Принципы построения, характеристики, основные направления и способы использования для навигационно-временного обеспечения систем и средств вооружения. – СПб.: РИРВ, 1998. – 67 с.
3. Курганов И. А., Никитенко Ю. И., Рудницкий С. Б. Свидетельство на полезную модель «Приемоизмерительный тракт аппаратуры потребителей среднеорбитных спутниковых радионавигационных систем» – №11614 от 07.04.99, Россия.

**B. I. Loboiko, V. S. Tregubov, V. N. Barinov (GNINGI, RF MoD)**

Status and Directions of Research Intended to Enhance the Antijamming Capability of Radionavigation Systems

*The influence of the present-day state of electromagnetic conditions on the operation of the satellite navigation systems is analysed. The ways to improve their operation are shown.*

ГРНТИ 78.25.31

#### **ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ОБЪЕДИНЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПОПРАВОК НАЗЕМНЫХ СТАНЦИЙ**

**В. А. ПЫЛЕНКОВ,  
Г. К. ДАНИЛОВА,  
В. И. ЛАПШИНА,  
В. Н. БАРИНОВ  
(ГНИНГИ МО РФ)**

*В статье рассмотрены методы объединения дифференциальных поправок наземных станций. Приведены результаты их математического моделирования и рассмотрены пути оснащения регионов Российской Федерации средствами функциональных дополнений и интеграции их в космическую систему дифференциальной коррекции.*

В соответствии с планами модернизации КНС ГЛОНАСС предполагается в формате сигнала этой системы реализовать передачу дифференциальных поправок к ее измерениям. Степень достоверности таких поправок будет определяться выбранным методом их формирования, поэтому

разработка идеологии построения сети контрольно-корректирующих станций (ККС), объединенных в космическую систему дифференциальной коррекции, является в настоящее время весьма актуальной.

Задача оптимизации структуры сети из нескольких ККС сводится к построению набора оптимальных структурных элементов сети и графическому покрытию этими элементами соответствующей территории. Естественным показателем оптимальности структурного элемента сети является его максимальный размер, обеспечивающий необходимую точность дифференциальной навигации в зоне обслуживания. Конкретное содержание этого показателя определяется:

- погрешностью навигационных определений;
- принципом формирования корректирующей информации;
- методом объединения дифференциальных поправок наземных станций.

Предлагаемые принципы формирования корректирующей информации системами дифференциальной коррекции основаны на корреляции погрешностей измерений, выполненных в наземных точках, разнесенных на расстояние до 2000 км. При высоте орбиты спутников КНС порядка 20000 км эти точки наблюдаются под углом  $\approx 3$  град., в пределах которого факторы, влияющие на точность измерений, меняются незначительно. Это позволяет сделать допущение, что значение погрешности псевдодальностей от одной точки синхронных наблюдений к другой меняются линейно и возможна их интерполяция в промежуточных точках.

Учитывая вышесказанное, данный подход может быть сформулирован следующим образом: корректирующая информация (КИ) формируется синхронно, в виде поправок к псевдодальностям на нескольких (не менее 3-х) периферийных контрольно-корректирующих станциях (ККС). По каналам связи первичная информация передается в центр обработки данных (ЦОД), который может быть совмещен с наземным комплексом управления КНС (НКУ). По данным периферийных ККС в ЦОД формируются кадры корректирующей информации для районов, расположенных в области, смежной с зонами действия периферийных ККС. Из ЦОД по выделенным каналам связи через НКУ соответствующая КИ доводится до потребителей, находящихся в той или иной части зоны обслуживания космической системы дифференциальной коррекции (КСДК). Следует заметить, что КИ, доводимая до потребителя, может быть представлена в двух вариантах:

- как массив дифференциальных поправок от периферийных ККС, подготовленных для совместной обработки и расчета объединенной поправки программными средствами НАП;
- как объединенная поправка, вычисленная в ЦОД для конкретных локальных районов.

В любом из представленных вариантов алгоритмы расчета объединенной поправки идентичны. Однако в первом случае ужесточаются требования к пропускной способности канала, обеспечивающего доведение КИ потребителям, во втором – к точности формирования и пространственного распределения информационных потоков дифференциальных поправок.

Особенностью формирования КИ является то, что дифференциальные поправки должны быть выработаны в единой шкале системного времени.

Метод объединения дифференциальных поправок должен обеспечить получение оптимальной корректирующей информации в любой точке зоны обслуживания структурного элемента сети ККС по данным отдельных станций элемента сети.

Рассмотрим три метода решения этой задачи.

Первый метод основан на получении средневзвешенной дифференциальной поправки в каждой точке зоны по формуле (1) и назван методом «весовых коэффициентов».

$$\Delta_n = \sum_{i=1}^n c_i \Delta_i, \quad (1)$$

где  $\Delta_n$  – диффпоправка точки;

$c_i$  – весовой коэффициент  $\sum_{i=1}^n \tilde{n}_i = 1$ ;

$i$  – порядковый номер наземной станции;

$\Delta_i$  – диффпоправка  $i$ -ой станции.

Второй метод основан на предположении о существовании вектора дифференциальной поправки, проекциями которого на направления «ККС – КА» являются поправки, выработанные этими станциями. Он назван методом «вектора дифференциальной поправки».

Третий метод основан на предположении о постоянстве поверхностного градиента дифференциальной поправки в зоне обслуживания структурного элемента сети и назван «градиентным методом».

Справедливость указанных предположений проверена в процессе исследований, в которых независимым способом определялась погрешность дифференциальной поправки  $\Delta_n$ , полученной тем или иным методом, и сравнивалась с погрешностью дифференциальной поправки по ближайшей станции  $\Delta_{пс}$ .

Веса дифференциальных поправок в первом подходе целесообразно определить исходя из модели пространственной корреляции эквивалентной (полной) погрешности псевдодальности. Эта модель представляет собой Марковский процесс первого порядка с дисперсией  $\sigma^2$  и корреляционной функцией

$$K(D) = E(m_1, m_2) = \sigma^2 e^{(-D/D_0)}, \quad (2)$$

где

$D$  – расстояние между точками 1 и 2;

$m_1, m_2$  – эквивалентные (полные) погрешности псевдодальности в этих точках;

$D_0$  – расстояние корреляции, которое должно быть определено экспериментально.



Поэтому веса дифференциальных поправок можно представить в виде

$$c_i = \frac{e^{-D_i/D_0}}{\sum_{i=1}^n e^{-D_i/D_0}} . \quad (3)$$

Средневзвешенная дифференциальная поправка  $\Delta_n$  получается по формуле (2). Существенным недостатком этого метода объединения дифференциальных поправок является неопределенность величины  $D_0$ . При оценке метода эта величина изменялась в пределах 500–1000 км.

В качестве показателя эффективности метода объединения дифференциальных поправок целесообразно принять отношение

$$\rho = \frac{m_{nc}}{m_n} , \quad (4)$$

где  $\rho$  – показатель эффективности метода;

$m_{nc}$  – СКП дифференциальной поправки в точке потребителя, полученной классическим способом от ближайшей к потребителю станции;

$m_n$  – СКП дифференциальной поправки в точке потребителя, полученной методом объединения дифференциальных поправок.

Для указанного метода весовых коэффициентов этот показатель находится в пределах 1,5–2,0 в средней точке треугольника станций.

Метод «вектора дифференциальной поправки» реализуется следующим образом.

Пусть  $\bar{\Delta} = (\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z)^T$  – искомый вектор дифференциальной поправки, проекция которого на направление « $i$ -ая станция – КА» является дифференциальной поправкой  $\Delta_i$ , выработанной этой станцией по данному спутнику. Будем рассматривать  $\Delta_i$  как вектор

$$\bar{\Delta} = (\Delta_{xi}, \Delta_{yi}, \Delta_{zi})^T .$$

Обозначим направляющие косинусы вектора  $\bar{\Delta}_i$  через  $a_i, b_i, c_i$ . Тогда можно записать

$$a_i = \frac{x_s - x_{ci}}{D_i}, \quad b_i = \frac{y_s - y_{ci}}{D_i}, \quad c_i = \frac{z_s - z_{ci}}{D_i},$$

где  $x, y, z$  – соответствующие координаты;

$D_i$  – дальность от станции до спутника.

Представим скалярное произведение указанных векторов через произведение их модулей и через произведения проекций

$$\bar{\Delta}_i \bar{\Delta} = \Delta_i \Delta \cos \alpha_i = \Delta_i^2,$$

$\alpha_i$  – угол между векторами;

$$\bar{\Delta}_i \bar{\Delta} = \Delta_{ix} \Delta_x + \Delta_{iy} \Delta_y + \Delta_{iz} \Delta_z .$$

Заменим проекции вектора  $\overline{\Delta_i}$  выражениями через направляющие косинусы

$$\Delta_{ix} = a_i \cdot \Delta_i, \quad \Delta_{iy} = b_i \cdot \Delta_i, \quad \Delta_{iz} = c_i \cdot \Delta_i.$$

На основании представлений скалярного произведения можно записать линейное уравнение для определения вектора дифференциальной поправки в следующем виде:

$$a_i \cdot \Delta_x + b_i \cdot \Delta_y + c_i \cdot \Delta_z = \Delta_i.$$

Если количество станций три или более, получаем систему линейных уравнений

$$A \cdot \Delta = L,$$

$$A = \begin{pmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ \dots & \dots & \dots \\ a_i & b_i & c_i \\ \dots & \dots & \dots \\ a_n & b_n & c_n \end{pmatrix}; \quad (5)$$

$$\Delta = (\Delta_x, \Delta_y, \Delta_z)^T;$$

$$L = (\Delta_1, \dots, \Delta_i, \dots, \Delta_n)^T.$$

Из решения указанной системы находим искомый вектор  $\Delta$ ,

$$\Delta = (A^T A)^{-1} A^T L.$$

Для конкретного потребителя  $\Pi$  с координатами  $x_\Pi$ ,  $y_\Pi$ ,  $z_\Pi$  дифференциальная поправка  $\Delta_\Pi$  определяется из уравнения:

$$\Delta_\Pi = a_\Pi \Delta x + b_\Pi \Delta y + c_\Pi \Delta z, \quad (6)$$

где

$$a_n = \frac{x_s - x_n}{D_n}, \quad b_n = \frac{y_s - y_n}{D_n}, \quad c_n = \frac{z_s - z_n}{D_n}.$$

Исследования метода показали, что статистические результаты оценки  $\Delta_\Pi$  получаются весьма неустойчивыми за счет слабой обусловленности матрицы  $A$ .

«Градиентный метод» реализуется следующим образом.

Представляем дифференциальную поправку  $\Delta$  как функцию на заданной поверхности:

$$\Delta = f[\varphi, \lambda, \Delta_i (i = 1, 2, \dots, n)],$$

где  $\varphi, \lambda$  – географические координаты точки на поверхности;

$\Delta_i (i = 1, 2, \dots, n)$  – дифференциальные поправки станций.

Для обеспечения одинакового масштаба разностей  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$  и  $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$  вместо разностей долгот будем использовать отстояние  $\Delta W$ :

$$\Delta W = \Delta\lambda \cos \varphi_{cp},$$

где  $\varphi_{cp} = (\varphi_1 + \varphi_2)/2$ .

Пусть  $(a, b)$  является градиентом функции  $f$  на указанной поверхности:

$$a = \frac{df}{d\varphi}, b = \frac{df}{d\lambda}.$$

Тогда разность дифференциальных поправок в точках  $i$ -ой станции  $(\varphi_{ci}, \lambda_{ci})$  и потребителя  $(\varphi_{п}, \lambda_{п})$  можно записать через градиент

$$\Delta_i - \Delta_{п} = a\Delta\varphi_i + b\Delta W_i,$$

где

$$\Delta\varphi_i = \varphi_{ci} - \varphi_{п};$$

$$\Delta W_i = (\lambda_{ci} - \lambda_{п}) \cos \varphi_{срi};$$

$$\varphi_{срi} = (\varphi_{ci} + \varphi_{п})/2,$$

или в другом виде:

$$\Delta\varphi_i a + \Delta W_i b + \Delta_{п} = \Delta_i, i = 1, 2, \dots, n;$$

получаем линейное уравнение для определения градиента  $(a, b)$  и дифференциальной поправки потребителя  $\Delta_{п}$ . Если количество станций три или более, будем иметь систему линейных уравнений  $AX=L$

где

$$A = \begin{pmatrix} \Delta\varphi_1 & \Delta W_1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots \\ \Delta\varphi_i & \Delta W_i & 1 \\ \dots & \dots & \dots \\ \Delta\varphi_n & \Delta W_n & 1 \end{pmatrix} \tag{7}$$

$$X = (a, b, \Delta_{п})^T;$$

$$L = (\Delta_1, \dots, \Delta_i, \dots, \Delta_n)^T.$$

Решение системы дает искомый вектор

$$X = (A^T A)^{-1} A^T L,$$

из которого непосредственно получаем  $\Delta_{п}$ .

При совпадении точки потребителя  $\Pi$  с точкой размещения одной из наземных станций с номером  $k$  должно выполняться равенство  $\Delta_{п} = \Delta_k$ . Достаточно просто убедиться, что это равенство автоматически выполняется при трех станциях. Если количество станций более трех, то целесообразно использовать информацию о ближайшей к потребителю станции. Пусть эта станция имеет номер  $k$ . Вычтем уравнение для этой станции из каждого уравнения системы (7). Получим

$$A = \begin{pmatrix} \varphi_{c1} - \varphi_{ck} & (\lambda_{c1} - \lambda_{ck}) \cos \frac{(\varphi_{c1} + \varphi_{ck})}{2} \\ \dots & \dots \\ \varphi_{cn} - \varphi_{ck} & (\lambda_{cn} - \lambda_{ck}) \cos \frac{(\varphi_{cn} + \varphi_{ck})}{2} \end{pmatrix};$$

$$X = (a, b)^T; \quad L = (\Delta_1 - \Delta_k, \dots, \Delta_n - \Delta_k),$$

где уравнение для k-ой станции исключено.

Тогда решение системы дает вектор градиента  $(a, b)^T$ . Значение  $\Delta_{\Pi}$  получаем из уравнения ближайшей станции

$$\Delta_{\Pi} = \Delta_k - a \Delta\varphi_k - b \Delta W_k.$$

При  $\Pi = K \Delta\varphi_k = \Delta W_k = 0$ , следовательно, всегда будет выполняться условие  $\Delta_{\Pi} = \Delta_k$ .

Значения показателя эффективности метода для средней точки треугольника станций при удалении потребителя от ближайшей станции на 1000–1500 км представлены в таблице.

Диапазон высот КА, в град.	5–20	20–40	40–60	60–90
Показатель эффективности $\rho$	3–4	4–6	6–8	8–10

Эти результаты указывают на возможность, эффективность и практическую целесообразность применения градиентного метода получения дифференциальных поправок непосредственно в точке потребителя с минимальной погрешностью.

Характер изменения СКП дифференциальной поправки по градиентному методу в зависимости от удаления относительно наземной станции  $S$  показан на рис. 1 для средних углов места спутника в зоне структурного элемента по направлению на центр треугольника.

В качестве примера приведены поверхностные распределения СКП дифференциальных поправок по градиентному методу на фиксированный момент времени в зоне структурного элемента для равностороннего треугольника (рис. 2) и прямоугольного треугольника (рис. 3).

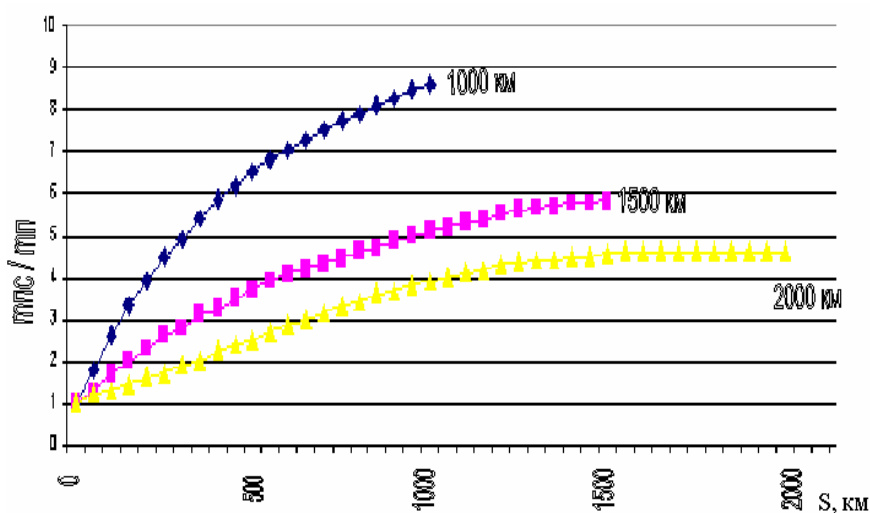
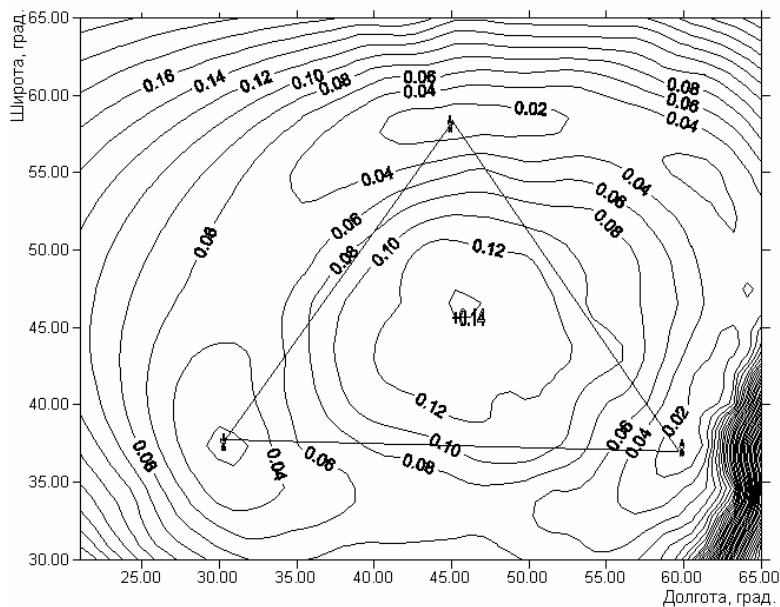
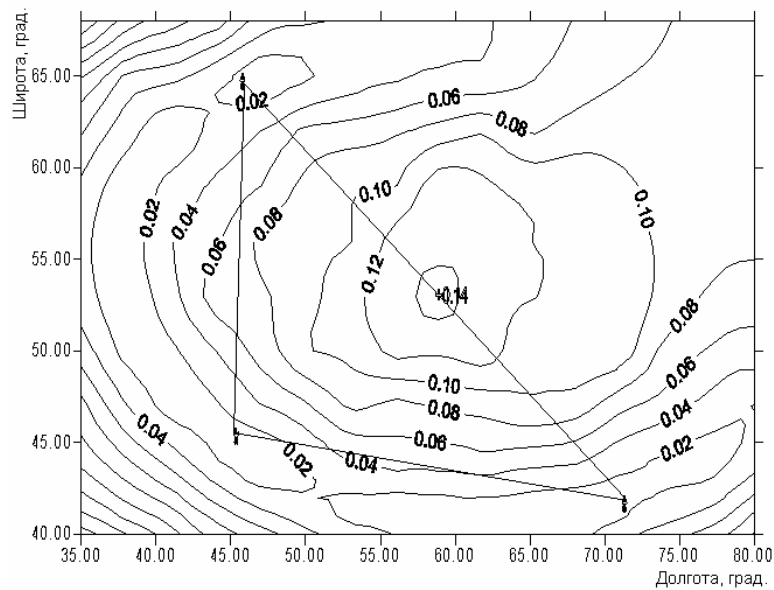


Рис.1. Характер изменения СКП дифференциальной поправки по градиентному методу. Равносторонний треугольник с длиной стороны  $L$ ,  $m_{nc}$  – СКП дифференциальной поправки по ближайшей станции



**Рис. 2. СКП дифференциальной поправки (в метрах) по градиентному методу на фиксированный момент времени**  
 Равносторонний треугольник с длиной стороны  $L=2598$ км (максимальное удаление потребителя от станции 1500 км)



**Рис. 3. СКП дифференциальной поправки (в метрах) по градиентному методу на фиксированный момент времени**  
 Прямоугольный треугольник с длиной катета  $L=2130$  км (максимальное удаление потребителя от станции 1500 км)

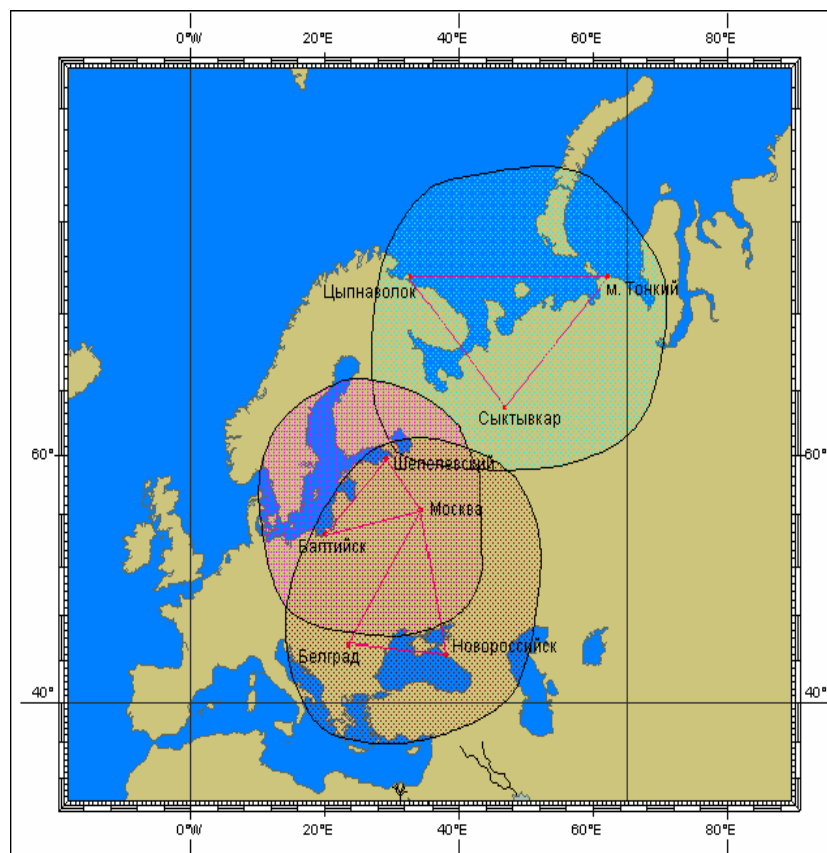
С учетом графика, показанного на рис. 1, и проведенных расчетов можно утверждать, что:

- эффективность градиентного метода возрастает по мере удаления потребителя от ближайшей наземной станции и достигает максимального значения в точке с максимальным удалением;
- градиентный метод можно использовать во всей зоне структурного элемента, даже вблизи наземных станций;
- при необходимости высокоточного координирования в пределах некоторой области целесообразно разместить в этой области три мобильных ККС в форме равностороннего треугольника с длиной стороны не более 1000 км.
- приближенность принятых моделей погрешностей предположительно может увеличить СКП псевдодальности, полученной градиентным методом, в 1,5–2 раза;
- приближенность принятых моделей теоретически может быть компенсирована путем введения дополнительных членов в уравнение дифференциальных поправок;
- предложенный градиентный метод целесообразно проверить экспериментально и на этой основе доработать алгоритм объединения дифференциальных поправок.

Этот простой в реализации и достаточно эффективный метод применим для оптимального дооборудования территории РФ средствами функционального дополнения КНС на примере Европейской части России, в частности по навигационному обеспечению морских потребителей при плавании в проливных зонах Средиземного, Черного, Балтийского морей и промышленного освоения Штокманского нефтегазового месторождения в Баренцевом море (74° с. ш., 42° в. д.). Анализ местонахождения существующих и планируемых к развертыванию ККС морской дифференциальной подсистемы ГЛОНАСС/GPS позволяет определить количество дополнительных ККС для создания необходимых зон обслуживания предполагаемой КСДК.

Ввод в действие трех дополнительных ККС вблизи городов Москва, Сыктывкар и Белград (Югославия) и совместное использование их с станциями «Шепелевский», «Балтийск», «Новороссийск», «Цыпнаволоцкий» и «Тонкий» позволит покрыть полем дифференциальных поправок воды всех прилегающих к Европейской части России морей, обеспечив точность определения места потребителей КСДК 4,0 м ( $P = 95\%$ ).

Результаты моделирования оптимального дооборудования территории РФ средствами функционального дополнения КНС отражены на рис. 4.



**Рис. 4. Общая зона обслуживания потребителей КСДК при формировании объединенной поправки по данным Европейской группы ККС**

На основе полученных результатов математического моделирования методов объединения дифференциальных поправок и оптимального дооборудования территории РФ средствами функционального дополнения КНС, можно сделать следующие выводы:

1) Оснащение регионов РФ средствами функциональных дополнений и интеграцию их в космическую систему дифференциальной коррекции целесообразно осуществлять путём наращивания количества стандартных структурных элементов сети. В качестве такого элемента сети следует принять равносторонний треугольник, образуемый тремя ККС. Добавление очередной (четвёртой) станции приведёт к построению очередного структурного элемента.

2) Оптимальным методом объединения дифференциальных поправок от разных ККС в точке потребителя является градиентный метод. Этот метод позволяет оптимизировать пространственную конфигурацию системы и получить максимальный выигрыш в сравнении с локальной ККС:

– по точности в 10 раз при разнесении ККС по сторонам треугольника на расстояния до 1000 км;

– по площади обслуживаемой зоны более чем в 20 раз для точности места 10 м ( $P=95\%$ ), при разнесении ККС на расстояния до 2200 км.

3) Оптимальным, с точки зрения морских потребителей, сочетанием систем дифференциальной коррекции является морская дифференциальная подсистема и космическая система дифференциальной коррекции КНС ГЛОНАСС/GPS.

**V. A. Pylenkov, G. K. Danilova, V. I. Lapshina, V. N. Barinov  
(GNINGI, RF MoD)**

Optimization of the Method for Combining the Differential Corrections of Satellite Navigation Systems

*The methods of combining the differential corrections of the ground stations are considered. Results of their mathematical modeling are presented. Ways of additional fitting the Russian Federation regions with means of augmentation and their integration into the space differential correction system are considered.*



# ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ И ГЕОФИЗИКА!!

---

ГРНТИ 551.508.9

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА ПО ДАННЫМ ДИСКРЕТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

**Ю. Н. ЖУКОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Показано, что традиционные способы интерполяции непригодны для определения рельефа по дискретным измерениям. Предлагается новый способ определения рельефа, основанный на интегральных преобразованиях, свободных от подобных погрешностей.*

Включение в технологию создания картографической продукции вычислительной техники требует формализации картографических работ, в частности это относится к задаче построения поверхности рельефа дна океана или получения рельефа некоторой двумерной скалярной геопространственной характеристики. Эта задача в традиционной технологии решается на основе экспертных способов, которые невозможно свести к формальным процедурам для использования вычислительной техники. В настоящее время автоматизация задачи определения рельефа сводится к применению формального метода «интерполяции» измерений. Предложено чрезвычайно большое число различных методов линейной и нелинейной интерполяции: различные сплайны, полиномиальные методы, крикинг-метод и его модификации и т. д [1].

Информация о рельефе используется в автоматизированных системах обеспечения принятия решений. Погрешности определения рельефа могут привести к необоснованным решениям, и, следовательно, к большим потерям в реализации конкретной задачи. Поэтому необходимо иметь оценку точности определения рельефа. Однако в существующей практике технология интерполирования не предполагает получение оценок точности, следовательно, нет возможности упорядочить методы интерполяции по точности определения рельефа. Выбор того или иного метода основан на субъективных предпочтениях. Практическая значимость информации о рельефе требует анализа приемлемости методов интерполяции для решения задачи определения рельефа.

Обобщенная постановка задачи интерполяции в картографировании геопространственной информации формулируется следующим образом: даны точечные измерения поверхности, необходимо построить непрерывную двумерную функцию, проходящую через измеренные значения. Любой

алгоритм решения этой задачи состоит из двух этапов. На первом этапе производится триангулирование точек измерения, т. е. на множестве точек измерения вводится отношение «близости» точек, а на втором – строится собственно искомая функция как композиция элементарных весовых функций (линейных или нелинейных). Как отмечалось выше, выбор конкретного вида элементарных функций – носит субъективный характер.

Субъективен выбор алгоритмов и на этапе триангуляции. Способ соединения множества точек в треугольники произволен. Наиболее часто используется триангулирование Делоне. Это связано чисто с геометрическими требованиями – получения треугольников с наиболее равными сторонами. Поэтому в процессе триангулирования свойства рельефа никак не учитываются. Именно на этапе триангулирования возникают артефакты ложных гребней и ложбин в форме рельефа, и следовательно, именно на этом этапе нарушается морфологический способ определения рельефа, используемый при экспертном анализе измерений.

Таким образом, ни на одном этапе нет способа оценить его точность, так как субъективен выбор конкретных алгоритмов на каждом этапе. В постановке задачи никак не определены свойства поверхности рельефа, поэтому, не с чем сравнить свойства полученной функции. Кроме того, в рассматриваемом подходе не учитывается информация о погрешности в измерениях, как координат точек измерения, так и погрешности в измерениях рельефа.

Итак, из проведенного анализа следует, что приемлемый способ автоматизированного определения рельефа должен иметь оценку точности определения рельефа, не использовать триангуляцию и учитывать то, что измеренные значения имеют погрешность. В первую очередь, погрешность измерений накладывает ограничения на использование операторов дифференцирования в алгоритме определения. Результат операции дифференцирования на данных с шумом обладает большими ошибками, чем ошибки в исходных данных. Напротив, операция интегрирования уменьшает случайные ошибки, поэтому в алгоритме определения следует применять только интегральные операторы. Кроме того, для интегральных операторов можно получить оценки точности.

Для оценки точности определения необходимо определить класс функций, к которому принадлежит рельеф. Этот класс определяется из общих соображений относительно свойств поверхности рельефа. Задание класса функций – это необходимое условие для построения формального способа восстановления рельефа и оценки точности определения. Это следует из математической постановки задач интерполяцией, аппроксимацией и определением функций.

Определим класс функций, к которому принадлежит рельеф. Исследования формы рельефа в различных пространственных масштабах показали, что относительные изменения высоты рельефа степенным образом

связаны с пространственным масштабом в виде степенной функции от приращения аргумента. Формально это можно записать [2] в виде

$$\begin{aligned} |h(\bar{r}_2) - h(\bar{r}_1)| &< A|\bar{r}_2 - \bar{r}_1|^\lambda & |h(\bar{r}_2) - h(\bar{r}_1)| &< A|\bar{r}_2 - \bar{r}_1|^\lambda & |h(\bar{r}_2) - h(\bar{r}_1)| &< A|\bar{r}_2 - \bar{r}_1|^\lambda \\ |h(\bar{r}_2) - h(\bar{r}_1)| &< A|\bar{r}_2 - \bar{r}_1|^\lambda & |h(\bar{r}_2) - h(\bar{r}_1)| &< A|\bar{r}_2 - \bar{r}_1|^\lambda & |h(\bar{r}_2) - h(\bar{r}_1)| &< A|\bar{r}_2 - \bar{r}_1|^\lambda \\ |h(\bar{r}_2) - h(\bar{r}_1)| &< A|\bar{r}_2 - \bar{r}_1|^\lambda & & & & \end{aligned} \quad (1)$$

где  $h(\bar{r}_2) - h(\bar{r}_1)$  – разность высот в двух пространственных точках  $\bar{r}_1$  и  $\bar{r}_2$ ,  $A$  и  $\lambda$  – положительные числа.  $A$  называется постоянной Гельдера, а  $\lambda$  – показателем Гельдера ( $0 < \lambda \leq 1$ ). Если  $\lambda = 1$ , то условие Гельдера совпадает с известным условием Липшица. Это очень широкий класс функций, он включает все гладкие функции, которыми обычно аппроксимируется рельеф, но значительно шире класса гладких функций. Достаточно сказать, что мера Лебега гладких функций в этом классе равна нулю. Заметим, что изменчивость высот рельефа уменьшается с ростом значения  $\lambda$ .

Теперь можно сформулировать нашу задачу: найти способ определения двумерной функции  $H(\bar{r})$  из класса (1) по заданным на нерегулярной сетке точек  $\bar{r}_i$  ( $i = [1, N]$ ) измерениям, полученным с ошибкой  $\delta_h$ . Способ решения этой задачи должен использовать преимущественно интегральные операторы и не должен использовать триангуляцию.

В качестве решения этой задачи предлагается способ, основанный на теории преобразования Радона [3]. При этом искомая функция  $H(\bar{r})$  выражается в виде обратного преобразования Фурье

$$H(x, y) = \tilde{\mathfrak{Z}}(F(\xi)), \quad (2)$$

где  $\tilde{\mathfrak{Z}}$  – оператор обратного преобразования Фурье,

$$F(\xi) = (2\pi)^{-1} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{i^k}{k!} I_k(\xi). \quad (3)$$

Здесь  $i$  – мнимая единица,  $\xi = (\cos \varphi, \sin \varphi)$ ,

$$I_k(\varphi) = \int_{-\infty}^{+\infty} \Re f(\varphi, p) p^k dp, \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

Здесь

$$\Re f(\varphi, p) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(-t \sin \varphi + p \cos \varphi, t \cos \varphi + p \sin \varphi) dt \quad (5)$$

– преобразование Радона функции  $H(x, y)$  на  $(x, y) \in R \times R = \Omega$ , т. е. интегральное преобразование, отображающее функцию  $H(x, y)$ , заданную на  $\Omega$  в интегралы по всевозможным прямым (относительно евклидовой длины):

$$x = -t \sin \varphi + p \cos \varphi;$$

$$y = t \cos \varphi + p \sin \varphi.$$

Для финитной  $H(x, y)$  в односвязной области  $\Omega$  точность оценки (2) будет выше точности традиционных процедур интерполяции. Определим погрешность  $\Theta(H)$  определения рельефа в виде максимального значения абсолютной величины разности между истинной поверхностью и определенной. Пусть  $\delta_h = 0$ , тогда для предложенного способа определения точность можно описать [4] выражением

$$\Theta(H) \approx \frac{\pi}{2K} \sum_{k=0}^K \delta(I_k), \quad (6)$$

где  $K$  – общее число первых моментов, обеспеченных точностью. Точности оценки моментов  $\delta(I_k)$  будут определяться структурой расположения точек измерения. Для оптимально распределенных точек, которые всегда можно определить на исходном множестве точек [4], точность оценки момента для нормированной функции определяется выражением

$$\delta(I_k) \leq \frac{2}{Nk}.$$

В то же время для наименее возмущающего линейного способа интерполяции среднее значение точности можно оценить по формуле

$$\Theta'(H) \leq \frac{2^{1-\lambda} A}{(1+\lambda)N^{\lambda/2}}. \quad (7)$$

Так как для реальных форм рельефа  $\lambda$  меньше единицы, то выражение (6) меньше выражения (7) уже при малых  $N$ , что свидетельствует о преимуществе предлагаемого подхода.

Таким образом, выражение (2) определяет способ определения рельефа с требуемыми свойствами. Предложенный способ позволяет избежать логических противоречий традиционных способов интерполяции. Правда, теперь возникают сложности вычислительного характера. Непростой задачей является корректное вычисление (2). Ее решение относится к классу неустойчивых в вычислительном отношении задач (некорректные задачи по Тихонову), однако к настоящему времени, в математической томографии разработано большое число способов численного решения задач этого типа [5].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. Обзорная информация. – М.: ВИНТИ, 1999. – Вып. 11. – 136 с.
2. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: ИКИ, 2002. – 655 с.
3. Гельфанд И. М., Гиндикин С. Г., Граев М. И. Избранные задачи интегральной геометрии. – М.: Добросвет, 2000. – 208 с.
4. Соболев И. М. Многомерные квадратурные формулы и функции Хаара. – М.: Наука, 1969. – 288 с.
5. Петров Ю. П., Сизиков В. С. Корректные, некорректные и промежуточные задачи с приложениями. – СПб, Политехника, 2003. – 261 с.

**Y. N. Zhukov (GNINGI, RF MoD)**

Restoration of Relief Configuration by Discrete Measurements

*It is shown that the traditional interpolation methods are not suitable for restoration of relief by the discrete measurements. A new method of relief restoration based on the integral transformation, is proposed.*

ГРНТИ 78.21.37.21.25

**КОРРЕКТИРОВКА ПАРАМЕТРОВ ПУАССОНА И ПРОЕКЦИЙ ВЕКТОРА МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ОТ ПОСТОЯННОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ ПОДВИЖНОГО ФЕРРОМАГНИТНОГО ОБЪЕКТА**

**П. И. МАЛЕЕВ**  
(ГНИНГИ МО РФ),  
**Б. М. СМІРНОВ**  
(АОЗТ «Криомаг»)

*Рассмотрен способ повышения точности съемки магнитного поля Земли с ферромагнитного подвижного объекта с помощью бортового трехкомпонентного магнитометрического датчика за счет автономной периодической коррекции параметров, характеризующих намагниченность объекта.*

Знание параметров Пуассона и проекций вектора магнитной индукции от постоянной намагниченности, характеризующих намагниченность подвижного объекта, необходимо для разделения внешнего магнитного поля, в частности магнитного поля Земли (МПЗ), и магнитного поля объекта [1–6]. Такое разделение полей позволяет использовать не буксируемые, а бортовые магнитометрические системы при проведении магнитной съемки, исследования магнитного поля околоземного пространства и магнитного поля планет с космических аппаратов, а также при определении относительного положения движущихся объектов с целью предотвращения их столкновения [3, 7, 8].

Параметры Пуассона ( $a, b, c, \dots, k$ ) связаны следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} B_x &= B_{xt} + aB_{xt} + bB_{yt} + cB_{zt} + B_{xp}; \\ B_y &= B_{yt} + dB_{xt} + lB_{yt} + fB_{zt} + B_{yp}; \\ B_z &= B_{zt} + gB_{xt} + hB_{yt} + kB_{zt} + B_{zp}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $B_x, B_y, B_z$  – измеренные проекции вектора магнитной индукции на оси системы координат объекта;

$B_{xt}, B_{yt}, B_{zt}$  – проекции вектора магнитной индукции МПЗ в выбранной системе координат;

$B_{xp}, B_{yp}, B_{zp}$  – проекции вектора магнитной индукции постоянного магнитного поля объекта на те же оси.

Однако намагниченность объекта с течением времени не остается постоянной, поскольку она является функцией многих внешних воздействий: температуры, перемещений ферромагнитных масс по объекту, ударов волн о корпус объекта и т. п. Нестабильность намагниченности объекта может привести

к изменению параметров Пуассона и индукции от жесткой намагниченности, а следовательно, и к погрешностям определения индукции МПЗ с объекта.

Известные технические решения [1–4, 6] обеспечивают корректировку параметров по измеренным проекциям или модулям векторов магнитной индукции, углам курса, крена и дифферента объекта лишь при условии, когда индукция геомагнитного поля известна. Обеспечить такие условия чаще всего не представляется возможным. Поэтому является актуальной периодическая корректировка параметров, характеризующих намагниченность подвижного объекта, находящегося, например, в акватории магнитной съемки, когда отсутствуют какие-либо сведения о геомагнитном поле.

В работе [5] эта задача решается по результатам измерения проекций векторов магнитной индукции двумя трехкомпонентными магнитометрическими датчиками при условии знания углов курса, крена, дифферента и отношения заранее определенных одноименных параметров Пуассона, не равных нулю в местах размещения магнитометрических датчиков. Ниже рассматривается возможность корректировки параметров, характеризующих намагниченность подвижного объекта, при отсутствии каких-либо сведений о геомагнитном поле, но при наличии не двух, а одного бортового трехкомпонентного магнитометрического датчика.

Исходим из того, что перед выходом объекта в район проведения магнитной съемки параметры Пуассона и проекции вектора магнитной индукции от жесткой намагниченности объекта были определены. Для их корректировки в процессе проведения съемки измеряют проекции векторов магнитной индукции магнитометрическим датчиком синхронно с измерением углов курса, крена, дифферента объекта при 10 отличающихся один от другого угловых положениях этого объекта. Измеренные проекции векторов магнитной индукции  $B_{xi}$ ,  $B_{yi}$ ,  $B_{zi}$  можно представить в виде следующих уравнений:

$$\begin{aligned} B_{xi} &= (1+a) F_{1i} + bF_{2i} + cF_{3i} + B_{xp}; \\ B_{yi} &= d F_{1i} + (1+e)F_{2i} + fF_{3i} + B_{yp}; \\ B_{zi} &= qF_{1i} + hF_{2i} + (1+k)F_{3i} + B_{zp}, \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} F_{1i} &= l_{1i} B_{xt} + m_{1i} B_{yt} + n_{1i} B_{zt} \\ F_{2i} &= l_{2i} B_{xt} + m_{2i} B_{yt} + n_{2i} B_{zt} \\ F_{3i} &= l_{3i} B_{xt} + m_{3i} B_{yt} + n_{3i} B_{zt}, \end{aligned} \quad (3)$$

$a, b, \dots, k$  – параметры Пуассона объекта в месте размещения магнитометрического датчика.

$B_{xp}, B_{yp}, B_{zp}$  – проекции векторов магнитной индукции на оси датчика от жесткой намагниченности объекта;

$(l_{1i}, m_{1i}, n_{1i}), (l_{2i}, m_{2i}, n_{2i}), (l_{3i}, m_{3i}, n_{3i})$  – направляющие косинусы осей магнитометрического датчика (объекта) в опорной, например географической, системе координат, являющиеся функциями углов курса, крена, дифферента объекта;

$B_{xt}, B_{yt}, B_{zt}$  – проекции вектора индукции МПЗ на оси опорной системы координат;

$i=1, 2, \dots$  – номера измерений проекций вектора магнитной индукции и углов курса, крена и дифферента объекта в месте размещения датчика.

С помощью счетно-решающего устройства, как и в работе [5], по программе осуществляется решение системы уравнений (2) и (3) относительно неизвестных  $B_{xp}, B_{yp}, B_{zp}$  и произведений  $B_{xt}, B_{yt}, B_{zt}$  на параметры Пуассона, которые обозначим через  $N_{xs}, N_{ys}, N_{zs}$ , где  $s=1, 2, \dots, 9$ ;

$$\begin{aligned} N_{x1} &= (1+a)B_{xt}; N_{x2} = (1+a)B_{yt}; N_{x3} = (1+a)B_{zt}; \\ N_{x4} &= bB_{xt}; N_{x5} = bB_{yt}; N_{x6} = bB_{zt}; \\ N_{x7} &= cB_{xt}; N_{x8} = cB_{yt}; N_{x9} = cB_{zt}. \end{aligned} \quad (4)$$

Аналогичные выражения можно записать и для  $N_{ys}, N_{zs}$ .

Каждый из параметров Пуассона равен произведению магнитной восприимчивости тела (объекта) по направлению соответствующей оси координат на вторую производную потенциала гравитационной массы намагниченного тела по соответствующим координатам при предположении, что плотность массы тела всюду равна обратной величине гравитационной постоянной [3, 7]. Поэтому изменение параметров Пуассона объекта в месте размещения магнитометрического датчика будет зависеть в основном от нестабильности магнитной восприимчивости подвижного объекта. В таком случае, отношение параметров Пуассона  $a/d=p_1$ ;  $a/g=p_2$ ;  $d/g=p_3$ ;  $e/d=p_4$ ;  $e/h=p_5$ ;  $b/h=p_6$ ;  $k/c=p_7$ ;  $k/f=p_8$ ;  $c/f=p_9$  можно считать постоянными. Постоянство параметров  $p_j$ , где  $j=1, 2, \dots, 9$  дает возможность осуществлять корректировку параметров Пуассона подвижного объекта, в частности в акватории проведения магнитной съемки, при отсутствии каких-либо сведений о геомагнитном поле.

По известным, например,  $N_{x1}, N_{x2}, N_{x3}, N_{y1}, N_{y2}, N_{y3}$ , и  $p_1$  определяют

$$d = R_{y1} / (R_{x1} - R_{y1} p_1),$$

$$\text{где } R_{x1} = (N_{x1}^2 + N_{x2}^2 + N_{x3}^2)^{1/2}; R_{y1} = (N_{y1}^2 + N_{y2}^2 + N_{y3}^2)^{1/2}.$$

Так как  $(1+a) > 0$ , то из  $N_{x1}/N_{y1}$  или  $N_{x2}/N_{y2}$  или  $N_{x3}/N_{y3}$  определяют знак  $d$ . Значение параметра  $a = p_1 d$ . Подставляя значение параметра  $a$  в  $N_{x1}, N_{x2}, N_{x3}$ , определяют  $B_{xt}, B_{yt}, B_{zt}$ . Затем, подставляя  $B_{xt}, B_{yt}, B_{zt}$  в  $N_{xs}, N_{ys}, N_{zs}$ , находят остальные параметры Пуассона  $b, c, e, f, g, h, k$ .

Таким образом, в рассмотренном способе осуществляется корректировка параметров Пуассона и проекций вектора магнитной индукции от жесткой намагниченности объекта с применением не двух, как в работе [5], а одного трехкомпонентного магнитометрического датчика при отсутствии каких-либо сведений о геомагнитном поле. Для определения текущего значения магнитной индукции магнитного поля Земли информация об угловых положениях объекта не требуется. Она необходима только для первоначального определения параметров Пуассона и проекций вектора магнитной индукции от жесткой намагниченности. Периодическая

корректировка этих параметров позволяет повысить точность определения магнитной индукции магнитного поля Земли в районе нахождения объекта.

Провести численную оценку повышения этой точности в настоящее время, к сожалению, не представляется возможным из-за отсутствия необходимых экспериментальных данных.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лысенко А. П. Теория и методы компенсации магнитных помех // Геофизическое приборостроение. – Л.: Изд-во Мингеологии и охраны недр СССР, ОКБ. – 1960. – Вып. 7. – С. 44–58.
2. Резник Э. Е., Канторович В. А. Некоторые вопросы компенсации магнитных полей самолета // Геофизическое приборостроение. – 1964. – Вып. 18. – С.26–38.
3. Кожухов В. П., Воронов В. В., Григорьев В. В. Магнитные компасы. Транспорт, 1981. – 216 с.
4. Бледнов В. А. Основные принципы определения компонент магнитного поля Земли на движущихся ферромагнитных объектах (Основы теории разделения полей). // УФН, 1997. – Т. 167 – №.10. – С. 1013–1018.
5. Малеев П. И., Смирнов Б. М. Способ периодической коррекции параметров, характеризующих намагниченность подвижных ферромагнитных объектов.//Тр. Российской научно-технической конференции «Состояние и проблемы навигации и океанографии», 2004. СПб. – Т. 2. – С. 49–50.
6. Гузев С. Т., Семевский Р. Б. Определение параметров Пуассона по измерениям магнитной индукции Т-магнитометром // Геофизическая аппаратура. – 1980. – Вып. 70. – С. 25–30.
7. Яновский Б. М. Земной магнетизм. Л.: ЛГУ, 1978. – 592 с.
8. Логачев А. А., Захаров В. П. Магниторазведка. – Л.: Недра.1979. – 351 с.

**P. I. Maleyev (GNINGI, RF MoD), B. M. Smirnov («Criomag», Closed Joint Stock Company)**

Correction of Poisson parameters and Projections of Magnetic Induction Vector Connected with Constant Magnetization of Movable Ferromagnetic Object

*The method intended to increase the accuracy of surveying the Earth's magnetic field from the ferromagnetic movable object by means of shipborne three-component magnetometric sensor, using the autonomous periodic correction of parameters characterizing the magnetization of the object, is considered.*

ГРНТИ 629.1.05:531.768

#### **ПРИВЯЗКА ОСЕЙ ТРЕХКОМПОНЕНТНОГО МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОГО ДАТЧИКА К ОСЯМ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ФЕРРОМАГНИТНОГО ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА**

**Б. М. СМОРНОВ**  
(АОЗТ «Криомаг»)

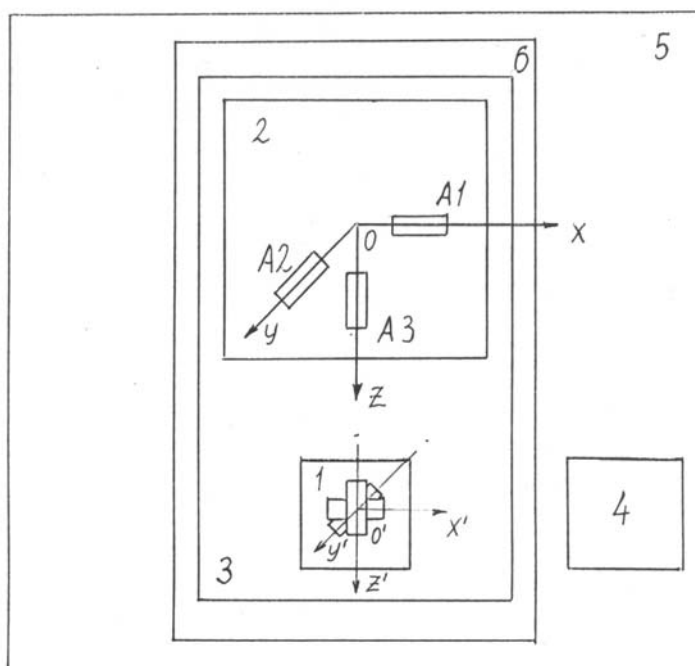
*Рассмотрен метод определения ориентации осей трехкомпонентного магнитометрического датчика относительно осей навигационной системы ферромагнитного подвижного объекта, исключая влияние намагниченности объекта на определение углового положения осей датчика относительно осей навигационной системы.*

Привязка осей трехкомпонентного магнитометрического датчика к осям навигационной системы подвижного объекта может быть использована для повышения точности магнитной съемки, определения углового положения буровой скважины, вектора скорости и угловых положений автоматических подводных аппаратов [1–7].



В настоящее время, как и в устройстве [2], для привязки осей магнитометрического датчика к осям навигационной системы устанавливают две ортогональные оси трехкомпонентного датчика в плоскости горизонта с помощью уровня, размещенного на датчике. Ориентацию одной из горизонтальных осей датчика, направление которой обозначают на корпусе датчика в виде стрелки, определяют с помощью многогранной оптической призмы и автоколлиматора путем визирования заданного соответствующим образом направления оси датчика по направлению строительной оси объекта, обозначенному, например, в виде створа. Такой метод привязки осей датчика к опорной (строительной) системе координат приводит к погрешности определения углового положения осей датчика относительно осей углоизмерительного устройства навигационной системы объекта. При наличии качки объекта, в частности корабля, погрешность привязки осей датчика к углоизмерительной навигационной системе объекта данным методом существенно возрастает, или привязка становится невозможной.

Предложен метод определения ориентации осей трехкомпонентного магнитометрического датчика относительно осей углоизмерительной навигационной системы при наличии и отсутствии качки как немагнитного, так и ферромагнитного подвижных объектов. При этом погрешность метода не зависит от внешнего магнитного, в частности геомагнитного, поля. Для решения этой задачи трехкомпонентный магнитометрический датчик 1 (см. рисунок) и устройство измерения углов крена и тангажа 2 размещают на основании 3. Датчиком 1 может быть трехкомпонентный феррозонд, а устройством 2 – трехкомпонентный акселерометрический датчик, состоящий, например, из однокомпонентных акселерометров  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$  с осями, совпадающими с базовой ортогональной системой координат  $OXYZ$ . Измеряемые устройством 2 параметры не зависят от магнитных помех. Датчик 1 устанавливают на основании 3 таким образом, чтобы его оси  $O'X'$  и  $O'Y'$  были по возможности ориентированы коллинеарно соответствующим горизонтальным осям  $OX$  и  $OY$ . Поэтому выходные сигналы датчика 1, пропорциональные проекциям вектора магнитной индукции на оси  $O'X'$ ,  $O'Y'$ ,  $O'Z'$ , называют соответственно сигналами по компонентам «X», «Y», «Z». Датчик 1 имеет регулировочное устройство для изменения его углов крена и тангажа, обеспечивающее ориентацию третьей оси  $O'Z'$  датчика 1 по вертикали. Конструирование и изготовление датчика 1 и устройства 2 не обеспечивают ортогональность их осей [3, 6]. Девять направляющих косинусов осей датчика 1, характеризующих ориентацию его осей относительно осей базовой системы координат, и составляющие магнитной индукции, соответствующие смещенному нулю по каждой компоненте, определяют с помощью трехкомпонентной образцовой меры магнитной индукции [2].



**Блок-схема устройства на подвижном объекте для привязки осей магнитометрического датчика к осям навигационной системы:** 1 – трехкомпонентный магнитометрический датчик; 2 – устройство для измерения углов крена и тангажа; 3 – основание; 4 – навигационная система; 5 – подвижной объект; 6 – поворотное устройство

Направляющие косинусы осей устройства 2 (см. рисунок), характеризующие ориентацию осей акселерометров А1–А3 относительно осей базовой системы координат  $OXYZ$ , могут быть определены с помощью поворотного устройства с возможностью вращения основания 3 вокруг трех взаимно ортогональных осей. Поворачивая основание 3 с устройством 2 вокруг осей базовой системы координат и измеряя значения выходных сигналов с акселерометров А1–А3, пропорциональных проекциям вектора ускорения силы тяжести  $g_{x1}$ ,  $g_{y1}$ ,  $g_{z1}$  на оси соответствующих акселерометров, определяют направляющие косинусы осей А1–А3 и ускорения, каждое из которых равно смещению нуля соответствующего акселерометра. Полагая, что вектор ускорения силы тяжести перпендикулярен горизонтальной плоскости, измеренные значения  $g_{x1}$ ,  $g_{y1}$ ,  $g_{z1}$  можно представить в следующем виде:

$$g_{x1} = (n_1 \cos \alpha_{x'x} + n_2 \cos \alpha_{x'y} + n_3 \cos \alpha_{x'z}) g_z + g_{xc}; \quad (1)$$

$$g_{y1} = (n_1 \cos \beta_{y'x} + n_2 \cos \beta_{y'y} + n_3 \cos \beta_{y'z}) g_z + g_{yc}; \quad (2)$$

$$g_{z1} = (n_1 \cos \gamma_{z'x} + n_2 \cos \gamma_{z'y} + n_3 \cos \gamma_{z'z}) g_z + g_{zc}, \quad (3)$$

где  $n_1 = -\sin \psi$ ;  $n_2 = \cos \psi \sin \theta$ ;  $n_3 = \cos \psi \cos \theta$ ;  $(\cos \alpha_{x'x}, \cos \alpha_{x'y}, \cos \alpha_{x'z})$ ,  $(\cos \beta_{y'x}, \cos \beta_{y'y}, \cos \beta_{y'z})$ ,  $(\cos \gamma_{z'x}, \cos \gamma_{z'y}, \cos \gamma_{z'z})$  – направляющие косинусы соответствующих осей акселерометров А1–А3 относительно осей  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$

базовой системы координат;  $\theta$  и  $\psi$  – углы крена и тангажа устройства 2 в ортогональном базисе;  $g_{x_c}$ ,  $g_{y_c}$ ,  $g_{z_c}$  – ускорения, каждое из которых равно смещению нуля соответствующего акселерометра А1–А3;  $g_z$  – модуль вектора ускорения силы тяжести в месте проведения измерений. Значение  $g_z$  можно найти из системы уравнений (1) – (3), предварительно определив  $g_{x_c}$ ,  $g_{y_c}$ ,  $g_{z_c}$ , как и направляющие косинусы осей А1–А3, с помощью поворотного устройства. Решением системы уравнений (1) – (2) являются углы крена  $\theta$  и тангажа  $\psi$  в ортогональной базовой системе координат  $OXYZ$ .

Углы крена  $\theta$  и тангажа  $\psi$  можно определить в ортогональной базовой системе координат по результатам измерений двух акселерометров численным методом. Углы  $\theta$  и  $\psi$  определяют по результатам измерений одной из пар акселерометров А1 и А2, А1 и А3, А2 и А3.

Осуществим оценку точности определения  $\psi$  и  $\theta$  на примере, близком к реальности. Пусть  $\psi = 2^\circ$ ,  $\theta = 5^\circ$ ,  $g_z = 10,0 \text{ м/с}^2$ , а углы неортогональных осей акселерометров А1 и А2 соответственно равны:  $\alpha_{x_x} = 1,27^\circ$ ,  $\alpha_{x_y} = 91,23^\circ$ ,  $\alpha_{x_z} = 89,6838^\circ$  и  $\beta_{y_x} = 87,8^\circ$ ,  $\beta_{y_y} = 2,204^\circ$ ,  $\beta_{y_z} = 89,87^\circ$  (эти значения углов близки к экспериментальным данным). Тогда по известным  $n_1$ ,  $n_2$ ,  $n_3$  по формулам (1) и (2) определяем  $g_{x1}$  и  $g_{x2}$ , а затем и отношения  $g_x/g_z$  и  $g_y/g_z$ . Эти значения оказываются следующими:  $g_x/g_z = -31,266307 \cdot 10^{-3}$  и  $g_y/g_z = 87,957414 \cdot 10^{-3}$ . Тем самым решена прямая задача.

Решим теперь обратную задачу. По известным отношениям ускорений и углам неортогональности осей А1 и А2 из уравнений (1) и (2) по результатам двух циклов итераций находим  $\psi = 1,9999^\circ$  и  $\theta = 5^\circ$ , что близко к заданным.

Датчик 1 и устройство 2 привязаны к соответствующим ортогональным осям базовых систем координат. Поэтому оси базовых систем координат будем считать в дальнейшем осями, соответствующими датчику 1 и устройству 2. Ориентация же базовых осей датчика 1 и устройства 2 относительно друг друга неизвестна. Базовой системой координат для устройства 2 являются оси  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$  поворотного устройства, на котором устанавливают основание 3 с акселерометрами и датчиком 1. Этим поворотным устройством может быть, например, немагнитный теодолит или установка для поверки инклинометров УПИ-2 [8]. На площадке зрительной трубы теодолита устанавливают основание 3. Ось зрительной трубы при ориентации ее параллельно горизонтальной плоскости является базовой осью  $OY$  акселерометра А2; ось, перпендикулярная оси  $OY$  и параллельная горизонтальной плоскости, является базовой осью  $OX$  акселерометра А1 и ось, перпендикулярная осям  $OX$  и  $OY$ , является базовой осью  $OZ$  акселерометра А3. Оси  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$  образуют правую систему координат  $OXYZ$ .

Привязку приведенных к ортогональному базису осей трехкомпонентного магнитометрического датчика к осям базовой системы координат  $OXYZ$ , к которой приведены оси чувствительности акселерометров, можно осуществить следующим образом.

В рабочем объеме трехкомпонентной меры магнитной индукции компенсируют внешнее магнитное поле, а затем воспроизводят магнитное поле, вектор магнитной индукции которого равен примерно  $5 \cdot 10^4$  нТл и направлен, например, под углом  $90^\circ$  или  $45^\circ$  к вектору ускорения силы тяжести. Теодолит или УПИ-2 с размещенным на нем основанием 3 (см. рисунок), на котором расположены датчик 1 и устройство 2, устанавливают в трехкомпонентную меру магнитной индукции так, чтобы датчик 1 находился в рабочем объеме меры. Устанавливают базовые оси  $OX$  и  $OY$  теодолита или УПИ-2 в горизонтальной плоскости. Вращая корпус теодолита, а следовательно, и основание 3 вокруг оси  $OZ$  на  $180^\circ$ , добиваются регулировочным устройством датчика 1 постоянства выходного сигнала по компоненте «Z». В этом случае, ось  $O'Z'$  датчика 1 будет коллинеарна оси  $OZ$ , а приведенные к ортогональному базису оси  $O'X'$  и  $O'Y'$  датчика 1 будут принадлежать плоскости, коллинеарной горизонтальной плоскости. Направляющие косинусы осей  $O'X'$  и  $O'Y'$  относительно оси  $OZ$  будут равны нулю. Для этого углового положения датчика 1 по измеренным проекциям вектора магнитной индукции  $B_X, B_Y, B_Z = B_Z$ , приведенным к ортогональному базису, в частности образцовой трехкомпонентной меры магнитной индукции, определяют  $B_{ХГ} = (B_X^2 + B_Y^2)^{1/2}$ ;  $B = (B_{ХГ}^2 + B_Z^2)^{1/2}$ ;  $\Omega = \arctg(B_Z/B_{ХГ})$ , где  $B_{ХГ}$  и  $B$  – проекция горизонтальной составляющей и модуль вектора магнитной индукции соответственно созданных мерой магнитной индукции;  $\Omega$  – угол между векторами  $B$  и  $B_{ХГ}$ ;  $B_Z$  – проекция вертикальной составляющей магнитной индукции, созданной мерой магнитной индукции.

Поворачивают корпус теодолита вокруг оси  $OZ$  так, чтобы выходной сигнал с датчика 1 по компоненте «Y» был равен нулю, а  $B_X = B_{ХГ}$ . Затем поворачивают зрительную трубу теодолита на  $90^\circ$  так, чтобы ось  $OY$  была ориентирована в сторону вектора ускорения силы тяжести. Вращают корпус теодолита вокруг вертикальной оси до сигнала на выходе датчика 1 по компоненте «Z» равного нулю. В этом случае оси  $O'X'$  и  $O'Y'$  датчика 1, приведенные к ортогональному базису, оси  $OX, OY$  и вектор  $B$  принадлежат одной вертикальной плоскости. Оси  $OZ$  и  $O'Z'$  перпендикулярны вертикальной плоскости, проходящей через оси  $OY'$  и  $OX$  при совмещении точек  $O'$  и  $O$ . Для этого пространственного положения датчика 1 обозначим измеренные проекции вектора магнитной индукции на оси датчика через  $\hat{A}_{O'}^{(1)}, \hat{A}_{Y'}^{(1)}, \hat{A}_{Z'}^{(1)}$ , где  $\hat{A}_{Z'}^{(1)} = 0$ . Определяют угол  $\lambda_{X'X} = \Omega - \tau$  между осями  $O'X'$  и  $OX$ ; угол  $\lambda_{X'Y} = 90^\circ - \lambda_{X'X}$  между осями  $O'X'$  и  $OY$ ; угол  $\lambda_{Y'Y} = \lambda_{X'X}$  между осями  $O'Y'$  и  $OY$ ; угол  $\lambda_{Y'X} = 90^\circ + \lambda_{X'X}$  между осями  $O'Y'$  и  $OX$ , где  $\tau = \arctg(B_{Y'}^{(1)}/B_{X'}^{(1)})$ . Таким образом, направляющие косинусы осей датчика 1  $O'X', O'Y', O'Z'$  в базовой системе координат  $OXYZ$  можно записать в следующем виде:  $l_1 = \cos \lambda_{X'X}$ ;  $m_1 = \cos \lambda_{X'Y}$ ;  $n_1 = \cos \lambda_{X'Z} = 0$ ;  $l_2 = \cos \lambda_{Y'X}$ ;  $m_2 = \cos \lambda_{Y'Y}$ ;  $n_2 = \cos \lambda_{Y'Z} = 0$ ;  $l_3 = \cos \lambda_{Z'X} = 0$ ;  $m_3 = \cos \lambda_{Z'Y} = 0$ ;  $n_3 = \cos \lambda_{Z'Z} = 1$ .

В рассмотренном техническом решении привязка магнитных осей датчика 1 к осям чувствительности устройства 2 в отличие от технических решений [3, 4] осуществляется в образцовой мере магнитной индукции при отсутствии внешнего магнитного поля, а следовательно, погрешность привязки не зависит от влияния вариаций и вектора индукции геомагнитного поля. Таким образом, погрешность привязки магнитных осей датчика 1 к осям устройства измерения углов крена и тангажа 2 не зависит от магнитного наклона, вариаций и модуля вектора индукции геомагнитного поля.

Ориентация осей датчика 1 (см. рисунок) относительно осей навигационной системы 4 подвижного объекта 5 будет известна, если будет определена ориентация осей  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$  относительно осей системы 4. Для решения этой задачи основание 3 с датчиком 1 и устройством 2 размещают на поворотном устройстве 6 подвижного объекта 5 с возможностью вращения основания 3 вокруг, например, вертикальной оси  $O'Z'$ . Осуществляют изменение, по крайней мере, углов крена, тангажа объекта и синхронное измерение этих углов навигационной системой 4 с измерением проекций вектора ускорения силы тяжести устройством 2. Проекция вектора ускорения силы тяжести, измеренные устройством 2, для двух угловых положений объекта можно представить в виде следующих уравнений:

$$g_{xj} = g_{xHj} \cdot l'_1 + g_{yHj} \cdot m'_1 + g_{zHj} \cdot n'_1 + g_{xc}; \quad (4)$$

$$g_{yj} = g_{xHj} \cdot l'_2 + g_{yHj} \cdot m'_2 + g_{zHj} \cdot n'_2 + g_{yc}; \quad (5)$$

$$g_{zj} = g_{xHj} \cdot l'_3 + g_{yHj} \cdot m'_3 + g_{zHj} \cdot n'_3 + g_{zc}, \quad (6)$$

где  $j = 1, 2, \dots$  – номер углового положения объекта;  $g_{xj}$ ,  $g_{yj}$ ,  $g_{zj}$  – проекции вектора ускорения силы тяжести, измеренные устройством 2, для угловых положений объекта при  $j = 1$  и  $j = 2$ ;  $g_{xHj} = -g_z \sin \psi_j$ ,  $g_{yHj} = g_z \cos \psi_j \sin \theta_j$ ,  $g_{zHj} = g_z \cos \psi_j \cos \theta_j$  – проекции вектора ускорения силы тяжести на оси навигационной системы 4 для угловых положений объекта при  $j = 1$  и  $j = 2$ ;  $\theta_j$  и  $\psi_j$  – углы крена и тангажа для угловых положений объекта при  $j = 1$  и  $j = 2$ ;  $(l'_1, m'_1, n'_1)$ ,  $(l'_2, m'_2, n'_2)$ ,  $(l'_3, m'_3, n'_3)$  – направляющие косинусы соответствующих углов курса  $\varphi_Y$ , крена  $\theta_Y$ , тангажа  $\Psi_Y$  системы координат устройства 2 в навигационной системе 4.

Решение системы уравнений (4) – (6) осуществляют по результатам измерений для двух угловых положений объекта. По результатам первых двух угловых положений объекта определяют начальное приближение  $\varphi_Y$ , которое обозначают через  $\varphi_Y^{(1)}$ .

При  $|\varphi_Y^{(1)}| > \varepsilon_\varphi$ , где  $\varepsilon_\varphi$  – заданная невязка, осуществляют устройством 6 (см. рисунок) поворот основания 3 вокруг базовой оси  $O'Z'$  или вокруг оси, образующей с осью  $O'Z'$  угол, отличающийся от  $90^\circ$ , на угол минус  $\varphi_Y^{(1)}$ . Вновь осуществляют изменение, по крайней мере, углов крена, тангажа объекта и синхронное измерение этих углов навигационной системой 4 с измерением проекций вектора ускорения силы тяжести устройством 2.

Аналогично, как и для первых двух угловых положений объекта, определяют вторые приближения углов  $\psi_Y$  и  $\varphi_Y$ , которые обозначим, соответственно, через  $\psi_Y^{(2)}$  и  $\varphi_Y^{(2)}$ . При  $|\varphi_Y^{(2)}| > \varepsilon_\varphi$  цикл итерации, включающий поворот основания 3 устройством 6 на угол минус  $\varphi_Y^{(2)}$ , измерение углов крена, тангажа системой 4 с измерением проекций вектора ускорения силы тяжести устройством 2 для двух угловых положений объекта и определение приближений углов тангажа  $\psi_Y^{(3)}$ , курса  $\varphi_Y^{(3)}$  выполняется аналогично предыдущим циклам. Итерационный процесс заканчивается при выполнении условия  $|\varphi_Y^{(n)}| \leq \varepsilon_\varphi$ , где  $n$  – номер итерации. В таком случае углы курса навигационной системы 4 и базовой системы координат устройства 2 будут равны. Подставляя  $\varphi_Y^{(n)}$  и  $\psi_Y^{(n)}$ , которые принимают соответственно за  $\varphi_Y = 0^\circ$  и  $\psi_Y$ , например, в уравнения (4) – (6), определяют  $\theta_Y^{(n)}$ , которое принимают за  $\theta_Y$ .

Следовательно, угловое положение базовой системы координат устройства 2 в навигационной системе 4 определено углами курса  $\varphi_Y = 0^\circ$ , крена  $\theta_Y$  и тангажа  $\psi_Y$ . Ориентация базовой системы координат датчика 1 (см. рисунок) определена относительно осей базовой системы координат устройства 2 до размещения основания 3 с устройством 6 на объекте, поэтому и ориентация осей датчика 1 известна в навигационной системе 4. При этом погрешность привязки магнитных осей датчика 1 к осям чувствительности навигационной системы в отличие от [7] не зависит от вариаций и вектора индукции геомагнитного поля.

Следует заметить, что при наличии качки можно не изменять угловое положение объекта, так как оно изменяется естественным образом.

Дадим оценку погрешности определения  $\varphi_Y$ ,  $\theta_Y$ ,  $\psi_Y$  на примере.

Пусть действительные значения  $\varphi_Y = 1^\circ$ ,  $\theta_Y = 1,5^\circ$ ,  $\psi_Y = -1^\circ$ , а  $g_{XC} = g_{YC} = g_{ZC} = 0$ . При  $\theta_1 = 3^\circ$ ,  $\psi_1 = 1^\circ$  и  $\theta_2 = 2^\circ$ ,  $\psi_2 = 5^\circ$  результаты первого цикла итерации:  $\varphi_Y^{(1)} = 1,0053135^\circ$ ,  $\psi_Y^{(1)} = (-948,900547 \cdot 10^{-3})^\circ$ ,  $\theta_Y^{(1)} = 1,51056^\circ$ . Поворотным устройством 6 (см. рисунок) уменьшают  $\varphi_Y$  на  $\varphi_Y^{(1)}$ . Затем при  $\theta_3 = 3^\circ$ ,  $\psi_3 = 1^\circ$  и  $\theta_4 = 2^\circ$ ,  $\psi_4 = 5^\circ$  получим  $\varphi_Y^{(2)} = (5,4 \cdot 10^{-3})^\circ$ ,  $\psi_Y^{(2)} = (-998,908 \cdot 10^{-3})^\circ$ ,  $\theta_Y^{(2)} = 1,4996^\circ$ . Поворотным устройством 6 уменьшают остаточный угол  $\varphi_Y - \varphi_Y^{(1)}$  на  $\varphi_Y^{(2)}$  и при  $\theta_5 = 3^\circ$ ,  $\psi_5 = 1^\circ$  и  $\theta_6 = 2^\circ$ ,  $\psi_6 = 5^\circ$  получим  $\varphi_Y^{(3)} = (0,2 \cdot 10^{-3})^\circ$ ,  $\psi_Y^{(3)} = -0,9986^\circ$ ,  $\theta_Y^{(3)} = 1,4995^\circ$ . Абсолютные погрешности определения углов курса, крена, тангажа базовой системы координат устройства 2 в навигационной системе 4 будут иметь следующие значения:  $\Delta\varphi_Y = (0,2 \cdot 10^{-3})^\circ$ ,  $\Delta\theta_Y = (-0,5 \cdot 10^{-3})^\circ$ ,  $\Delta\psi_Y = (1,4 \cdot 10^{-3})^\circ$ .

Таким образом, рассмотренный метод обеспечивает привязку осей трехкомпонентного магнитометрического датчика к осям навигационной системы немагнитного и ферромагнитного подвижных объектов как при наличии, так и при отсутствии качки объекта. Кроме того, в рассмотренном техническом решении на подвижном объекте осуществляется привязка осей датчика 1 (см. рисунок) к навигационной системе 4 подвижного объекта 5

только вращением основания 3 вокруг одной оси, обеспечивающим изменение курса датчика 1, и математической обработкой результатов измерений.

В предложенном техническом решении погрешность привязки осей датчика 1 к осям устройства 2 (см. рисунок), приведенных к соответствующим ортогональным базисам, не зависит от вариаций и вектора индукции геомагнитного поля. Дадим оценку погрешности привязки осей датчика 1 к осям устройства 2 при наличии вариаций геомагнитного поля. Пусть проекции вектора индукции геомагнитного поля  $V_{XT}$ ,  $V_{YT}$ ,  $V_{ZT}$  имеют следующие значения:  $V_{XT} = 14000$  нТл,  $V_{YT} = 0$ ,  $V_{ZT} = 50000$  нТл. Предположим, что в течение времени магнитное наклонение остается постоянным, а изменяется только модуль вектора индукции геомагнитного поля  $V_T = (V_{XT}^2 + V_{YT}^2 + V_{ZT}^2)^{1/2}$ . В таком случае при вариациях  $V_T$  в пределах  $\pm 100$  нТл погрешность ориентации осей датчика 1 может составить  $0,39^\circ$ ; при вариациях  $V_T$  в пределах  $\pm 200$  нТл –  $0,788^\circ$ , а при вариациях  $V_T$  в пределах  $\pm 300$  нТл –  $1,18^\circ$ .

После определения углового положения осей датчика 1 (см. рисунок) в навигационной системе объекта, как и в работах [9, 10], находят параметры, характеризующие намагниченность объекта в месте размещения датчика 1, а затем осуществляют измерение проекций вектора индукций геомагнитного поля.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Логачев А. А., Захаров В. П. Магниторазведка. –Л.: Недра, 1979. – 351 с.
2. Афанасьев Ю. В., Студенцов Н. В., Щелкин А. П. Магнитометрические преобразователи, приборы, установки. – Л.: Энергия, 1972. – 272 с.
3. Афанасьев Ю. В. Феррозондовые приборы. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 188 с.
4. Миловзоров Г. В. Инклинометрическая система ИС-48. //Измерительная техника. – 1997. – №8. – С. 9.
5. Коробкин А. Г., Ларионов С. А., Шестопалов Ю. Н. Точное позиционирующее устройство с использованием микропроцессора для угломерных автоколлимационных установок. //Измерительная техника. – 1987. – №12. – С. 21.
6. Миловзоров Г. В. Моделирование и исследование инструментальных погрешностей трёхкомпонентного преобразователя наклона. //Измерительная техника. – 1996. – №10. – С. 22.
7. Агеев М. Д., Касаткин Б. А., Киселев Л. В. и др. Автоматические подводные аппараты. – Л.: Судостроение, 1981. – 224 с.
8. Алимбеков Р. Н., Баймуратов Ю. Г., Зайко А. И., Сорокин А. А. Установка для проверки инклинометров УПИ-2. //Измерительная техника. – 2002. – №11. – С. 23.
9. Смирнов Б. М. Определение индукции геомагнитного поля с ферромагнитного подвижного объекта. //Измерительная техника. – 2002. – №10. – С. 37.
10. Смирнов Б. М. Определение индукции геомагнитного поля на фоне магнитных помех подвижного объекта. //Измерительная техника. – 2003. – №11. – С. 52

#### **B. M. Smirnov («Criomag» Closed Joint Stock Company)**

Referencing the Axes of Three-Component Magnetometric Sensor to the Axes of the Navigation System of Ferromagnetic Movable Object

*The method of determining the orientation of the three-component magnetometric sensor axes relative to the axes of the navigation system of ferromagnetic movable object, excluding the influence of the object's magnetization on determining the angular position of the sensor axes relative to the navigation system axes, is considered.*

**О ВЫБОРЕ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ  
ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО ОТОБРАЖЕНИЯ МОРСКИХ КАРТ**

**А. В. КАВРАЙСКИЙ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Рассмотрены изменения в подходе к выбору картографических проекций морских карт в случае их использования в виде электронных изображений в автоматизированных геоинформационных системах. Функции карты, связанные с решением картометрических задач, в том числе навигационных, выполняются программными средствами системы, что снимает ряд требований к свойствам проекции отображаемой карты.*

Основной задачей математической картографии является выбор (или разработка новых) картографических проекций, наилучшим образом отвечающих предназначению создаваемых карт. Критерии, используемые для оценки соответствия проекции поставленным задачам, можно разделить на две группы:

1. Проекция должна обеспечивать изображение элементов местности возможно более близким к натуре по форме, взаимному положению, соотношению площадей объектов, имея в виду чисто умозрительное восприятие картографического изображения. Согласно теории искажений в картографических проекциях данная цель достигается выбором для заданной географической области проекции с возможно меньшими искажениями длин.

Количественно этот показатель проще всего выражается отношением  $\frac{M}{m}$ , т. е. наибольшего масштаба к наименьшему, полученным в принятой проекции для данной области. Чем ближе этот показатель к 1, тем лучше проекция по данному критерию оценки.

2. Проекция должна обеспечивать выполнение с достаточной точностью определенных измерений и графических построений на карте, либо расчетов в прямоугольных координатах проекции. В частных случаях из этого вытекают требования строгой равноугольности или равновеликости, изображения прямыми линиями карты заданных линий местности (ортодромий, локсодромий).

В зависимости от предназначения карты определяющими могут быть как какой-либо один, так и оба рода критериев.

Для составления и издания морских карт различного назначения руководящими документами [1, 2] предусмотрены следующие картографические проекции:

- нормальная равноугольная цилиндрическая проекция Меркатора;
- поперечная равноугольная цилиндрическая проекция Меркатора;
- поперечная равноугольная цилиндрическая проекция Гаусса;
- равноугольная коническая проекция;



- гномоническая проекция (нормальная, косая и поперечная);
- стереографическая проекция (нормальная, косая и поперечная);
- равнопромежуточная азимутальная проекция Постеля (нормальная, косая и поперечная);
- косая равновеликая азимутальная проекция Ламберта.

В зависимости от поставленных задач не исключается применение и проекций, не входящих в данный перечень.

В соответствии с указанными выше критериями для мелкомасштабных морских карт типа бланковых и обзорно-географических, предназначенных для решения задач управления, отображения и оценки обстановки в достаточно обширных морских и океанских районах целесообразно (и принято) создание карт в таких проекциях, как стереографическая, азимутальная равнопромежуточная Постеля, азимутальная равновеликая Ламберта, равноугольная коническая. Все эти проекции в большей или меньшей степени в зависимости от формы, географического положения и протяженности изображаемого района, отвечают критерию умеренного искажения длин (а следовательно, и площадей и форм географических объектов), тем самым способствуя адекватному восприятию отображаемой обстановки. Например, для изображения целиком акватории Северного Ледовитого океана близки к оптимальным нормальные азимутальные проекции (равноугольная, равнопромежуточная и равновеликая). Нормальная равнопромежуточная проекция Постеля при этом является, строго говоря, наилучшей из возможных по критерию минимальности соотношения  $\frac{M}{m}$ , но

для широт в пределах от 60° до полюса различие этих проекций для визуального восприятия несущественно. Для отображения оперативной обстановки в океанских и морских районах и решения задач управления на практике принято использование карт и в нормальной проекции Меркатора, что обусловлено традицией её использования в морской деятельности.

Характерным примером мелкомасштабных морских карт, для которых проекция выбрана по критериям второго рода являются так называемые карты для прокладки ортодромий, составляемые в гномонической проекции. Эти карты предназначены для общей ориентировки при выборе возможно кратчайшего и безопасного в навигационном отношении пути судна и гномоническая проекция весьма упрощает графическое решение данной задачи, так как линии кратчайших расстояний (ортодромии) в этой проекции изображаются прямыми линиями. Примером удачного использования свойств проекции являются карты в косой проекции Постеля с нанесенными азимутально-дальномерными сетками, имеющими в этой проекции вид концентрических окружностей с радиальными прямыми, исходящими из центральной точки проекции. Свойства проекции обеспечивают в данном случае простоту построения и использования специальной нагрузки карты.

Важнейшим видом морских карт, для которых проекция разработана исходя из метрических требований, являются навигационные морские карты (НМК) в нормальной проекции Меркатора. Свойство проекции Меркатора – изображать линии постоянного курса (локсодромии) прямыми линиями на карте и равноугольность проекции значительно облегчают графическую прокладку пути судна. При этом нормальная проекция Меркатора является *единственно возможной* равноугольной проекцией, в которой все локсодромии изображаются прямыми линиями, чем и определилось её исключительное значение для навигационных морских карт.

В геоинформационных системах, использующих цифровую картографическую информацию, также должен решаться вопрос выбора картографической проекции для электронного отображения карты. Очевидным приемлемым решением является использование тех же проекций, что и для традиционных карт аналогичного назначения. В то же время принципиальное различие традиционной и электронной технологий создания и использования картографических изображений делает полезным рассмотрение и возможных изменений в подходе к выбору картографических проекций.

Для карт обзорного характера, используемых для отображения и оценки обстановки в обширных географических районах, при переходе от бумажной карты к электронной значительно улучшается технология нанесения объектов оперативной обстановки и различной вспомогательной нагрузки, но метод использования оператором картографической информации – умозрительное восприятие – сохраняется. Поэтому показаний для существенного изменения подхода к выбору проекций, на наш взгляд, не имеется и проекции, принятые для традиционных морских карт такого назначения (по критерию первого рода), целесообразно применять и для электронных карт, например в АСУ. В программное обеспечение системы может быть включено несколько проекций, что позволит выбирать вид проекции и значения её параметров (масштаб, осевой меридиан, координаты центральной точки косоугольной проекции), добиваясь наилучшего приспособления для заданных границ отображаемого района.

Если же рассмотреть морские карты, проекции которых выбирались на основе метрических критериев, то оценка необходимости, либо полезности тех или иных свойств проекций для карт, отображаемых в электронных системах, требует заметных изменений. Картографическое изображение элементов содержания цифровой карты и дополнительных объектов на фоне карты осуществляется на основе программного обеспечения системы. Таким же образом могут и должны отображаться любые данные в виде фигур и линий, координатное положение которых задано, либо может быть рассчитано по известным зависимостям. Очевидно, что все эти построения должны выполняться в единой проекции, но свойства проекции не играют при этом существенной роли.

Так, на картографическом фоне может быть автоматически изображена линия кратчайшего пути из заданной точки по заданному курсу, при этом важно положение линии относительно отображенных элементов местности, а не то, чтобы она была строго прямой.

В программных средствах системы в принципе может быть предусмотрен расчет и отображение любых сеток изолиний (типа упомянутой выше азимутально-дальномерной сетки, или иных) в любой проекции. Однако в большинстве мыслимых случаев те задачи, для графического решения которых предназначаются различные сетки, наносимые на традиционные морские карты, в автоматизированных системах гораздо целесообразнее решать аналитическим путём, а на отображение выводить готовые результаты, например условный знак, в точке с рассчитанными координатами.

Приведенные рассуждения показывают, что для выбора проекции электронного отображения морской карты метрические критерии не играют существенной роли и определяющими остаются критерии первого рода: адекватность умозрительного восприятия отображаемой информации.

Сказанное в полной мере можно отнести и к электронному аналогу НМК – электронным навигационным картам (ЭНК). При использовании ЭНК выполняется автоматическое отображение места судна, линий пройденного и проектируемого пути. Никаких графических построений вручную на электронном экране не производится, и поэтому свойства прямолинейности изображения локсодромии и строгой равноугольности не играют прежней определяющей роли.

На наш взгляд, картографическая проекция изображения, формируемого на экране электронной навигационно-информационной системы (ЭНИС), должна обладать следующим основным свойством: картографическое изображение должно быть привычным по форме для судоводителя. Это значит, что если изображение сформировано не в нормальной проекции Меркатора, то должно визуально быть близким к нему: картографическая сетка должна быть прямоугольной, изображение отрезков локсодромии – близко к прямым линиям. Этим критериям в полной мере отвечает, например, простейшая из картографических проекций – нормальная равнопромежуточная цилиндрическая проекция, построенная при условии, что Земля принимается за шар. Формулы этой проекции имеют вид

$$x = \mu_0 R \varphi ; y = \mu_0 R \lambda \cos \varphi_0 , \quad (1)$$

где  $x, y$  – прямоугольные координаты проекции;

$\varphi, \lambda$  – географические координаты;

$\mu_0$  – главный масштаб картографического изображения;

$\varphi_0$  – главная параллель;

$R$  – принятый радиус земного шара.

Радиус шара целесообразно принять приблизительно равным средней величине между крайними значениями радиусов кривизны земного

эллипсоида. При этом условии  $R = 6\,367\,000$  м. Главная параллель должна быть близка к середине отображаемого района, что обеспечивает минимизацию различия масштабов по меридианам и параллелям, т. е. приблизительную равноугольность изображения. Для вычисления прямоугольных координат  $x_s, y_s$ , приведенных к центру экрана, получим

$$x_s = \mu_0 R(\varphi - \varphi_0); \quad y_s = \mu_0 R(\lambda - \lambda_0) \cos \varphi_0 \quad (2)$$

где  $\varphi_0, \lambda_0$  – географические координаты, относимые к центру экрана, например координаты текущего места судна.

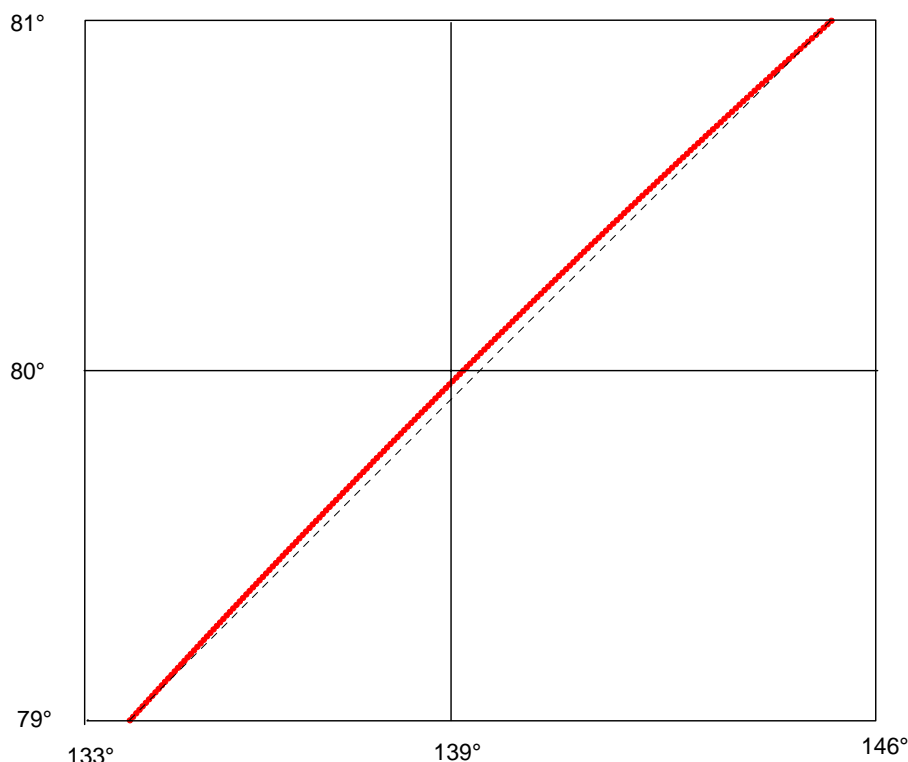
Пример изображения локсодромии на карте в нормальной равнопромежуточной цилиндрической проекции приведен на рисунке. Поскольку кривизна изображения локсодромии в нормальной цилиндрической проекции увеличивается с широтой, но всегда равна 0 при курсах  $K = 0^\circ$  и  $K = 90^\circ$ , в примере принято  $\varphi_0 = 80^\circ$ ,  $K = 45^\circ$ , и данный пример можно рассматривать, как близкий к предельному случаю. Расчет положения точек локсодромии в нормальной равнопромежуточной цилиндрической проекции выполнялся по формуле (1) и формуле

$$\lambda = \ln U(\varphi) \operatorname{tg} K, \quad (3)$$

являющейся уравнением локсодромии, исходящей из точки пересечения экватора с нулевым меридианом, что не нарушает общности решения задачи, так как долготное положение локсодромии не влияет на её форму. Прерывистая линия на рисунке является строго прямой.

Из рисунка видно, что кривизна изображения отрезка локсодромии длиной более 100 миль в широтах до  $80^\circ$  практически незаметна. Таким образом, картографическое изображение в нормальной равнопромежуточной цилиндрической проекции визуально неотличимо от карты в нормальной проекции Меркатора, а формулы рассматриваемой проекции являются простейшими из всех мыслимых картографических проекций. Благодаря последнему обстоятельству продолжительность времени пересчета географических координат в прямоугольные координаты проекции, как показывают экспериментальные расчеты для нескольких тысяч точек, сокращается примерно в 2 раза.

Для обеспечения плавания в широтах выше  $80^\circ$  составляются НМК в поперечной равноугольной цилиндрической проекции Меркатора. Нормальной картографической сеткой в этой проекции является прямоугольная сетка «квазимеридианов» и «квазипараллелей», а ведение счисления и прокладки в квазигеографических координатах идентично решению данных задач в нормальной проекции Меркатора для географических координат.



**Изображение локсодромии и прямой линии карты в нормальной равнопромежуточной цилиндрической проекции**

Приведенные выше рассуждения о приемлемости использования равнопромежуточной проекции для электронного изображения навигационной карты в ещё большей мере правомерны для данного случая, так как область использования карты прилегает к квазиэкватору и изображение на экране в поперечной равнопромежуточной цилиндрической проекции практически совпадает с изображением в поперечной равноугольной. Формулы проекции для квазигеографических координат примут вид

$$x = \mu_0 R \varphi_q ; y = \mu_0 R \lambda_q, \quad (4)$$

где  $\varphi_q, \lambda_q$  – квазигеографические координаты, а в качестве главной параллели принимается квазиэкватор.

Из сказанного выше вытекает и такое общее положение: при выборе картографических проекций для электронных карт в любых случаях допустимо использовать выражения проекций, в которых Земля принимается за шар. Строго говоря, это означает, что поверхность земного эллипсоида вращения изображается сначала на шаре по формулам  $u = \varphi, w = \lambda$ , где  $u$  и  $w$  – сферические широта и долгота, а затем изображается на плоскости по формулам проекции шара:  $x = f_1(u, w), y = f_2(u, w)$ . Такое упрощение ведет лишь к незначительным дополнительным искажениям на отображаемых картах [3]: 0,5%

– относительное искажение длин и 11,5′ искажение направлений, что не имеет никакого значения для визуального восприятия карты.

Из приведенных выше соображений можно сделать общий вывод о том, что при разработке картографического обеспечения автоматизированных систем с электронным отображением картографической информации, решение вопросов, относимых к области математической картографии, в целом упрощается. Функции карты, связанные с картометрией, в том числе «навигационной картометрией» [4], которые для традиционных карт определяют различные жесткие требования к свойствам проекции, в автоматизированных системах могут выполняться программными средствами. Из этого и вытекает возможность новых подходов к выбору картографических проекций.

Всё изложенное не имеет цели инициировать какие-либо существенные преобразования в картографическом обеспечении существующих автоматизированных систем. Как отмечено выше, вполне правомерно использование для ГИС тех же проекций, что и для традиционных карт аналогичного назначения. Однако, как мы надеемся, учёт изменений, возникших в требованиях к картографическим проекциям, благодаря автоматизации процесса использования картографической информации, может оказаться полезен в дальнейших разработках данного профиля.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Система морских карт, руководств и пособий, часть 1. – СПб.: ГУНиО МО, 1997 – С. 36.
2. Правила гидрографической службы N 5., часть 1 – Л.: ГУНиО МО, 1989. – С. 352.
3. Каврайский В. В. Избранные труды. Т.2, вып.1. – Л.: УНГС ВМФ, 1958. – 319 с.
4. Сорокин А.И. Теоретические основы гидрографических исследований – Л.: ГУНиО МО, 1972. – С. 196.

**A. V. Kavraisky (GNINGI, RF MoD)**

**On Selection of Cartographic Projections for Electronic Presentation of Charts**

*Changes in the approach to selection of projections of charts if they are to be used as electronic presentations in the automated geoinformation systems, are considered. The chart functions connected with solution of the cartometric problems, including the navigation ones, are carried out by the software of the system, which removes some requirements to the properties of the projection for the displayed chart.*

---

# ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ОКЕАНОГРАФИЯ

---

ГРНТИ 372503; 372519; 372521

## **ОБ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕЧЕНИЙ РАЗНЫХ ВРЕМЕННЫХ МАСШТАБОВ В ЧУКОТСКОМ МОРЕ И БЕРИНГОВОМ ПРОЛИВЕ**

**Е. А. ЗАХАРЧУК,  
Н. А. ТИХОНОВА**  
(СПО ГОИН)

*На основе статистических методов анализа случайных и детерминированных векторных процессов в статье оценивается сравнительный вклад сезонных, синоптических, долгопериодных приливных и мезомасштабных (приливных и неприливных) течений в их суммарную дисперсию и максимальные значения скоростей этих течений в Чукотском море и Беринговом проливе.*

### **Введение**

Течения в арктических морях формируются под действием различных внешних и внутренних сил, испытывающих значительные изменения в пространстве и времени. Многообразие факторов, воздействующих на воды этих морей, приводит к возникновению различных океанологических процессов, которые в той или иной мере находят отражение в течениях в виде разномасштабных возмущений различной интенсивности, которые накладываются на квазистационарное движение вод.

Представляется интересным оценить вклад возмущений разных временных масштабов в общую дисперсию течений.

В 1990–1991 годах в Чукотском море и Беринговом проливе был проведен уникальный российско-американский эксперимент, в рамках которого были получены годовые измерения течений на 10 буйковых станциях с дискретностью 1 час. Столь длительные наблюдения позволяют исследовать интенсивность возмущений течений в диапазоне периодов от нескольких часов до 1 года.

В данной статье с помощью гармонического анализа приливов и нестационарного дисперсионного анализа, разработанного на основе векторно-алгебраического метода изучения случайных процессов, оценивается сравнительный вклад сезонных, синоптических, долгопериодных приливных и мезомасштабных (приливных и неприливных) течений в суммарную дисперсию и максимальные значения скоростей этих течений.

**Описание данных и методов исследования**

В рамках российско-американского проекта «Циркуляция вод Берингова и Чукотского морей» в 1990–1991 гг. в разных точках Чукотского моря работало 10 автономных буйковых станций, краткие сведения о которых приведены в таблице, а местоположение показано на рис. 1.

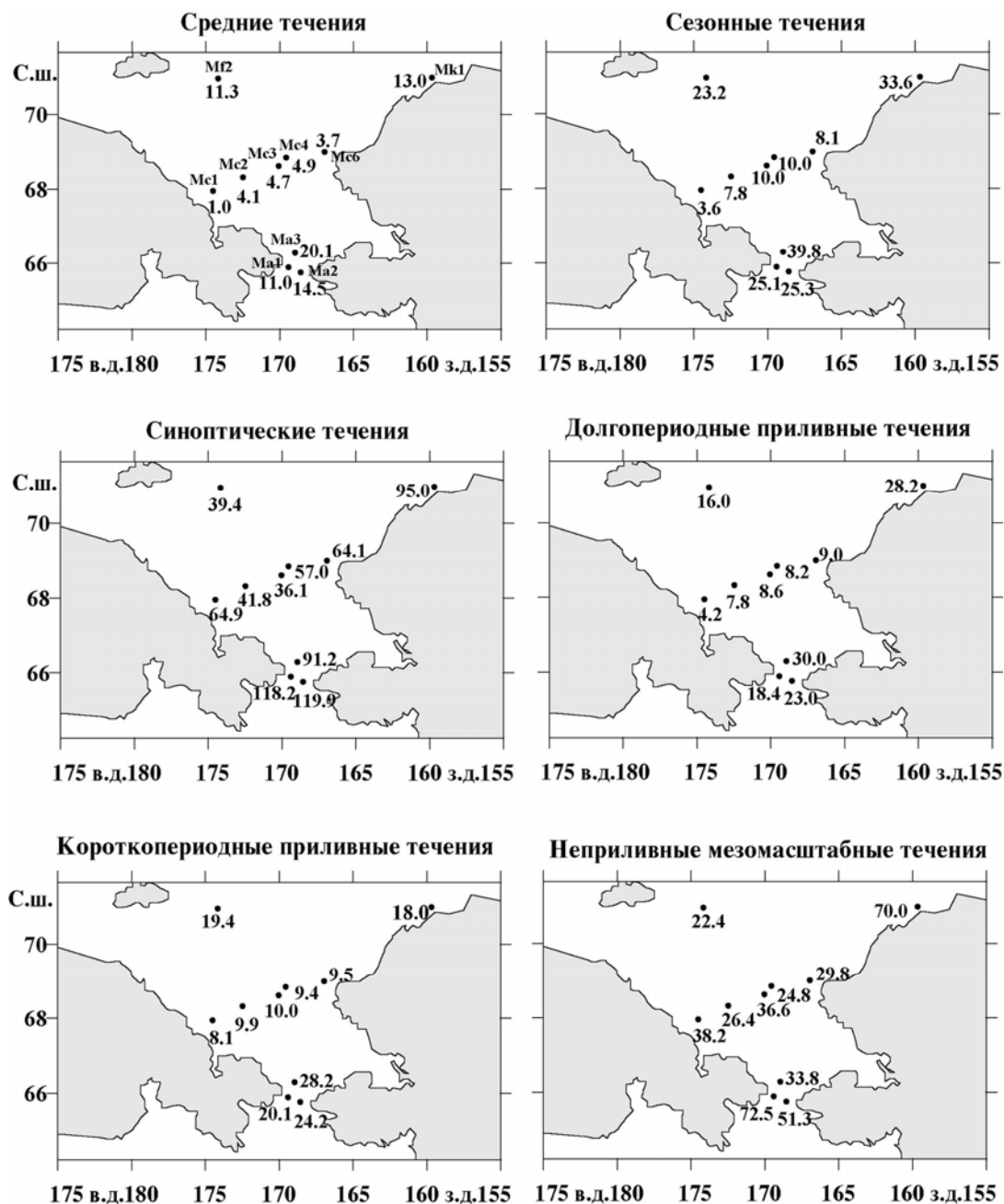


Рис. 1. Скорости средних течений и максимальные значения скоростей течений разных временных масштабов в Чукотском море и Беринговом проливе



Характеристики буйковых станций в Чукотском море и Беринговом проливе

АБС	Координаты	Глубина моря, м	Горизонт измерений, м	Период наблюдений	Длина рядов, сут.
Ma1	65°54,0' с. ш. 169° 25,7' з. д.	50	41	24.09.90 – 24.09.91	364
Ma2	65° 46,5' с. ш. 168° 35,2' з. д.	53	44	03.09.90 – 16.09.91	378
Ma3	66° 17,6' с. ш. 168° 57,9' з. д.	56	47	04.09.90 – 05.09.91	365
Mc1	67° 56,9' с. ш. 174° 33,2' з. д.	44	35	22.09.90 – 04.10.91	376
Mc2	68° 20,5' с. ш. 172° 29,8' з. д.	51	42	22.09.90 – 19.09.91	361
Mc3	68° 36,7' с. ш. 171° 04,4' з. д.	56	47	22.09.91 – 25.09.91	367
Mc4	68° 51,4' с. ш. 169° 35,6' з. д.	53	44	21.09.90 – 04.09.91	347
Mc6	69° 01,1' с. ш. 166° 57,3' з. д.	47	38	08.09.90 – 22.09.91	378
Mf2	70° 57,8' с. ш. 174° 11,2' з. д.	49	40	21.09.90 – 30.09.91	373
Mk1	71° 02,0' с. ш. 159° 41,9' з. д.	80	71	13.09.90 – 22.09.91	373

Каждая станция была снабжена одним измерителем течений типа Aanderaa, установленным в 9 метрах от дна. Дискретность измерений за течениями составляла 1 час. Исходные ряды ежечасных значений течений были проверены на пропуски и оценены на выбросы по методике изложенной в работе [1]. Для оценки вкладов возмущений различных временных масштабов в суммарную изменчивость течений проводился нестационарный дисперсионный анализ. Так как течение – векторный процесс, согласно работе [2] рассчитывался линейный инвариант тензора дисперсии:

$$I_1(0) = D_u + D_v, \quad (1)$$

где  $D_u$ ,  $D_v$  – дисперсии составляющих скорости течения на параллель и меридиан, соответственно.

Суммарная дисперсия течений  $I_1(0)(t)$  представлялась в виде суммы 5 составляющих:

$$I_1(0)(t) = I_1(0)_{сз} + I_1(0)_{сн}(t) + I_1(0)_{дп}(t) + I_1(0)_{кп}(t) + I_1(0)_{мз}(t), \quad (2)$$

где  $I_1(0)_{сз}$  – дисперсия сезонных колебаний (сумма годовой и полугодовой составляющих скорости течений);

$I_1(0)_{сн}(t)$  – дисперсия синоптических колебаний течений,  $2 \text{ сут.} < P < 180 \text{ сут.}$ ,  $P$  – период колебаний;

$I_1(0)_{дп}(t)$  – дисперсия долгопериодных приливных течений (волны  $MM$ ,  $MF$ ,  $MSF$ );

$I_1(0)_{кп}(t)$  – дисперсия короткопериодных приливных течений (63 волны приливного потенциала из класса полусуточных и суточных приливов);

$I_1(0)_{мз}(t)$  – дисперсия мезомасштабных неприливных течений, 2 час.  $< P < 2$  сут;  $t$  – время.

Такое разделение течений по временным масштабам предложено нами на основе классификации А. С. Моница [3].

Дисперсия сезонных течений  $I_1(0)_{сз}$  рассчитывалась на основе гармонического анализа приливов, выполненного по методу наименьших квадратов по программе разработанной Г. Н. Войновым [4, 5].

$$I_1(0)_{сз} = \left( \frac{A_{SAu}^2}{2} + \frac{A_{SAv}^2}{2} \right) + \left( \frac{A_{SSAu}^2}{2} + \frac{A_{SSAv}^2}{2} \right), \quad (3)$$

где  $A_{SAu}$ ,  $A_{SAv}$ ,  $A_{SSAu}$ ,  $A_{SSAv}$  – амплитуды зональной и меридиональной составляющих годовой (SA) и полугодовой (SSA) гармоник, соответственно. Далее по методу наименьших квадратов гармонического анализа приливов предвычислялись ряды сезонных течений (суперпозиция гармоник SA и SSA) и по полученным предвычисленным рядам оценивались максимальные значения скоростей сезонных течений.

Дисперсии синоптических и неприливных мезомасштабных возмущений течений рассчитывались следующим образом. Из исходных рядов измеренных течений с помощью предвычисления, производившегося на основе метода наименьших квадратов гармонического анализа приливов, исключались вклады сезонных (годовая и полугодовая гармоник) колебаний, долгопериодных и суточных и полусуточных приливов. Таким образом, были получены остаточные ряды проекций скоростей течений на параллель и меридиан.

Для оценки дисперсии мезомасштабных колебаний скорости течений в остаточных рядах были отфильтрованы все колебания с периодами более двух суток с помощью полиномиального фильтра Баттерворта восьмой степени.

Для оценки дисперсии синоптических колебаний течений так же по проекциям отфильтровывались все колебания с периодами менее 2 суток.

По фильтрованным остаточным рядам производились скользящие оценки дисперсии  $I_1(0)_{мз}(t)$  и  $I_1(0)_{сн}(t)$ , а также оценки максимальных значений мезомасштабных и синоптических течений.

Следует заметить, что для корректного сравнения оценок дисперсии мезомасштабных и синоптических колебаний требуется выбрать оптимальную длину временных отрезков для скользящего дисперсионного анализа. Мы исходили из следующих соображений. Можно ожидать, что в Чукотском море в диапазоне мезомасштабной изменчивости течений наибольший вклад в дисперсию вносят инерционные течения и полусуточные баротропные и бароклинные приливы. Период этих процессов близок к 12 часам.

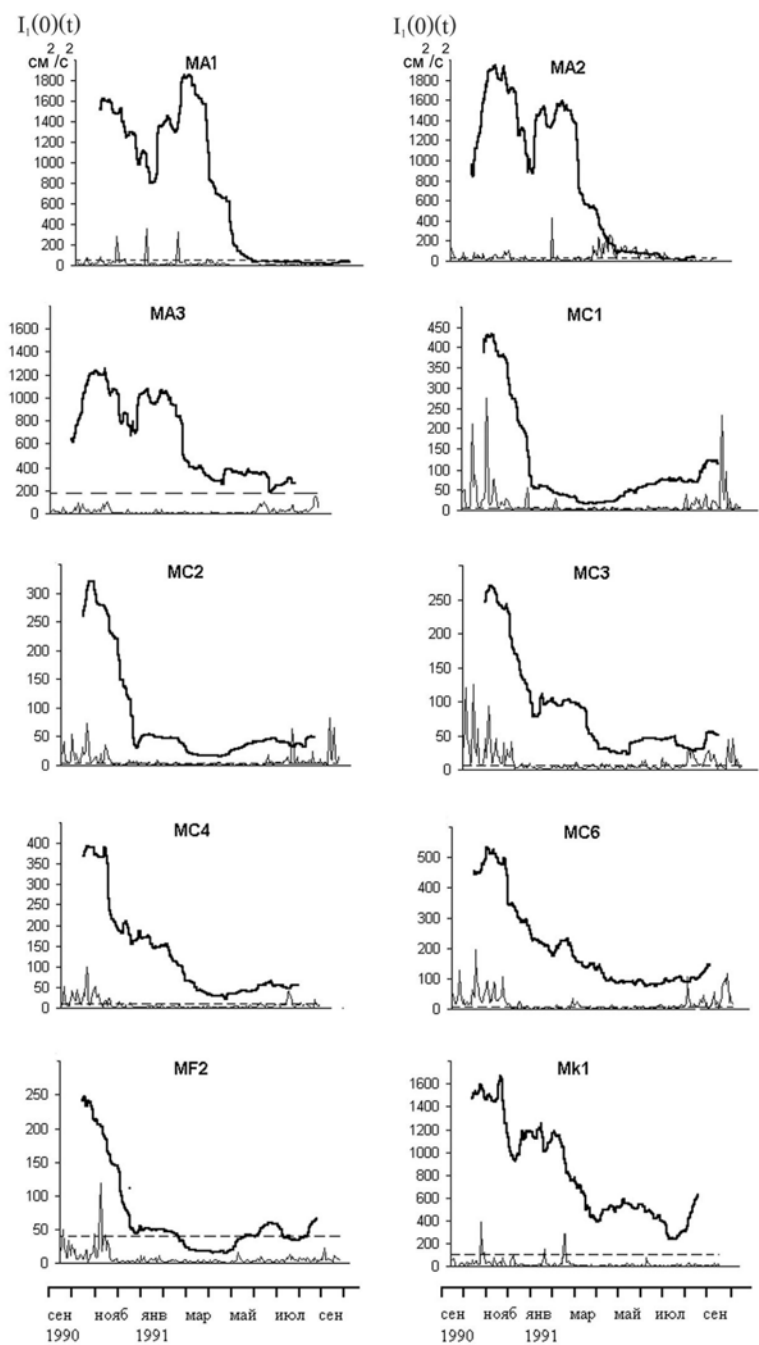
В синоптическом диапазоне частот в Чукотском море, согласно нашим исследованиям [6], в изменчивость течений наибольший вклад вносят возмущения с периодами 16–22 суток.

Исходя из этого для скользящего дисперсионного анализа мы выбрали такую длину временных отрезков, чтобы доминирующие мезомасштабные и синоптические колебания укладывались в этих отрезках 3–4 раза.

Таким образом, для мезомасштабных колебаний длина отрезков принималась равной 2 суткам и рассчитывалась скользящая не перекрывающаяся дисперсия, а для синоптических колебаний длина отрезков принималась равной 2 месяцам и рассчитывалась скользящая дисперсия с перекрытием в одни сутки.

Приливы – детерминированный процесс, однако суммарные баротропные приливные течения формируются под действием различных астрофизических факторов, связанных с суточными и полусуточными составляющими приливообразующих сил Луны и Солнца, которые обычно представляются в виде суммы от 4 до 360 гармонических волн, амплитуды и фазы которых изменяются во времени. К тому же приливные течения являются выраженным амплитудно- и фазово-модулированным процессом (фазовое, тропическое, параллактическое неравенства, сезонный ход гармонических постоянных основных волн прилива). Именно поэтому достаточно давно (с конца 50-х годов прошлого века) наряду с классическим гармоническим анализом приливов и приливных течений сформировался подход к анализу приливов как к случайному процессу. Например, Картрайт и Тайлер [7] применили и спектральное оценивание для разложения приливного потенциала. В частности, в работе Рожкова и Трапезникова [8] убедительно показано, что баротропные приливные течения можно рассматривать как полипериодически коррелированный случайный процесс. Поэтому для их исследования мы можем применить методы вероятностного анализа случайных процессов и оценивать скользящую дисперсию, используя приведенный выше подход. Для этого вначале по методу наименьших квадратов гармонического анализа приливов предвычислялись ряды короткопериодных приливных (63 волны приливного потенциала из класса полусуточных и суточных приливов) и долгопериодных приливных (волны *MM*, *MF*, *MSF*) течений. Затем по предвычисленным рядам оценивалась скользящая дисперсия  $I_1(0)_{\text{кп}}(t)$  (с шагом 2 суток для короткопериодных приливных течений) и  $I_1(0)_{\text{дп}}(t)$  (с шагом 2 месяца и перекрытием в 1 сутки). Также по предвычисленным рядам оценивались максимальные значения скоростей суммарных короткопериодных и суммарных долгопериодных приливных течений в Чукотском море и Беринговом проливе.

На рис. 2 приведены изменения во времени оценок линейного инварианта тензора дисперсии сезонных, синоптических и неприливных мезомасштабных течений, а на рис. 1 такие же оценки приведены для долгопериодных и короткопериодных приливных течений. На рис. 2 для сравнения представлены оценки средних течений и максимальные значения скоростей течений разных временных масштабов.



**Рис. 2. Изменение во времени линейного инварианта тензора дисперсии сезонных (пунктирная линия), синоптических (жирная линия) и непривлиных мезомасштабных (тонкая линия) течений**

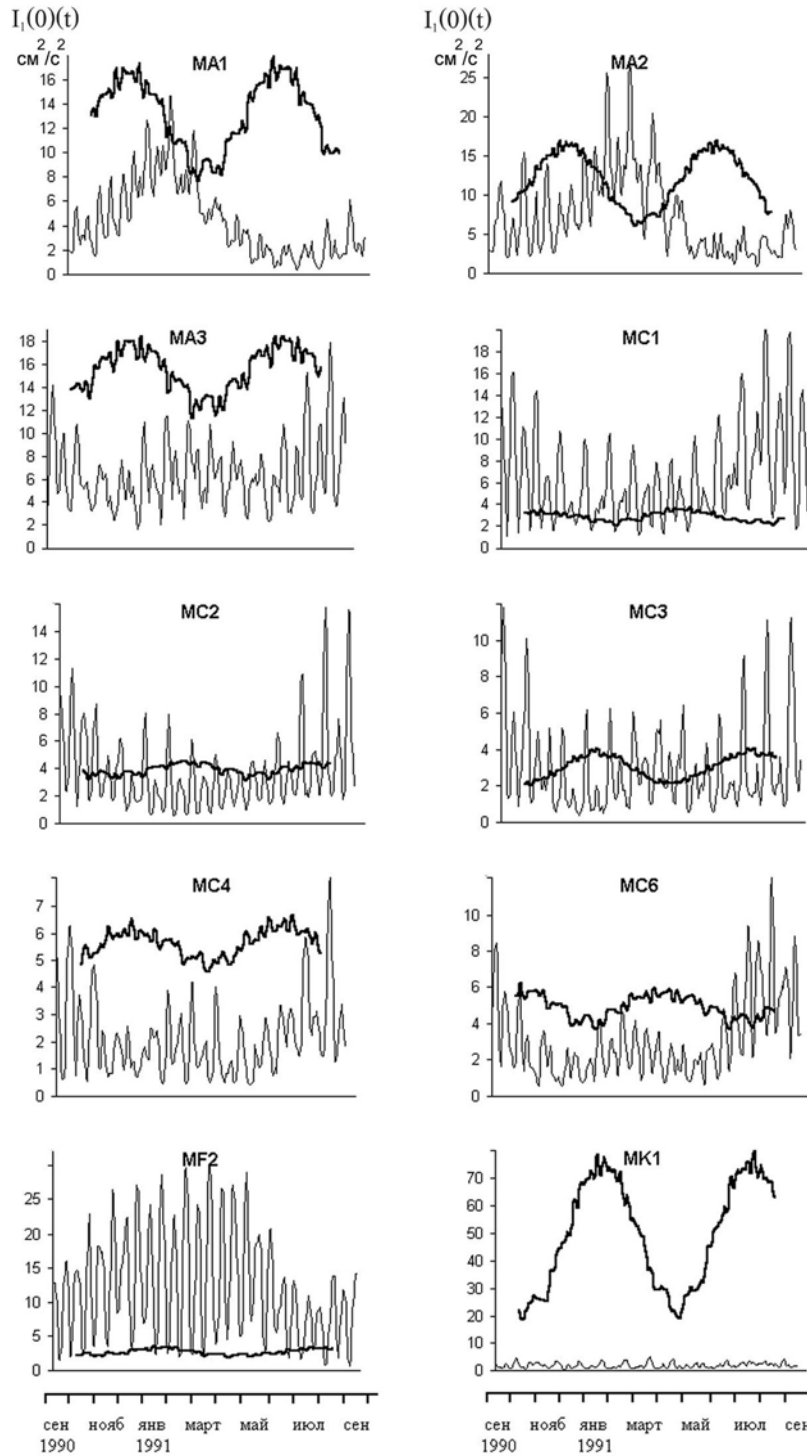


Рис. 3. Изменение во времени линейного инварианта тензора дисперсии долгопериодных приливных течений (жирная линия) и суточных и полусуточных приливных течений (тонкая линия)

### Описание результатов

**Средние течения.** Эти течения имеют наименьшую интенсивность по сравнению с течениями других временных масштабов (см. рис. 1). Максимальные скорости средних течений отмечаются в Беринговом проливе (11–20 см/с), на северо-востоке (13 см/с) и северо-западе моря (11 см/с), в то время как в центральной части моря скорости этих течений не превышают 1–5 см/с.

**Сезонные течения.** Оценки дисперсии сезонных течений изменяются от  $180 \text{ см}^2/\text{с}^2$  на севере Берингова пролива и  $106 \text{ см}^2/\text{с}^2$  на северо-востоке моря (ст. МК1) до  $41\text{--}4 \text{ см}^2/\text{с}^2$  в других точках моря (рис. 2). В большинстве случаев наибольший вклад в сезонные течения вносит годовая составляющая, амплитуда которой в 1,5–4 раза превышает амплитуду полугодовой компоненты скорости сезонных течений, однако в центральной и восточной частях моря (станции: МС2С, МС3, МС4, МС6) наибольший вклад в изменчивость сезонных течений вносит полугодовая компонента. На юге Берингова пролива в летний период дисперсия сезонных течений сравнима со значениями дисперсии синоптических течений, которые в Чукотском море являются самыми интенсивными (см. рис. 1–3), а на северо-западе моря (ст. МР2) в марте-апреле сезонные течения превосходят по интенсивности течения других временных масштабов. Максимальные скорости сезонных течений отмечаются в Беринговом проливе (25–40 см/с), на северо-востоке (34 см/с) и северо-западе моря (23 см/с), в то время как в центральной части моря значения максимальных скоростей этих течений не превышают 4–10 см/с.

**Синоптические течения.** Дисперсия этих течений чаще всего в несколько раз, а в отдельные периоды года на порядок и более, превосходит дисперсию течений других временных масштабов (рис. 2.). Максимальные значения дисперсии течений синоптического масштаба отмечаются в осенне-зимний период в районе Берингова пролива ( $1252\text{--}1942 \text{ см}^2/\text{с}^2$ ) и на северо-востоке моря ( $1668 \text{ см}^2/\text{с}^2$ , станция МК1), в то время как в других районах моря эти оценки существенно ниже ( $246\text{--}531 \text{ см}^2/\text{с}^2$ ). В Беринговом проливе в осенне-зимний период (ноябрь и февраль – март) выделяются два выраженных максимума во временном ходе дисперсии синоптических течений и один минимум в декабре – январе. К апрелю – маю в проливе дисперсия синоптических течений резко падает на порядок и более и в летний период сравнима с оценками дисперсии течений других временных масштабов.

В Чукотском море наблюдается один выраженный максимум во временном ходе дисперсии течений синоптического масштаба в октябре-ноябре. Затем в большинстве случаев происходит резкое падение дисперсии до минимальных значений в марте-мае для северо-западных и центральных районов моря и в мае-июле – для восточных и северо-восточных.

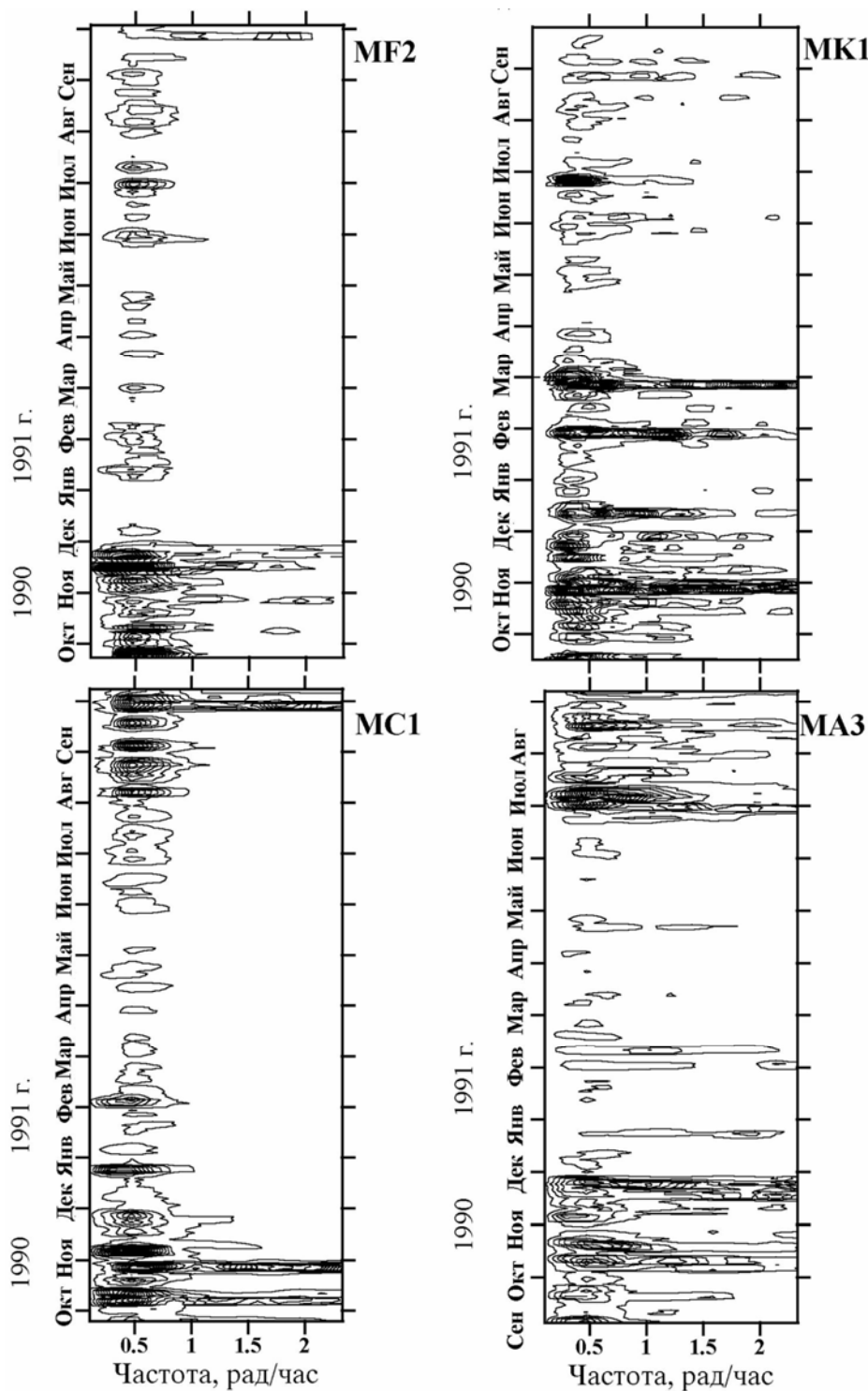


Рис. 4. Линейный инвариант нестационарной спектральной тензор-функции непривливых мезомасштабных течений, рассчитанных по данным наблюдений на буйковых станциях в Чукотском море и Беринговом проливе

Максимальные скорости синоптических течений достигают очень высоких значений. В Беринговом проливе они колеблются от 91 до 120 см/с, на северо-востоке моря достигают 95 см/с, на востоке и западе – 64–65 см/с, в центральной и северо-западной части моря уменьшаются до 36–57 см/с.

В работе [6] нами было показано, что наибольший вклад в синоптическую изменчивость течений в Чукотском море вносят внутренние волны Кельвина и длинные бароклинные топографические волны.

**Долгопериодные приливные течения.** Интенсивность этих течений невысока. В подавляющем большинстве случаев оценки дисперсии долгопериодных приливных течений колеблются от 2–4 до 16–18 см<sup>2</sup>/с<sup>2</sup> (рис. 3), и только в северо-восточной части моря (ст. МК1) дисперсия этих течений достигает 79,5 см<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>, приближаясь к оценкам дисперсии сезонных и неприливных мезомасштабных течений. Изменения  $I_1(0)_{\text{дп}}(t)$  везде имеют ярко выраженный полугодовой ход, что связано с астрономическими факторами. В половине случаев наибольший вклад в интенсивность долгопериодных приливных течений вносит волна *ММ*, в остальных случаях – волна *MSF*. Особенно аномально высокие амплитуды колебаний течений на частоте волны *MSF* отмечаются на ст. МК1 в северо-восточной части Чукотского моря.

Максимальные скорости долгопериодных приливных течений достигают 18–30 см/с в Беринговом проливе, 28 см/с на северо-востоке моря, 16 см/с на северо-западе моря, уменьшаясь до 4–9 см/с в его центральной части.

**Короткопериодные приливные течения.** В отличие от долгопериодных приливных течений изменения во времени  $I_1(0)_{\text{кп}}(t)$  в большинстве случаев имеет годовой ход (рис. 3), а в отдельных случаях во временном ходе  $I_1(0)_{\text{кп}}(t)$  отчетливо выделяется также полугодовая компонента (ст. МА3, МС4, МС6). Такие особенности изменения во времени  $I_1(0)_{\text{кп}}(t)$  также связаны с астрономическими факторами. Оценки  $I_1(0)_{\text{кп}}(t)$  невысокие и не превышают 5–30 см<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>.

Максимальные скорости короткопериодных приливных течений достигают 20–28 см/с в районе Берингова пролива, 18–19 см/с в северо-восточной и северо-западной частях Чукотского моря и уменьшаются до 8–10 см/с в его центральной части.

**Неприливные мезомасштабные течения.** Наибольшие величины оценок дисперсии этих течений отмечаются в осенне-зимний период (рис. 2.). Продолжительность циклов интенсификации неприливных мезомасштабных течений варьирует приблизительно от 5 до 15 суток, что близко к естественному синоптическому периоду. Максимальные значения дисперсии отмечаются в южной части Берингова пролива и на северо-востоке моря, где они достигают 358–431 см<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>, в западной и восточной частях моря эти оценки снижаются до 200–275 см<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>, а в центральной и северо-западной частях моря они уменьшаются до 82–120 см<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>. В весенне-летний период во многих случаях их интенсивность близка к нулю.

Для исследования изменений во времени спектральной структуры неприливных мезомасштабных колебаний течений по остаточным



фильтрованным рядам, согласно методике, изложенной в [9], были рассчитаны линейные инварианты нестационарной спектральной тензор функции  $I_1(\omega, t)_{\text{мз}}$  (где  $\omega$  – частота). Результаты представлены на рис. 4.

Хорошо видно, что максимальные оценки спектральной плотности чаще всего отмечаются осенью - зимой и сосредоточены на периодах близких к 12 часам. Это свидетельствует о том, что неприливные мезомасштабные возмущения течений связаны с инерционными колебаниями и/или с внутренними приливными волнами. Обращает на себя внимание также то, что в отдельные периоды осени и зимы происходит резкое возрастание спектральной плотности во всем мезомасштабном диапазоне частот, что может быть связано с неустойчивостью внутренних приливных и инерционных волн, в результате чего происходит перекачка энергии от этих волн в более высокочастотную область спектра, которая сопровождается генерацией высокочастотных внутренних волн и турбулентных потоков.

Максимальные скорости мезомасштабных неприливных течений хотя и меньше максимальных синоптических приблизительно в 1,5–3 раза течений, но также достигают больших значений (рис. 3.). На юге Берингова пролива и северо-востоке моря они достигают 51–72 см/с в остальных районах моря максимальные скорости не превышают 22–38 см/с.

### Выводы

Статистический анализ течений, измеренных на 10 буйковых станциях в Чукотском море и Беринговом проливе, позволяет сделать следующие основные выводы:

1. На всех станциях и почти во все сезоны года течения синоптического масштаба в несколько раз, а иногда на порядок превосходят по интенсивности течения других временных масштабов. Максимальные скорости синоптических течений достигают очень высоких значений. В Беринговом проливе они колеблются от 91 до 120 см/с, на северо-востоке моря достигают 95 см/с, на востоке и западе – 64–65 см/с, в центральной и северо-западной части моря уменьшаются до 36–57 см/с.

2. Вторыми по интенсивности являются неприливные мезомасштабные течения. Наибольшего развития эти течения достигают в осенне-зимний период на сравнительно коротких временных отрезках 5–15 суток. Максимальные скорости мезомасштабных неприливных течений достигают 51–72 см/с на юге Берингова пролива и северо-востоке моря а в остальных районах моря не превышают 22–38 см.

3. Интенсивность средних, сезонных, долгопериодных приливных и короткопериодных приливных течений существенно ниже по сравнению с синоптическими и неприливыми мезомасштабными течениями.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Войнов Г. Н. Способ оценки выбросов во временных рядах ежечасных наблюдений за течениями с помощью нерекурсивного многополосного фильтра // Записки по гидрографии. – 2003. – № 258. – С. 56–62.
2. Бельшев А. П., Клеванцов Ю. П., Рожков В. А.. Вероятностный анализ морских течений. – Л., Гидрометеиздат, 1983. – 264 с.
3. Монин А. С. Классификация нестационарных процессов в океане // Известия АН СССР. Физика Земли. – 1972. – № 7. – С. 26–30.
4. Войнов Г. Н. Основные закономерности приливных течений в море Лаптевых. Научные результаты экспедиции ЛАПЭКС-93. – С.-Петербург. Гидрометеиздат, 1994. – С. 119–131.
5. Войнов Г. Н. Приливные явления в Карском море. Русское географическое общество, 1999. – 110 с.
6. Захарчук Е. А., Тихонова Н. А.. Низкочастотные волновые возмущения в поле течений Чукотского моря // Труды ГОИН. – Вып. 210 (в печати).
7. Cartwright D. E., Tayler R. J. New computations of the tide-generating potential // Geophys. J. R. astr. Soc. – 1971. – Vol. 23. – P. 45–74.
8. Рожков В. А., Трапезников Ю. А. Вероятностные модели океанологических процессов. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 272 с.
9. Рожков В. А. Методы вероятностного анализа океанологических процессов. – Л., Гидрометеиздат, 1979. – 280 с.

**E. A. Zakharchuk, N. A. Tikhonova (SPO GOIN)**

**On the Intensity of Currents Relating to Different Time Scales in the Chukchi Sea and the Bering Strait**

*The annual series of the hourly current measurements at ten buoy stations that operated from September 1990 to September 1991 in the Chukchi Sea and the Bering Strait, are analysed. Based on the statistical methods of analysis for the random and determinative vector processes, the comparative contributions of the seasonal, synoptic, long-period tidal and mesoscale (tidal and nontidal) currents to their total dispersion and the maximum values of velocities for these currents are evaluated.*

ГРНТИ 372519, 372523

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПРИЛИВО-ОТЛИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ**

**Н. Е. ИВАНОВ**  
(СПО ГОИН),  
**В. А. РОЖКОВ**  
(СПбГУ)

*Дисперсия приливной ритмики интерпретируется как результат нелинейного совместного воздействия на динамику вод гравитационной приливообразующей силы и неприливных гидрометеорологических процессов. Обсуждаются примеры анализа колебаний уровня моря, скорости течений и внутренних волн приливного происхождения методами полипериодически коррелированных случайных скалярных и векторных процессов.*

Характерным свойством приливных движений является их регулярная повторяемость, обусловленная гравитационным взаимодействием Земли, Луны и Солнца. Эта ритмика описывается моделью детерминированного процесса. Приливные движения в Мировом океане протекают на фоне и во взаимодействии с разномасштабными гидрофизическими процессами неприливного происхождения, описываемыми моделью случайного процесса.

Согласно уравнениям гидродинамики такое взаимодействие нелинейно, поэтому наиболее общей моделью процесса является полипериодически коррелированный случайный процесс (ППКСП) [1].

$$\zeta(t) = \sum_{k=1}^{\infty} \zeta_k(t) \exp(i\omega_k t), \quad (1)$$

где  $\zeta_k(t)$  – стационарные компоненты с математическим ожиданием  $m_k$  и ковариационной функцией  $K_k(\tau)$ ,  $\omega_k$  – набор приливных частот.

В ППКСП-приближении к случайному процессу  $\zeta(t)$  математическое ожидание  $m_\zeta(t)$  и дисперсия  $D_\zeta(t)$  представимы в виде

$$m_\zeta(t) = \sum_{k=1}^{\infty} m_k \exp(i\omega_k t); \quad (2)$$

$$D_\zeta(t) = \sum_{k=1}^{\infty} d_k \exp(i\omega_k t), \quad (3)$$

где  $m_\zeta(t)$ ,  $D_\zeta(t)$  – почти периодические функции,  $d_k = K_k(0)$ .

В работе [2] показано, что оценки (2) близки к результатам гармонического анализа. Цель настоящей работы, являющейся продолжением статей [2, 3] и развитием тезисов [4, 5], состоит в обсуждении целесообразности представления  $D_\zeta(t)$  в виде (3) исходя из того, что дисперсия приливной ритмики интерпретируется как результат нелинейного взаимодействия гидрометеорологических процессов приливного и неприливного происхождения.

### 1. Приливные и непериодические колебания уровня моря

Суточные и полусуточные приливные волны взаимодействуют с длинными анемобарическими волнами (сейши, нагоны), волнами Россби, подвержены сезонной амплитудно-фазовой модуляции; годовая ритмика с её обертонами может иметь стерическую добавку. Эти вопросы теоретически обоснованы и исследовались на гидродинамических моделях [6, 7], однако количественные характеристики взаимодействия оказываются малыми. Для их оценки по натурным данным воспользуемся результатами анализа модели регрессии

$$\zeta(t) = m_\zeta(t) + \varepsilon(t), \quad (4)$$

у которой  $m_\zeta(t)$  имеет вид (2), а  $\varepsilon(t)$  – либо стационарный случайный процесс (ССП) с математическим ожиданием  $m_\varepsilon=0$ , дисперсией  $D_\varepsilon=\text{const}$  и спектральной плотностью  $S_\varepsilon(\omega)$ ; либо ППКСП с дисперсией (3).

Исходными данными послужили результаты ежечасных измерений в 15 прибрежных пунктах в Белом, Баренцевом, Карском и Охотском морях продолжительностью 1 месяц (7 реализаций), 1 год (2 реализации) и более 10 лет (6 реализаций). Дисперсия  $D_\zeta$ , вычисленная по этим реализациям охватывала широкий диапазон от 200 см<sup>2</sup> до 1,2 м<sup>2</sup>. За показатель

регулярности колебаний уровня принята сумма квадратов  $D_\delta \equiv \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{12} m_k^2$

амплитуд  $m_k$  приливных гармоник (4 суточных, 4 полусуточных, 4 мелководных). Оценка  $D_\varepsilon$ , являющаяся показателем неперiodических колебаний уровня, вычислена по реализации  $\varepsilon(t)$  из уравнения (4).

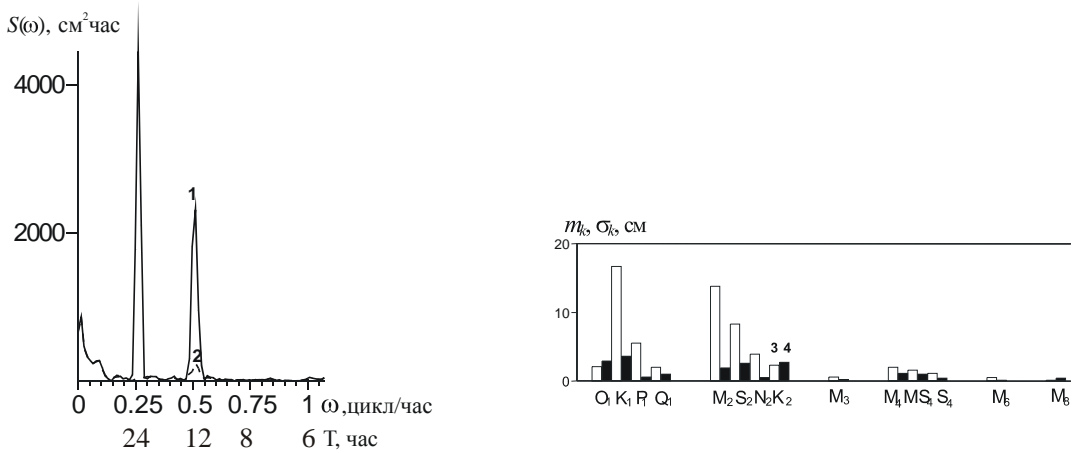
Анализ этих данных показал, что регулярная приливная ритмика ( $D_P$ ) в зависимости от местных условий имеет весьма существенный (до 95–99%) вклад в дисперсию ( $D_\zeta$ ) колебаний уровня моря, но и синоптическая изменчивость ( $D_\varepsilon$ ) в зависимости от положения пункта и сезона измерения может превышать 50% общей дисперсии  $D_\zeta$ . В большинстве пунктов отношения  $D_P/D_\zeta$ ,  $D_\varepsilon/D_\zeta$  мало меняются от сезона к сезону и от года к году, но есть и исключения. Так, в пункте Амдерма только за 1 год  $D_\varepsilon/D_\zeta$  изменяется от 16 до 61%, что в первую очередь обусловлено хорошо выраженным сезонным ходом  $D_\varepsilon$  с максимумом зимой и минимумом летом.

На рис. 1 приведен пример оценок спектральных плотностей  $S_\zeta(\omega)$ ,  $S_\varepsilon(\omega)$ , вычисленных по реализации месячной продолжительности в стационарном приближении к временным рядам  $\zeta(t)$ ,  $\varepsilon(t)$ . На рисунке видно, что после центрирования реализации на оценку математического ожидания ППКСП (2), т. е. после фильтрации регулярных приливных колебаний уровня моря, остаток  $S_\varepsilon(\omega)$  на приливных частотах практически близок к нулю, хотя в диапазоне синоптической изменчивости колебаний уровня дисперсия  $D_\varepsilon$  существенно отличается от нуля. Аналогичный вывод можно сделать и по рис. 2 из работы [3], где приведены частотные спектры колебаний уровня Карского и Охотского морей, вычисленные по годовым сериям наблюдений.

В работах [8, 9] выполнен анализ колебаний уровня в Финском заливе Балтийского моря по относительно коротким реализациям и показано, что при наличии сейш спектральная плотность на частоте приливных колебаний может быть отлична от нуля и после исключения приливов.

При наличии нелинейных взаимодействий приливных и неперiodических колебаний уровня пики на частоте приливных колебаний должны были бы остаться. Следовательно, уместно предположить, что эти взаимодействия пренебрежимо малы, и в такой ситуации не имеет особого смысла рассматривать  $\varepsilon(t)$  в (4) как ППКСП. В то же время  $\varepsilon(t)$  в выражении (4) не может рассматриваться и как случайная величина (СВ), что типично для обычных моделей регрессионного анализа [10], используемых в методах МНК [11, 12]; поскольку  $\varepsilon_t$  – коррелированный временной ряд, то дисперсия  $D_{m_k}$  оценок гармонических постоянных  $m_k$  в выражении (2) будет больше, чем у СВ (так как интервал корреляции больше интервала дискретности исходных данных). Если формально использовать ППКСП-приближение  $\varepsilon(t)$  для оценки  $d_k$  в выражении (3), то, как следует из рис. 1, дисперсия оценок основных приливных гармоник мала, так как коэффициент изменчивости  $v_k$

не превышает 0,1–0,2. Но эти величины  $d_k$  характеризуют изменчивость оценок гармонических постоянных за счёт наличия в спектре колебания уровня не только приливных, но и непериодических составляющих.



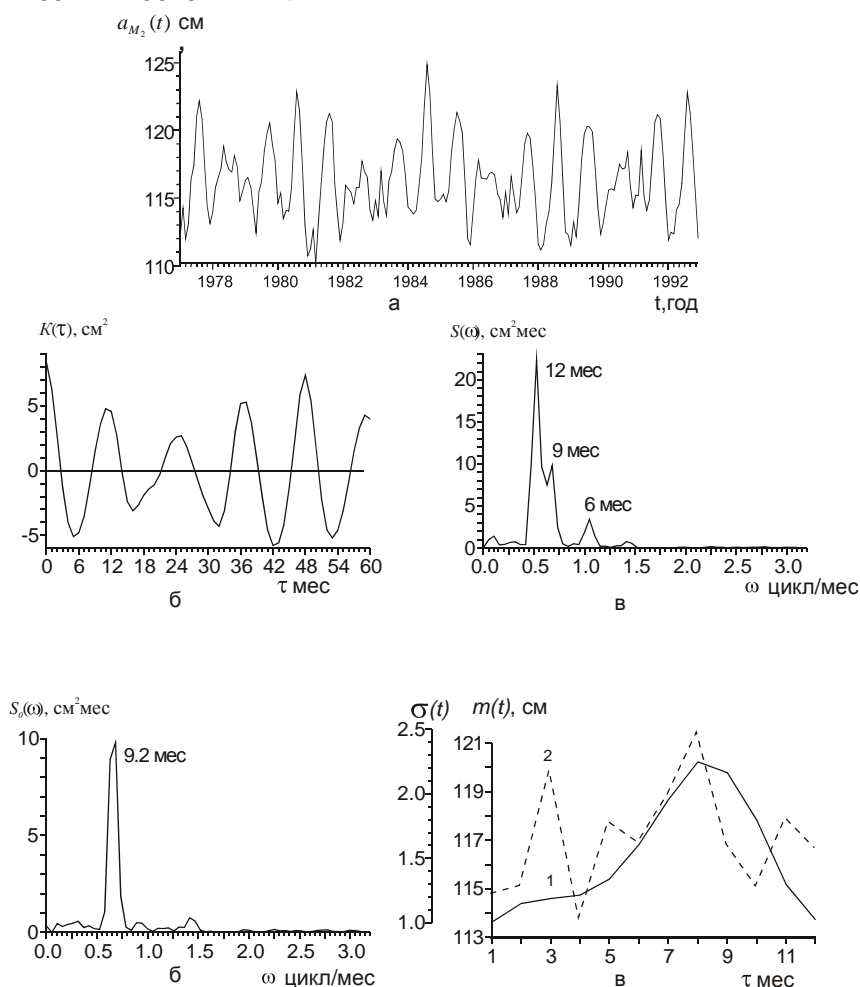
**Рис. 1. Оценки спектральной плотности исходных данных  $S_{\zeta}(\omega)$  (1) и нерегулярного остатка  $S_{\varepsilon}(\omega)$  (2) колебаний уровня Баренцева моря в стационарном приближении, амплитуды компонентов математического ожидания  $m_k$  (3) и среднеквадратического отклонения  $\sigma_k$  (4) в ПКСП приближении по серии ежечасных измерений в пункте Сенгейский Шар в июле 1981 г.**

Рассмотрим годовую ритмику и межгодовую изменчивость оценок  $m_k^*$  гармонических постоянных колебаний уровня по месячным сериям ежечасных измерений в пункте Полярное (Баренцево море) на примере волны  $M_2$ , которая превосходит по амплитуде остальные волны более чем в два раза. На рис. 2 приведены графики временного ряда  $a_{M_2}(t)$  амплитуды приливной волны  $M_2$  по данным месячных серий ежечасных измерений в пункте Полярное и его вероятностных характеристик – ковариационной функции  $K(\tau)$  и спектральной плотности  $S(\omega)$  в стационарном приближении, годового хода математического ожидания  $m(t)$ , среднеквадратического отклонения  $\sigma(t)$  и нулевого спектрального компонента  $S_0(\omega)$  в ПКСП-приближении.

Из рис. 2 следует, что у  $a_{M_2}(t)$  регулярный годовой ход  $m(t)$  и межгодовые вариации  $\sigma(t)$  имеют примерно одинаковый размах, но различаются формой кривых – в  $m(t)$  достаточно учитывать только годовую ( $k=1$ ) и полугодовую ( $k=2$ ) гармоники, структура колебаний  $\sigma(t)$  значительно сложнее. На спектрах  $S(\omega)$  и  $S_0(\omega)$  модуляция проявляется в виде пика на периоде около 9 месяцев. Параметры компонентов  $a_{k,i}$  кривых  $a_{M_2}(t)$  изменяются от года к году. Так, амплитуда годовой гармоники в среднем составляет около 3,5 см и изменяется от 1,2 см до 5,2 см, а фаза – от 5 до 9 месяцев. Отметим, что среднее многолетнее значение  $m$  и соответствующие компоненты  $m_k$  кривой  $m(t)$  численно близки, а среднеквадратическое отклонение (СКО)  $\sigma$  компонентов  $a_{k,i}$  не сопоставимо с компонентами  $\sigma_k$  кривой  $\sigma(t)$ . Амплитудный спектр годового хода  $a_{M_2}(t)$  также подтвержден

межгодовой изменчивости. Так, годовая гармоника в среднем объясняет 75-80% дисперсии годового хода  $D_{M_2}(t)$ , максимально – более 95%  $D_{M_2}(t)$ , но в отдельные годы только 45%  $D_{M_2}(t)$ .

Архивы материалов измерений могут содержать пропуски, данные различной дискретности и выбросы. Если длительная реализация содержит небольшое количество разрывов продолжительностью, заметно превышающей интервал дискретности (3 часа и более), но много меньшей общей длины реализации, то гармонические постоянные по ней как по единой реализации можно оценить методом гармонического анализа с помощью специальных приемов [12]. ППКСП приближение к  $\zeta(t)$  позволяет исследовать влияние дискретности измерений и случайных пропусков на качество оценок гармонических постоянных.



**Рис. 2.** Временной ряд амплитуды  $a_{M_2}$  приливной волны  $M_2$  по данным месячных серий ежечасных измерений уровня моря в пункте Полярное (а) и его вероятностные характеристики в стационарном и ПКСР приближениях – ковариационная функция (б), спектральная плотность (в), нулевой спектральный компонент (г), годовой ход математического ожидания (д, 1) и среднеквадратического отклонения (д, 2)

В компонентном методе ПКСП за оценку (2) принято [1]

$$m_k^* = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \zeta(t_j) \exp(-i\omega_k t_j). \quad (5)$$

Следуя выражению [13], обозначим

$$\xi_t = \zeta(t) \exp(-i\omega t), \quad t=1,2,\dots,N$$

и введем

$$x_t = w_t \xi_t, \quad (6)$$

где  $w_t$  – амплитудно-модулирующая функция, принимающая значения

$$w_t = \begin{cases} 0, & \text{если есть пропуск данных} \\ 1, & \text{если нет пропуска данных} \end{cases},$$

$$\text{тогда } m_k^* = \frac{1}{\sum_{t=1}^N w_t} \sum_{t=1}^N x_t, \quad (7)$$

т. е. оценка (2) зависит от числа и распределения пропусков. Для простоты временной ряд  $w_t$  будем рассматривать как ССП с ковариационной функцией  $K_w(\tau)$ , а

$$K_x(\tau) = K_w(\tau) K_\zeta(\tau). \quad (8)$$

Поскольку указанные выше длительные ряды наблюдений за уровнем моря содержат как пропуски, так и выбросы, то детерминированная модель  $\zeta(t)$  при  $\varepsilon(t) \equiv 0$  в выражении (4) с учетом формулы (2) не может быть признана адекватной. Модель (4) позволяет оценить (на основе методов Монте-Карло) погрешности амплитуд и фаз так называемых «гармонических постоянных» при разной дискретности исходных данных и уровнях их засорения. Проведенные численные эксперименты и их обработка позволили выяснить, что увеличение дискретности до трех часов и более сказывается сильнее на оценках полусуточного прилива. Случайные пропуски заметно сказываются на оценках гармонических постоянных как суточных, так и полусуточных волн, когда их количество достигает 25% общего количества измерений, причем наиболее сильно на качестве оценок сказываются не все, а только продолжительные (3 часа и более) случайные пропуски. Если ограничиться оценками амплитуд и фаз только важнейших суточных и полусуточных волн, то амплитуды менее чувствительны к рассматриваемым искажениям, чем фазы.

## 2. Приливные течения и внутренние волны

Волновые движения в море чрезвычайно разнообразны как на поверхности, так и в толще вод. Им присущи стохастичность и нелинейность. Внутренние гравитационные волны существуют в океанах и морях везде, где наблюдается положительная стратификация плотности. Они занимают широкий частотный диапазон – от частоты Вайселя-Брендта до инерционной частоты, включая и приливные колебания. Распространение внутренних волн вызывает циклические изменения всех характеристик – скорости течений  $\vec{V}$ ,

гидростатического давления  $P$ , температуры  $T$ , солености  $S$ , плотности воды  $\rho$  и др. [14, 5]. Внутренние волны с квазиприливной периодичностью проявляются в колебания  $\vec{V}$  за счет горизонтального орбитального движения воды, а в колебаниях  $P$ ,  $T$ ,  $S$ ,  $\rho$  прежде всего за счет вертикального движения воды. Колебания в поле  $\vec{V}$  вызываются совместным действием баротропного прилива и внутренних волн, а в колебаниях  $P$ ,  $T$ ,  $S$ ,  $\rho$  баротропный прилив вносит очень малую долю. Прямое взаимодействие между внутренними волнами и приливообразующими силами мало. Совпадение периодов внутреннего и поверхностного приливов даёт основание предполагать, что за генерацию внутренних волн могут быть ответственны сами приливные движения, так как они являются реакцией океана на изменение положения изопикнических поверхностей баротропным приливом при наличии особенностей рельефа дна.

Для инерционных колебаний  $P$ ,  $T$ ,  $S$ ,  $\rho$  и  $\vec{V}$  характерны нестационарный режим и перемежаемость энергии во времени. В простейшем случае инерционные колебания существуют благодаря балансу сил инерции и Кориолиса, и представляют собой чисто горизонтальные движения. Однако в наблюдениях за колебаниями  $T$  отмечаются [14] всплески на инерционном периоде, что свидетельствует о наличии вертикальной составляющей.

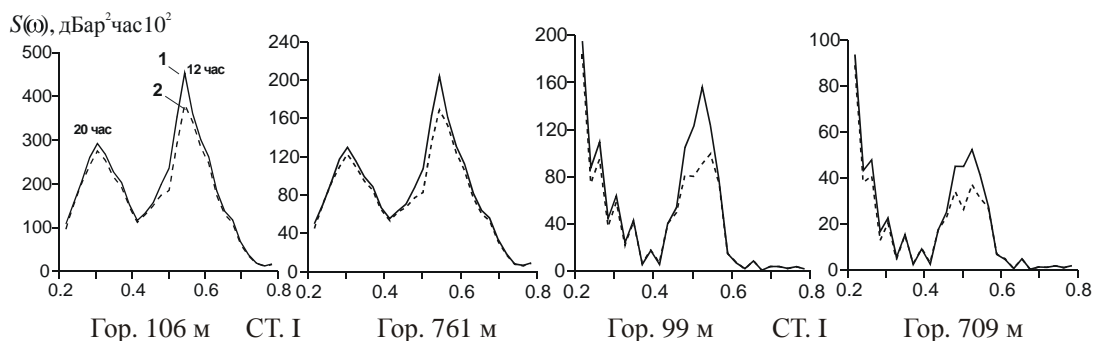
В настоящей работе колебания скоростей течения, температуры, солености, плотности и гидростатического давления проанализированы по данным ежечасных измерений в глубоководных районах (глубина более 1500 м) морей Лаптевых и Гренландского.

Характеристика исходных данных приведена в работах [2, 16]. Период инерционных колебаний  $T_{ин}$ , определяемый географической широтой, во всех пунктах измерений близок к периоду полусуточного прилива, в частотной области инерционные колебания занимают промежуточное положение между волнами  $M_2$  и  $S_2$ .

В море Лаптевых годовые серии ежечасных измерений  $P$ ,  $T$ ,  $S$ ,  $\vec{V}$  выполнены синхронно на 3 автономных станциях (АС) на нескольких горизонтах [16]. Данные измерений  $P$  на АС с донным якорем можно рассматривать как индикатор происхождения приливных колебаний. Если процесс обусловлен только баротропным приливом, то на частотах приливных волн он должен иметь квазилинейчатые спектры, причем фазы основных приливных гармоник не должны изменяться по глубине, а при исключении регулярной составляющей пики  $S(\omega)$  должны исчезать. На рис. 3 приведены графики оценок спектральной плотности колебаний с пиками на частоте полусуточного прилива. Их особенность в сравнении с уровнем моря (рис. 1) состоит в том, что после центрирования реализации на оценку математического ожидания ППКСП (т. е. после фильтрации регулярного компонента) остаток  $\varepsilon(t)$  содержит на всех горизонтах отличные от нуля значения  $S(\omega)$  на приливных частотах. Следовательно, в открытом море



влияние нелинейных взаимодействий приливных и неприливных составляющих внутренних волн весьма существенно, т. е. модель (1) более предпочтительна, чем модель (4).



**Рис. 3. Оценки спектральной плотности гидростатического давления по данным ежечасных измерений (1) и остаточного ряда (2) в море Лаптевых в стационарном приближении**

Оценки спектральных плотностей  $S_{\zeta}^*(\omega)$  и  $S_{\varepsilon}^*(\omega)$ , вычисленных по месячным реализациям данных измерений температуры  $T$ , солености  $S$ , плотности  $\rho$  морской воды, а также оценок линейного инварианта [17]  $I_{\vec{V}}^*(\omega)$  и  $I_{\varepsilon}^*(\omega)$  спектральных плотностей  $S_{\vec{V}}^*(\omega)$  и  $S_{\varepsilon}^*(\omega)$  скорости течений  $\vec{V}$  в море Лаптевых приведены на рис. 4а-г. На всех графиках видны пики на приливных частотах как до, так и после центрирования на оценку  $m_{\zeta}^*$  или  $m_{\vec{V}}^*$  вида (2). В Гренландском море (рис. 4д) этот эффект проявляется как в суточном, так и в полусуточном приливе. Отметим, что соотношение между  $I_{\vec{V}}^*(\omega)$  на частотах суточного и полусуточного приливов может сильно изменяться от месяца к месяцу, а соотношение между  $I_{\varepsilon}^*(\omega)$  на этих частотах может отличаться от соответствующего соотношения для  $I_{\vec{V}}^*(\omega)$ .

По всем реализациям многосуточных измерений  $T$ ,  $S$ ,  $\rho$ ,  $\vec{V}$  в Гренландском море и в море Лаптевых проведен дисперсионный анализ месячных реализаций внутренних волн в виде разложения дисперсии процесса  $D_{\zeta}$  на 3 составляющие:

- дисперсия регулярного приливного компонента  $D_{\text{ПР}}$ ;
- дисперсия стохастического приливного компонента  $D_{\text{ПС}}$ ;
- дисперсия непериодических флуктуаций  $D_{\varepsilon}$ .

Составляющая дисперсии  $D_{\text{ПС}}$ , характеризующая изменчивость гармонических постоянных, вычислена по спектру  $S_{\varepsilon}(\omega)$  в диапазоне приливных частот. Составляющая дисперсии компонента  $D_{\varepsilon}$ , характеризующая стохастическую изменчивость анализируемого процесса  $\zeta(t)$ , вычислена по спектру  $S_{\varepsilon}(\omega)$  во всем частотном диапазоне за исключением

приливных частотных областей. Составляющая дисперсии  $D_{\text{ПР}}$  вычислена как дополнение суммы ( $D_{\text{ПС}}+D_{\varepsilon}$ ) до 100%. Такая оценка совпадает (с точностью до погрешности оценивания) оценкой  $D_{\text{ПР}}$  в виде полусуммы квадратов амплитуд  $m_k$  из (2).

Прежде всего подчеркнем, что вклад  $D_{\varepsilon}$  составляет 90–95% дисперсии  $D_{\zeta}$  для  $T$ ,  $S$ ,  $\rho$  и 30–95% дисперсии  $D_{\vec{V}}$  для  $\vec{V}$ . Этот факт еще раз свидетельствует о том, что статистический анализ временных рядов  $T$ ,  $S$ ,  $\rho$  на отдельных горизонтах не дает надежных оценок характеристик приливных внутренних волн на фоне мощного шума  $\varepsilon(t)$ . Более достоверные оценки получают по рядам изоплет  $z_i(t)$ , характеризующих глубину  $z$  залегания в заданный момент времени  $t$  изотермы  $T_i$ , изогалины  $S_i$  или изопикны  $\rho_i$  [16, 18]. Отметим также, что реализации данных измерений внутренних волн имеют существенно меньшую продолжительность, чем реализации данных измерений уровня моря.

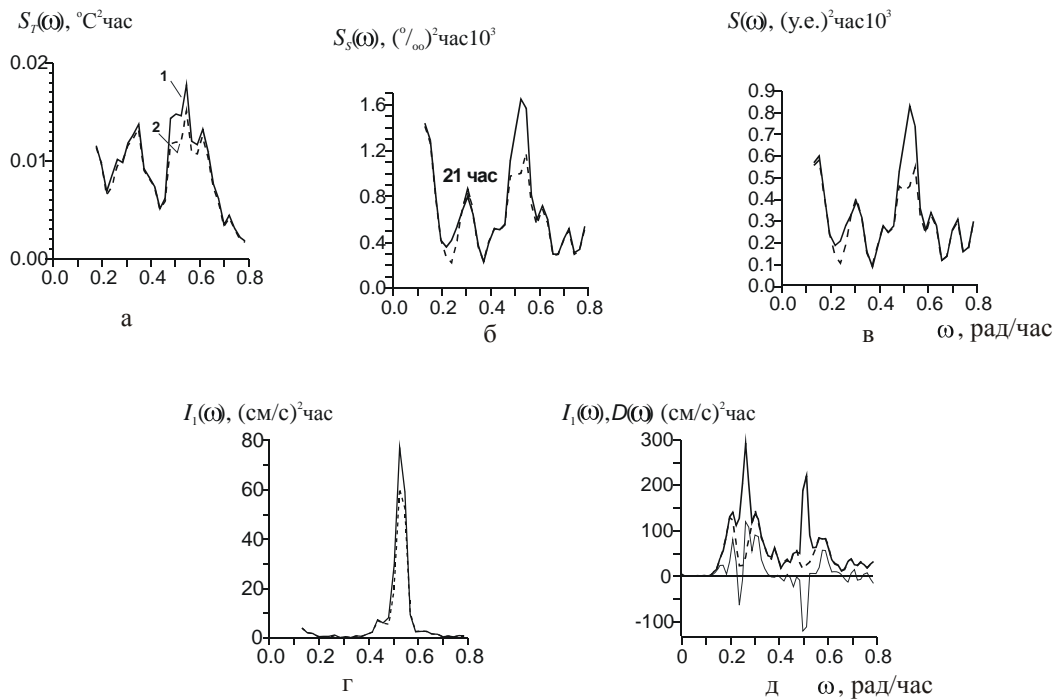
Приливные колебания скорости течений в море Лаптевых объясняют от 2 до 55% дисперсии  $D_{\vec{V}}$ , в Гренландском море от 25 до 75%; в большинстве случаев  $D_{\text{ПР}} > D_{\text{ПС}}$ , наличие сезонной изменчивости  $|m_k|$  можно только предполагать. Оценки амплитуд  $|m_k|$ , вычисленные по последовательности месячных реализаций, изменчивы из-за присутствия на приливных частотах стохастических возмущений (коэффициент вариации  $v_k > 1$  в подавляющем большинстве ситуаций, причем для колебаний скорости течений в море Лаптевых, где хорошо выражены в регулярных приливных колебания только полусуточные волны,  $v_k$  может в отдельные месяцы достигать огромных значений). Кроме того, величина  $|m_k|$  подвержена сезонной модуляции.

### 3. Экстремумы

Наличие в колебаниях уровня моря, скорости течений, температуры, солености и плотности воды взаимодействующих приливных ( $m$ ) и неприливных ( $\varepsilon$ ) составляющих допускает различные оценки величины экстремумов ( $m_{\text{max}}$ ,  $m_{\text{min}}$ ,  $\varepsilon_{\text{max}}$ ,  $\varepsilon_{\text{min}}$ ) этих составляющих и их синхронности (когда  $\zeta_{\text{extr}}$  совпадает с суммой экстремумов  $\mu_{\text{extr}} = m_{\text{extr}} + \varepsilon_{\text{extr}}$ ).

Расчет экстремумов колебаний уровня моря выполнен по данным измерений в пункте Полярное за 1977 г., а расчет экстремумов колебаний скорости течений, температуры, солености и плотности воды по данным измерений в море Лаптевых на горизонте 106 м. Анализ этих результатов позволяет сделать следующие выводы.

1) Значения как  $m_{\text{extr}}$ , так и разности ( $m_{\text{max}} - m_{\text{min}}$ ) уровня моря не совпадают с оценками сизигийного и квадратурного прилива, а также фазовым и паралактическим неравенствами; т. е. реализацию  $m(t)$  нельзя считать детерминированным почти полипериодическим процессом.



**Рис. 4.** Оценки спектральной плотности колебаний температуры воды  $T$ , солёности  $S$ , условной плотности  $\rho$  и скорости течений  $\vec{V}$  в море Лаптевых (а-г) и в Гренландском море (д) по месячным сериям ежеhourных измерений в стационарном приближении: 1 – исходные данные, 2 – остаточный ряд  $I_1$  - линейный инвариант спектрального тензора скорости течений,  $D(\omega)$  – индикатор вращения (3)

2) Значения  $\varepsilon_{\text{extr}}$  по месячной выборке объемом  $(30 \times 24)$  ежеhourных отсчетов обладают не только выборочной изменчивостью при фиксированном законе распределения (с переменными параметрами  $m$  и  $\sigma$ , зависящими от пространственных координат и времени), но и изменчивостью хвостов семейства притягивающих распределений.

3) Даже при наличии зависимости между процессами  $m(t)$  и  $\varepsilon(t)$  их экстремумы независимы, как это теоретически показано в работе [19].

**Выводы**

1) Дисперсия колебаний уровня во многих прибрежных пунктах определяется приливными колебаниями (до 80–90%) и только в отдельных пунктах существенны синоптические возмущения.

2) Оценки амплитуд и фаз гармоник приливных колебаний уровня, вычисленные по натурным данным, подвержены выборочной изменчивости, зависящей аддитивно от синоптических возмущений и модуляционно от годовой ритмики гидрофизических процессов неприливногo происхождения. Кроме того, при наличии пропусков ежеhourных отсчетов возникает дополнительная погрешность, зависящая от количества пропусков и их

распределения. Дисперсия этих оценок может быть определена как по регрессионной модели (4), в предположении, что  $\varepsilon(t)$  – стационарный временной ряд, так и по модели ППКСП (4).

3) Дисперсия внутренних приливных волн не превышает 10% общей дисперсии флуктуаций температуры  $T$ , солености  $S$  и плотности  $\rho$  морской воды, а для скорости течений  $\vec{V}$  может достигать 70% общей дисперсии.

4) На приливных частотах спектров внутренних волн остаются пики даже после исключения методами гармонического анализа из реализации регулярных приливных колебаний, т. е. из-за нелинейного взаимодействия приливных и неприливных составляющих внутренних волн модель ППКСП (1) более предпочтительна, чем модель регрессии (4).

Статья подготовлена при поддержке РФФИ – Грант № 02-05-64442

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Драган Я. П., Рожков В. А., Яворский И. Н. Методы вероятностного анализа ритмики океанологических процессов. – Л., Гидрометеиздат, 1987. – 319 с.
2. Башмачников В. Л., Иванов Н. Е., Рожков В. А. Методы анализа приливных движений в морях. //Навигация и гидрография. – 2002. – № 13. – С. 151–169.
3. Баяндин В. О. Приливы как периодически коррелированный случайный процесс //Морской гидрофизический журнал. –1990. – № 6. С. 28–34.
4. Башмачников И. Л., Бухановский А. В., Иванов Н. Е., Рожков В. А., Фукс В. Р. Приливы как полипериодически коррелированный процесс // 4-ая Российская научно-техническая конференция «Современное состояние, проблемы навигации и океанографии» («НО-2001»), СПб. 6–9 июня 2001 г. – Сб. докл. – Т. 2. – С. 175–179.
5. Захарчук Е. А., Иванов Н. Е., Рожков В. А., Фукс В. Р. Изменчивость приливо-отливных явлений.// Тез. докл. на конф. «Информационные ресурсы об океане – актуальные проблемы формирования, распространения и использования в научных исследованиях и в морской деятельности» (ОИР 2002), 8–10 октября 2002 г. – ВНИИГМИ-МЦД, Обнинск. – С. 191–192
6. Герман В. Ч., Левиков С. П. Вероятностный анализ и моделирование уровня моря. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 231 с.
7. Прошутинский А. Ю. Колебания уровня Северного Ледовитого океана. – СПб.: Гидрометеоздат, 1993. – 216 с.
8. Клеванцов Ю. П., Рожков В. А., Чернышева Е. С. Приливы, сейши и инерционные течения в Балтийском море. – Тр. ГОИН, 2000, вып. 207. – С. 70–80.
9. Bayandin V. O., Rozkov V. A.. Evaluation of tidal fluctuation characteristics in the Gulf of Finland. //Proc. of the 19 conf. of the Baltic oceanogr. – Vol. 1. – Sopot, Poland, 1994. – P. 364–372.
10. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. Книга 1. – М.: Финансы и статистика, 1986. – 366 с.
11. Войнов Г. Н. Приливные явления в Карском море. – СПб.: Изд-во РГО, 1999. – 110 с.
12. Войнов Г. Н. Приливные явления и методология их исследований в шельфовой зоне Арктических морей. Автореф. дисс. на соискание ст. д. географ. н.. – СПб, 2003. – 45 с.
13. Клеванцов Ю. П., Михайлов А. Е., Рожков В. А. Оценка вероятностных характеристик по неэквидистантным временным рядам. В сб. Исследование океанографических процессов в тропической зоне Тихого океана. – М.: Гидрометеиздат, 1989. – С. 191–192.
14. Морозов Е. Г. Океанские внутренние волны. –М. Наука, 1985. – 150 с.
15. Поверхностные и внутренние волны в арктических морях. – СПб.: Гидрометеиздат, 2002. – 363 с.
16. Захарчук Е. А., Петушков С. А. Низкочастотные бароклинные волны Кельвина в районе материкового склона Новосибирских островов. // Океанология. – 2003. Т. 43. – № 5. С. 805–817.
17. Бельшев А. П., Клеванцов Ю. А., Рожков В. А. Вероятностный анализ морских течений. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 264 с.
18. Сустанов Ю. В., Клеванцов Ю. П. Внутренние волны как нестационарный вероятностный процесс. – Тр.ГОИН, 1974. – Вып. 122. – С. 22–37.
19. Лидбеттер М., Ротсен Х., Линдгрэн Г. Экстремумы случайных последовательностей и процессов. – М., Мир, 1989. – 391 с.

Ivanov N.E. (SPbO GOIN), Rozhkov V.A.(SPb GU)

Methods of Analysis of Tidal Motions in the Seas

*The variancy of tidal rythmics is interpreted as the result of nonlinear joint influence of gravitational tide-generating force and the hydrometeorological processes of nontidal origin on the water dynamics. Examples of the fluctuation analysis of sea level, current velocity, and internal waves of tidal origin by the methods of polyperiodically correlated random scalar and vectorial processes are discussed.*

ГРНТИ 37.21.03

**МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ВОЛНОВОГО РЕЖИМА НА ОСНОВЕ БАЗЫ СУДОВЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НИЦ ГНИНГИ МО РФ**

**С. И. МАСТРЮКОВ,  
М. Н. БОБКОВА**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*В статье приведены результаты расчета волнового режима в Баренцевом море на основе непосредственной обработки данных наблюдений за волнением и косвенного расчета по судовым наблюдениям за ветром. Изложена методика расчета характеристик волнового режима, выполнен анализ полученных результатов. Сделан вывод о возможности использования характеристик волнового режима, полученных с использованием изложенного метода в гидрометеорологических пособиях.*

Для ряда прикладных задач требуются сведения о волновом режиме морских акваторий. Перед авторами настоящей работы стояла задача расчета характеристик волнового режима Баренцева моря.

Оценка волнового режима может быть выполнена двумя основными способами. Первый заключается в непосредственной обработке данных наблюдений за волнением. Второй – в косвенной оценке волнового режима путем расчета высот волн по данным о ветровом режиме. При этом в качестве исходных данных о ветровом режиме могут быть использованы результаты реанализа полей давления (ветра) или обобщенные сведения о повторяемости ветра по градациям скорости и направления. В качестве методов расчета параметров волн также могут использоваться различные методы [1–4].

НИЦ ГНИНГИ МО РФ располагает базой судовых метеорологических наблюдений, формируемой во Всероссийском научно-исследовательском институте гидрометеорологической информации – Мировом центре данных (ВНИИГМИ-МЦД) по данным оперативных судовых наблюдений. Для расчета волнового режима первым способом была предварительно сформирована база данных судовых наблюдений за характеристиками ветра и волнения по Баренцеву морю за период 1965–2001 гг., а также рассчитана высота смешанного волнения, представляющая собой корень из суммы квадратов высот ветровых волн и волн зыби 1-ой и 2-ой систем. Анализ сформированной базы данных показал:

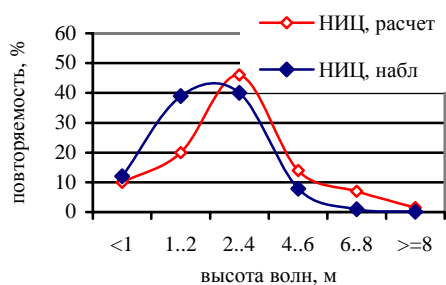
- число наблюдений за параметрами волн примерно в 5 раз меньше, чем за скоростью и направлением ветра;
- отсутствие наблюдений за волнением кодируется как «пусто» и как «0» в поле высоты волн;
- штиль так же кодируется как «0».

Эти обстоятельства приводят к снижению представительности данных наблюдений.

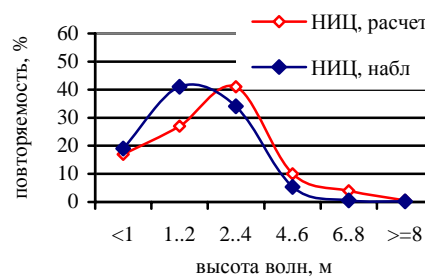
Сравнение результатов расчета повторяемости высот волн, полученных путем непосредственной обработки данных судовых наблюдений с опубликованными сведениями о волновом режиме Баренцева моря [5–8] и результатами косвенного расчета, методика которого изложена ниже, показало явное смещение расчетного максимума повторяемости в сторону малых высот волн.

В качестве примера на рис. 1. приведена повторяемость высот волн 3%-ой обеспеченности, полученная путем обработки данных непосредственных судовых наблюдений и путем косвенного расчета для 2,5-градусного квадрата с центром в точке 73,75° с. ш., 32,25° в. д.).

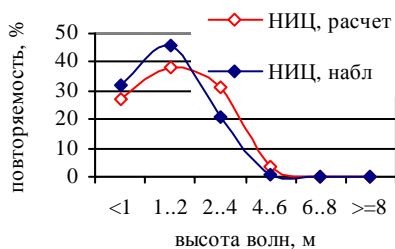
Январь



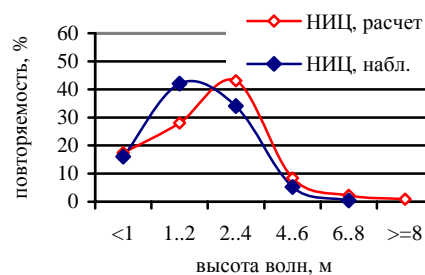
Апрель



Июль



Октябрь



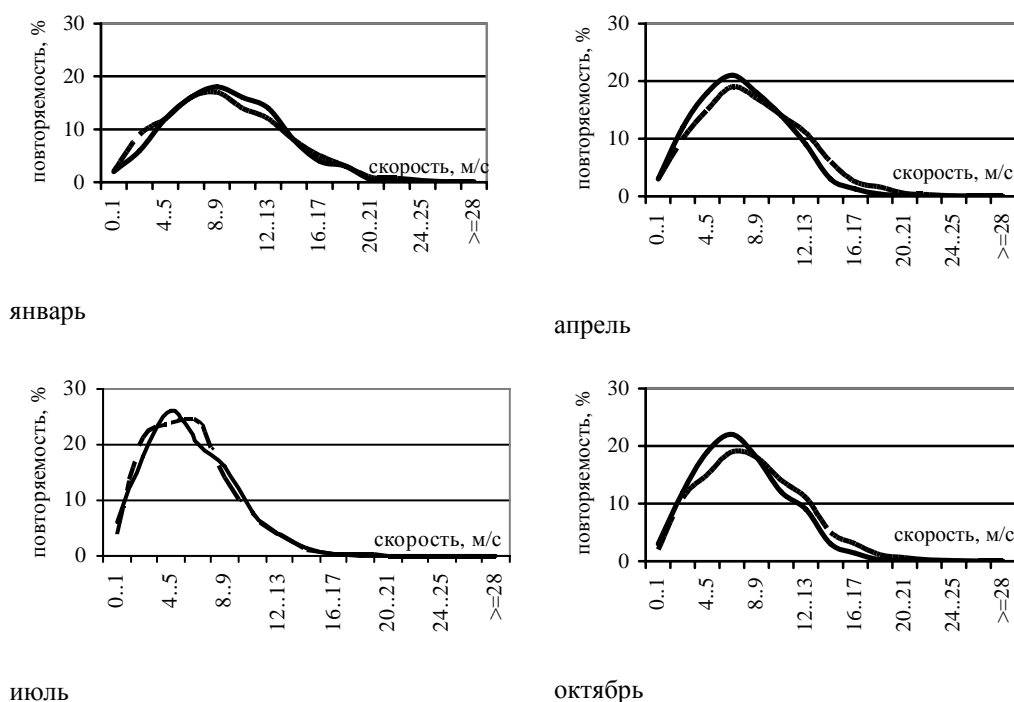
**Рис. 1. Повторяемость высот волн 3%-ой обеспеченности, полученная путем обработки данных судовых наблюдений и путем косвенного расчета**

Смещение, полученное путем непосредственной обработки данных наблюдений за волнением, видимо, вызвано тем, что наибольшее число судовых наблюдений за волнением выполняется при благоприятных волновых условиях.

Судовые наблюдения за скоростью ветра производятся в 5 раз чаще, чем за волнением, но распределение их в пространстве крайне неравномерно. В районах, свободных от льда, число наблюдений попадающих в 2,5-градусный квадрат меняется от нескольких десятков в северных и северо-восточных районах моря до нескольких десятков тысяч в южных и юго-западных. В квадратах, куда попадало менее 300 наблюдений, расчет ветрового и волнового режима не выполнялся.

Сравнение результатов расчета повторяемости скорости ветра с опубликованными сведениями о ветровом режиме, в том числе по береговым станциям [5, 7], не выявило заметного смещения расчетного максимума повторяемости в сторону малых значений скорости ветра.

На рис. 2 приведена повторяемость скорости ветра по сезонам по данным Справочника [1] и по данным базы судовых наблюдений НИЦ.



**Рис. 2. Повторяемость скорости ветра по сезонам по данным Справочника [5] (район №2, сплошная линия) и по данным базы судовых наблюдений НИЦ (2.5-градусный квадрат с центром в точке 73,75° с. ш., 32,25° в. д., пунктир)**

В связи с неудачной попыткой расчета волнового режима путем непосредственной обработки данных судовых наблюдений за волнением было принято решение об использовании косвенного способа расчета волнового режима. При этом в качестве исходных использованы данные судовых наблюдений за характеристиками ветра из базы данных НИЦ. В качестве метода расчета характеристик волнения был использован наиболее распространенный полуэмпирический метод расчета. Сравнение этого метода

с одной из наиболее точных и современных моделей волнения [3], выполненное в работе [9], выявило их высокую степень согласованности.

Полуэмпирический метод расчета волнения был разработан в работах, выполненных Государственным океанографическим институтом и Союзморниипроектом в 1969 г. Тогда было разработано Руководство по расчету параметров ветровых волн, на основе которого позже был разработан Строительные нормы и правила [8].

Полученная в результате этих работ обобщенная зависимость для расчета средней высоты волны  $\bar{h}$  в зависимости от скорости ветра  $V_w$ , разгона  $L$  и глубины водоема  $d$  имеет вид

$$\frac{g\bar{h}}{V_w^2} = 0,16 \{ 1 - [1 + 6,0 * 10^{-3} (gL/V_w^2)^{1/2}]^2 \}^*,$$

$$* \text{th} [0,625 (gd/V_w^2)^{0,8} \{ 1 - [1 + 6,0 * 10^{-3} (gL/V_w^2)^{1/2}]^2 \}^{-1}], \quad (1)$$

где

$\bar{h}$  – средняя высота ветрового волнения, м;

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

$V_w$  – скорость ветра, м/с;

$L$  – длина разгона, м;

$d$  – глубина места, м.

Величина  $gL/V_w^2$  называется безразмерным разгоном. Безразмерное время действия ветра  $gt/V_w$  и безразмерный разгон связаны между собой соотношением

$$gt/V_w = 17,3 (gL/V_w^2)^{4/5}, \quad (2)$$

где  $t$  – продолжительность действия ветра заданного направления и скорости, с.

Выражение (2) позволяет использовать обобщенную зависимость (1) для расчета средней высоты волны в зависимости от продолжительности действия ветра.

Расчет средней высоты ветрового волнения выполняется по формуле (1) дважды, в первом случае в качестве аргумента используется безразмерный разгон, во втором – безразмерное время действия ветра с использованием связи (2). Меньшее значение высот волн принимается за искомое. Если меньшей является высота волн, рассчитанная по безразмерному времени действия ветра, это означает, что волнение неустановившееся, и его высота определяется не разгоном, а временем действия ветра. В противном случае высота волнения определяется разгоном.



Расчет среднего периода  $T$  ветровых волн производится [10] по формуле

$$\frac{g\bar{T}}{V_w} = 2\pi * 3,1 \left( \frac{g\bar{h}}{V_w^2} \right)^{0,625}. \quad (3)$$

Данная зависимость определяет взаимосвязь между средней высотой, средним периодом ветровых волн и скоростью ветра на высоте 10 м.

Расчет средней длины осуществляется по формуле

$$\bar{\lambda}_d = g\bar{T}^2 / 2\pi. \quad (4)$$

Для расчета высоты волнения заданной обеспеченности используется [8] выражение

$$h_{i\%} = \bar{h} \cdot K_{hi\%}, \quad (5)$$

$$\text{где } K_{hi\%} = \left\{ \frac{4}{\pi} (1 + 0,4h_n) [-\ln i + 4,605] \right\}^{\frac{1-h_n}{2}}, \quad (6)$$

$$h_n = \bar{h} / d.$$

В настоящей работе расчет высот волн 3%-ой обеспеченности выполнялся по 8 румбам. Длина разгона по каждому из румбов определялась для каждой расчетной точки от генерализированной в секторе 22, 5° береговой черты или среднемесячного положения кромки ледяного покрова. При этом, учитывая особенности поля ветра, максимальная длина разгона была ограничена расстоянием 1000 км. Глубина места принималась равной характерной глубине в расчетном квадрате, но не менее 30 м.

Ранее при использовании изложенного метода для расчета волнового режима непрерывная продолжительность действия ветра по каждому из направлений не ограничивалась, и высота волн определялась лишь величинами скорости ветра, длины разгона и глубины [11]. В настоящей работе была учтена непрерывная продолжительность скорости ветра по заданному направлению.

Для оценки непрерывной продолжительности штормовых условий  $\tau$  (в течение одного шторма) использована ее эмпирическая связь с интегральной повторяемостью штормовых условий  $F(x)$ , полученная для условий Баренцева моря [10]:

$$\tau = (21,8 / (-\ln F(x))^{0,5}) - 4,$$

где  $\tau$  – средняя непрерывная продолжительность шторма, часы;

$F(x)$  – повторяемость штормов, доли единицы.

Коэффициент корреляции приведенной связи составляет 0,92, а среднеквадратическая погрешность расчета не превышает 1,8 часа.

В нашем случае повторяемость штормов  $F(x)$  соответствует вероятности превышения заданной скорости ветра по заданному направлению.

При повторяемости заданной скорости ветра по заданному направлению менее 4%, непрерывная продолжительность ветра принималась равной 10

часам, а при повторяемости свыше 20% – 24 часам. Таким образом, комбинированная функция времени действия ветра в зависимости от обеспеченности скорости ветра по заданному направлению имеет вид, представленный на рис. 3.

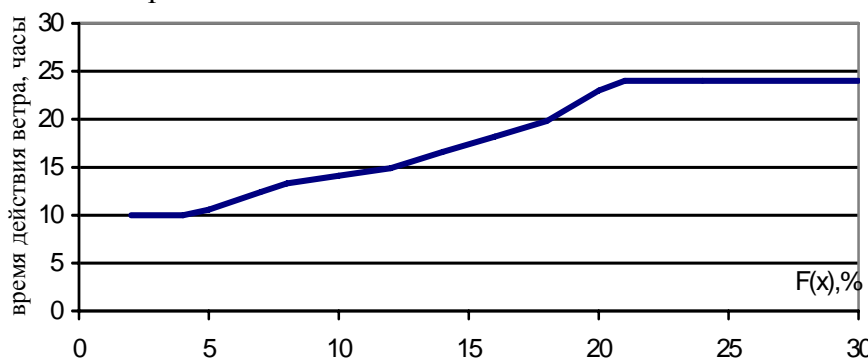


Рис. 3. Комбинированная функция времени действия ветра в зависимости от обеспеченности скорости ветра по заданному направлению  $F(x)$

Технология расчета характеристик волнового режима заключается в использовании возможностей средств Системы управления базами данных (СУБД) «Access» и нескольких программных модулей.

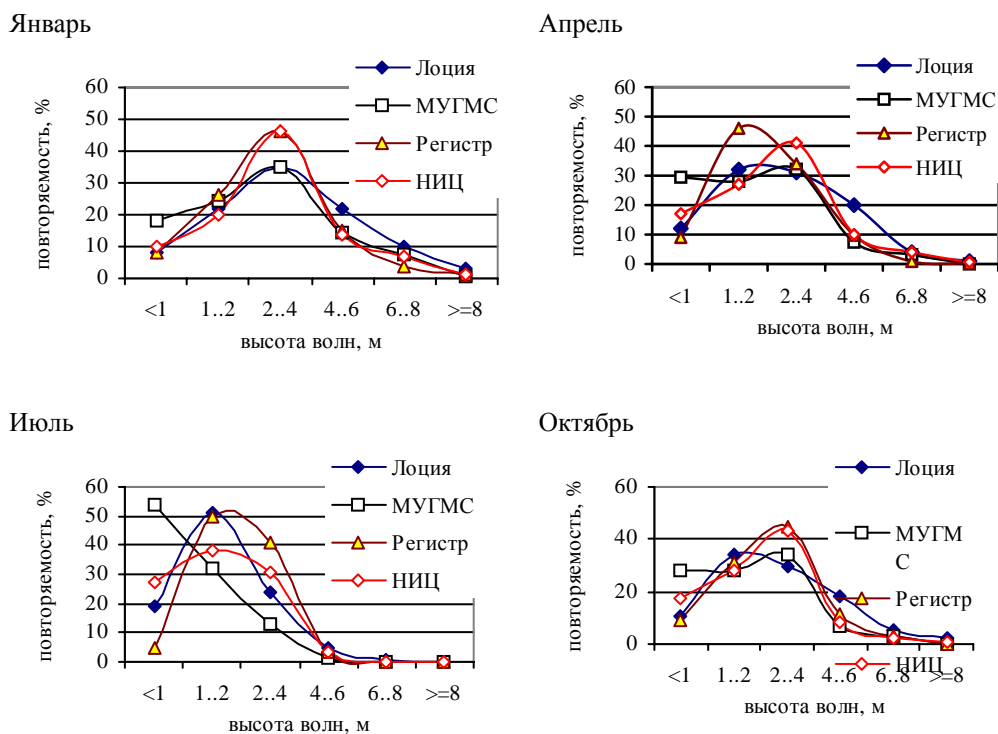
На первом этапе средствами СУБД осуществляется выборка данных по заданному району в заданный период, их группировка по скорости и направлению ветра и подсчет числа случаев со скоростью ветра в диапазоне 0–40 м/с по градациям через 1 м/с.

На втором этапе выполняется расчет повторяемости скорости ветра по заданным градациям скорости ветра для 8 румбов. В нашем случае градации скорости ветра задавались через каждые 3 м/с.

На третьем этапе выполняется расчет высоты волнения заданной обеспеченности для центральных значений заданных градаций скорости ветра для каждого из 8 направлений ветра, после чего в зависимости от величины расчетной высоты волнения по данным о повторяемости ветра заданных градаций скорости и направления ветра производится расчет повторяемости заданных градаций высоты волнения по заданным направлениям и интегральная повторяемость волнения по градациям высоты.

Сравнительный анализ полученных результатов косвенного расчета характеристик волнового режима с опубликованными сведениями выявил их высокую степень согласованности. Следует отметить, что опубликованные сведения о режиме волнения получены путем обобщения по различным и не совпадающим между собой районам Баренцева моря, поэтому отличия характеристик режима связаны не только с различными методами их расчета, но и с отличиями в расположении районов и в периодах обобщения и выборки. Полученные результаты расчета интегральной повторяемости волнения по градациям высоты для 2,5-градусного квадрата с центром в точке

73,75° с. ш., 32,25° в. д., а также опубликованные данные по соответствующим районам приведены на рис. 4.



**Рис. 4. Повторяемость высот волн 3% обеспеченности, полученная путем косвенного расчета (НИЦ) и по опубликованным сведениям МУГМС[11], Регистра [5], Лоции [6]**

Анализируя полученные результаты по отношению к достаточно авторитетному Справочному пособию, изданному Регистром СССР [5], можно отметить следующие закономерности.

Повторяемость волн высотой до 1 м во всех остальных источниках выше, чем в Справочнике Регистра. В Лоции в среднем за год она выше на 5%, в Справочнике МУГМС – на 25%, по результатам НИЦ – на 10%. Можно предположить, что повторяемость этой градации в Справочнике Регистра на 5–10% занижена, а в Справочнике МУГМС, напротив, завышена. В этой градации результаты расчета по данным НИЦ наиболее близки данным Лоции и Справочника Регистра.

Повторяемость волн высотой 1–2 м по отношению к данным Справочника Регистра [5], напротив, везде ниже. В Лоции в среднем за год она ниже на 4%, в Справочнике МУГМС и по данным НИЦ – на 10%. Вероятность высот волн до 2 м, по данным Лоции, Справочника Регистра и результатам расчета НИЦ, в среднем за год совпадает с точностью до 1%. По данным Справочника МУГМС она завышена в среднем за год на 15%.

Повторяемость наиболее часто отмечаемых волн высотой 2–4 м по отношению к данным Справочника Регистра в Лоции и Справочнике МУГМС ниже в среднем за год на 10–13%. Результаты расчета, полученные по данным НИЦ, в этом диапазоне высот волн практически соответствуют данным Регистра.

Вероятность волн высотой 4–6 м по отношению к данным Справочника Регистра в Лоции выше в среднем за год на 6%, а в Справочнике МУГМС ниже в среднем за год на 2,5%. Результаты расчета, полученные по данным НИЦ в этом диапазоне высот волн, также практически соответствуют данным Регистра.

В целом можно отметить, что по отношению к данным Справочника Регистра [1], в Лоции [6] вероятность волн высотой от 4 м и более заметно завышена. В Справочнике МУГМС, напротив, на 10–20% завышена вероятность волнения до 1 м, и на 10% занижена повторяемость наиболее вероятных волн в диапазоне 1–4 м. Суммарная повторяемость волнения высотой до 2 м, а также повторяемость высот волн во всех остальных диапазонах высот волн, по данным расчетов НИЦ и данным Справочника Регистра, согласованы между собой и наиболее близки.

Итак, полученные в рамках настоящей работы оценки повторяемости высот волн в целом согласованы с данными Справочника [1], а в диапазоне высот свыше 2 м не противоречат данным, опубликованным в Лоции [6] и Справочнике МУГМС [11].

Несмотря на то, что расчет характеристик волнового режима выполнен на сетке с большим шагом (2,5 градусов по долготе), эти данные достаточно надежно характеризуют пространственную структуру характеристик волнового режима. В качестве примера на рис. 5 приведены схемы вероятности волнения высотой свыше 4 м, полученные на основе изложенной методики. В качестве возможного уточнения методики можно рекомендовать снижение задаваемых градаций скорости ветра до 1 м/с, что уменьшит влияние нелинейности в зависимости высоты волнения от скорости ветра.

Для более точного расчета пространственной структуры характеристик волнового режима целесообразно, не меняя выбранного масштаба обобщения сведений о ветре (2,5 градуса по широте), уменьшить шаг сетки для расчета волнения, и, соответственно, набор разгонов и глубин места.

Исходя из проведенного анализа изложенную методику расчета характеристик волнового режима по данным базы судовых метеорологических наблюдений НИЦ можно рекомендовать для использования при создании справочных пособий по волновому режиму морских акваторий.

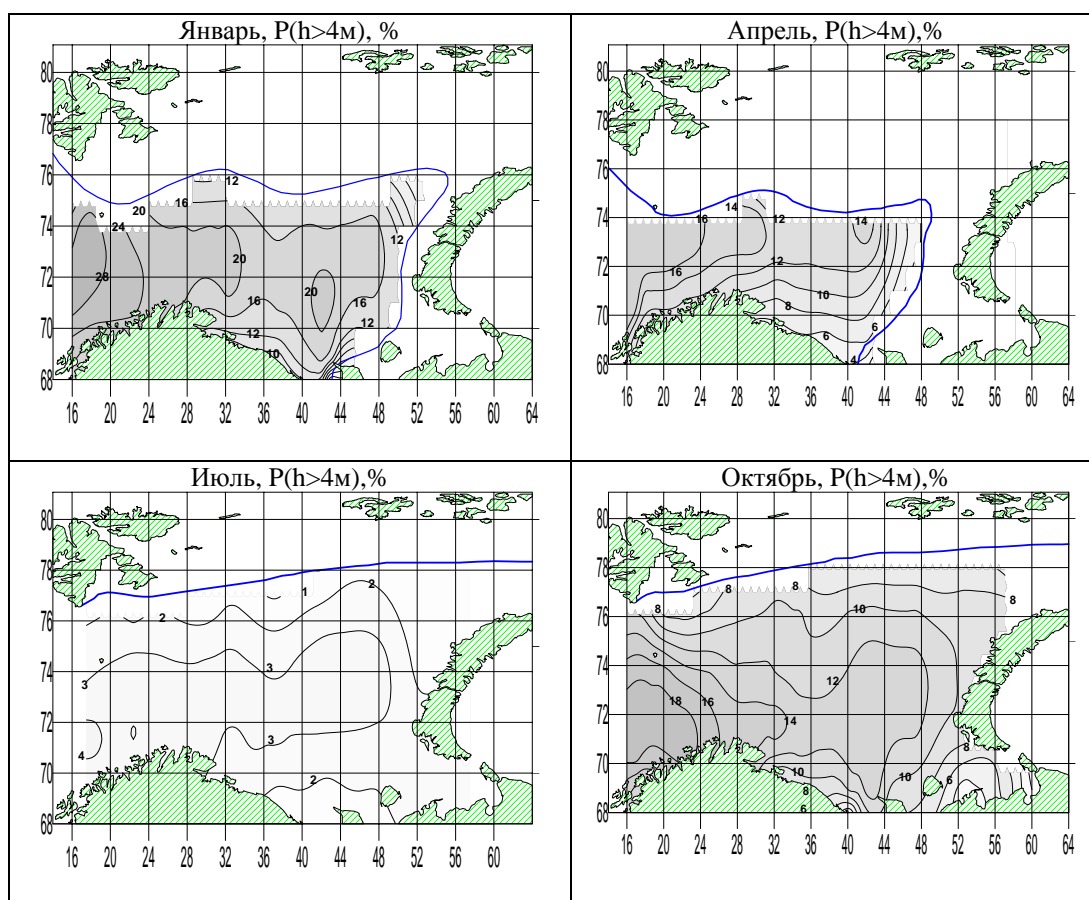


Рис. 5. Расчетная вероятность волнения с высотой волн свыше 4 м

ЛИТЕРАТУРА

1. Давидан И. Н., Лавренов И. В., Пасечник Т. А., и др. Математическая модель и метод оперативных расчетов расчетов ветрового волнения на морях СССР // Метеорология и гидрология. –1988. – N 11. – С. 81–90.
2. Давидан И. Н., Лопатухин Л. И., Рожков В. А. Ветровое волнение в Мировом океане. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 256 с.
3. Лавренов И. В. Математическое моделирование ветрового волнения в пространственно-неоднородном океане. – СПб.: Гидрометеиздат, 1998. – 500 с.
4. Проблемы исследования и математического моделирования ветрового волнения. (под ред. Давидана И.Н.). – СПб.: Гидрометеиздат, 1995. – 465 с.
5. Ветер и волны в океанах и морях. Справочные данные. – Л.: Транспорт, 1974. – С. 300.
6. Лоция Баренцева моря. Ч.2. – СПб.: Изд-во ГУНиО МО, адм. №1112, 1983. – 280 с.
7. Проект «Моря СССР». Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. – Т. 1, Баренцево море. Вып. 1, Гидрометеорологические условия. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 236 с.
8. Строительные нормы и правила (СНиП). Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения. – М.: Стройиздат, 1983. – 264 с.
9. Мастрюков С. И. О применимости полуэмпирического метода расчета характеристик ветрового волнения по данным о локальной скорости ветра // Навигация и гидрография. – 2004. – №18. – С. 68–74
10. Зыкова Г. Г. Непрерывная продолжительность ветра на Кольском полуострове по наблюдениям различной дискретности // Тр. ААНИИ. – 1980. – Т. 348. – С. 99–105.
11. Режимные сведения о волнении Баренцева, Норвежского и Гренландского морей. Мурманск: Изд-во МУГМС, 1965. – 110 с.

**S. I. Mastryukov, M. N. Bobkova (GNINGI, RF MoD)**

Methods and Results of the Wave Regime Calculation, Using the Ship Meteorological Observations Database of the Research Centre, GNINGI, RF MoD

*Results of wave regime calculation in the Barents Sea, based on the direct processing of the wave observation data and indirect calculation using the ship wind observations, are presented.*

*The methods used to calculate the wave regime characteristics are set forth; the results obtained have been analysed. The conclusion is drawn about the possibility to use the wave regime characteristics obtained by means of the presented method in guides to hydrometeorology.*

ГРНТИ 551.508.9

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ  
СКОРОСТИ ЗВУКА С ЭХОЛОТОВ**

**Ю. Н. ЖУКОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Предложен подход к решению задачи определения вертикального распределения скорости звука в море с помощью звуковых локаторов (эхолотов). Этот подход состоит в измерении отраженных сигналов от слоев неоднородности в морской воде с последующим численным решением обратной задачи рассеяния.*

Важной задачей гидрографии, в том числе в военно-морской области, является определение вертикального распределения скорости звука (ВРСЗ) в воде. В настоящее время для определения ВРСЗ применяют либо прямые методы, использующие приборы для измерения точного значения скорости звука в воде, либо косвенные методы, использующие приборы для измерения температуры, солености, электропроводности и других параметров морской воды, а также специальные методы статистической обработки океанографических массивов наблюдений. При обеспечении ряда практических задач в реальном времени эти методы оказываются недостаточно эффективными, так как не обеспечивают достаточной пространственно-временной плотности измерений. В то же время современные гидрографические работы (в особенности работы с использованием многолучевых эхолотов) и современные военно-морские задачи (например задача скрытности ПЛ или задача поиска ПЛ) требуют подробного знания ВРСЗ в текущий момент времени в определенной пространственной области.

Для решения задачи текущего локального определения ВРСЗ предлагается воспользоваться звуковыми локаторами (специализированными под эту задачу эхолотами). Основанием для этого служит наличие существенных неоднородностей в вертикальном распределении физических параметров среды на всех пространственных масштабах. При прохождении в вертикальном направлении от поверхности до дна звуковой импульс,

излученный эхолотом, частично отражается на внутренних неоднородностях водной среды, и эти отраженные сигналы могут регистрироваться эхолотом. Действительно, детально измеренное ВРСЗ представляет собой сильно изрезанную кривую с «градиентами» увеличивающимися с уменьшением масштаба. Это соответствует термодинамическим закономерностям о наличии больших флуктуаций плотности в малых пространственных областях. Звуковые волны с длиной порядка размера областей флуктуаций должны интенсивно рассеиваться на неоднородностях при своем распространении в морской среде. Таким образом, после момента излучения звукового импульса до момента приема сигнала, отраженного от дна, в эхолот поступают сигналы, отраженные от неоднородностей среды. В результате может быть получен временной ряд плотности звуковой энергии, рассеянной (отраженной) на внутренних неоднородностях. Задача сводится к нахождению метода преобразования зарегистрированного временного ряда рассеянной звуковой энергии в ВРСЗ, так как именно оно определяет условия распространения звуковой энергии в морской среде.

В приведенной выше постановке задача определения ВРСЗ по измеренному временному ряду звуковой энергии, отраженной от неоднородностей морской среды, относится к обширному классу математических задач, который носит название обратной задачи рассеяния и рассматривается в квантовой механике, сейсмике и различных областях математической физики (например в теории солитонов).

Вертикальное распространение звуковых волн, возбужденных звуковым локатором, можно представить как распространение продольных волн в неоднородной стационарной морской среде, когда длина волны много меньше масштаба неоднородности среды. В таком случае, этот процесс можно описать одномерным волновым уравнением

$$\rho(z) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{\partial}{\partial z} \left( E(z) \frac{\partial u}{\partial z} \right) = 0 \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность воды,  $E$  – параметр упругости,  $u(z, t)$  – поле продольных волн на глубине  $z$  (направление от поверхности ко дну) в момент времени  $t$ . Это уравнение для звуковых волн, распространяющихся в среде, которая неоднородна при  $z > 0$  и однородна при  $z \leq 0$ , так что  $\rho$  и  $E$  при  $z \leq 0$  равны константам. Скорость звука в воде  $C(z)$  является функцией от  $\rho$  и  $E$ .

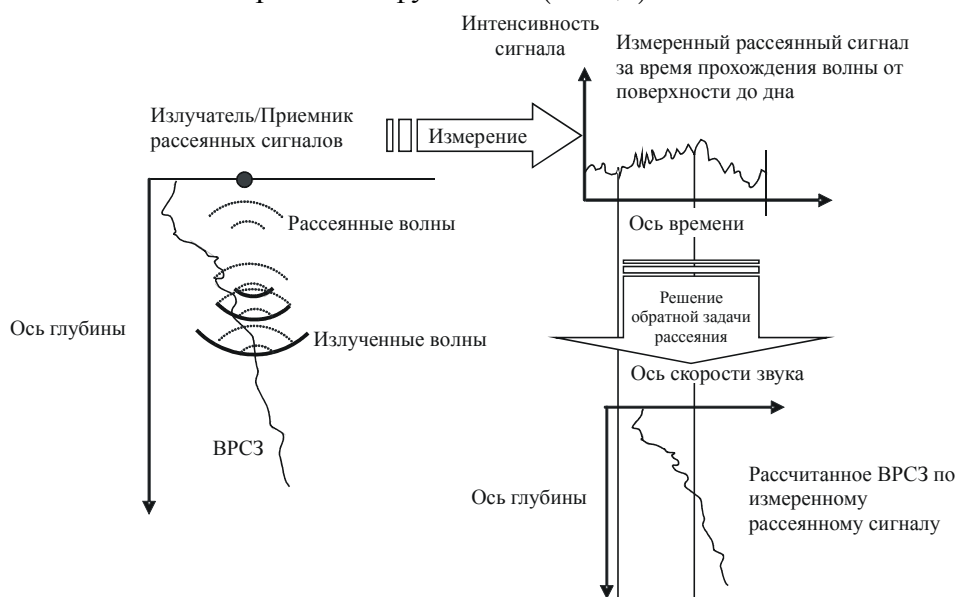
Решение задачи определения ВРСЗ с помощью звуковых локаторов осуществляется в два этапа. Первый этап – технический. Он состоит в непрерывной регистрации всех проходящих сигналов, рассеянных от неоднородностей в морской среде, с момента посылки звукового импульса звуковым локатором до момента прихода отраженного от дна сигнала. На этом этапе получают эмпирическую временную функцию  $u(z=0, t)$ . Второй этап – численная обработка, которая состоит в решении обратной задачи

рассеяния для уравнения (1): по функции  $u(z=0, t)$  определяются значения  $C(z)$  или, что аналогично,  $\rho(z)$  и  $E(z)$ .

В неформальном виде рассматриваемая задача и предлагаемая процедура ее решения представлены на рисунке.

Математиками разработано несколько методов решения обратной задачи рассеяния. Классическим исторически первым методом решения этой задачи является метод Вентцеля, Крамерса и Бриллюэна (ВБК-метод), который разработан в 1920-х годах для решения задач квантовой механики. Его описание можно найти в работе Бреховских [1]. Метод заключается в переходе от уравнения (1) с помощью Фурье преобразования к обыкновенному дифференциальному уравнению Гельмгольца и нахождению решения последнего в виде асимптотического ряда.

Более современные методы решения обратной задачи рассеяния используют переход от одномерного волнового уравнения (1) к одномерному уравнению типа уравнения Шредингера [2]. В свою очередь решение уравнения Шредингера проводится с помощью решения интегрального уравнения Марченко [2]. Решение интегрального уравнения позволяет оценить ВРСЗ по эмпирической функции  $u(z=0, t)$ .



**Схематическое представление процесса определения ВРСЗ с применением звуковых локаторов**

Основная проблема предлагаемого подхода к решению задачи определения ВРСЗ с помощью звуковых локаторов состоит в том, что все методы решения обратной задачи рассеяния являются некорректными по Адамару вычислительными задачами. Это значит, что численное решение обратной задачи неустойчиво, т. е. малые ошибки в  $u(z=0, t)$  при том, что



наличие шума в  $u(z=0, t)$  неизбежно может привести к значениям  $C(z)$ , как угодно сильно отличающимся от истинного. В нашем случае эта неустойчивость решения связана с необходимостью численного обращения больших зашумленных матриц. Разрешение этой проблемы связано с использованием регуляризирующих алгоритмов Тихонова [3].

Таким образом, реализация предложенного подхода предусматривает решение двух проблем в следующем порядке:

1. Определение необходимых технических параметров функционирования эхолотов, специализированных на определении ВРСЗ, и возможных погрешностей измерения отраженных сигналов.

2. Выбор математических методов решения обратной задачи рассеяния с учетом погрешностей измерения и разработка специального алгоритма решения.

3. Разработка опытного экземпляра специализированного эхолота со встроенной системой вычисления ВРСЗ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бреховских Л. М. Волны в слоистых средах. – М: Наука, 1973. – 475 с.
2. Додд Р., Эйлбек Дж., Гиббон Дж., Моррис Х. Солитоны и нелинейные волновые уравнения. – М: Мир, 1988. – 694 с.
3. Тихонов А. Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. – М: Наука, 1979. – 288 с.

**Y. N. Zhukov (GNINGI, RF MoD)**

#### Determination of the Vertical Sound Velocity Distribution by Echo Sounders

*The approach to solving the problem of determination of the vertical sound velocity distribution at sea by means of sound locators (echo sounders) is proposed. This approach consists in measurement of signals reflected from the heterogeneity layers in the sea water, followed by the numerical solution of the inverse scattering problem.*

ГРНТИ 78.21.39.17.17.17

#### ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОПРЯЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ОБ ОБСТАНОВКЕ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ

**А. Б. ОПАРИН,  
А. М. АБРАМОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Рассматриваются основные подходы к созданию единого информационного пространства страны на основе интеграции двух глобальных информационных систем – Единой государственной системы освещения надводной и подводной обстановки (ЕГСОНПО) и Единой системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО).*

Рост требований к оперативности и качеству обеспечения разнообразной морской деятельности ведет к необходимости создания и совершенствования различных ведомственных систем сбора и обработки информации об обстановке на море. Морская доктрина Российской Федерации определяет обеспечение всех уровней государственных управленческих структур оперативной информацией об обстановке (в том числе и о природной среде) в

требуемых районах Мирового океана в качестве основы для принятия решений в области морской деятельности.

В то же время анализ ряда информационных систем, обеспечивающих морскую деятельность Российской Федерации, показывает, что функционирование указанных систем не в полной мере соответствует предъявляемым современным требованиям государственного уровня.

Так, отсутствие в настоящее время интеграции и аккумуляции информации приводит к :

- дублированию различными министерствами и ведомствами работ по созданию элементов, комплексов и систем сбора и анализа информации;
- распылению государственных ресурсов, выделяемых из бюджета страны на работы по получению и управлению информацией о морской обстановке;
- низкой эффективности использования данных и снижению качества информационного обслуживания потребителей, осуществляющих морскую деятельность;
- усложнению нормативно-правовых условий и организационно-функциональной структуры ведения и использования государственных информационных ресурсов об обстановке в Мировом океане.

Выходом из создавшейся ситуации является развитие процессов интеграции информации, принимаемой для обработки и усвоения. Принципы интеграции информационных ресурсов независимо от ведомственной принадлежности и установление порядка формирования, защиты и использования информационных ресурсов в рамках единого информационного пространства положены в основу государственной политики и определены Концепцией формирования и развития единого информационного пространства Российской Федерации, одобренной решением Президента Российской Федерации 23 ноября 1995 г. №Пр-1694.

Таким образом, можно утверждать, что на современном этапе процесс создания единой межведомственной информационной технологии добывания, накопления, обработки и обеспечения государственных управленческих структур (потребителей) информацией о морской обстановке в Мировом океане имеет особую актуальность и является одной из ключевых проблем, стоящих в настоящее время перед Российской Федерацией. Решение данной проблемы возможно только путем интеграции существующих в стране информационных ресурсов, обеспечивающих морскую деятельность государства и технологических возможностей по их добыванию и актуализации.

В настоящей статье рассматриваются информационно-технические аспекты сопряжения двух глобальных информационных систем: Единой государственной системы освещения надводной и подводной обстановки (ЕГСОНПО), создаваемой на базе сил и средств Министерства обороны Российской Федерации, и Единой системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО), создаваемой Федеральной службой России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Эти системы

предназначены для обеспечения органов гражданского и военного управления координатно-объектовой информацией о местоположении и действиях морских объектов и о природной среде Мирового океана соответственно.

В составе ЕСИМО формируется Военный контур (ВК) системы, который представляет собой специализированную подсистему, поддерживающую информационное взаимодействие систем навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения Минобороны России с ЕСИМО в интересах обороны страны. Системообразующим элементом ВК ЕСИМО является Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт Минобороны России (ГНИНГИ МО РФ), который под руководством Главного управления навигации и океанографии МО РФ обосновывает и разрабатывает технической политику в области гидрометеорологического обеспечения обороны и экономики страны.

Таким образом, основной *целью* функционально-технологического взаимодействия ЕСИМО и ЕГСОНПО при обеспечении повседневной деятельности ВМФ является скоординированное и последовательное проведение работ по формированию единого информационного пространства путем интеграции информационных ресурсов указанных систем.

Взаимодействие ЕСИМО и ЕГСОНПО может производиться в следующих *основных направлениях*:

1) комплексное использование системами информации о местоположении объектов в море, добываемой различными источниками информации и накапливаемой в соответствующих центрах обработки информации;

2) комплексное использование регистрируемых различными средствами мониторинга (освещения) морской обстановки характеристик и аномалий широкого спектра физических полей.

3) комплексное использование результатов решения в центрах обработки информации систем широкого круга информационных и аналитических задач.

Анализ проектов Концепций создания и развития ЕГСОНПО и ЕСИМО, а также проектов Положений об этих системах показывает, что *основными принципами* их создания являются:

*Целостность и управляемость* информационного пространства, его независимость от ведомственной принадлежности.

*Интегрируемость разнородных источников* первичной информации через специализированные телекоммуникационные каналы (независимо от ведомственной принадлежности) в целях исключения дублирования и информационной избыточности, а также достижения своевременности и гибкости реагирования на изменение обстановки (ситуации).

*Достаточность разнородных источников* информации для получения целостной картины обстановки в Мировом океане.

*Интегрируемость ведомственных систем* в единую информационную систему федерального уровня.

*Формирование информационного пространства* в единой координатной системе для отображения морской обстановки и состояния среды.

*Единство требований* по сопряжению разнородных информационных источников, каналов приема и передачи информации, по режимам функционирования всех звеньев и уровней ЕГСОНПО и порядку их взаимодействия как с потребительскими, так и с информационными системами управленческого уровня.

Базируясь на представленных принципах создания системы и учитывая, что ядром ЕГСОНПО является система освещения обстановки (СОО) ВМФ, а в состав ЕСИМО входит военный контур, информационное взаимодействие двух систем в интересах обеспечения деятельности ВМФ целесообразно осуществлять между системообразующими элементами СОО ВМФ и ВК ЕСИМО.

На федеральном уровне системообразующим элементом ЕГСОНПО является Информационный центр ВМФ, который должен осуществлять управление ЕГСОНПО в рамках общих задач и организовывать взаимодействие с центрами управления систем других ведомств, в том числе с ВК ЕСИМО.

Техническое сопряжение ВК ЕСИМО с системообразующими элементами ЕГСОНПО целесообразно осуществлять через 373 Центр ВМФ. Непосредственное техническое сопряжение информационных центров ЕГСОНПО должно осуществляться с гидрометеорологическими центрами флотов соответствующего уровня.

**A. B. Oparin, A. M. Abramov (GNINGI, RF MoD)**

Functional-Technological Aspects of Interfacing the Information Systems on the World Ocean State

*The principal approaches to creation of the unified information space of the country, based on the integration of two global information systems – The Unified State System Dealing with Surface and Underwater Conditions and The Unified Information System on the World Ocean State – are considered.*

**СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ БАЗ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ В НИЦ ГНИНГИ МО РФ**

**В. Г. ЛЯМЗИНА,  
С. И. МАСТРЮКОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*В статье описаны основные принципы разработки и технология создания интегрированных баз океанографических данных по морям России. Проиллюстрировано их принципиальное отличие от климатических информационно-справочных систем. Показано, что формируемые интегрированные базы данных создают предпосылку для более полного реанализа исторических данных наблюдений.*

При решении множества прикладных и научных задач, связанных с изучением гидрометеорологического режима регионов, объективным анализом данных, а также моделированием процессов, происходящих в морских регионах, в качестве исходных используются климатические характеристики океанографических параметров. Получение достоверных значений этих характеристик и является одной из целей создания интегрированных баз данных по морским акваториям.

При этом в отличие от информационно-справочных систем интегрированные базы позволяют получить не только достоверные климатические характеристики и уточнять их по мере пополнения баз данных, но и выполнить реанализ гидрофизических полей, подготовить пользовательские массивы данных для специальных видов обработки гидрофизических полей.

Под интегрированной базой данных в НИЦ ГНИНГИ МО понимается база, сформированная под управлением систем управления базами данных (СУБД) и включающая в себя все доступные результаты непосредственных океанографических наблюдений и соответствующие программные модули расчета основных океанографических характеристик, а также визуализации полученных данных.

В НИЦ интегрированные базы формируются под управлением СУБД «ACCESS».

Основные принципы создания интегрированных баз океанографических данных включают:

- организацию данных по географическому принципу;
- использование всей доступной информации;
- простоту организации данных и легкий доступ к информации для обработки.

В качестве исходной при формировании интегрированных баз данных используется вся доступная океанографическая информации как российских, так и зарубежных экспедиционных исследований, а именно:

- магнитные диски с глубоководными гидрологическими наблюдениями, собранными НИЦ ГНИНГИ МО за период с 1988 по 1993 годы с судов ГС

ВМФ, полученными во время отечественных и зарубежных экспедиций в океаны и моря;

- информация баз данных глубоководных гидрологических наблюдений, созданных под управлением СУБД «ACCESS» по данным экспедиционных исследований судов ГС ВМФ за последние годы наблюдений в порейсовом виде;
- наблюдения над течениями, полученные НИЦ ГНИНГИ МО от экспедиций ГС ВМФ и гражданских организаций;
- CD-ROM с данными климатических атласов, изданных Мурманским морским биологическим институтом Российской Академии Наук (ММБИ РАН) и Арктическим и Антарктическим научно-исследовательским институтом (АНИИ) в рамках программ по исследованию климатической системы северных морей и содержащих российские и зарубежные наблюдаемые океанографические данные и сопутствующую информацию;
- *World Ocean Atlas – 1994 (NODC, 1994)*;
- *World Ocean Data Base Atlas – 1998 (NODC, 1998)*;
- информация океанографических центров данных Кореи и Японии, полученная из Тихоокеанского института океанологии (ТОИ) ДВО РАН;
- любая другая доступная информация

Данные содержат сведения о всех видах приборов, которыми выполнялись океанографические наблюдения в эти периоды (батометр Нансена, различные виды электронных и механических зондов и др.). Точность определения параметров при использовании различной методической и приборной базы в различные периоды времени приведена в многочисленных публикациях.

Технология создания интегрированной базы данных включает следующие основные этапы:

- формирование исходных таблиц интегрированных баз, перевод данных в единый формат базы (данные в разных источниках представлены в различных форматах, поэтому первым этапом обработки материала является перевод его в формат базы, при этом осуществляется перевод данных в принятые единицы измерения);
- синтаксический контроль данных (осуществляется контроль правильности форматов данных и проверка возрастания горизонтов наблюдений с глубиной, затем средствами СУБД «ACCESS» исключаются дубликаты станций);
- логический контроль данных (осуществляется контроль параметров на допустимые для заданной акватории Мирового океана пределы изменения параметров);
- интерполяция на стандартные горизонты (для решения широкого круга задач необходимо иметь данные, интерполированные на различные горизонты, поэтому данные наблюдений интерполируются на стандартные горизонты).

Структурно интегрированные базы океанографических данных включают два основных вида таблиц – со сведениями о станции (атрибуты станции – назначная часть) и с данными наблюдений. Помимо этого, базы включают таблицы словарей и кодификаторов, набор запросов, форм, программных модулей для создания, ведения и использования баз данных. Таблица назначной части включает поля однозначно идентифицирующие конкретные станции (ключевое поле, пространственно-временные характеристики, код судна, страна и др.). Кроме того, в таблицу включаются поля необходимые для дальнейшей работы с базой, например количество горизонтов на станции с наблюдениями за температурой и соленостью, количество горизонтов наблюдений за течениями, код прибора и др.

Таблица данных наблюдений включает ключевое поле, горизонт наблюдения и перечень наблюденных на горизонте параметров. В качестве ключевого поля связи между основными таблицами интегрированной базы данных является уникальный номер станции.

С учетом формата входной информации (таблиц) интегрированных баз океанографических данных средствами СУБД «ACCESS» разрабатываются спецификации для загрузки исходных данных в базу, либо разрабатываются модули преобразования исходной информации в формат базы данных. Форматы, включающие один тип записи, загружаются непосредственно при помощи спецификаций. Форматы, включающие два типа записи с логической структурой, предварительно обрабатываются программами переформатизации, которые разрабатываются для конкретных исходных данных (например данные World Ocean Atlas 1994, Washington (CD-ROM), данные океанографических центров Кореи, Японии).

Затем с помощью спецификаций данные загружаются в интегрированную базу в виде таблиц с информацией об объектах одного типа и подвергаются синтаксическому и логическому контролю.

Синтаксический контроль данных включает анализ загруженных таблиц на однородность форматов записи (имен полей, типов записей, форматов полей) в соответствии с принятой организацией данных в интегрированной базе. Так, например, годы наблюдений из двухзначных переводятся в четырехзначные величины, минуты широты и долготы – в доли градуса, глубины из десятков метров – в метры. Время приводится к единой системе измерений и т. д. Необходимые исправления выполняются средствами СУБД «ACCESS» с использованием запросов и встроенных функций.

Логический контроль данных включает разработку запросов для получения экстремальных значений параметров по всем значимым полям и сравнение их с предельными значениями для каждого параметра по данным справочных пособий, а также на выход за пределы трех среднеквадратических отклонений в соответствии с принципами контроля, принятыми в НИЦ ГНИНГИ МО [1]. Данные, не прошедшие контроль, удаляются из таблиц.

Учитывая, что в различных источниках могут быть включены одни и те же наблюдения, осуществляется контроль данных на наличие дублей.

Так как атрибуты данных (координаты и время выполнения станции), как правило, представлены с различной точностью, средствами базы данных осуществляется приведение данных к единому формату представления. Затем проводится проверка на совпадение данных по координатам, дате и времени выполнения станции. Для исключения дублей средствами СУБД «ACCESS» формируется запрос на поиск повторений по заданным критериям (координаты, дата и времени выполнения станции, код судна, страна). Удаляется одна из полностью совпадающих записей.

Если время выполнения станции отсутствует, то сравниваются все станции, выполненные в течение одного дня. Если координаты и время на двух станциях совпадают, или при отсутствии данных о времени наблюдения совпадает информация на первом горизонте и глубина, то для дальнейшей обработки выбирается та станция, которая содержит больше параметров на большем числе горизонтов.

Для получения расчетных параметров (условная плотность, скорость звука в морской воде) в базе данных разработан модуль, включающий две функции:

- расчет условной плотности;
- расчет скорости звука в морской воде.

В основу программ расчета перечисленных параметров положены формулы, рекомендованные для использования международным океанографическим сообществом [2].

Для решения широкого круга задач обобщения, статистической обработки и визуализации данных в интегрированных базах данных осуществляется интерполяция данных на стандартные горизонты, которая может быть выполнена как по формуле Лагранжа, так и по формуле линейной интерполяции. Отдельно интерполируется каждый океанографический параметр. Для выполнения этих процедур в базу данных включены соответствующие программные модули. Данные на стандартных горизонтах хранятся в отдельной таблице.

В настоящее время сформированы интегрированные базы океанографических данных по Баренцеву, Карскому, Японскому, Охотскому, Средиземному, Черному и Балтийскому морям. Созданные интегрированные базы данных могут использоваться для различного вида выборок, обобщений, построения пространственных карт, а при необходимости и для объективного анализа данных. Для упрощения работы с интегрированной базой данных разработаны специальные формы доступа к информации, программы обработки данных и графического представления данных. При этом, помимо использования средств СУБД «ACCESS», отдельные модули реализованы с помощью интегрированной системы программирования Borland Delphi, а так же пакетов GOLDEN SOFTWARE GRAPHER и GOLDEN SOFTWARE SURFER.

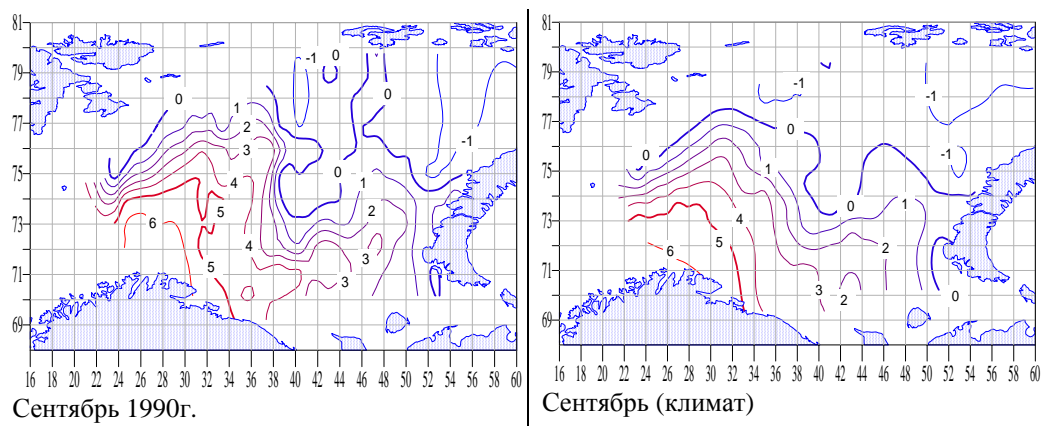


Главная кнопочная форма загружается автоматически и позволяет пользователю работать как с исходными, так и с обобщенными данными. При работе с главной кнопочной формой интегрированной базы вызываются соответствующие формы, позволяющие:

- оценить изученность по годам, годам и месяцам, сезонам, по различным видам информации;
- получить сводную таблицу по количеству данных различного вида наблюдений за различные периоды;
- получить карту-схему пространственного распределения данных;
- построить графики распределения данных за выбранный временной интервал;
- рассчитать основные статистические характеристики по параметрам в заданном пространственно-временном интервале;
- выполнять различного рода выборки.

Функциональные возможности интегрированных баз океанографических данных при необходимости могут быть расширены за счет разработки программных модулей специального назначения, в том числе рекомендованных для обработки данных натуральных океанографических экспериментов [3].

Качественное отличие возможностей разрабатываемых интегрированных баз данных от общепринятых информационно-справочных систем проиллюстрируем на примере задачи оценки горизонтальных градиентов гидрофизических полей. На рис. 1 приведены карты-схемы распределения средней температуры воды в сентябре 1990 г. в Баренцевом море и среднеголетнее поле температуры в этот же месяц. На рис. 2 приведены вертикальные разрезы температуры воды по разрезу б (Кольский меридиан), полученные по данным за октябрь 1990 г. и в октябре за весь период наблюдений. На верхней оси – номера станций, на нижней – расстояние в милях.



**Рис. 1. Карты-схемы распределения средней температуры воды по данным наблюдений: а – в сентябре 1990 г., б – в сентябре за весь период наблюдений**

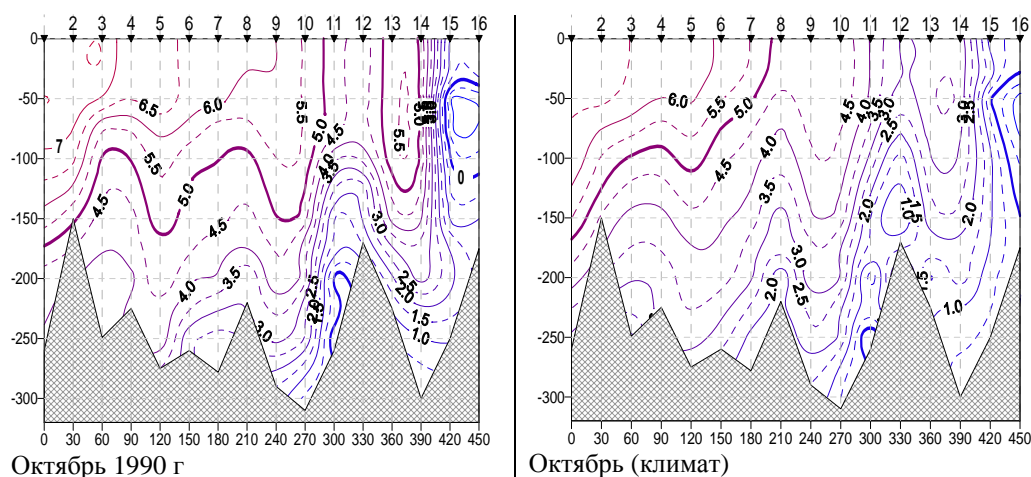


Рис. 2. Вертикальный разрез температуры по Кольскому меридиану по данным наблюдений: а – в октябре 1990 г., б – в октябре за весь период наблюдений.

Как и следовало ожидать, климатическое поле температуры существенно сглажено, фронтальные разделы выражены слабо, максимальный градиент температуры во фронтальных зонах не превышает  $2,5^{\circ}\text{C}/100\text{км}$ . Поле средней температуры, полученное по данным наблюдений только за соответствующий месяц 1990 г., менее сглажено, фронтальные разделы хорошо выражены, максимальный градиент температуры достигает  $6^{\circ}\text{C}/100\text{км}$ .

Таким образом, создаваемые базы данных создают предпосылку для полноценного реанализа исторических данных наблюдений. Это в свою очередь позволит получить важный материал для изучения пространственно-временной изменчивости гидрофизических полей, климатических изменений, проводить адаптацию и верификацию численных моделей состояния океана на новой качественной основе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лямзина В. Г., Мاستрюков С. И., Носова С. Л., Пихоленко Н. Н., Тугарев В. Ю. Принципы контроля качества гидролого-гидрохимических данных НИЦ ГНИНГИ МО // Навигация и гидрография. – 2000. – №11. – С. 99–105.
2. Algorithms for computation of fundamental properties of seawater // UNESCO technical papers in marine science. – UNESCO. – 1983. – №44. – 53 p.
3. Голубев В. А., Зуев А. Н., Лебедев И. А. Комплекс методов статистической обработки и объективного анализа данных натурных океанографических экспериментов. //Труды ААНИИ. – 1992. –Т. 426. С. 7–19.

**V. G. Lyamzina, S. I. Mastryukov (GNINGI, RF MoD)**

Development Status of Integrated Oceanographic Databases at the Research Centre of GNINGI, RF MoD

*Basic principles of development and technology of creating the integrated oceanographic databases on the seas of Russia are described. Their fundamental difference from the climatic information-reference systems is illustrated. It is shown that the integrated databases being formed create the prerequisite for the high-quality reanalysis of historical observation data.*

**СПОСОБ ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ ТОЧЕЧНЫХ ОБЪЕКТОВ  
В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ****Ю. Н. ЖУКОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Описывается способ генерализации и поиска точечных объектов в прямоугольной области. Способ основан на графовых методах представления точек в многомерных базах данных.*

Точечные объекты составляют значительную часть объема данных, представляющих геопространственную информацию, используемую в ГИС или хранилищах геопространственной информации. К основным операциям с точечными объектами относятся операции поиска точек, лежащих в некоторой прямоугольной области, и визуализация (картирование) найденных точек. Первая операция относится к классу задач регионального поиска в многомерных базах данных, вторая – к картографической задаче генерализации точечных объектов. Для этих задач предложено большое многообразие алгоритмов [1–3]. В настоящее время решение этих двух задач осуществляется изолировано друг от друга, и алгоритмы их решения не связаны между собой. В то же время использование ГИС и хранилищ геопространственной информации предполагает оперативное решение указанных задач, например при передаче геопространственной информации по сетям или при использовании геопространственной информации в различного рода АСУ. Оперативное решение этих задач требует эффективных по времени алгоритмов. Существующие методы не удовлетворяют этому требованию хотя бы потому, что алгоритмы картографической генерализации носят интерактивный характер. В настоящей статье для решения двух указанных задач предлагается способ, основанный на едином алгоритме и построенный на синтезе алгоритмов вычислительной геометрии с учетом картографических требований к генерализации точечных объектов [4].

Точечные объекты описываются двумя различными типами характеристик. Один из них представляет собой пространственно-временные координаты. В общем случае размерность  $d$  этих координат равна четырем. Другой тип характеристик представляет собой какую-либо величину  $q$ , имеющую картографическую сущность. Эта величина, выраженная числом, служит необходимой информацией для упорядочения точек по значимости как картографической сущности. Генерализация представляет собой выбор из упорядоченного по  $q$  множества точек такого последовательного подмножества, которое приводит к заданной плотности точек на карте. Например, к точечным объектам относятся города (в некоторых масштабах). Численность населения является количественной характеристикой городов, которая используется при отборе для визуализации при заданном масштабе карты. Следует учесть, что задача генерализации для городов может

рассматриваться в двух видах. Первый – без визуализации названий городов, второй – при визуализации. Во втором случае требуется выполнить дополнительное условие – выводить только те названия городов (имеющих наибольшее население), которые не пересекаются и не накладываются на точки других городов.

Уточним постановку задачи следующим образом. Задан набор записей  $S$ , каждая из которых имеет числовой атрибут  $q$  и индексирована упорядоченным  $d$ -плексом «ключей»  $(x_1, x_2, \dots, x_d)$ . Будем считать  $d$ -плексом «ключей» точку в  $d$ -мерном пространстве. На таком множестве записей определим запрос как процедуру выбора подмножества  $S'$  записей упорядоченных по величине атрибута  $q$  и расстоянию между точками, содержащимися в заданной гиперпрямоугольной области. Процедуру выбора можно остановить, если заданы (одно или оба) ограничения – минимальное расстояние между точками  $r_0$  или (и) минимальное значение атрибута  $q_0$ . Следует уточнить, что в данной работе рассматривается множество  $S$  как статическое множество, т. е. исключается возможность удаления и добавления записей в  $S$ .

Задача этой работы состоит в описании абстрактного типа данных, представляющих исходное множество  $S$ , с помощью которого эффективно реализуется процедура запроса. Для построения этого типа данных по известному  $S$  требуется проведение предобработки. В общем случае эффективность способа складывается из трех составляющих: временных затрат на предобработку, затрат памяти на хранение абстрактного типа данных и временных затрат на процедуру запроса. Здесь будем считать, что время предобработки имеет самый низкий приоритет, так как это однократные затраты. Наиболее значимой характеристикой эффективности будем считать затраты на запрос.

Решение поставленной задачи разбивается на две подзадачи: первая – описание алгоритма, представляющего генерализацию точек, вторая – построение абстрактного типа данных и поискового алгоритма на этом типе.

Под алгоритмом генерализации будем понимать последовательность действий для задания частичного порядка на множестве точек. Задача картографической генерализации плохо формализуется и требует удовлетворения противоречивых требований. В данной работе учитываются следующие требования:

- сохраняется графическая структура распределения точек на плоскости карты при изменении масштаба карты;
- при увеличении масштаба первыми претендентами на удаление с карты являются точки с наименьшим  $q$  и наименьшим расстоянием до ближайшей точки.

Следует заметить, что в традиционных ГИС автоматизированы методы генерализации точечных объектов только по одному из этих требований – значению  $q$ .

Для автоматической генерализации, удовлетворяющей указанным требованиям, предлагается следующий эвристический алгоритм, в основу которого положен метод локализации точки, называемый «детализацией триангуляции» [4]. Этот алгоритм имеет верхнюю оценку времени  $O(N \log N)$ , где  $N$  – число точек в  $S$ .

Построим триангуляцию Делоне  $G$  исходного множества  $S$  (затратное время на триангуляцию на плоскости  $O(N \log N)$ ). Эту триангуляцию (по алгоритмическим соображениям) окружим треугольной границей путем построения охватывающего ее треугольника и триангулирования области между этими двумя объектами (рис. 1).

Строим последовательность триангуляций  $G_1, G_2, \dots, G_{h(N)}$ ,  $G_1 = G$ , а  $G_i$  получается из  $G_{i-1}$  по следующим правилам:

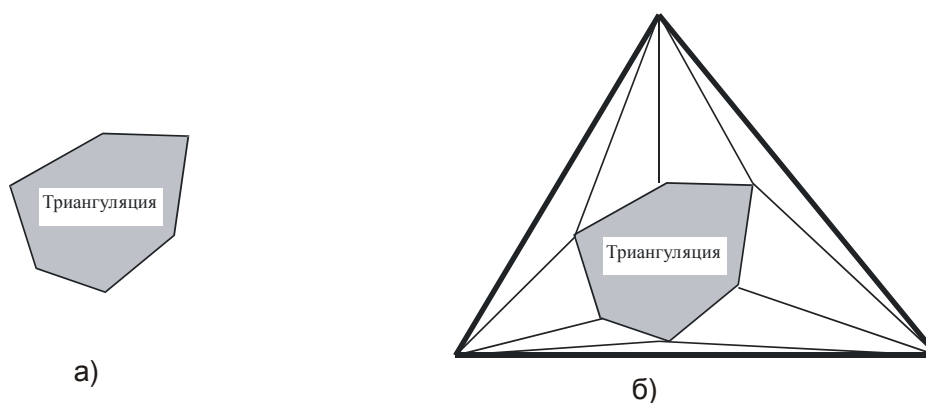


Рис. 1. Заданная триангуляция (а) и та же триангуляция внутри охватывающего треугольника (б)

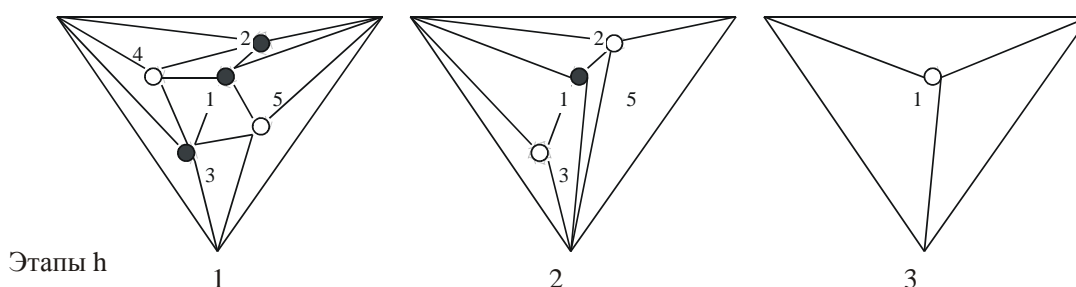
Шаг 1. Удаляется некоторое множество независимых (т. е. несмежных) неграничных вершин  $G_{i-1}$  и инцидентные им ребра, причем претенденты на удаление выбираются последовательно из упорядоченного по  $q$  множества  $S_{i-1}$ , начиная с наименьшего значения  $q$ . Для каждой удаляемой вершины рассчитывается расстояние  $r$  до ближайшей точки.

Шаг 2. Вновь триангулируются многоугольники, образовавшиеся в результате удаления вершин и ребер.

В результате выполнения этого алгоритма на каждом шаге 1 получаем список точек с соответствующим расстоянием до ближайшей точки. Число шагов  $h(N)$  выполнения этого алгоритма меньше или равно  $O((\log N))$  [4]. Общее время выполнения этого алгоритма с учетом сортировки по  $q$  и вычисления ближайших расстояний не более  $O(N^2)$ .

На рис. 2 представлена иллюстрация применения этого алгоритма.

а)



(б)

Список точек: {4(1),5(1)}

{3(1),2(1)}

{1(0)}

**Рис. 2.** Последовательность триангуляций (а) и соответствующий ей список точек (б) при естественном упорядочении точек по номерам (в круглых скобках даны номера ближайших точек)

Полученные для каждой точки списка  $S$  расстояния до ближайшей точки включаются в атрибуты точек. Обозначим полученный список точек  $\tilde{S}$ .

Теперь построим абстрактную структуру данных для организации регионального поиска. Для этого воспользуемся достаточно эффективным методом регионального дерева [4], для которого доказана теорема: региональный поиск на  $d$ -мерном списке из  $N$  точек можно провести за время  $\log^d N$  с памятью  $N \log^{d-1} N$ , если затратить  $O(N \log^{d-1} N)$  времени на предварительную обработку.

Искомая структура данных организуется для двумерного случая следующим образом. Возьмем множество точек  $\tilde{S}$  и рассмотрим множество соответствующих точек на оси  $x$ , состоящее из  $N$  абсцисс, нормализованных до целых чисел из интервала  $[1, N]$  по их величине. Эти  $N$  абсцисс определяют  $N-1$  элементарных отрезков  $[i, i+1]$  для  $i = 1, 2, \dots, N-1$ . Средство, которое будет использовано для реализации разбиения произвольного отрезка  $[i, j]$ , является деревом отрезков [4]. Произвольный отрезок, концы которого принадлежат множеству из  $N$  заданных абсцисс, может быть разбит деревом отрезков  $T(1, N)$  на не более чем  $2\lceil \log_2 N \rceil - 2$  стандартных отрезков. Каждый стандартный отрезок отнесен к одному из узлов  $T(1, N)$ , а те узлы, которые определяют разбиение отрезка  $[i, j]$ , называются узлами отнесения для  $[i, j]$ .

Дерево отрезков  $T(1, N)$  используется при поиске по  $x$ - координате. Этот поиск определяет уникальное множество узлов (узлов отнесения). Каждый такой узел  $v$  соответствует множеству из  $(E[v] - B[v])$  – абсцисс, т.е. множеству из  $(E[v] - B[v])$ . Параметры  $B[v]$  и  $E[v]$  обозначают интервал  $[B[v], E[v]] \subseteq [l, m]$ , связанный с узлом  $v$ . Ординаты этих точек образуют обычное прошитое двоичное дерево (т. е. такое сбалансированное двоичное дерево, листья которого дополнительно связаны в списке, отражающем порядок ординат) для регионального поиска в  $y$ - направлении.

Таким образом, строится структура данных именуемая деревом регионов. Его первичной структурой является дерево отрезков, заданных на абсциссах точек исходного множества  $S$ . В каждом узле этого дерева имеется указатель на прошитое двоичное дерево поиска (вторичные структуры). Эта структура проиллюстрирована на рис. 3.

Используя это дерево, находят все точки, расположенные в заданном прямоугольнике. При этом одновременно получают приписанные этим точкам значения расстояния до ближайшей точки  $r$ . Из полученного набора точек визуализируют только те точки, для которых  $r$  больше порогового значения для визуализируемого масштаба карты  $r_0$ . Значение  $r_0$  определяется исходя из отношения размеров прямоугольника к размерам отображения на дисплее с учетом разрешения дисплея и требований картографической визуализации.

Предложенный способ генерализации точечных объектов в ГИС непосредственно применим только для тех точечных объектов, для которых естественно определена величина  $q$ . К такому типу объектов относятся, например, города, для которых  $q$  – численность населения. В том случае если точечные объекты описывают геопространственные поля (например глубины) или характеризуются сложным комплексом атрибутов, использование предлагаемого способа требует предварительного алгоритма для оценки некоторой числовой величины (функционала), которую можно интерпретировать как  $q$ .

В качестве примера приведем возможный алгоритм оценки функционала для множества точных глубин с учетом требований навигационной безопасности. Объекты этого класса представляют локальные экстремумы некоторого непрерывного поля рельефа дна. Локальные экстремумы рельефа

дна отсчитываются от некоторой «нулевой» поверхности, которой является ложе акватории. Если положить, что значения глубин – отрицательны, то значимость локального экстремума  $q(i)$  для глубин определяется следующим образом.

1. Триангулируем набор точек глубин.

2. Находим точки локальных минимумов. Абсолютные значения глубин принимаем в качестве  $q_{\downarrow}(i)$  для этих точек.

3. Множество точек глубин дополняем точками береговой линии акватории, для которых задается нулевое значение глубины.

4. Вычисляем обобщенную форму ложа акватории путем определения выпуклой оболочки для массива точек локальных минимумов глубин и граничных точек акватории.

5. Находим точки локальных максимумов глубин. Для этих точек в качестве  $q_{\uparrow}(i)$  принимаем абсолютное значение разности между значением глубины в точке локального максимума и глубиной ложа акватории в этой точке.

6. Для всех остальных точек значение  $q_{\leftrightarrow}(i)$  вычисляется как абсолютное значение разности между значением глубины в точке локального максимума и глубиной ложа акватории в этой точке.

7. Результирующий массив  $q$  образуется путем формирования последовательности вида  $[q_{\downarrow}(1), q_{\uparrow}(1), q_{\downarrow}(2), q_{\uparrow}(2), \dots, q_{\downarrow}(N), q_{\uparrow}(N), q_{\leftrightarrow}(1), q_{\leftrightarrow}(2), \dots]$ . Здесь все  $q_{\bullet}$  упорядочены по убыванию значений.

Полученный таким образом массив  $q$  для глубин позволяет использовать метод генерализации, описанный выше.

В заключение заметим, что эффективность поиска можно увеличить, если усложнить дерево регионов путем введения дополнительных ссылок, перейдя к расслоенному дереву регионов. В этом случае региональный поиск в  $d$ -мерном списке (при  $d \geq 2$ ) из  $N$  точек можно реализовать за время меньшее или равное  $O(N \log^{d-1} N)$  с затратами на память  $O(N \log^{d-1} N)$  при затратах времени на предобработку  $O(N \log^{d-1} N)$ .



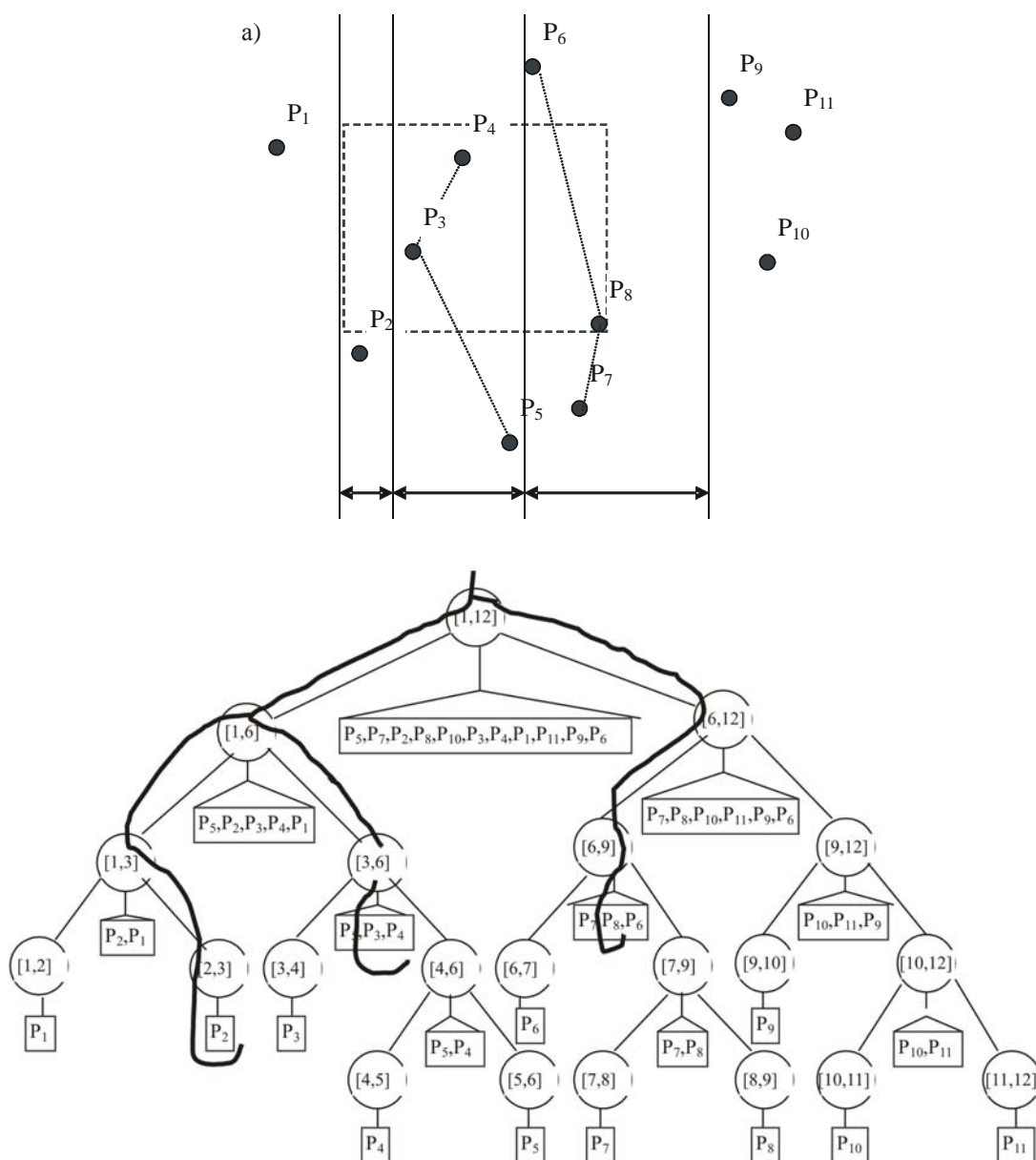


Рис. 3. Иллюстрация применения метода дерева регионов (а – исходный регион, разбитый тремя стандартными отрезками; б – соответствующее дерево регионов и поисковые действия на нем)

*ЛИТЕРАТУРА*

1. Gaede V., Gunther O. Multidimensional Access Methods // ACM Computing Surveys. – 1998. – Vol. 30. – No. 2. P. – 170 – 231.
2. Васмут А. С., Бугаевский Л. М., Портнов А. М. Автоматизация и математические методы в картосоставлении. – М.: Недра, 1991. – 391 с.
3. Тикунов В. С. Моделирование в картографии. – М.: МГУ, 1997. – 405 с.
4. Препарата Ф., Шеймос М. Вычислительная геометрия. М.: – Мир, 1989. – 478 с.

**Y. N. Zhukov**

Method of generalization for spot objects in GIS

*The method of generalization and search for spot objects in the rectangular area, based on the graph methods of presenting the points in multidimensional data sets, is considered.*

# КОНФЕРЕНЦИИ

Доклад на Пятой Российской научно-технической конференции  
«Современное состояние, и проблемы навигации и океанографии»  
(10-12 марта 2004 г., Санкт-Петербург)

## *MARITIME NAVIGATIONAL INFORMATION AND ITS PROVISION*<sup>1</sup>

**ZDZISLAW KOPACZ,  
WACLAW MORGAS,  
JOZEF URBAŃSKI**

(The Institute of Navigation and Hydrography,  
Naval University of Gdynia)

*This paper may and should be considered as the continuation of the earlier authors' papers regarding the navigational information and the Maritime Navigation Safety System. However, in this paper the further specification of navigational information is given, as well as specification of the forms of its presentation and transferring. The main objective of this paper is navigational information, its kinds and content, as well as the main issues of the operational institutions of Maritime Navigation Safety System dealing with gathering, processing and provision of all users at sea with navigational information.*

### **Introduction**

The main objective of the Maritime Navigation Safety System is to create and maintain the necessary navigational conditions for safe and efficient conducting the ships (and craft) at sea. These conditions are created mainly by establishing and operating the navigational infrastructure, and by gathering, processing and providing the seafarers with the ample amount and kinds of updated navigational information.

In this paper, the following issues are presented: place of the Maritime Navigation Safety System's operational institutions providing the navigational information; navigational information, its definition and its kinds; standard navigational information; forms of presentation and ways of provision of standard navigational information; and main providers and provision of seafarers with navigational information

#### **1. Place of the maritime navigation safety system's institutions providing the navigational information**

Maritime Navigation Safety System is one of the main components of the Maritime Safety System (Fig.1).

Operational institutions of Maritime Navigation Safety System providing the users of sea with navigational information are shown in Fig. 2.

The particulars of Maritime Navigation Safety System are given in [3], [5], [6].

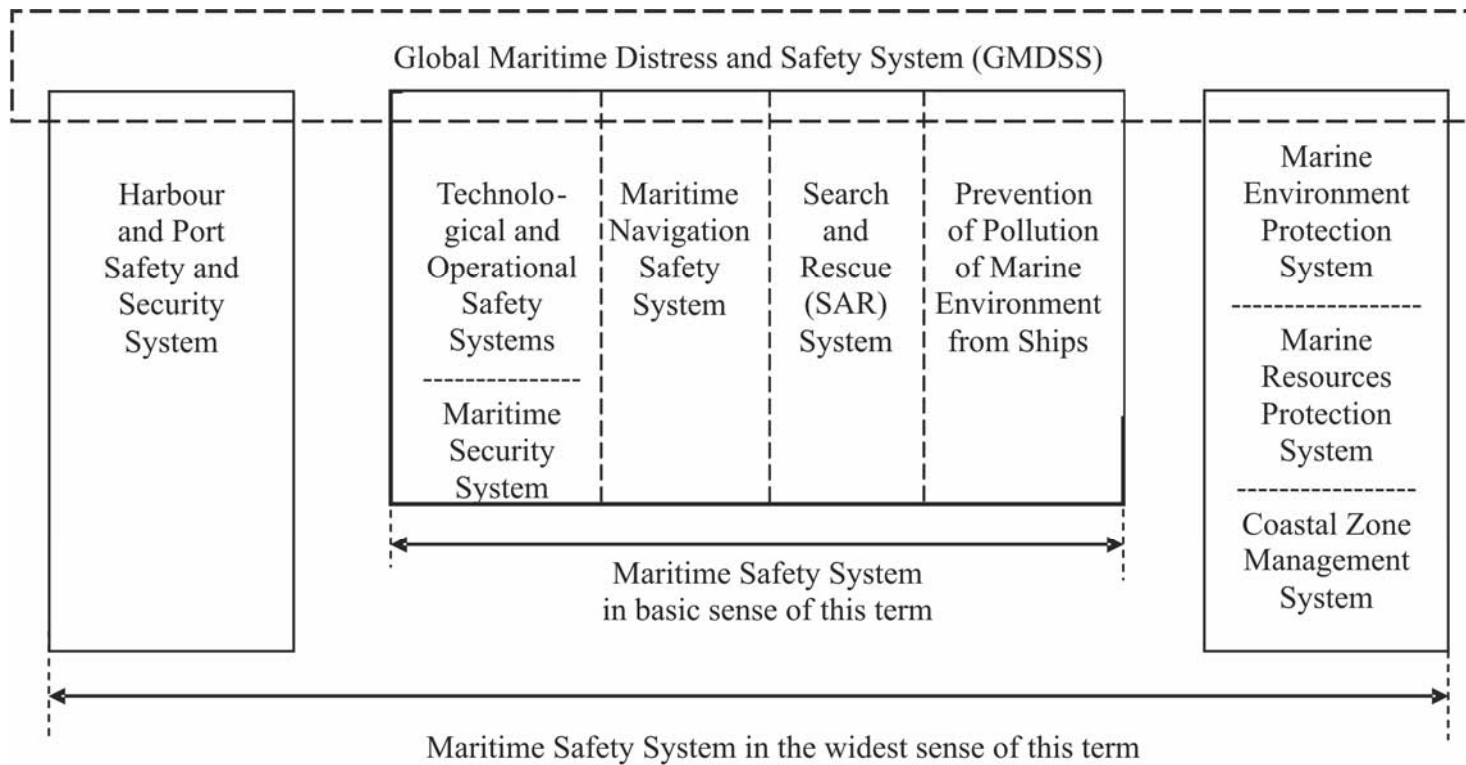
#### **2. Navigational information, its definition and its kinds**

The term "information" is understood here as "facts, figures, data, learning or lore that describes and expresses the states, features and relations of objects and phenomena existing in the real world, and from which conclusions can be inferred".

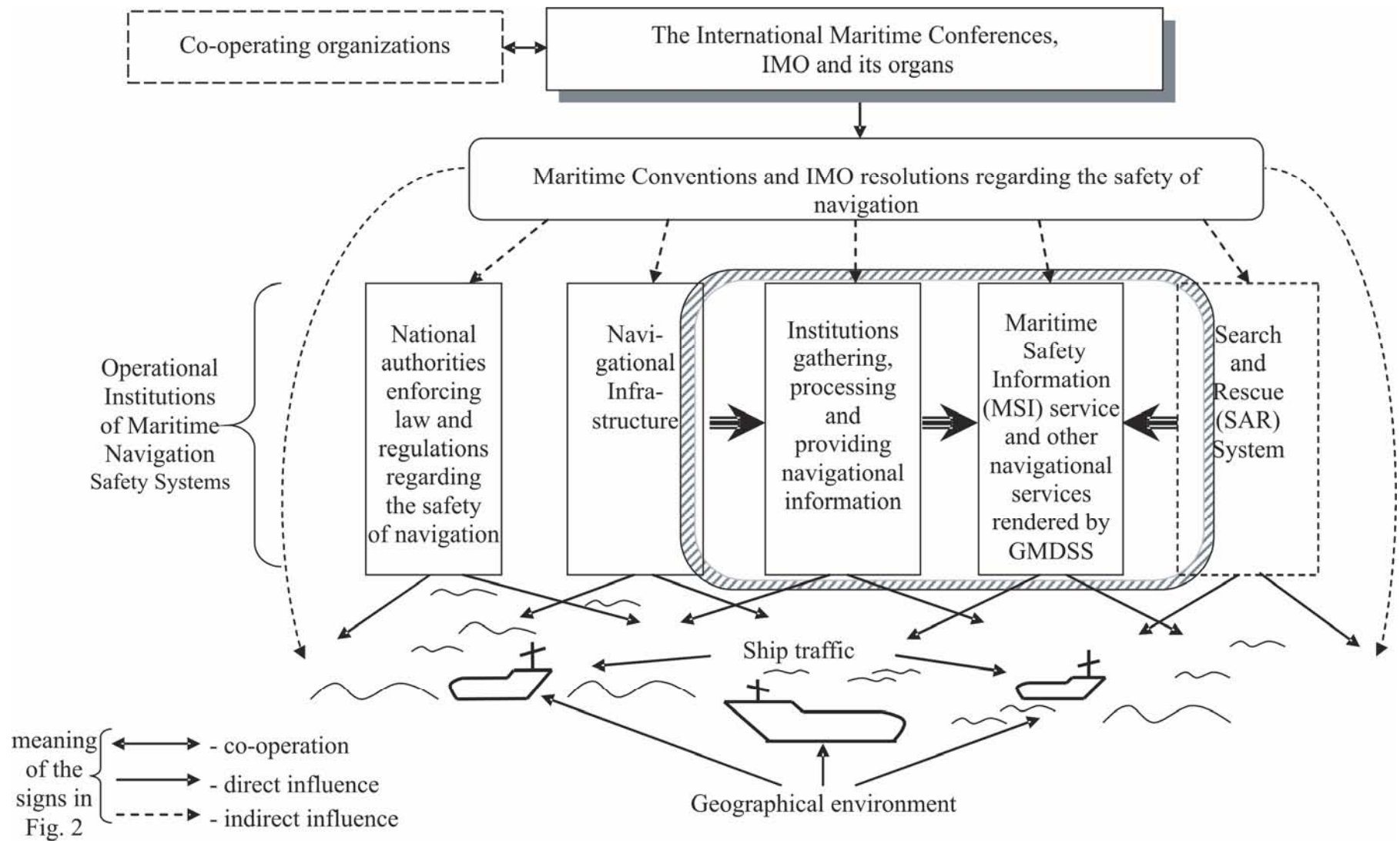
Navigational information is this part of information which regards ships, their geographical environment and Maritime Safety System, and which is essential for safe and efficient operating the ships at sea.

---

<sup>1</sup> Доклад представляет интерес для специалистов в области навигационно-гидрографического обеспечения мореплавания. В нем отражены взгляды представителей Института навигации и гидрографии Военно-морского университета г. Гдыня (Польша) на вопросы навигационной безопасности на море, ее организацию и определяющие ее международные документы. Текст печатается в редакции авторов. Прим. редактора.



**Fig. 1. The place of Maritime Navigation Safety System among the main components of the Maritime Safety System**



**Fig. 2. Operational institutions of the Maritime Navigation Safety System, providing the navigational information**

Navigational information should meet the following requirements, i.e. it should be [6]:

- adequate,
- comprehensive,
- timely,
- updated, and
- easy to get, store, retrieve and display in the most suitable form for use in navigational process.

Navigational information [Nain] can be divided into two main kinds:

- standard navigational information [Stin],
- ship's measurements and observations [Meob].

The above can be expressed as follows:

$$[Nain] = [Stin, Meob] \quad (1)$$

Standard navigational information is the information which is acquired from ship's external sources both before passage planning and its realization, and during passage realization. The standard navigational information is provided to the seafarers by the proper operational institutions of the Maritime Navigation Safety System (Fig. 2). Standard navigational information, especially, its content, its ways of providing and its providers are the main subject of the further considerations.

Measurements and observations is the navigational information obtained from ship's own sensors and it regards the ship's navigation process. This kind of navigational information can be expressed as follows [6]:

$$[Meob] = [Meas, Obse] \quad (2)$$

where: [Meas] = the ship's measurements, i.e. all the settings and indications of the navigational equipment and systems, such as ship's logs, gyroscopic and magnetic compasses, steering gears, engine room telegraph, propeller revolutions, etc. as well as all the readings of position-fixing systems and other ship-process-monitoring systems;

[Obse] = direct audiovisual, as well as radar (ARPA), hydroacoustic and other kinds of observations of the ship's surrounding acquired by bridge team in order to learn and/or to check and to authenticate the weather conditions, sea state, ships' traffic, buoys, depths, wrecks, obstacles, etc.

The measurements and observations concern the present state and features of:

- the geographical environment around the ship,
- the traffic around the ship,
- aids to navigation,
- realization of ship's navigation process.

It should be mentioned that sometimes it is difficult to define whether the particular kind of information belongs to the standard navigational information or to the measurements and observations. In this paper, the following principles are assumed:

- information regarding the particular elements of navigational infrastructure (electronic position-fixing systems, VTSs, AISs, etc.) which describes these elements, i.e. their features, characteristics, operation principles, etc. and is contained in nautical publication or Maritime Safety Information (MSI) messages, is considered as standard navigational information,
- information received from the ship's traffic monitoring and management systems, during the passage, is considered as measurements and observations.

According to the topic of this paper the measurements and observations will not be discussed below.

### 3. Standard navigational information, its kinds and content

The standard navigational information [Stin] can be divided into the following kinds [6]:

- information describing own ship and her navigational characteristics and features [Ship],
- information describing the geographical environment and Maritime Navigation Safety System [Envi],
- information describing the operational environment [Oper],
- information describing the legal environment [Lega].

The above can be expressed as follows:

$$[\text{Stin}] = [\text{Ship}, \text{Envi}, \text{Oper}, \text{Lega}] \quad (3)$$

The ship's information [Ship] must include: her dimensions [Dime], stability characteristics [Stab], maneuvering characteristics [Mane], sea-going characteristics [Sego], characteristics and parameters of the navigational equipment and systems [Eqsy]. The above results in the following expression:

$$[\text{Ship}] = [\text{Dime}, \text{Stab}, \text{Mane}, \text{Sego}, \text{Eqsy}] \quad (4)$$

The set of information describing the geographical environment and Maritime Navigation Safety System, i.e., the set [Envi] must contain: chart information, i.e. the information that constitutes the content of paper navigational charts and nautical publications or content of the databases of the electronic navigational charts [Char], maritime safety information that updates the chart information, and is disseminated by the GMDSS (Global Maritime Distress and Safety System), [Msin]; weather forecasts necessary for voyage planning and minimizing the adverse-weather losses [Wefo], giving the expression:

$$[\text{Envi}] = [\text{Char}, \text{Msin}, \text{Wefo}] \quad (5)$$

The set of chart information [Char] can be expressed as follows:

$$[\text{Char}] = [\text{Hrol}, \text{Hgra}, \text{Infr}] \quad (6)$$

where: [Hrol] stands for the hydrometeorological information, [Hgra] stands for the hydrographic information, and [Infr] stands for navigation-infrastructure information.

The set of hydrometeorological information [Hrol] can be expressed as follows:

$$[\text{Hrol}] = [\text{Clim}, \text{Ocea}] \quad (7)$$

where: [Clim] stands for the average values describing the sea climate, [Ocea] stands for seawater parameters of importance for maritime navigation.

The set of hydrographic information [Hgro] can be expressed as follows:

$$[Hgra] = [Bath, Gemo, Obst, Tide, Curr, Geph, Topo] \quad (8)$$

where: [Bath] stands for bathymetric information (dephs, isobaths, etc.); [Gemo] stands for geomorphologic information (kinds of bottom grounds, structure of bottom grounds and bottom layers, etc.); [Obst] stands for ship wrecks and other kinds of fixed obstacles; [Tide] stands for sea-tide parameters; [Curr] stands for all kind of sea-current parameters; [Geph] stands for geophysical parameters (variation and other magnetic, electric and gravity parameters, if needed); and [Topo] stands for the topographical elements and features of importance for maritime navigation.

The set of navigation-infrastructure information [Infr] can be expressed as follows:

$$[Infr] = [Ways, Aids, Traf] \quad (9)$$

where: [Ways] stands for characteristics of seaways and maneuvering areas (fairways, traffic separation schemes, canals, anchorages, passing areas, etc.); [Aids] stands for characteristics of aids to navigation (floating and fixed sea marks, land- and space-based electronic position-fixing systems, etc.), and [Traf] stands for characteristics of traffic-management and navigation-assistance systems (pilot services, ships reporting systems, vessel traffic services, automatic identification systems, etc.). It should be emphasized that each kind of navigation-infrastructure information [Infr] must be accompanied by a proper subset of procedural data, when and where necessary. These data are contained in charts and nautical publications (Lists of Lights, Lists of Radio Signals, Sailing Directions, etc.).

The maritime safety information [Msin], being disseminated by the GMDSS, can be expressed as follows:

$$[Msin] = [Nawa, Wewa, Sari] \quad (10)$$

where: [Nawa] stands for navigational warnings provided by the World-Wide Navigational Warning Service; [Wewa] stands for weather and storm warnings promulgated by the Radio Weather Services; and [Sari] stands for search-and-rescue information.

The set of operational information [Oper] should include: information regarding navigational tasks of ship [Nata]; instructions and orders issued by ship's owner or ship's charterer [Orde]; the necessary amount of the technological and operational information needed for maintaining and controlling the ship's platform and command-and-control equipment and systems [Tech]; ship-in-distress procedural information (response to navigational emergencies) [Dist]; and search-and-rescue procedural information (for assistance to ships and/or persons in distress [Sarp]), giving the following expression:

$$[Oper] = [Nata, Orde, Tech, Dist, Sarp] \quad (11)$$

The set of the legal information concerning the navigational process [Legal] should include: basic regulations regarding the Law at Sea (United Nation Convention on Law of Sea – UNCLOS III) (territorial waters, prohibited areas,



exclusive economic zone, right of the harmless passage, etc. in areas of ship's operation [Uncl]; the regulations regarding the international maritime (and navigational) safety, contained in the basic maritime conventions (SOLAS 74, COLREG 72, MARPOL 73/78, STCW 78/95, SAR 79, LLGG, TONNAGE 69, CSC 72, ILO 147 Conventions) [Conv]; regional (EU Directives, Convention on the protection of the marine environment of the Baltic Sea area, etc.), national and local (port) regulations regarding the maritime safety and marine environment protection [Regu], giving the following expression:

$$[\text{Lega}] = [\text{Uncl}, \text{Conv}, \text{Regu}] \quad (12)$$

#### **4. Forms of presentation and ways of provision of navigational information**

The standard navigational information is composed of four kind of navigational information: [Ship] (4); [Envi] (5) – (10); [Oper] (11); and [Lega] (12).

The analysis of the character and content of each particular component of the standard navigation information (3), allows to conclude that the Maritime Navigational Safety System, i.e. its institutions, provides the users of sea, mainly but not exclusively, with the environmental information [Envi] (5-10). Therefore, our further considerations will be reduced to this kind of information which is given by expesion (5)

$$[\text{Envi}] = [\text{Char}, \text{Msin}, \text{Wefo}] \quad (5a)$$

The environmental information [Envi] can be presented in one or in some:

- paper end-product presentation,
- computer-aided presentation,
- receiver-dependent presentation.

The paper end-product presentation is the oldest form of navigational-information presentation. In the non distant past it was the main and almost exclusive form of navigation information presentation. It is mainly used for presentation of (paper) charts and (paper) nautical publications (lists of lights, sailing directions, radio signals, tide tables and many other publications).

The computer-aided presentation of navigational information is comparatively new. This kind of presentation stepwise but steadily replaces the paper-end-product presentation. The computer-aided presentation is wider and wider used for presentation of electronic navigational charts (ENC) and nautical publications in ECDISs (electronic chart display and information systems).

The receiver-dependent presentation of navigational information results from the rapid development of modern communication and information technologies of global coverage. According to the features of the ships' receivers, navigational information can be presented in one or some forms of information presentation. It can be vocal information, letter-printed data, graphical data, etc.

This form of presentation is widely used for presentation of Maritime Safety Information (Msin) (10) and weather-forecast information [Wefo] (5).

Besides the three different forms of navigation information presentation, there exist also three different ways of navigational information provision/distribution, these are:

- off-the-shelf provision;
- special radio-services provision;
- public-means-of-communication provision.

By means of the “off-the-shelf information product provision” there are provided paper navigational charts, nautical publications and Notices to Mariners (in paper form) as well as the data bases of ENC and ENTs, and their corrections.

By means of “special radio-services provision”, there are provided the following kinds of information: radio weather forecast [Wefo] (5); navigational warnings [Nawa]; maritime safety information [Msin] (10) provided by the NAVTEX service and SafetyNET service; and the part of operational information [Oper] (11) that is contained in Admiralty Lists of Radio Signals, Volume 1-8, and other similar sources.

By means of the “public-means-of-communication provision”, i. e. by the telephone, telegraph, INTERNET and many other modern means of communication larger and larger amount of navigational information is distributed. Especially important is becoming the global digital radiotelephone-network and INTERNET service.

## **5. Main providers and provision with environmental information**

### **5.1 Main providers of environmental information.**

There are three main providers of navigational, especially environmental information [Envi] (5), in Maritime Navigation Safety System who provide the seafarers and other users of with navigational information. They are:

- National Hydrographic Offices,
- National Meteorological Offices,
- National Rescue Co-ordination Centers.

There are also some additional institutions such as International Ice Patrol and others.

However, the main provider of environmental information are National Hydrographic Offices. These offices exist almost for 300 years and provide the seafarers with charts and nautical publications. Also the SOLAS 74 Convention for many years has required that ships possess and use updated charts and nautical publications. In spite of these facts, only the last amendment to chapter V Safety of Navigation of SOLAS 74 Convention (that entered into force on 1.07.2002) established the regulation (Regulation 9 of Chapter V) which imposed an obligation on Hydrographic Offices “to arrange for the collection and compilation of hydrographic data and the publications, and keep up to date all nautical information necessary for safe navigation”.

The above mentioned Regulation 9 (Ch.V SOLAS 74 Convention) obligates the Hydrographic Offices:

- 
- “to prepare and issue nautical charts, sailing directions, lists of lights, tide tables and other publications, where applicable, satisfying the needs of safe navigation,
  - to promulgate notices to mariners in order that nautical charts and publications are kept, as far as possible, up to date”.

The additional duties of National Hydrographic Offices regarding the navigational information result from IMO’s resolutions, but especially:

- Resolution A. 706 (17) on World-Wide Navigational Warning Services as amended.

The above resolution constitutes and defines Hydrographic Offices’ duties regarding the maritime safety information [Msin] (10).

The duties of National Hydrographic Offices as well as other main providers of environmental information [Envi] (5) result also from Chapter IV Radiocommunications of SOLAS 74 Convention, which defines the basis for organization and operation of GMDSS. The maritime safety information [Msin] is being promulgated by coastal, space and shipboard radiomeans of this System.

The cooperation-principles of IMO and main navigation-information providers are contained in the JOINT IMO/IHO/WMO Manual on Maritime Safety Information (MSI), issued as Special Publication - Appendix 1, by International Hydrographic Bureau in Monaco.

It should be mentioned that the term “National Hydrographic Offices” means the institutions authorized by government which realize the duties of hydrographic offices defined by Regulation 9 of Chapter V of SOLAS 74 Convention. Such institutions may also be the following:

- Oceanographic Offices;
- Navigational Offices;
- Navigation-Safety Department of Maritime Board (Administration);,
- Coast Guards, etc.

The duties of National Meteorological Offices regarding the environmental information [Envi] (5) result from Regulation 5 “Meteorological services and warnings” of Chapter V SOLAS 74 Convention. These services are precisely specified in Admiralty List of Radio Signals Vol.1 (Coast Radio Stations-Public Correspondence) [1], Vol. 3 (Radio Weather Services and Navigational Warnings) and Vol.5 (Global Maritime Distress and Safety System). The details on marine meteorological services are also given in Manual on Marine Meteorological Services, Volumes I and II, published by The World Meteorological Organization in Geneva. Besides the standard weather forecasts [Wefo] and weather (storm) warnings [Wewa] there the comprehensive weather information is also available in the form of pictures, including weather facsimiles, and other forms of weather data presentation.

The duties of Rescue Coordination Centers regarding the set of information [Sari], being the component of the set of maritime safety information [Msin] (10), result from the following legal acts:

- International Convention on Maritime Search and Rescue, 1979 (SAR 79) as amended,
- Chapter IV Radiocommunications of SOLAS 74 Convention which has established the GMDSS system.

The operational particulars regarding the National Regional Rescue Coordination Centers is contained in Admiralty List of Radio Signals, Volume 5, and Global Maritime Distress and Safety System.

### **5.2 Provision with Maritime Safety Information (MSI)**

Maritime Safety Information (MSI) Service is rendered by the GMDSS (Fig. 2). MSI is defined as “navigational and meteorological warnings, meteorological forecast and other urgent safety related messages” of vital importance to all ships at sea.

There are seven basic categories of MSI within the GMDSS:

- navigational warnings,
- meteorological warnings,
- ice reports,
- search and rescue information,
- meteorological forecast,
- pilot service messages (not in the United States),
- electronic navigational systems update messages.

The providers of MSI are:

- National Hydrographic Offices, for navigational warnings and electronic chart correction,
- National Meteorological Offices, for weather warnings and forecasts,
- Rescue Co-ordination Centers, for shore-to-ship distress alerts, and other urgent information,
- Informational Ice Patrol, for North Atlantic Ice hazards.

The MSI Service is composed of two services:

- International NAVTEX service,
- International SafetyNET service.

For coordination of the transmissions of MSI service, the world-waters, in the same way as in WWNWS, are divided into 16 areas, which in this case are called NAVAREAs/METAREAs.

### **Conclusions**

In this paper, the navigational-information-providing-institutions of Maritime Navigation Safety System as well as the relations and co-operation between these institutions have been presented.

The division of navigational information into standard navigational information and measurement and observations have been also defined much more

accurately. The kinds of information belonging to both large information sets have been also specified more accurately.

The forms of presentation of navigational information, forms and means of their promulgation and provision to all users of sea have also been shown.

This paper should be considered as the presentation of further authors-study-results on Maritime Safety and its main components.

The authors' believe that the presented facts, relations and conclusions will contribute to better understanding of the Maritime Navigation Safety System and its operation, and that the presented data will be useful in process of maritime-navigation-education as well as in research and development process.

#### REFERENCES

5. Admiralty List of Radio Signals, Volumes 1,3,5, 2001.
6. IALA. Aids to Navigation Guide (NAVIGUIDE). Third edition, 1999.
7. Kopacz Z., Morgaś W., Urbański J. The Maritime Safety System, its Main Components and Elements. The Journal of Navigation NO 2, 2001.
8. Kopacz Z., Morgaś W., Urbański J. Identification and specification of the Maritime Safety System in the Coastal Areas. Zeszyty Naukowe AMW, nr 1, 2002.
9. Kopacz Z., Morgaś W., Urbański J. The Navigational Infrastructure in Polish Maritime Areas. Its State, Its Arranging, Maintaining and Designing. The XIII International Technical and Scientific Conference on "Part of Navigation in Support of Human Activities at Sea". The Institute of Navigation and Hydrography of Naval University of Gdynia, 14-15 November, 2002.
10. Kopacz Z., Morgaś W., Urbański J. The Ship's Navigation Function, Ship's Navigation Process and Ship's Navigational Information. The Journal of Navigation No 1, 2003.
11. IHO/IMO World-Wide Navigational Warning Service, Guidance Document. Special Publication No 53, IHB Monaco, as amended.
12. IMO Resolution A.706(17) World-Wide Navigational Warning Service, as amended.
13. International SafetyNET Manual. IMO Publication 908.
14. International Convention on Safety of Life at Sea, 1974, Chapter IV Radiocommunications and Chapter V Safety of Navigation, as amended.
15. International Convention on Maritime Search and Rescue, 1979, as amended.
16. Joint IMO/IHO/WMO Manual on Maritime Safety Information (MSI). Special Publication S-53-Appadix 1, IHB, Monaco, as amended.
17. Manual on Marine Meteorological Services, Volumes I and II. The World Meteorological Organization. Geneva.
18. NAVTEX Manual. IMO Publication 951.
19. Safety-NET User's Handbook. International Mobile Satellite Organization (Inmarsat), London.

**МОРСКАЯ НАВИГАЦИОННАЯ ИНФОРМАЦИЯ И ЕЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**

**З. КОПАЧ,  
В. МОРГАСЬ,  
Ю. УРБАНЬСКИЙ**

(Институт навигации и гидрографии,  
Военно-морской университет, г.Гдыня)  
Перевод **Трибуц Г. В.**

*Настоящую статью является продолжением более ранних публикаций авторов по вопросам навигационной информации и Системы навигационной безопасности на море. Дается дальнейшее определение навигационной информации и форм ее представления и передачи. В статье обсуждается навигационная информация, ее виды и содержание, а также основные проблемы учреждений Системы навигационной безопасности на море, которая служит для сбора, обработки навигационной информации и обеспечения ею всех пользователей на море.*

**Введение**

Главной задачей Системы навигационной безопасности на море является создание и поддержание на море необходимых навигационных условий эффективного судоходства. Эти условия обеспечиваются главным образом путем создания и использования навигационной инфраструктуры, сбора и обработки достаточного количества разнообразной откорректированной информации и обеспечения ею мореплавателей.

В настоящей статье рассматриваются следующие вопросы: место Системы навигационной безопасности на море, обеспечивающей пользователей навигационной информацией; навигационная информация, ее определение и виды; стандартная навигационная информация; формы представления и способы обеспечения стандартной навигационной информацией; главные поставщики навигационной информации и обеспечение ею мореплавателей.

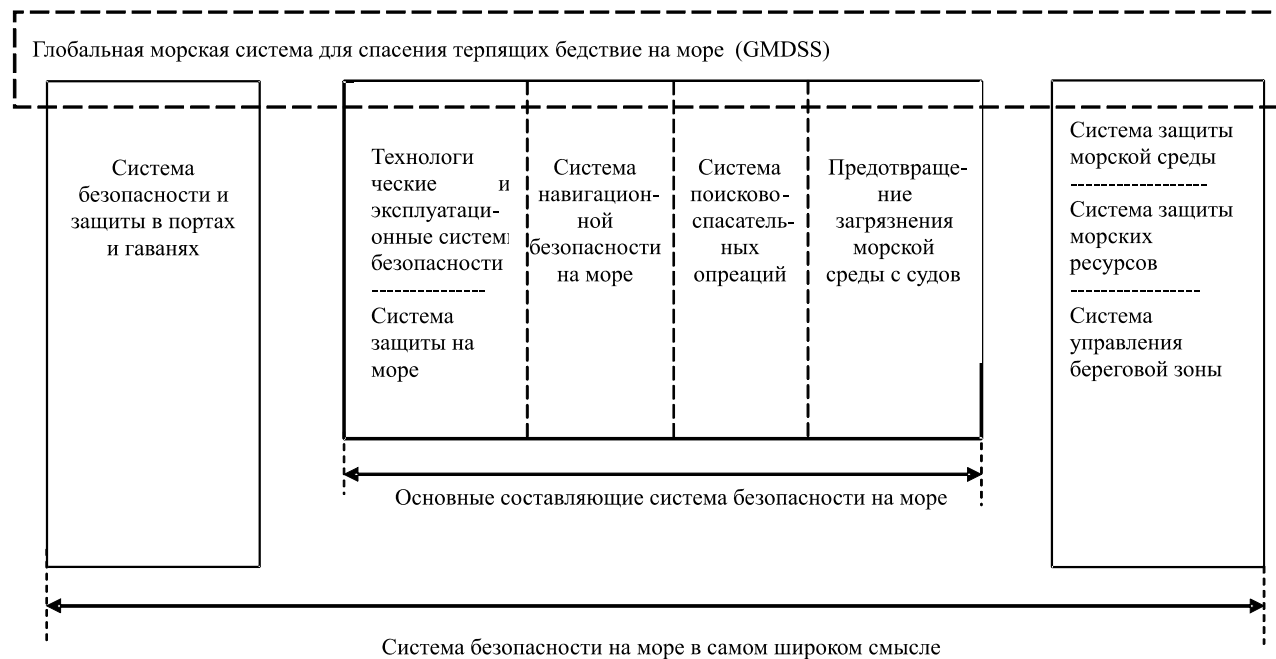
**1. Место учреждений Системы навигационной безопасности на море, обеспечивающих навигационной информацией**

Одной из основных составляющих Системы безопасности на море является Система навигационной безопасности на море [3, 5, 6] (рис. 1). Учреждения последней, обеспечивающие пользователей навигационной информацией на море, показаны на рис. 2.

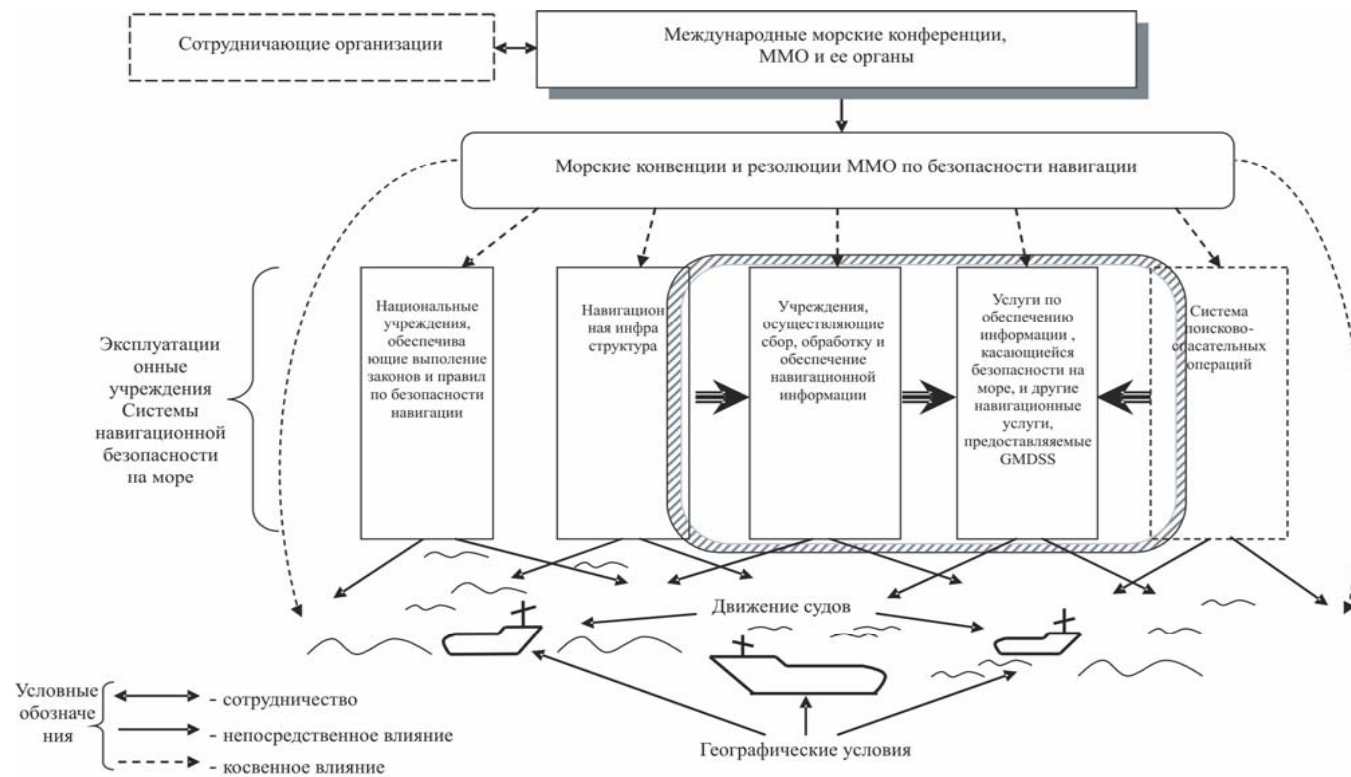
**2. Навигационная информация, ее определение и виды**

Термин «Информация» понимается здесь как «факты, цифры, данные, которые описывают и выражают состояния, характерные черты и отношения объектов и явлений, существующих в реальном мире, и на основании которых могут быть сделаны выводы».

Навигационная информация – это та часть информации, которая относится к судам, окружающим географическим условиям, Системе безопасности на море и чрезвычайно важна для безопасных и эффективных действий судов на море.



**Рис. 1. Место Системы навигационной безопасности на море в Системе безопасности на море**



**Рис. 2. Эксплуатационные учреждения системы навигационной безопасности на море, обеспечивающие навигационную информацию**



Навигационная информация должна удовлетворять следующим требованиям. Она должна быть [6]:

- достаточной;
- подробной;
- своевременной;
- откорректированной;
- легкой в получении, хранении, поиске и отображении в наиболее подходящей форме для использования в навигационном процессе.

Навигационную информацию (Nain) можно разделить на два основных типа:

- стандартную навигационную информацию (Stin);
- судовые измерения и наблюдения (Meob).

Это можно выразить следующим образом:

$$[Nain] = [Stin, Meob]. \quad (1)$$

Стандартная навигационная информация – это информация, которую получают из источников, находящихся вне судна, до и во время планирования перехода и во время плавания. Она предоставляется мореплавателям соответствующими эксплуатационными учреждениями Системы навигационной безопасности на море (рис. 2). Стандартная навигационная информация, и в особенности ее содержание, способы ее обеспечения и ее поставщики являются основным предметом рассмотрения в дальнейшем.

Измерения и наблюдения представляют собой навигационную информацию, полученную судовыми средствами определения сигналов или физических параметров; она относится к навигационному процессу судна. Этот вид навигационной информации можно выразить следующим образом [6]:

$$[Meob] = [Meas, Obse], \quad (2)$$

где Meas – данные измерений судна, т. е. все показания навигационного оборудования и навигационных систем, например лагов, гироскопического и магнитного компасов, рулевых устройств, машинного телеграфа, оборотов винта и т. д., а также показания систем определения местоположения и других систем мониторинга процессов судна;

Obse – непосредственные аудиовизуальные, радиолокационные, гидроакустические и другие виды наблюдений за окружающими условиями, получаемые командой на мостике, для того чтобы узнать и/или проверить метеорологические условия и состояние моря, распознать движение судов, буи, глубины, затонувшие суда, препятствия и пр.

Измерения и наблюдения касаются текущего состояния и особенностей:

- географических условий вокруг судна;
- движения вокруг судна;
- средства навигационного оборудования;
- осуществления навигационного процесса судна.

Следует отметить, что иногда бывает трудно определить, относится ли конкретный вид информации к стандартной навигационной информации или к измерениям и наблюдениям. В данной статье приняты следующие принципы:

- информация, относящаяся к конкретным элементам навигационной инфраструктуры (электронным системам определения местоположения, службам регулирования движения судов, системам автоматической идентификации и т. д.), которая описывает эти элементы, т. е. их характерные особенности, характеристики, принципы работы и пр., и содержится в навигационных пособиях или сообщениях, содержащих информацию по безопасности на море, считается стандартной информацией;
- информация, принятая от систем контроля и управления движением судов во время плавания, считается измерениями и наблюдениями.

Последние в настоящей статье не рассматриваются.

### **3. Стандартная навигационная информация**

Стандартную навигационную информацию (Stin) можно разделить на следующие виды:

- информация, описывающая собственное судно и его навигационные характеристики и особенности (Ship);
- информация, описывающая окружающие географические условия и Систему навигационной безопасности на море (Envi);
- информация, описывающая оперативные окружающие условия (Oper);
- информация, описывающая юридические условия (Lega).

Это можно выразить следующим образом:

$$[\text{Stin}] = [\text{Ship}, \text{Envi}, \text{Oper}, \text{Lega}]. \quad (3)$$

Информация о судне (Ship) должна включать в себя его размерения (Dime), характеристики остойчивости (Stab), характеристики управляемости (маневренные качества) (Mane), мореходные качества (мореходность) (Sego), характеристики и параметры навигационного оборудования и навигационных систем (Eqsy). Все это дает следующее выражение:

$$[\text{Ship}] = [\text{Stab}, \text{Mane}, \text{Sego}, \text{Eqsy}]. \quad (4)$$

Набор информации, описывающей географические условия и Систему навигационной безопасности на море (Envi) должен содержать: информацию карты, то есть информацию, которая представляет собой содержание бумажных навигационных карт и навигационных пособий или содержание электронных навигационных карт (Char); информацию по безопасности на море, которая уточняет информацию карт и распространяется Глобальной морской системой для спасения терпящих бедствие на море (Msin); прогнозы погоды, необходимые для планирования плавания и сведения до минимума потерь вследствие неблагоприятной погоды (Wefo). Этот набор выглядит следующим образом:

$$[\text{Envi}] = [\text{Char}, \text{Msin}, \text{Wefo}]. \quad (5)$$

Набор информации карты (Char) можно выразить как:

$$[\text{Char}] = [\text{Hrol}, \text{Hgra}, \text{Infr}], \quad (6)$$

где Hrol означает гидрометеорологическую информацию, Hgra – гидрографическую информацию и Infr – информацию о навигационной инфраструктуре.

Набор гидрометеорологической информации (Hrol) можно выразить так:

$$[\text{Hrol}] = [\text{Clim}, \text{Ocea}], \quad (7)$$

где Clim означает средние значения, описывающие морской климат, Ocea – параметры морской воды, важные для навигации на море.

Набор гидрографической информации (Hgra) можно изобразить следующим образом:

$$[\text{Hgra}] = [\text{Bath}, \text{Gemo}, \text{Obst}, \text{Tide}, \text{Curr}, \text{Geph}, \text{Toro}], \quad (8)$$

где Bath – батиметрическая информация (глубины, изобаты и т. д.);

Gemo – геоморфологическую информацию (виды донного грунта, структура грунта и придонных слоев и т. д.);

Obst – затонувшие суда и другие постоянные препятствия;

Tide – параметры морских приливных явлений;

Curr – все виды параметров морских течений;

Geph – геофизические параметры (магнитное склонение и другие магнитные, электрические и гравитационные параметры, если они необходимы);

Toro – элементы топографии и особенности рельефа, имеющие значение для навигации на море.

Набор информации по навигационной инфраструктуре (Infr) можно выразить следующим образом:

$$[\text{Infr}] = [\text{Ways}, \text{Aids}, \text{Traf}], \quad (9)$$

где Ways – характеристики водных путей и районов для маневрирования (фарватеров, систем разделения движения судов, искусственных каналов, якорных стоянок, районов прохода и т. д.);

Aids – характеристики средств навигационного оборудования (плавучих и стационарных знаков, наземных и космических электронных систем определения местоположения и т. д.);

Traf – характеристики систем управления движением и систем содействия навигации (лоцманские службы, системы оповещения о местонахождении судов, службы регулирования движения судов, системы автоматической идентификации и т. д.).

Следует подчеркнуть, что каждый вид информации по навигационной инфраструктуре (Infr) при необходимости должен сопровождаться соответствующим набором процедурных данных. Эти данные содержатся в картах и навигационных пособиях (Огни и знаки, Радиотехнические средства навигационного оборудования, лоции и т. д.).

Информацию по безопасности на море (Msin), распространяемую Глобальной морской системой для спасения терпящих бедствие на море, можно выразить следующим образом:

$$[Msin]=[Nawa, Wewa, Sari], \quad (10)$$

где Nawa – навигационные предупреждения, предоставляемые Всемирной службой навигационных предупреждений;

Wewa – предупреждения о погоде и штормовые предупреждения, распространяемые радиометеорологическими службами;

Sari – информация о поисково-спасательным операциям.

Набор оперативной информации (Oper) должен включать в себя информацию по навигационным задачам судна (Nata), инструкции и приказание владельца судна или лица, зафрахтовавшего судно (Orde), необходимое количество технологической и оперативной эксплуатационной информации, которая требуется для обслуживания и управления платформой судна и оборудования и систем для командно-управляющих функций (Tech), а также процедурную информацию для судна, терпящего бедствие (реагирование на навигационную обстановку в чрезвычайных обстоятельствах при авариях (Dist), и процедурную информацию при поисково-спасательных операциях для помощи судам и лицам, терпящим бедствие (Sarp). Этот набор дает следующее выражение:

$$[Oper] = [Nata, Orde, Tech, Dist, Sarp]. \quad (11)$$

Набор юридической информации, касающейся навигационного процесса (Lega), должен включать в себя основные правила, относящиеся к морскому праву (Конвенция ООН по морскому праву UNCLOSS III) (территориальные воды, запретные районы, исключительная экономическая зона, право мирного прохода, и т. д. в районах плавания судна – Uncl); правила, касающиеся международной безопасности на море (в том числе навигационной безопасности), содержащиеся в основных морских конвенциях (SOLAS 74, COLREG 72, MARPOL 73/78, STCW 78/95, SAR 79, LLGG, TONNAGE 69, CSC 72, ILO 147) – Conv; региональные правила (Директивы Европейского Союза, Конвенция по охране морской среды района Балтийского моря и т. д.), национальные и локальные (портовые) правила, касающиеся безопасности на море и защиты морской окружающей среды (Regu). Все это дает следующее выражение:

$$[Lega] = [Uncl, Conv, Regu]. \quad (12)$$

#### **4. Формы представления и способы обеспечения навигационной информацией**

Стандартная навигационная информация состоит из четырех видов навигационной информации: Ship (4), Envi (5) – (10), Oper (11), Lega (12).

Анализ характера каждой составляющей стандартной навигационной информации (3) позволяет сделать вывод о том, что учреждения Системы навигационной безопасности на море обеспечивают пользователя не только информацией об окружающей среде (Envi) (5) – (10). Поэтому дальнейшее

рассмотрение будет ограничено тем видом информации, который задан в выражении (5):

$$[Envi]=[Char, Msin, Wefo]. \quad (5a)$$

Информация об окружающей среде (Envi) может быть представлена в одной из следующих форм:

- представление конечного продукта в бумажном виде;
- представление с помощью компьютера;
- представление, зависящее от приемника.

Бумажный вид – самая старая и в недавнем прошлом – главная и почти исключительная форма представления навигационной информации. Такая форма используется преимущественно для представления карт и навигационных пособий (описаний маяков и огней, лоций, описаний радиотехнических средств навигационного оборудования, таблиц приливов и многих других изданий).

Компьютерная форма представления является относительно новой, но она неуклонно заменяет представление информации в бумажном виде. Такая форма все шире используется для представления электронных навигационных карт (ЭНК) и навигационных пособий в ECDIS (Электронных системах отображения карт и информации).

Представление навигационной информации с помощью приемной аппаратуры является результатом быстрого развития связанных и информационных технологий глобального охвата. В зависимости от особенностей судовых приемников навигационная информация может быть представлена в виде голосовой, печатной, графической и т. д. Эта форма широко используется для представления информации по безопасности на море (Msin) и по прогнозам погоды (Wefo) (5).

Кроме трех форм представления навигационной информации, существуют также три разных способа снабжения ею. Это снабжение в виде:

- готовой продукции;
- специальных радиослужб;
- общественных средств связи.

С помощью способа, называемого «снабжением готовыми информационными продуктами», предоставляются бумажные навигационные карты, навигационные пособия и Извещения мореплавателям (в бумажном виде), а также базы ЭНК, ENT и корректура для них.

С помощью способа, называемого «обеспечение специальных радиослужб», предоставляются следующие виды информации: прогноз погоды по радио (Wefo), навигационные предупреждения (Nawa), информация по безопасности на море (Msin) (10). Предоставление обеспечивается услугами НАВТЕКС (навигационный телекс) и службой Сети безопасности (Safety NET) и та часть оперативной информации (Oper) (11), которая содержится в

Описании радиосигналов Адмиралтейства, тома 1–8, и других аналогичных источниках.

Все большее и большее количество навигационной информации распространяется с помощью способа, называемого «предоставление общественных средств связи», т. е. телефона, телеграфа, Интернета и многих других современных средств связи. Особое значение приобретают глобальная цифровая радиотелефонная связь и Интернет.

## **5. Главные поставщики информации об окружающих условиях и обеспечение этой информацией**

### **5.1. Главные поставщики информации об окружающих условиях**

Существуют три основных поставщика навигационной информации, в особенности информации об окружающих условиях (Envi) [5] в Системе навигационной безопасности на море, которые обеспечивают ею мореплавателей и других пользователей:

- Национальные гидрографические службы;
- Национальные метеорологические службы;
- Национальные координационные центры по спасательным работам.

Имеются также некоторые дополнительные учреждения, например Международный ледовый патруль и др.

Главным поставщиком информации об окружающих условиях являются Национальные гидрографические службы. Они существуют уже почти 300 лет и обеспечивают мореплавателей картами и навигационными пособиями. Еще в Конвенции 1974 г. (SOLAS 74) («Охрана человеческой жизни на море») было сформулировано требование того, чтобы суда имели и использовали откорректированные карты и навигационные пособия. Несмотря на это, только в последней поправке главы V этой Конвенции установлено правило, которое обязует Гидрографические службы предусматривать пополнение гидрографических данных и составление пособий, в которых отражать на современном уровне всю навигационную информацию, необходимую для безопасной навигации (Правило 9 Главы V, вступившее в силу 1.07.2002 г.).

Вышеупомянутое Правило 9 Главы V обязует Гидрографические службы:

- готовить и публиковать по мере необходимости морские карты, лоции, описания огней и знаков, таблицы приливов и др.;
- распространять извещения мореплавателям для поддержания, насколько это возможно, на современном уровне морских карт и пособий.

Дополнительные обязанности Национальных гидрографических служб в отношении навигационной информации вытекают из резолюций ММО, в частности Резолюции Ф706 [17] по Всемирной службе навигационных предупреждений с поправками. Эта резолюция включает в себя и определяет обязанности Гидрографических служб, касающиеся информации по безопасности на море (Msin) [10].

Обязанности Национальных гидрографических служб и других поставщиков информации об окружающих условиях (Envi) [5] вытекают также из Главы IV «Радиосвязь» Конвенции SOLAS 74. В ней определяется основа организации работ Глобальной морской системы для спасения терпящих бедствие на море. Информация по безопасности на море (Msin) распространяется береговыми, космическими и судовыми радиосредствами этой системы.

Принципы сотрудничества ММО и главных поставщиков навигационной информации содержатся в Совместном руководстве ММО/МГО/ВМО об Информации по безопасности мореплавания, опубликованного в виде отдельного издания (Приложение 1) Международным гидрографическим бюро в Монако [12].

Следует упомянуть, что термин «Национальные гидрографические службы» означает утвержденные правительством учреждения, выполняющие обязанности гидрографических служб, которые определяются Правилom 9 Главы V SOLAS 74. К таким учреждениям могут относиться:

- Океанографические управления;
- Навигационные управления;
- Управления навигационной безопасности морского комитета (Администрации), Береговые охраны и т. д.

Обязанности Национальных метеорологических служб (управлений) в отношении информации об окружающих условиях (Envi) [5] вытекают из Правила 5 «Метеорологические услуги и предупреждения» Главы V Конвенции SOLAS 74. Эти услуги точно определены в Описании радиосигналов Адмиралтейства [1], том 1 (Coast Radio Stations-Public Correspondence), том 3 (Radio Weather Services and Navigational Warnings) и том 5 (Global Maritime Distress and Safety System). Детали морских метеорологических услуг приводятся также в Руководстве по морским метеорологическим службам, в томах 1 и 2, опубликованных в Женеве [13]. Кроме стандартных прогнозов погоды (Wefo) и погодных (штормовых) предупреждений (Wewa), имеется также подробная метеоинформация в виде рисунков, включая метеорологические факсимиле и другие формы представления о погоде.

Обязанности Центров координации спасательных работ (операций) в отношении набора информации (Sari), являющейся составным элементом набора информации по безопасности на море (Msin) [10], вытекают из следующих юридических актов:

- Международной конвенции по поисково-спасательным операциям на море 1979 г. (SAR 79) с поправками;
- Главы IV «Радиосвязь» Конвенции SOLAS 74, которая учредила Глобальную морскую систему для спасения терпящих бедствие на море.

– Оперативные детали, касающиеся Центров координации национальных региональных спасательных операций, которые содержатся в Описании радиосигналов Адмиралтейства, том 5 и в Глобальной морской системе для спасения терпящих бедствие на море.

### **5.2. Обеспечение информации по безопасности на море (MSI)**

Услуги, касающиеся информации по безопасности на море, обеспечиваются Глобальной морской системой для спасения терпящих бедствие на море (рис. 2). Информация по безопасности на море определяется как «навигационные и метеорологические предупреждения, сообщения по метеорологическим прогнозам и другие срочные сообщения, связанные с безопасностью, которые имеют жизненно важное значение для всех судов, находящихся в море.

В составе Глобальной морской системы для спасения терпящих бедствие на море имеется семь категорий информации по безопасности на море:

- навигационные предупреждения;
- метеорологические предупреждения;
- сведения о ледовой обстановке;
- информация о спасательно-поисковых операциях;
- метеорологические прогнозы;
- сообщения о лоцманских услугах (кроме США);
- сообщения о введении поправок в электронные навигационные системы.;

Поставщиками информации по безопасности на море являются:

- Национальные гидрографические службы по навигационным предупреждениям;
- Национальные метеорологические службы по метеорологическим предупреждениям и прогнозам;
- Координационные центры спасательных операций по сигналам бедствия «берег – судно» и другой срочной информации;
- Международный ледовый патруль по ледовой опасности в Северной части Атлантики.

Службы информации по безопасности мореплавания состоят из Международной службы НАВТЕКС и Международной сети безопасности.

Для координации передач Службы информации по безопасности мореплавания воды всего мира подразделяются на 16 районов так же, как это делается Всемирной службой навигационных предупреждений (НАВАРЕА/МЕТАРЕА).

### **Заключение**

В данной статье представлены учреждения Системы навигационной безопасности на море, обеспечивающие навигационной информацией, а также показаны отношения и сотрудничество между этими учреждениями. Дано более точное определение навигационной информации на стандартную



навигационную информацию и измерения и наблюдения. Более точно определены виды информации, относящейся к этим двум категориям. Показаны виды предоставления навигационной информации, формы и средства ее распространения и предоставления всем пользователям.

Эту статью следует рассматривать как представление результатов дальнейших исследований авторов по проблемам безопасности на море и ее основных элементов.

Авторы полагают, что представленные факты, отношения и выводы будут способствовать лучшему пониманию Системы навигационной безопасности на море и ее работы, а приведенные данные будут полезны при получении образования в области морской навигации и в научных исследованиях.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Admiralty List of Radio Signals, Volumes 1,3,5, 2001.
2. IALA. Aids to Navigation Guide (NAVIGUIDE). Third edition, 1999.
3. Kopać Z., Morgaś W., Urbański J. The Maritime Safety System, its Main Components and Elements. The Journal of Navigation NO 2, 2001.
4. Kopać Z., Morgaś W., Urbański J. Identification and specification of the Maritime Safety System in the Coastal Areas. Zeszyty Naukowe AMW, nr 1, 2002.
5. Kopać Z., Morgaś W., Urbański J. The Navigational Infrastructure in Polish Maritime Areas. Its State, Its Arranging, Maintaining and Designing. The XIII International Technical and Scientific Conference on "Part of Navigation in Support of Human Activities at Sea". The Institute of Navigation and Hydrography of Naval University of Gdynia, 14-15 November, 2002.
6. Kopać Z., Morgaś W., Urbański J. The Ship's Navigation Function, Ship's Navigation Process and Ship's Navigational Information. The Journal of Navigation No 1, 2003.
7. IHO/IMO World-Wide Navigational Warning Service, Guidance Document. Special Publication No 53, IHB Monaco, as amended.
8. IMO Resolution A.706(17) World-Wide Navigational Warning Service, as amended.
9. International SafetyNET Manual. IMO Publication 908.
10. International Convention on Safety of Life at Sea, 1974, Chapter IV Radiocommunications and Chapter V Safety of Navigation, as amended.
11. International Convention on Maritime Search and Rescue, 1979, as amended.
12. Joint IMO/IHO/WMO Manual on Maritime Safety Information (MSI). Special Publication S-53-Appadix 1, IHB, Monaco, as amended.
13. Manual on Marine Meteorological Services, Volumes I and II. The World Meteorological Organization. Geneva.
14. NAVTEX Manual. IMO Publication 951.
15. Safety-NET User's Handbook. International Mobile Satellite Organization (Inmarsat), London.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**АБРАМОВ Александр Михайлович**, заместитель начальника НИЦ ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1982) и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1995). Специализация – гидрография и океанография. Автор более 10 печатных трудов.

**АЛЕКСЕЕВ Сергей Петрович**, начальник ГНИНГИ МО РФ, заслуженный военный специалист РФ, председатель СПб регионального отделения Российского общественного института навигации, академик Академии транспорта РФ, контр-адмирал, докт. техн. н. 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.

**БАРИНОВ Владимир Николаевич**, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 2 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1992) и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (2000). Специализация – навигация.

**БАТУЕВ Александр Николаевич**, младший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, лейтенант. Окончил Санкт-Петербургский военно-морской институт (2003). Специализация – навигация. Автор одной печатной работы.

**БОБКОВА Мария Николаевна**, научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ. Окончила Ленинградский государственный университет (2001). Специализация – климатология.

**БОГДАНОВИЧ Михаил Леонидович**, начальник отдела ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга, канд. техн. н. Окончил Высшее военно-морское училище подводного плавания (1981), Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1996). Специализация: навигационно-гидроакустические системы и измерители скорости. Автор более 20 печатных трудов.

**ВИНОГРАДОВ Константин Анатольевич**, старший научный сотрудник ЗАО «Акавамарин», заместитель главного конструктора изделия «Фольклор-Ю», канд. техн. н. Окончил Ленинградский электротехнический институт. Специализация: навигационно-гидрографические системы и измерители скорости. Автор более 40 печатных трудов.

**Alexandr M. ABRAMOV**, Deputy Chief of the Research Centre, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Captain 1-st rank. Graduated from Frunze Naval College (1982), Naval Academy (1995). Speciality: hydrography, oceanography. Author of more than 10 publications.

**Sergey P. ALEKSEYEV**, Chief of the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, 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 of more than 100 publications.

**Vladimir N. BARINOV**, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Captain 2nd rank. Graduated from Frunze Naval College (1992) and Kuznetsov Naval Academy (2000). Speciality: navigation.

**Alexander N. BATUEV**, junior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, lieutenant. Graduated from the St. Petersburg Naval Institute (2003). Speciality: navigation. Author of one publication.

**Maria N. BOBKOVA**, researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Graduated from the St. Petersburg State University (2001). Speciality: geographer-climatologist.

**Mikhail L. BOGDANOVITCH**, chief of Division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Captain 1-st rank., CandSc. Graduated from the Naval College of Submerged Sailing (1981), Kuznetsov Naval Academy (1996). Speciality: navigation-hydroacoustic systems and speed sensors. Author of more than 20 publications.

**Konstantin A. VINIGRADOV**, senior researcher, «Аквamarin», Closed-type joint stock company, deputy chief of the leading designer for «Фольклор-Ю», CandSc. Graduated from Leningrad Electrotechnical Institute.. Speciality: navigation-hydroacoustic systems and speed sensors. Author of more than 40 publications.

**ДАНИЛОВА Галина Кирилловна**, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ. Окончила Петрозаводский государственный университет (1960). Специализация – навигация. Автор около 100 печатных трудов.

**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.

**ДРУЖЕВСКИЙ Сергей Анатольевич**, начальник отдела ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1983) и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1997). Специализация: гидрография и гидрометеорология. Область научных интересов: организация морских инженерных изысканий; влияние природной среды на безопасность строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений. Автор более 20 печатных трудов.

**ЖУКОВ Юрий Николаевич**, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, канд. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт (1972). Специализация – гидрометеорология. Автор более 30 печатных трудов.

**ЗАХАРЧУК Евгений Александрович**, директор Санкт-Петербургского отделения Государственного океанографического института. Окончил Ленинградский государственный университет (1989). Специализация – океанология. Автор 36 печатных трудов.

**ИВАНОВ Борис Евгеньевич**, главный научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга в отставке, докт. техн. н., профессор, лауреат Государственной премии РФ, заслуженный деятель науки и техники, председатель секции НТО им. акад. А. Н. Крылова. Окончил Балтийское высшее военно-морское училище (1957), Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1969). Специализация – морская геодезия, гравиметрия, гидрография, навигация. Автор около 200 печатных трудов.

**Galina. K. DANILOVA**, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Graduated from the Petrozavodsk State University (1960). Speciality: navigation. Author of about 100 publications.

**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.

**Sergei A. DRUZHEVSKY**, chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Captain 1-st rank. Graduated from Frunze Naval College (1983) and Naval Academy (1997). Speciality: hydrography and hydrometeorology. Sphere of scientific interests: organization of marine engineering surveys investigations, influence of environment on the construction and exploitation. Author of more than 20 publications.

**Yuri N. ZHUKOV**, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, CandSc. Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute (1972). Speciality: hydrometeorology. Author of more than 30 publications.

**Evgeny A. ZAKHARCHUK**, Director, St. Petersburg branch, State Oceanographic Institute, CandSc. Graduated from St. Petersburg State University (1989). Speciality: oceanology. Author of 36 publications.

**Boris E. IVANOV**, chief researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, 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.

**ИВАНОВ Николай Евгеньевич**, главный научный сотрудник Санкт-Петербургского отделения Государственного океанографического института. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт (1980). Специализация – инженер-океанолог. Автор 18 печатных трудов.

**КАВРАЙСКИЙ Александр Владимирович**, старший научный сотрудник Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института. Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1955), Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1964), капитан 1 ранга в отставке.

Специализация – морская гидрография, математическая картография. Автор более 40 печатных трудов.

**КОПАЧ Здислав**, профессор Института навигации и гидрографии Военно-морского университета г. Гдыня (Польша), кэптен в отставке. Окончил Высшее военно-морское училище (г. Гдыня, 1960), Военную академию общественных наук (г. Варшава, 1978).

Специализация – навигация. Автор более 150 печатных трудов.

**ЛАПШИНА Валентина Ивановна**, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ.

Окончила Ленинградский институт точной механики и оптики (1959). Сфера научных интересов – программно-математическое обеспечение навигационных задач. Автор 15 научных публикаций.

**ЛЕДЕНЕВ Николай Иванович**, начальник управления навигации ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга, канд. техн. н Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1977) и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1991). Специализация – штурман, специалист по техническим средствам навигации. Автор более 30 печатных трудов.

**ЛОБОЙКО Борис Иванович**, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга в запасе, докт. техн. н., академик Академии военных наук, почётный геодезист. Окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники им. С. Попова (1968). Специализация – радиосвязь, навигация. Автор более 70 печатных трудов.

**ЛЫСЕНКО Кирилл Юрьевич**, научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан-лейтенант. Окончил Высшее военно-морское училище подводного плавания (1999). Специализация – гидроакустические измерители скорости Автор около 10 научных публикаций.

**Nikolai E. IVANOV**, researcher, St. Petersburg branch, State Oceanographic Institute. Graduated from St. Petersburg Hydrometeorological Institute (1980). Speciality: engineer-oceanologist. Author of 18 publications.

**Alexander V. KAVRAISKY**, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Captain 1-st rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College (1955), Naval Academy (1964). Speciality: marine hydrography, mathematical cartography. Author of more than 40 publications.

**Zdislaw KOPACZ**, professor, the Institute of Navigation and Hydrography, Naval University of Gdynia, Captain (Ret.). Graduated from Higher Naval School (Gdynia, 1960), Military Academy of Social Sciences (Warszawa, 1978). Speciality: navigation. Author of more than 150 publications.

**Valentina I. LAPSHINA**, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Graduated from Leningrad Institute of Fine Mechanics and Optics (1959). Sphere of scientific interests: software for navigation problems. Author of 15 publications.

**LEDENYOV Nikolai I.**, chief of the Navigation department, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Captain 1-st rank, CandSc. Graduated from Frunze Naval College (1977) and Kuznetsov Naval Academy (1991). Speciality: navigator, specialist in technical aids to navigation. Author of more than 30 publications.

**Boris I. LOBOIKO**, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Captain 1st rank (Ret.), DSc, academician of the Academy of Military Sciences, Honoured Geodesist. Graduated from Popov Naval College of Raioelectronics(1968). Speciality: radio communications, navigation. Author of more than 70 publications.

**Kirill Y. LYSENKO**, researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Lieutenant Commander. Graduated from the Naval College of Submerged Sailing (1999). Speciality: hydroacoustic speed sensors. Author of about 10 publications.

**ЛЯМЗИНА Валерия Григорьевна**, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ.

Окончила Ленинградский государственный университет (1965). Сфера научных интересов – базы данных. Автор 10 научных публикаций.

**МАЛЕЕВ Павел Иванович**, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга в отставке, докт. техн. н. Окончил Казахский государственный университет (1952), Специальные курсы при Военно-морской академии им. А. Н. Крылова (1953).

Специализация – технические средства навигации. Автор около 200 печатных трудов.

**МАСТРЮКОВ Сергей Иванович**, начальник отдела ГНИНГИ МО РФ, полковник, канд. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт (1978). Специализация – океанология. Автор около 100 печатных трудов.

**МОРГАСЬ Вацлав**, начальник института Навигации и гидрографии Военно-морского университета г. Гдыня (Польша), доктор наук, профессор, кэптен в отставке. Окончил Высшее военно-морское училище (г. Гдыня, 1965), Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1976). Специализация – морская навигация. Автор более 100 печатных трудов.

**ОПАРИН Александр Борисович**, начальник НИЦ ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга, докт. техн. н., старший научный сотрудник. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1977) и Высшие специальные офицерские классы (1984). Специализация – военный инженер-гидрограф. Автор около 60 печатных трудов.

**ПЫЛЕНКОВ Виктор Алексеевич**, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга (в отставке), канд. техн. н. Окончил Высшее военно-морское училище подводного плавания (Калининград) (1956), Академию им. Ф. Э. Дзержинского (1967). Специализация – навигация. Автор более 50 печатных трудов.

**РОЖКОВ Валентин Алексеевич**, главный научный сотрудник Санкт-Петербургского отделения Государственного океанографического института, докт. физ.-мат. н., профессор. Окончил Ленинградский государственный университет (1965). Специализация – океанология. Автор 250 печатных трудов.

**СМИРНОВ Борис Михайлович**, старший научный сотрудник АОЗТ «Криомаг». Окончил Московский энергетический институт (1967). Специализация – магнитометрия. Автор более 100 печатных трудов.

**Valeria G. LYAMZINA**, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Graduated from Leningrad State University (1965). Sphere of scientific interests: databases. Author of 10 publications.

**Pavel I. MALEYEV**, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. 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.

**Sergei I. MASTRYUKOV**, chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Colonel, CandSc. Graduated from St. Petersburg Hydrometeorological Institute (1978). Speciality: oceanology. Author of about 100 publications.

**Waclaw MORGAS**, Chief of the Institute of Navigation and Hydrography, Naval University of Gdynia, PhD, professor, Captain (Ret.). Graduated from Higher Naval School (Gdynia, 1965), Naval Academy (Leningrad, 1976). Speciality: maritime navigation. Author of more than 100 publications.

**Alexander B. OPARIN**, chief of Research Centre, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Captain 1-st rank, senior researcher, DSc. Graduated from Frunze Naval College (1977) and Higher Officers' Classes (1984). Speciality: military engineer-hydrographer. Author of about 60 publications.

**Victor A. PYLENKOV**, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. CandSc, Captain 1-st rank (Ret.). Graduated from the Naval College of Submerged Sailing in Kaliningrad (1956) and Dzerzhinsky Academy (1967). Speciality: navigation. Author of more than 50 publications.

**Valentin A. ROZHKOV**, chief researcher, St. Petersburg branch of the State Oceanographic Institute, DSc, professor. Graduated from Leningrad State University (1965). Speciality: oceanology. Author of 250 publications.

**Boris M. SMIRNOV**, senior researcher, «Criomag» Closed Joint Stock Company, CandSc. Graduated from Moscow Energetics Institute (1967). Speciality: magnetometry. Author of more than 100 publications.

**ТИХОНОВА Наталья Александровна**, научный сотрудник Санкт-Петербургского отделения Государственного океанографического института, студентка факультета географии и геоэкологии Санкт-Петербургского государственного университета. Специальность – океанология. Автор 2 печатных работ.

**ТРЕГУБОВ Виктор Свиридович**, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ. Окончил Государственную морскую академию им. адм. С. О. Макарова (1975). Область научных интересов – радионавигация. Автор 80 печатных трудов.

**УРБАНЬСКИЙ Юзеф**, ведущий научный сотрудник Института навигации и гидрографии Военно-морского университета г. Гдыня, докт. наук, профессор, кэптен в отставке. Окончил Высшее военно-морское училище (г. Гдыня, 1951), Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1959). Специализация – навигация, гидрография. Автор более 200 печатных трудов.

**ФЕДОРОВ Александр Анатольевич** начальник отдела ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга, канд. техн. н., старший научный сотрудник. Окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники им. А. С. Попова (1984). Специализация – гидrometeorологическое обеспечение ВМФ. Автор более 30 печатных трудов.

**ШАДРИН Николай Игоревич**, заместитель начальника отдела ГНИНГИ МО РФ, капитан 3 ранга, канд. техн. н., старший научный сотрудник. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1993). Специализация – гидrometeorология.

**ЯЦЕНКО Сергей Владимирович**, заместитель начальника управления ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1986). Область научных интересов: теоретическое обоснование и разработка технических решений минимизации рисков природного и технологического характера при обустройстве и эксплуатации морских объектов нефтегазового комплекса. Автор около 30 печатных трудов

**Natalia A. TIKHONOVA**, researcher, St. Petersburg branch of the State Oceanographic Institute, student of St. Petersburg State University. Speciality: oceanology. Author of two publications.

**Victor S. TREGUBOV**, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Graduated from Makarov State Maritime Academy (1975). Speciality: radionavigation. Author of 80 publications.

**Józef URBAŃSKY**, leading researcher, the Institute of Navigation and Hydrography, Naval University of Gdynia, PhD, professor, Captain (Ret.). Graduated from Higher Naval School (Gdynia, 1951), Naval Academy (Leningrad, 1959). Speciality: navigation, hydrography. Author of more than 200 publications.

**Alexander A. Fedorov**, chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. CandSc, Captain 1-st rank. Graduated from Popov Naval College of Radioelectronics (1984). Speciality: hydrometeorological support for the Navy. Author of more than 30 publications.

**Nikolai I. Shadrin**, deputy chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Captain 3-rd rank, CandSc, senior researcher. Graduated from Frunze Naval College (1993). Speciality: hydrometeorology.

**Sergei V. Yatsenko**, deputy chief of department, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Captain 1-st rank, CandSc, senior researcher. Graduated from Frunze Naval College (1986). Sphere of scientific interests: theoretical substantiation and development of technical solutions intended to minimize the risks of natural and technological character when developing and exploiting the marine objects of oil and gas complex.

Author of about 30 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 следующие издания ГНИНГИ МО: журнал «Навигация и гидрография», материалы Российской научно-технической конференции «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии», а также информационно-аналитические материалы, разработанные отделом военно-научной информации (аналитические обзоры, аналитические и информационные справки).

Приобрести издания ГНИНГИ МО РФ можно, оформив заказ на номер/номера журнала и/или сборники докладов конференций НО-2001, НО-2004, сборник информационно-аналитической информации (на CD), как за наличный, так и безналичный расчет.

Заказ можно оформить на любой номер журнала, начиная с первого. Время оформления подписки или заказа не ограничено.

В 2004 году ГНИНГИ МО РФ изданы:

- 18 и 19 номера журнала «Навигация и гидрография»;
- сборник «Труды конференции "НО-2004"» в двух томах;
- сборник информационно-аналитических материалов на CD.

Цена одного номера (выпуска):

- журнала «Навигация и гидрография» – 150 руб.;
- сборник «Труды конференции "НО-2001"» в двух томах – 1000 руб.;
- сборник «Труды конференции "НО-2004"» в двух томах – 3000 руб.;
- сборник «Труды конференции "НО-2004"» в двух томах на CD – 1000 руб.;
- сборник информационно-аналитических материалов на CD – 1500 руб.

На все перечисленные издания НДС не начисляется.

Заполненный бланк-заказ просим высылать

Начальнику ГНИНГИ МО РФ

по адресу: Кожевенная линия 41, Санкт-Петербург, Россия, 199106.

*Копию платежного поручения следует направить по тел/факсу (812) 327-99-80 или выслать начальнику отдела военно-научной информации Обухову Алексею Юрьевичу по адресу: Кожевенная линия, 41, Санкт-Петербург, Россия, 199106.*

## Глубокоуважаемые коллеги!

Приглашаем Вас к сотрудничеству в журнале «**Навигация и гидрография**», издаваемом с 1995 г. Государственным научно-исследовательским навигационно-гидрографическим институтом Министерства обороны Российской Федерации.

В журнале публикуются результаты исследований в области навигации, гидрографии, океанографии, гидрометеорологии, морской картографии, морской геофизики и экологии. Издание освещает концептуальные научные положения и осуществляет оперативную публикацию новейших теоретических исследований. Журнал знакомит с передовыми техническими достижениями, с материалами симпозиумов, конференций и хроникой важнейших событий научной жизни. Статьи журнала рецензируются.

Журнал распространяется по подписке. Кроме того, он поступает как в Генеральный штаб ВС РФ, Главный штаб ВМФ, ГУНиО МО РФ, органы управления флотов, научно-технические библиотеки высших военно-морских учебных заведений, научно-исследовательских организаций, крупнейшие библиотеки России, так и отсылается за рубеж (Международное гидрографическое общество, Гидрографическая служба Великобритании и др.).

### **Информация для авторов**

Журнал выходит два раза в год. Статьи, предназначенные для первого номера, принимаются до конца марта, а для второго – до конца сентября текущего года. Авторам публикаций выплачивается гонорар.

### **Требования к оформлению материалов**

*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 (шрифт – Times New Roman размером 14, межстрочный интервал 1,5). Все материалы должны быть подписаны авторами.

*Объем статьи* не должен превышать 0,5 авторского листа (20 000 печатных знаков), включая рисунки, таблицы и список литературы.

*Название статьи* должно в наиболее краткой форме отражать ее содержание.

В статье указывается *индекс ГРНТИ*. К работе прилагается *аннотация* (объемом не более 150 слов) и *сведения об авторах* (ФИО полностью; полное название учреждения, где работает автор; должность; ученая степень; воинское звание; год окончания и полное название высшего учебного заведения, которое закончил автор; специализация, количество опубликованных научных трудов). Аннотация и сведения об авторах представляются *отдельными файлами*. Следует указать почтовый и электронный *адреса авторов*, а также служебные и домашние номера телефонов. К рукописи прилагается *сопроводительное письмо* организации, где выполнено данное исследование, и один экземпляр оформленного в соответствии с требованиями приказа Министра обороны Российской



Федерации №355–96 г. *экспертного заключения* о возможности открытого опубликования представленных материалов.

Для написания формул и символов, входящих в формулы, в тексте следует использовать редактор формул MS Word for Windows.

Используемые в статье *величины и единицы измерения* должны соответствовать стандартным обозначениям согласно Международной системе единиц СИ.

*Рисунки* представляются *отдельным файлом* в форматах .bmp, .jpg или .gif с разрешением до 300 DPI. Все рисунки должны быть размером не более 210×140 мм и иметь порядковые номера и подписи.

*Таблицы* должны иметь порядковые номера и названия. Длина строки таблиц при шрифте " Times New Roman" размером 9 не должна превышать 140 мм. При этом таблицы, у которых длина строки при указанном шрифте превышает 145 мм, должны иметь вертикальную ориентацию.

*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.

Материалы, отправляемые по электронной почте, 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.

*Условия выплаты гонорара.* Гонорар выплачивается автору или коллективу авторов в размере 2 000 руб за каждую опубликованную статью, объем которой не превышает 0,5 авторского листа (20 000 печатных знаков), а также при условии представления следующих данных: Фамилия, Имя, Отчество; адрес; ИНН; рег. № Пенсионного фонда; дата, год рождения; серия и номер паспорта.

Почтовые расходы относятся за счет авторов.

**Адрес редакции:** ГНИНГИ МО РФ,  
Кожевенная линия, 41, Санкт-Петербург, 199106, Россия  
Главному редактору журнала "Навигация и гидрография"

Алексееву Сергею Петровичу  
Телефон: (812) 322-21-42 (доб. 215),  
Факс: (812) 322-33-19 (с 9.00 до 17.00).  
E-mail: [gningi@navy.ru](mailto:gningi@navy.ru)



## **НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ, 2004, №19**

Научный редактор П. И. Малеев

Редактор И. Ю. Бугрова

Компьютерная верстка: Т. А. Лавринович

Подписано в печать 13.05.2005 г.

Заказ № 1283

Рег. № 013267 от 26.01.95 г.

Комитет РФ по печати

---

---

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