

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

---

**НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ**

ИЗДАЕТСЯ С 1995 ГОДА

**15  
2002**

**МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

---

Санкт-Петербург

# **Главный редактор д. т. н. С. П. Алексеев**

## **Редакционная коллегия:**

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

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

**2002**

**THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC  
INSTITUTE**

---

**NAVIGATION AND HYDROGRAPHY**

PUBLISHED SINCE 1995

**15  
2002**

**RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE**

---

Saint-Petersburg

# **Editor-in-chief**

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

### **Editorial board**

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

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

2002

*Уважаемые читатели!*

*Завершился 2002 год, он принес много нового и положительного в развитие нашего государства, в частности более четко обозначились приоритеты в направлениях реформы Вооруженных сил. Сегодня Россия по-прежнему нуждается в надежном обеспечении своей безопасности, – вызовы и угрозы со стороны международного терроризма продолжают оставаться суровой реальностью. Руководством государства реализуются необходимые меры в интересах возрождения экономической и военной мощи страны.*

*В новом году больше внимания будет уделено развитию науки, совершенствованию работы организаций и предприятий ВПК,*

*2003 год – год 300-летнего юбилея Санкт-Петербурга – морской столицы России. Огромен научный потенциал нашего города, здесь в творческом содружестве ученых, конструкторов и инженеров совместно с высококвалифицированными рабочими создаются образцы новой современной морской техники и вооружений, которые по праву являются гордостью нашего государства.*

*Наш журнал будет продолжать освещать на своих страницах актуальные вопросы навигации и гидрографии. Мы всегда открыты для общения с теми, кому не безразлична судьба российской науки в вопросах военно-научных исследований по реализации национальных интересов Российской Федерации в Мировом океане. Приглашаем всех к тесному и продуктивному сотрудничеству.*

*С Новым 2003 годом, уважаемые коллеги, дорогие друзья! Редакционная коллегия и редакция журнала «Навигация и гидрография» желает всем крепкого здоровья, бодрости духа, благополучия, успехов в службе и труде на благо Отчизны.*

*Главный редактор*

*Начальник ГНИНТИ МО РФ*

*доктор технических наук, профессор, контр-адмирал С. Алексеев*

*Dear readers,*

*The year 2002 has come to an end. It was a witness of many new and positive aspects in the development of our state, in particular, the priorities in the Armed Forces reform have been defined more clearly. Today the national security of Russia still needs to be reliably maintained because the challenges and threats of the international terrorism remain a grim reality. The leaders of the state take the necessary measures serving the interests of revival of the economic and military power of the country.*

*In the new year, greater attention will be paid to the development of science, improvement of the work of the organizations and enterprises making up the Military-Industrial Complex.*

*The year 2003 is the year of the 300th anniversary of St. Petersburg, the maritime capital of Russia. The scientific potential of our city is enormous. Here the scientists, designers and engineers together with highly skilled workers, in creative co-operation, produce items of new up-to-date technology and armament that are by right considered to be the pride of our state.*

*Our journal will cover the most significant problems of navigation and hydrography as it did before. We are always open for intercourse with people who are not indifferent to the fate of the Russian science concerning the military research that serves the national interests of the Russian Federation in the World ocean. We invite everybody for close and productive co-operation.*

*Dear colleagues and friends,  
the Editorial Board and the editorial staff of the journal «Navigation and Hydrography» wish you good health, high spirits, well-being, success in work and service for the welfare of the Motherland and a very happy New Year.*

*Editor-in-chief  
Chief of GNINGI MoD RF  
Doctor of Sciences, professor, Rear-Admiral S. Alekseyev*

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>НАВИГАЦИЯ</b> .....	9
<b>А. В. Елагин</b> E–navigation: научно-практический прогноз .....	9
<b>Б. И. Лобойко, В. Н. Барин</b> Состояние и перспективы развития спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС.....	20
<b>А. В. Жерлаков</b> Скользящий навигационный фильтр.....	27
<b>Ю. С. Дубинко, Т. Ю. Дубинко, Л. В. Дубинко, О. В. Никитин</b> Устранения влияния тропосферных и ионосферных ошибок измерений в одночастотном приёмнике .....	33
<b>Ю. С. Дубинко, О. В. Никитин</b> Оценивание вектора интересующих навигационных параметров при наличии мешающих факторов.....	39
<b>Б. Е. Иванов</b> О непараметрическом способе определения доверительной вероятности оценки математического ожидания.....	48
<b>Б. Е. Иванов</b> О свойствах погрешности и обозначающих ее терминах .....	54
<b>Ю. А. Щербаков, В. С. Лоцилов, В. Г. Смирнов, Е. А. Гришин</b> Оперативное ледово-информационное обеспечение навигации на замерзающих морях .....	67
<b>ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ</b> .....	78
<b>В. Г. Дмитриев</b> Краткий обзор применения геоинформационных технологий в гидрографических аспектах (по материалам российской зоны Интернет). Окончание .....	78
<b>В. Г. Дмитриев, А. Б. Опарин, А. М. Абрамов</b> О нормативно-правовых основах цифровой картографической деятельности в ЕСИМО Часть II.....	91
<b>Ю. Н. Жуков</b> Способ оценки близости положения изолиний.....	101
<b>Ю. Н. Жуков</b> Оценка вероятности обнаружения подводных объектов.....	107
<b>ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ОКЕАНОГРАФИЯ</b> .....	112
<b>Брахим Бенригхи, С. П. Демин, Д. А. Шумахер</b> Об использовании географических информационных систем при создании электронного атласа гидрометеорологических параметров.....	112
<b>Ю. Н. Жуков</b> Волновой аспект проблемы приливов.....	119
<b>В. Д. Поздынин</b> Вероятностная оценка размеров плавающих льдин и общей площади моря, занятой плавучим льдом.....	123
<b>КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ, СЕМИНАРЫ, ВЫСТАВКИ</b> .....	129
Всероссийская научно-практическая конференция «Гидрографическая служба Военно-Морского Флота, ее роль и место в навигационно-гидрографическом обеспечении мореплавания в России».....	129
Первый Международный военно-морской салон «IMDS-2003» .....	131
Пятая Российская научно-техническая конференция «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии» («НО-2004»).....	131
<b>ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ</b> .....	133

## CONTENTS

<b>NAVIGATION</b> .....	9
<b>A. V. Elagin</b> E-navigation: Scientific-Practical Forecast.....	9
<b>B. I. Loboiko, V. N. Barinov</b> State and Development Prospects of GLONASS Satellite Navigation System.....	20
<b>A. V. Zherlakov</b> Sliding Navigation Filter.....	27
<b>Y. S. Doubinko, T. Yu. Doubinko, L. V. Doubinko, O. V. Nikitin</b> Elimination of the Influence of Tropospheric and Ionospheric Measurement Errors in Single-Frequency Receiver.....	33
<b>Yu. S. Doubinko, O. V. Nikitin</b> Filtration of Navigation Parameters in the Presence of Interfering Ones.....	39
<b>B. E. Ivanov</b> On Nonparametric Method of Determining the Confidence Probability of Mathematical Expectation Estimate.....	48
<b>B. E. Ivanov</b> On Properties of Error and Terms Used to Designate It.....	54
<b>Yu. A. Shcherbakov, V. S. Loshchilov, V. G. Smirnov, E. A. Grishin</b> Operational Ice-Information Support for Navigation in the Freezing Seas.....	67
<b>HYDROGRAPHY AND MARINE CARTOGRAPHY</b> .....	78
<b>V. G. Dmitriyev</b> Brief Review of Employment of Geoinformation Technologies in Hydrographic Aspects (based on the materials of the Russian zone of the Internet). The end.....	78
<b>V. G. Dmitriev, A. B. Oparin, A. M. Abramov</b> On the Normative-Legal Principles of Digital Cartographic Activities in the Unified System of Information on the World Ocean State. Part II.....	91
<b>Y. N. Zhukov</b> The Method of Evaluating the Closeness of Isolines.....	101
<b>Y. N. Zhukov</b> Evaluation of the Detection Probability of Underwater Objects.....	107
<b>HYDROMETEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY</b> .....	112
<b>Brahim Benrighi, S. P. Demin, D. A. Shumakher</b> On Employment of Geoinformation Systems when Creating the Atlas of Hydrometeorological Parameters.....	112
<b>Y. N. Zhukov</b> Wave Aspect of the Problem of Tides.....	119
<b>V. D. Pozdynin</b> Probabilistic Estimate of the Floating Ice Floes Size and of the Total Sea Surface Covered by the Floating Ice.....	123
<b>CONFERENCES, SYMPOSIA, SEMINARS, EXHIBITIONS</b> .....	129
All-Russian Scientific-practical Conference «The Hydrographic Service of the Navy, its Role and Place in Navigation-Hydrographic Support for Seafaring in Russia».....	129
The International Naval Salon.....	131
«The Present-Day State and Problems of Navigation and Oceanography» («NO-2004»).....	131
<b>INFORMATION ABOUT AUTHORS</b> .....	133

---

# НАВИГАЦИЯ

---

ГРНТИ 509.33.03.11.39; 733.34.17.15

## **E-NAVIGATION: НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ**

**А. В. ЕЛАГИН**

(Издательство «Юридический центр Пресс»)

*В статье рассматриваются вопросы современного состояния глобальной сети и способ использования Интернет для обеспечения безопасности мореплавания. Рассмотрена технология взаимодействия элементов системы навигационно-гидрографического обеспечения на основе Интернет. Показано, что Интернет в настоящее время обладает всеми возможностями для отражения и моделирования такого сложного мирового процесса как навигация, способен обеспечить решение большинства организационных и практических задач. Предлагаются мероприятия по реализации навигации на основе Интернет. Вводится понятие e-navigation. Статья предназначена для всех интересующихся информационными технологиями и их практическим применением в информационном обеспечении навигации.*

### **Введение**

Бурное развитие информационных технологий в конце XX – начале XXI вв. ставит перед человечеством новые задачи и дает новые инструменты и методы для решения традиционных практических проблем. Одним из самых впечатляющих достижений, предоставляющих абсолютно новые возможности для решения целого ряда жизненно важных задач, в последние десятилетия, без сомнения, является Интернет – гетерогенная программно-аппаратная среда межсетевого взаимодействия. Сегодня широко используются на практике такие информационные технологии как e-commerce, e-mail, e-shipping и многие другие, основанные на инфраструктуре и протоколах Интернет и позволяющие сделать намного эффективнее многие аспекты человеческой деятельности.

Развитие Интернет-технологий идет настолько бурными темпами, что влияние их практически на все виды человеческой деятельности трудно переоценить. Без сомнения, некоторые из технологий, которые за десятилетия развития Интернет выработали IT-специалисты всего мира для использования в открытых сетях, применяются и для навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения (НГО и ГМО) безопасности мореплавания, организации поиска и спасения терпящих бедствие кораблей и судов, безопасности воздушной и наземной навигации, однако их применение носит частичный, фрагментарный характер, направленный на решение частных задач того или иного вида навигации. В данной статье, продолжающей работы автора на тему влияния информационных технологий на повышение эффективности НГО и ГМО навигации, предложен целостный взгляд на использова-

ние Интернет-технологий и возможный путь развития мировой системы обеспечения безопасности людей, грузов, объектов навигации во всех средах, выполняющих любую специальную задачу в процессе навигации. Интернет рассматривается как инструмент для решения макроорганизационных задач, – инструмент, необходимый и достаточный для воплощения в НГО и ГМО новой информационной парадигмы взаимодействия элементов этой достаточно сложной и многофункциональной системы.

При описании технологии впервые использован объектный подход и термины объектного описания реального мира.

### **Понятие e-navigation**

Интернет навигация (e-navigation) – навигация, при которой для достижения целевой функции объекту навигации и объекту, формирующему среду навигации, необходимо постоянное или периодическое подключение к Интернет и постоянное знание координат местоположения и параметров вектора скорости, получаемых от систем координирования. В этом случае участник процесса навигации получает необходимое информационное обеспечение исключительно по каналам связи Интернет, используя программное обеспечение клиента сети (браузер) с необходимыми элементами для решения картометрических, аналитических, навигационных и других прикладных задач. При этом в систему передаются параметры (атрибуты) объекта, которые могут отображаться на клиентских устройствах других участников навигации, диспетчерских служб, служб спасения или других субъектов навигации. Для описания технологии e-navigation будут использоваться термины объектного описания реального мира, а именно:

- *сущность навигации* – любой объект, который участвует в технологии и может быть описан другими объектами;
- *объект* – мобильная или стационарная сущность навигации, находящаяся в состоянии навигации или формирующая среду навигации, принадлежащая определенному классу и контролируемая субъектом навигации;
- *класс* – объединение объектов по формальному признаку общности атрибутов;
- *субъект* – сущность, обеспечивающая контроль процесса навигации;
- *атрибуты* – параметры, описывающие объект и имеющие уникальные значения для каждого объекта или субъекта.

### **Интернет и навигация**

Возможность применения Интернет-технологий для НГО и ГМО навигации имеет ряд объективных предпосылок, а именно:

- развитие технологий связи, в том числе беспроводных, обеспечивающих информационный обмен мобильных пользователей и доступ их в Интернет;
- развитие Интернет-технологий, в том числе позволяющих с помощью открытых сетей решать специфические частные задачи в защищенных режимах;
- развитие технологий клиент-сервер, позволяющих большинство информационных задач выполнять на стороне сервера;

- развитие клиентских приложений Интернет, возможность включения в них специализированного программного обеспечения;
- развитие технологий объектного описания реального мира и его картографического представления средствами вычислительной техники;
- развитие технологий баз данных, в том числе ориентированных на работу в Интернет;
- развитие вычислительных платформ и операционных сред, включивших в себя множество необходимых для решения прикладных проблем служб и сервисов;
- появление и функционирование глобальных систем координирования и определения параметров вектора скорости (GPS, Glonass, Galileo).

Включение Интернет-технологий в НГО и ГМО навигации идет недостаточными темпами, международное сообщество, профессионально занимающееся проблемами обеспечения безопасности навигации, явно недооценивает инструментарий, который сегодня предлагает Интернет. Интернет используется в основном для обмена информацией между гидрографическими службами и клиентами, Интернет-технологии применяются для создания частных информационных систем различного назначения: контроля состояния СНО, гидрометеорологического мониторинга, трекинга. Интернет способен объединить указанные и многие другие задачи в одну программно-аппаратную среду и предоставлять сервис необходимого уровня самым различным сущностям процесса навигации.

Выделим современные технологии и научно-технические решения, которые делают возможным совершенно новый уровень соотношения понятий «навигация» и «Интернет», а именно:

- структуру и технологии разрешения пространства имен и адресного пространства Интернет (например, DDNS);
- службу каталога объектов (например MS Active directory);
- виртуальные частные сети и их протоколы (VPN);
- новые технологии и протоколы безопасной аутентификации, шифрования данных, служб сертификации, цифровой подписи и других технологий предназначенных для обеспечения безопасной работы в сети авторизованного пользователя (например, EAP, TLS-SSL, DSA, RSA, DES, Kerberos, PGP, центры сертификации).

Для успешного функционирования системы e-navigation она должна включать следующие элементы:

- *e-chart* – навигационная карта, формируемая объекту навигации или субъекту в зависимости от класса, атрибутов и доставляемая объекту по каналам связи, не требует актуализации на стороне клиента, содержит также ссылку на связанную текстовую информацию;
- *сервер авторизации*, производящий аутентификацию сущности, выдающий сертификаты и ключи пользователю и навигационному серверу, принимающий первичные атрибуты объекта и направляющий запрос на навигационный сервер – центральный элемент системы безопасности;

- *навигационный сервер* – сервер, формирующий ответ на запрос в соответствии с классом и атрибутами объекта или субъекта, определяющий параметры сервиса и передающий атрибуты объекта в глобальный каталог;

- *глобальный каталог* – динамически обновляемое хранилище сущностей навигации и их атрибутов; совместное использование сервисов навигационного сервера и глобального каталога создает на клиентском средстве отображения модель среды навигации;

- *клиентское средство отображения* – программно-аппаратная платформа клиента, включающая модуль считывания сертификационной смарт-карты, Интернет-браузер, программное обеспечение, служащее для обеспечения доступа в сеть, отображения навигационной информации, позволяющее решать навигационные картометрические задачи, генерирующее события и создающее журналы различного рода событий в системе и взаимодействующее с агентом сущности навигации;

- *агент сущности навигации* – программное или программно-аппаратное средство, передающее в глобальный каталог изменения атрибутов и навигационных параметров объектов и субъектов;

- *система координирования с интерфейсом* через агент в клиентское средство отображения.

### **Компоненты e-navigation и их взаимосвязь**

Рассмотрим компоненты системы подробнее.

#### ***e-chart***

Термин *e-chart* уже используется трейдерами Интернет-торгов. В то же время более оправданным представляется его использование для описания процессов Интернет-навигации. По определению *e-chart* – электронная навигационная карта, предназначенная исключительно для передачи по коммутируемым и маршрутизируемым каналам инфраструктуры Интернет и отображаемая в Интернет-браузере, – информационная основа *e-navigation*. Это накладывает на реализацию *e-chart* определенные требования:

- максимально компактный формат;
- высокий уровень интерактивности;
- соответствие задачам, выполняемым клиентом;
- возможность кэширования для работы off-line и автоматическая синхронизация актуализирующей информации;

- связь по данным с другой (например, текстовой) навигационной информацией;

- связь с координирующей системой и агентом сущности навигации;

- возможность загрузки информации в соответствии с параметрами движения, а также клиент-серверная интеграция с навигационным сервером для подгрузки дополнительной информации;

- удовлетворение требований Международной морской организации (ИМО) к системам ECDIS.

Хотя сегодня не существует прообраза навигационной *e-chart*, Интернет уже накопил достаточно форматов и средств для реализации компактного

формата e-chart. Это компактные графические форматы, использующие LZW, ZIP и фрактальное сжатие, такие как JPEG, GIF, PNG. Это и эффективные средства разработки Web-страниц (DHTML, JavaScript и др.), позволяющие сделать отображаемую информацию интерактивной. Передаваемое по сети картографическое изображение среды пообъектно размечается контейнерами HTML или другого понятного клиентской системе отображения языка, а поведенческая модель объекта реализуется средствами динамического HTML или скриптом. Концепцию e-chart можно выразить соотношением:

e-chart=контейнеры s-57 + контейнеры DHTML + Javascript + Интернет графика.

Контейнеры формата s-57 несут вспомогательную функцию дополнительной идентификации объекта и интерфейса с другими информационными источниками, содержат уникальный идентификатор объекта реального мира. Кроме того, в создании e-chart может применяться технология SVG (масштабируемая векторная графика), также позволяющая реализовать объектную модель e-chart и ее свойств в Интернет.

Как уже указывалось, e-chart формируется для каждого объекта по его запросу в соответствии с классом объекта, его атрибутами и характером выполняемой задачи. Аналогично в Интернет используются cookies, asp, php. Главное достоинство e-chart для клиента – отсутствие необходимости клиентской корректуры, – клиент получает всегда актуализированный набор информации.

### **Сервер авторизации**

Сервер авторизации – программно-аппаратный комплекс, с которым клиент инициализирует начальное соединение. В случае технологии e-navigation, в которой по общим сетям будет передаваться жизненно важная информация, аутентификация пользователей системы должна проходить наиболее надежным способом. Технология аутентификации клиента и серверов должна быть не менее надежной, чем предоставляемая протоколом Kerberos. В Интернет нашел широкое применение клиент-серверный протокол RADIUS и его модификация Microsoft – служба IAS (служба аутентификации Интернет) на базе которых уже сегодня можно проектировать сервер авторизации e-navigation. Безусловно, для более защищенной и автоматизированной аутентификации необходимо использовать наиболее современные протоколы, например EAP. В случае с сервером авторизации можно сказать, что Интернет и технологии защиты информации уже достигли достаточного развития для их непосредственного применения в Интернет-навигации. После авторизации, открытия сеанса, выдачи ключа, серверного билета (а при первичном соединении и сертификатов) сервер авторизации направляет пользователя непосредственно к навигационному серверу, а информацию о пользователе направляет в глобальный каталог. Описание выделения сеансного адреса (DHCP), передачи данных в DDNS (записи типа A, PTR), и в целом проблем прямого и обратного разрешения пространства имен выходит за рамки данной статьи, так как они осуществляются обычными Интернет службами и процессами.

### **Навигационный сервер**

Навигационный сервер физически представляет собой базу навигационных данных (БНД) на определенный район мирового океана. Она ориентирована на работу в Интернет и администрируется (актуализируется) определенным субъектом. В настоящее время наиболее перспективным программным решением представляется СУБД ORACLE9i, одной из возможностей которой является генерирование HTML-кода и JAVA-апплетов, и аппаратное обеспечение которой возможно организовать на 64-разрядных, многопроцессорных платформах SUN с транзакционной моделью работы процессоров. Навигационный сервер содержит всю навигационно-гидрографическую информацию на зону ответственности – как статическую, так и динамическую. Задача сервера на основании анализа полученных данных о клиенте (координаты, класс объекта, навигационные параметры и др.) – генерировать и передавать на клиент e-chart и по запросу (гиперсвязи) дополнительную информацию. Одновременно навигационный сервер осуществляет связь с глобальным каталогом, запрашивая у него параметры всех объектов, зарегистрированных в службе на данный момент и на соответствующий район плавания, и включает их в генерируемую e-chart. Информация проходит синтаксический контроль и отправляется клиенту на клиентское средство отображения. Основными особенностями навигационного сервера являются:

- предварительное тестирование ответов на все возможные запросы с целью проверки семантической целостности генерируемой e-chart;
- бесшовное хранение данных по информационным слоям;
- наличие программного обеспечения для организации процесса актуализации данных;
- ведение журналов и копий генерируемых данных;
- данные могут храниться во внутренних моделях, схемах, и форматах и собираться в целостную e-chart по запросу клиента.

В настоящее время накоплен достаточный опыт создания «бесшовных» электронных карт и средств СУБД для реализации описанного подхода.

### **Глобальный каталог**

Глобальный каталог является центральным элементом технологии. Он представляет динамически обновляемую, реплицируемую базу данных объектов навигации и их атрибутов; кроме навигационных, может содержать любые данные об объекте (характер груза, порт приписки и прочие, способные повлиять на принятие тех или иных решений). Глобальный каталог должен отвечать следующим требованиям:

- высочайшая надежность технических средств и избыточность информации;
- способность содержать и передавать информацию о миллионах объектов;
- постоянная и быстрая репликация и синхронизация с копиями глобального каталога и серверами субъектов.

Основой функционирования глобального каталога может быть любая служба каталога (Nowell, Microsoft), возможно, работающая по протоколу, по-

добному LDAP, расширенному специфическими атрибутами объектов, и наличие уникального идентификатора объекта, хранящегося в каталоге. Уникальный идентификатор объекта выдается последнему централизованно при разрешении выполнять навигационные задачи и имеет уникальный формат, который воспринимается только глобальным каталогом e-navigation. На основании уникального идентификатора создается хеш-функция для генерирования ключей, работы систем шифрования и других систем защиты информации. Он может помещаться в глобальный каталог как статически, так и динамически.

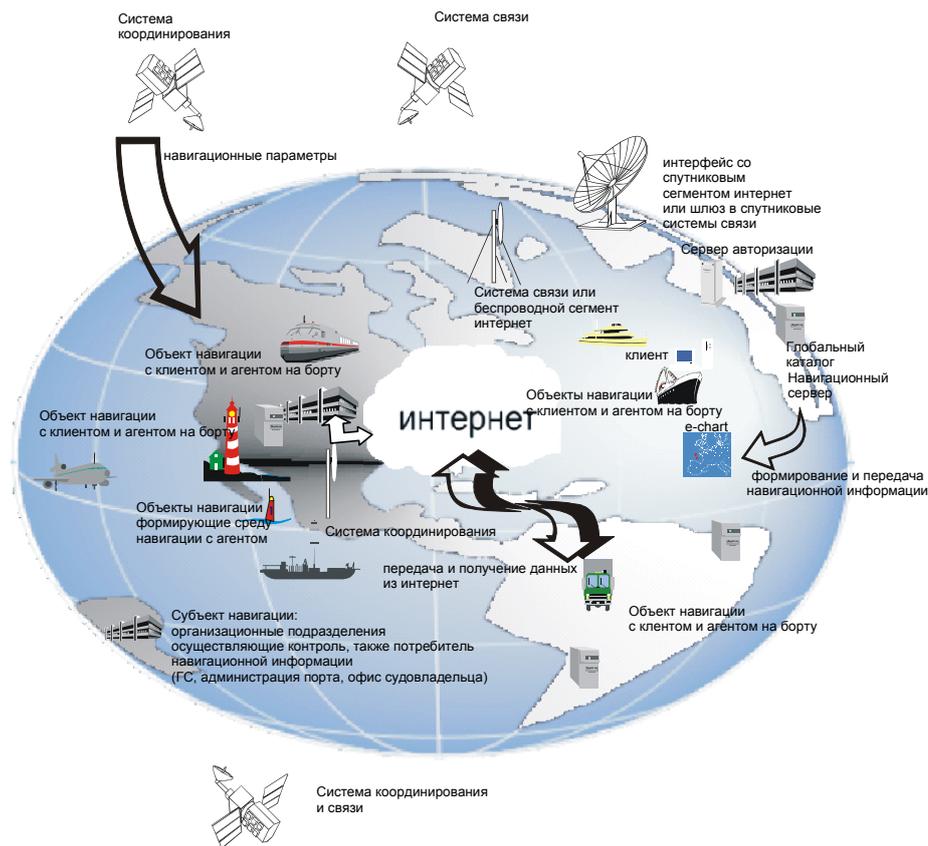
В настоящее время технологическая реализация глобального каталога сущностей навигации вполне осуществима на базе программных продуктов Microsoft.

### ***Клиентское средство отображения***

Основной характеристикой клиентского средства отображения является способность интерпретировать поступающую от навигационного сервера информацию, воспринимать непрерывный поток поступающих данных, прослушивать все порты, на которых может быть осуществлена широковещательная рассылка или передача информации к другому процессу. Основные функциональные модули, расширяющие возможности обычного Интернет-браузера могут быть реализованы как JAVA-апплет, элемент управления ActiveX(Microsoft) или специально разработанный для решения навигационных задач в среде Интернет-браузера plugin.

### ***Агент сущности навигации***

Агент сущности навигации – программный или программно-аппаратный элемент, работающий в фоновом режиме и постоянно осуществляющий обмен данными с клиентским средством отображения, системой координирования, датчиками и глобальным каталогом. Он требует разработки специфического протокола, работающего на уровне приложения, и резервирования отдельного порта на транспортном уровне (имеется в виду модель ISO OSI). Агент сущности навигации может устанавливаться на любом объекте или субъекте. Установленный на средствах навигационного оборудования он будет совмещать приемник сигналов системы координирования, датчики энергетических ресурсов, технического состояния, передатчик обобщенных данных – глобальный каталог. На клиенте данные от агентов через глобальный каталог отображаются в реальных координатах, характеристиках и т. д. На клиентах агент осуществляет передачу навигационных параметров в браузер. Он может быть реализован как сокет процесса браузера и процесса глобального каталога. В настоящее время подобные агенты с успехом разрабатываются различными производителями программного обеспечения. На клиенте (объекте навигации – потребителе информации) агент также осуществляет сбор данных от датчиков (например контроля состояния среды навигации, датчиков информации, необходимых для трекинга, и т. д.). Общая взаимосвязь элементов показана на рисунке.



Общая взаимосвязь компонентов e-navigation

**Система координирования**

Поскольку в технологии предполагается использование существующих РНС, то подробное рассмотрение данного компонента e-navigation не требуется. Среда разработки решения будет выглядеть следующим образом (см. таблицу).

Системы координирования	Системы беспроводной связи со шлюзом в Интернет, космический сегмент Интернет			
Объекты наземной и воздушной навигации – потребители навигационной информации (классы: авиа, морские, наземные)	Агенты навигации, принимающие информацию от датчиков и осуществляющие передачу данных в Интернет	Интернет	Агент	Субъекты навигации (классы: офис гидрографической службы, диспетчерская служба, администрация порта и т. д.)
Объекты, формирующие среду навигации (классы: стационарные, плавучие, перемещаемые и т. д.)			Сервер авторизации и защиты	
			Навигационный сервер e-chart	
			Глобальный каталог	

### **Инфраструктура и технология**

Инфраструктура сети будет полностью готова к выполнению описанного взаимодействия, когда войдет в действие космический сегмент Интернет (проект Teledesic) и значительно увеличится количество и пропускная способность оптических каналов (проект Oxigen). Однако уже сегодня при развитой инфраструктуре космических каналов связи с пропускной способностью 64 кбит/с (inmarsat, orbcomm и т. д.) и наличии технологии беспроводного доступа в Интернет, можно развивать технологию e-navigation. В остальном e-navigation полностью основывается на существующей инфраструктуре Интернет, используя его как инструмент решения целевых функций.

Для отграничения пространства имен Интернет целесообразно организовать домен верхнего уровня **.nav**, и перевести в него все хосты и домены сущностей навигации. Имя навигационного сервера Балтийского моря (физически домена сети) будет, например, **baltic.nav**, хоста навигационного сервера Финского залива – **fin Gulf.baltic.nav**. Такое организационное решение позволит также применять все технологии обеспечения доменной безопасности и обеспечить структуризацию в соответствии с иерархией доменов, деревьев доменов, леса и организационных подразделений.

Полную технологию информационного обмена клиент – навигационный сервер можно описать следующими этапами.

1. Авторизация. С использованием доступного метода подключения к сети (WAP) клиент связывается с ISP, которая может быть организована в рамках гидрографических и других обеспечивающих навигацию служб, получает IP адрес, подключается к домену **.nav**, проходит аутентификацию с использованием смарт-карты по протоколу EAP, входит в домен, получает политики, серверный билет (по протоколу Kerberos сертифицируется как клиент, так и сервер), получает сеансный ключ, направляет данные агента в глобальный каталог, где окончательно авторизуется. Устанавливается VPN соединение. При отсутствии идентификатора объекта в глобальном каталоге или невозможности динамически обновить базу данных каталога (неправильный идентификатор, пароль, нарушение протокола, неправильный IP адрес и т. д.) ему в авторизации отказывается.

2. Запрос данных и определение качества сервиса. После авторизации происходит подключение к навигационному серверу. Данные от агента поступают к службе определения качества сервиса, которая на основании класса объекта и навигационных параметров определяет характеристики e-chart и сопутствующей информации (масштаб, время регенерации, вид карты, необходимые информационные слои, начальные координаты и т. д.). Далее производится запрос к навигационному серверу.

3. Генерирование e-chart и передача клиенту. Навигационный сервер на основании полученных данных (координат, курса, скорости, высоты, данных о качестве сервиса) формирует e-chart, осуществляет запрос к глобальному каталогу на выборку сущностей для включения в генерируемую карту. Карта проходит синтаксический контроль, шифруется, ставится цифровая подпись и отправляется потребителю. При дальнейшей регенерации или обращении другого потребителя из этого района карта берется из кэша. Регенерация мо-

бильных сущностей происходит периодически в зависимости от безопасного качества сервиса. Одновременно ведется журнал обслуживания всех потребителей, подключенных к данному серверу.

4. На стороне клиента карта дешифруется, проверяется целостность информации, подгружаются данные от агента и производится отображение в среде броузера, снабженного модулем для анализа, генерации предупреждений, решения картометрических задач и т. д.

5. При получении сигнала о конце обслуживания происходит закрытие сеанса обслуживания и журнала. Последнее положение мобильного клиента сохраняется в глобальном каталоге и доступно другим потребителям.

6. Агенты объектов, формирующих среду навигации, и субъектов постоянно подключены к сети и с заданной периодичностью обновляют информацию об обслуживаемых сущностях.

7. Данные глобального каталога постоянно синхронизируются на все копии глобального каталога в сети.

8. Субъекты имеют более полные права доступа к базе глобального каталога и могут контролировать самые разные объекты по сектору ответственности. Субъект может связаться с любым или необходимым объектом, просмотреть его атрибуты, показания датчиков, выяснить навигационную обстановку в районе навигации, передать адресную или широковещательную рассылку.

Таким образом, технология e-navigation может обеспечить практически все целевые функции и процессы, связанные с навигацией: трекинг, мониторинг среды навигации, информационное обеспечение объектов и субъектов навигации, связь и многие другие.

#### **Преимущества и недостатки технологии, эффективность**

К преимуществам технологии e-navigation можно прежде всего отнести ее универсальность – одними и теми же средствами решается большинство задач информационного обеспечения навигации. Глобальный контроль над объектами навигации снижает влияние человеческого фактора на безопасность навигации, повышает управляемость всей системы, обеспечивает повышение вероятности успешных спасательных операций в экстремальных случаях, позволяет ввести экспертные контролирующие системы для выработки наиболее безопасных управляющих решений вне объектов навигации. Использование общей сети значительно снижает совокупную стоимость эксплуатации технологии.

К недостаткам данной технологии относится зависимость ее от беспроводных технологий связи, так как влияние состояний атмосферы на них может привести к неустойчивой работе канала. Неизбежны сложности в администрировании сети большого масштаба с миллионами объектов разных полномочий, тысячами организационных подразделений, сотнями хостов навигационных серверов. К серьезным недостаткам можно отнести необходимость разработки дополнительного аппаратного и программного обеспечения и постоянной модификации информационной защиты технологии, а также высокие требования безопасности виртуальной частной сети. Очевидно, что e-chart в силу естественных ограничений не будет удовлетворять современным требованиям ИМО,

однако с ростом пропускной способности каналов не исключена возможность передачи на клиент системной электронной навигационной карты.

Эффективность e-navigation состоит в предоставлении различным сущностям навигации единой методологии решения поставленных перед ними задач, а также в том, что технология в основном базируется на уже разработанных и ставших стандартом средствах Интернет. Чем выше будет эффективность сети (улучшение качества каналов связи, уменьшение задержек), тем выше будет и эффективность технологии e-navigation. Главный показатель эффективности технологии – повышение управляемости и удовлетворение информационных потребностей клиентов в объеме, оптимальном для обеспечения безопасности. Технология e-navigation может эффективно дополнять существующие традиционные технологии.

### **Цели и задачи международного сообщества для реализации проекта**

Технология e-navigation отражает глобальные тенденции и отвечает международному характеру навигации. Вполне естественно, что, несмотря на возможность локального применения данной технологии, только введение ее в глобальном масштабе даст ощутимое улучшение безопасности навигации и будет соответствовать постоянному увеличению числа объектов навигации и усложнению ее условий.

Для использования Интернет в целях организации e-navigation международное сообщество должно решить следующие первоочередные научно-технические и организационные задачи.

1. Ввести в пространство имен Интернет домен верхнего уровня **.nav** и перевести в него хосты, относящиеся к навигации.
2. Определить спецификации к e-chart и средствам отображения.
3. Разработать агенты и их протоколы.
4. Определить функциональность каждого уровня взаимодействия через открытые сети клиента и сервера.
5. Разработать технологии создания e-chart по запросу и технологии актуализации исходной информации.
6. Определить уровень защиты VPN и технологии, обеспечивающей этот уровень.
7. Разработать и внедрить глобальный каталог и его протокол, учитывающий все многообразие объектов и атрибутов.

С решением этих задач будет возможно дальнейшее развитие e-navigation и системы взаимодействия сущностей, этапов внедрения элементов и составных частей технологии. Безусловно, столь масштабную как по организации, так и по теоретическим и программным разработкам проблему можно решить только международными усилиями служб, судовладельцев и ведомств, заинтересованных в развитии информационного обеспечения навигации.

### **Заключение**

Еще одна технология, основой которой является Интернет – e-navigation, описанная в настоящей статье, не претендует на полноту или структурную окончательность. Здесь представлена только инфологическая модель, которая имеет в основе уже практически работающие достижения сети и взаимодействия от-

крытых систем. Представленное решение найдет свое окончательное воплощение (в случае, если время и практический опыт подтвердят теоретические выводы автора), скорее всего, не в этом десятилетии XXI века. В то же время применение на практике иной, информационной, модели обеспечения навигации неизбежно в силу постоянного развития информационных технологий, – сообществу специалистов в области информационных технологий просто нужно выбрать наиболее рациональный и эффективный путь, чтобы не расходовать ресурсы на второстепенные или менее эффективные решения и проекты.

### **A. V. Elagin**

#### **E-navigation: Scientific-Practical Forecast**

*The problem of the present state of the global network and the way of using the Internet to provide the navigation safety are considered. The technology of interaction of the elements of navigation-hydrographic support system, based on the Internet, is considered. It is shown that at present the Internet has all the possibilities to reflect and model such complicated world process as navigation, is able to provide the solution for the majority of organizational and practical problems. The measures aimed at carrying out the navigation, based on the Internet, are suggested. The notion of e-navigatuion is introduced. The article is intended for the people who are interested in information technologies and their application in the information support for the navigation.*

ГРНТИ 78.25.31

### **СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС**

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

*Обсуждаются факторы, обусловившие настоящее состояние спутниковой навигационной системы (СНС) ГЛОНАСС, и причины снижения эффективности ее использования подвижными объектами. Рассмотрены тенденции развития спутниковых систем и навигационной аппаратуры потребителей в мире, а также основные задачи по дальнейшему развитию СНС ГЛОНАСС.*

Начало эры освоения космоса было предопределено высочайшими достижениями в производственной, военной и научной деятельности. Весь земной шар покрылся сетью морских и воздушных путей сообщения, по которым шли интенсивные перевозки грузов и пассажиров. Промысел морепродуктов развернулся по всему Мировому океану. В поисках угля, нефти, газа и других полезных ископаемых морские экспедиции вели широким фронтом свои исследования на материковом шельфе, в мелководных морях и в островных районах океанов. Произошел переход к глобальной стратегии использования военно-морских флотов.

Все эти виды деятельности обусловили высокие требования, предъявляемые к ее навигационному обеспечению. Всеобщими стали требования глобальности и универсальности навигационных систем – возникла необхо-

димось в создании благоприятных условий для решения навигационных задач на любом управляемом подвижном объекте в пределах нашей планеты и околоземного космического пространства [1].

Именно в этот период были созданы и введены в эксплуатацию спутниковые радионавигационные системы (СРНС) первого поколения – система ЦИКАДА (СССР) и система ТРАНЗИТ (США) – (снята с эксплуатации в 90-х годах). В СРНС первого поколения орбитальная группировка (ОГ) содержит пять-шесть низкоорбитальных навигационных спутников на круговых орбитах с высотой около 1000 км над поверхностью Земли. Навигационная аппаратура потребителя (НАП) на подвижном объекте принимает навигационные радиосигналы от радиовидимого навигационного спутника в течение сеанса продолжительностью 5–15 минут и производит измерения приращения фазы несущего колебания принимаемого радионавигационного сигнала либо на коротких (2 с) интервалах времени (доплеровская навигация), либо на длинных (интегрально-доплеровская навигация). Так как измерения приращения фазы эквивалентны измерениям приращения дальности от объекта до навигационного спутника на заданных интервалах времени, то НАП на основе эфемеридной информации, содержащейся в принимаемом радионавигационном сигнале, и результатов измерения приращений дальности до навигационного спутника определяет две горизонтальные координаты объекта (потребителя) на поверхности земного эллипсоида.

Безусловно, создание СРНС первого поколения стало революционным шагом в развитии навигации в целом. В то же время низкоорбитальные системы обладают существенными недостатками:

- НАП в сеансе обсервации определяет только горизонтальные координаты подвижного объекта без определения высоты его местоположения;
- длительные перерывы между сеансами обсерваций: до 30 минут в приполярных широтах и до 2 часов в экваториальных;
- сравнительно низкая точность определения горизонтальных координат подвижного объекта.

Потребность в оперативной высокоточной навигации сухопутных, морских, воздушных и низкоорбитальных космических объектов обусловила создание в 80–90-е годы среднеорбитальных СРНС второго поколения – системы GPS (США) и системы ГЛОНАСС в России. Начало эксплуатации СНС GPS относится к 1985 г. СНС ГЛОНАСС начала эксплуатироваться с 1993 г. и до штатного состава развернута в 1995 г.

Эти системы обеспечивают высокоточное, независимое от погодных условий определение трёх координат подвижного объекта, его скорости, а также точного времени в любой момент и в любой точке Земного шара.

Полная орбитальная группировка в ГЛОНАСС должна содержать 24 штатных навигационных спутника на круговых орбитах с наклоном  $i=64,8^\circ$  в трёх орбитальных плоскостях по восемь спутников в каждой. Долготы восходящих узлов трёх орбитальных плоскостей различаются номинально на  $120^\circ$ . Номинальный период обращения навигационного спутника равен 11 ч 15 мин 44 с, а номинальная высота орбиты – 19100 км над поверхностью Земли. В каждой орбитальной плоскости навигационные спутники разнесены

по аргументу широты номинально через  $45^\circ$ . Аргументы широты восьми навигационных спутников в трёх орбитальных плоскостях сдвинуты на  $\pm 15^\circ$ .

Документом, устанавливающим взаимоотношения потребителей с системой, является Интерфейсный контрольный документ ГЛОНАСС. Информирование потребителей о состоянии системы осуществляется через Координационный научно-информационный центр Министерства обороны РФ.

Система ГЛОНАСС включает в себя три сегмента: космический сегмент с орбитальной группировкой навигационных спутников; сегмент управления – наземный комплекс управления (НКУ) орбитальной группировки; сегмент навигационной аппаратуры потребителей (см. рисунок).

Следует отметить, что применение этих систем в настоящее время вышло за рамки навигации. Они стали широко применяться в геодезии, картографии, геологии, метеорологии, в целях защиты окружающей среды и в ряде других областей.

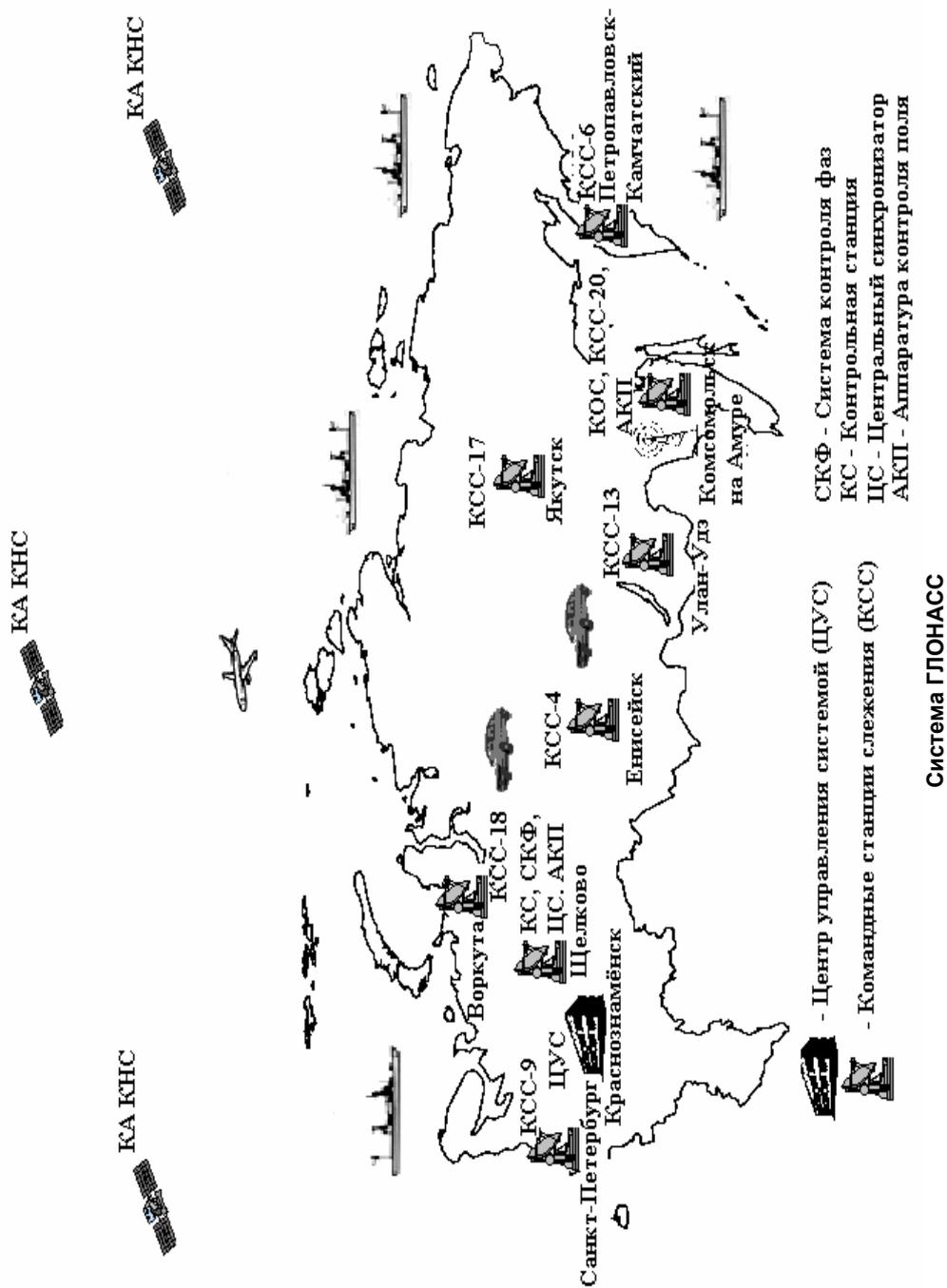
Отечественными и зарубежными экспертами и практиками неоднократно подтверждался тот факт, что система ГЛОНАСС по своим характеристикам не только не уступает аналогичной американской системе GPS, но и обладает за счёт высокого наклона орбит более благоприятными характеристиками наблюдаемости спутников в северных широтах. Кроме того, из-за отсутствия использования режима селективного доступа в системе ГЛОНАСС, а также по точности она является более предпочтительной для гражданских потребителей. К примеру [2], с помощью современной многоканальной НАП, использующей открытые узкополосные (1600 МГц) навигационные радиосигналы системы ГЛОНАСС, можно обеспечить автономную оперативную глобальную навигацию наземных подвижных объектов с максимальными погрешностями определения трёх координат объекта:

- в годы солнечной максимальной активности – 60 м для горизонтальных координат и 100 м для вертикальной координаты;
- в годы солнечной минимальной активности – 30 м для горизонтальных координат и 50 м для вертикальной координаты.

Погрешности (0,95) навигационных определений в СРНС GPS составляют  $\leq 100$  м для горизонтальных координат и  $\leq 156$  м для вертикальной координаты.

Таким образом, точность навигационных определений по открытому сигналу в СРНС ГЛОНАСС почти в 2,5 раза выше, чем в СРНС GPS.

Сложилось так, что, сохраняя в целом лидирующее положение в космической программе конца 50-х и начала 60-х годов, наша космическая промышленность не достигла наметившегося лидерства в создании первых СРНС. Научно-технический приоритет не был закреплён приоритетной опытно-конструкторской разработкой. Сказались пороки централизованной авторитарной системы управления промышленностью: в угоду ведомственным интересам и личным амбициям набравших силу главных конструкторов-монополистов реализация уже готового проекта первой СНС была отложена на 4 года. В результате первый спутник Советской низкоорбитальной СНС был выведен на орбиту только 23 октября 1967 г. [3].



В связи с недостаточным финансированием СНС ГЛОНАСС, развёрнутая в 1995 г. до штатного состава, снизила свою эффективность и деградировала.

Уменьшилось количество навигационных спутников в ОГ, что привело к появлению перерывов в навигационном обеспечении. В настоящее время в ОГ по целевому назначению используется 7 спутников, из которых 2 работают за пределами гарантированного ресурса.

Средства наземного комплекса управления, оставшиеся на территории РФ после распада СССР, снизили эффективность в связи с многократной выработкой технического ресурса.

В России оснащённость потребителей навигационной аппаратурой отечественного производства крайне недостаточна, серийное производство последней требует специальных усилий.

С учетом того, что СНС ГЛОНАСС является национальным достоянием России, распоряжением Президента РФ от 18.02.99 г. № 38-рп Правительству РФ поручено принять меры по ее безусловному сохранению и развитию.

Во исполнение указанного распоряжения Правительство РФ приняло Постановление от 22.03.99 г. № 346, в котором представлен «План первоочередных мероприятий по сохранению и развитию СНС ГЛОНАСС». В соответствии с ним предусматриваются мероприятия по безусловному сохранению СНС ГЛОНАСС, а также ускоренное оснащение отечественного парка потребителей за счёт организации серийного производства различного класса навигационных приёмников, работающих одновременно по сигналам систем ГЛОНАСС и GPS.

Ограничение эффективного применения системы ГЛОНАСС и сдерживание разработки ориентированной на нее отечественной аппаратуры связано с низкой надёжностью навигационных спутников, высокой их загрузкой, невысокой надёжностью наземного комплекса управления (из-за потери Российскими Военно-космическими силами в ходе «перестройки» нескольких важных элементов инфраструктуры на Украине, в Казахстане и Узбекистане), а также недостаточным финансированием Министерства обороны и Военно-космических сил и некоторыми другими причинами.

Российский рынок навигационного оборудования лишь начинает складываться и по своему развитию пока несопоставим с международным. Систему ГЛОНАСС практически не используют по ее целевому назначению. Исключение составляют те потребители, которых устраивает работа по расписанию. Таким образом, сложилось положение, при котором огромные потребности в использовании информации ГЛОНАСС остаются неудовлетворенными. Кроме того, в последнее время стала обостряться конкуренция на мировом рынке навигационных услуг. В этих условиях гражданские потребители, перемещающиеся на большие расстояния с пересечением границ многих государств, должны иметь интегрированные навигационные приёмники.

Поскольку обеспечение российских потребителей отечественными приёмниками, которые были бы соизмеримы по стоимости с зарубежными, остаётся недостаточным, то возрос спрос на поставляемую западными фирмами комбинированную аппаратуру, работающую по сигналам ГЛОНАСС/GPS. Этому способствовала отмена селективного доступа в GPS и совпавшая с

ней компания по отмене существовавших в России ограничений на точность определения координат географических объектов.

Как в своей стране, так и в других странах США активно внедряют космические навигационные технологии в информационные контуры управления войсками и оружием, во все ключевые отрасли экономики, транспорта и космические системы.

Если допустить массовое внедрение навигационной аппаратуры потребителей GPS в системы управления войсками и оружием Вооружённых сил РФ, то они фактически в любой момент времени могут оказаться под воздействием вероятного противника. Кроме того, после массового внедрения НАП системы GPS во всех странах США могут сделать навигационный сигнал платным, что позволит системе стать самоокупаемой.

Понимая важность спутниковой навигации, Европейский Союз принял программу GALILEO, целью которой является создание европейской СНС. Заявленные высокие тактико-технические характеристики и коммерческая направленность сразу выдвинули её в число основных поставщиков навигационных услуг на мировом рынке. В данном случае существует большая вероятность того, что гражданские потребители полностью переориентируются на системы GPS и GALILEO, если не будут приняты и реализованы практические меры по поддержанию и развитию СНС ГЛОНАСС.

Учитывая тенденции развития космической навигации за рубежом и требования обеспечения обороноспособности и безопасности России, необходимо исходить из того, что основу навигационного обеспечения Вооружённых сил России должна составлять национальная глобальная спутниковая система ГЛОНАСС. В условиях неопределённости будущей международной военно-политической обстановки и беспрецедентного размаха терроризма в мире контроль над системой должен сохраняться за Министерством обороны РФ. При этом прежде всего она должна использоваться для решения военных задач, а затем – в интересах гражданских потребителей России и международного сотрудничества.

Основная доля финансирования серийных поставок и НИОКР по развитию системы ГЛОНАСС должна быть государственной. Следует сохранять в системе каналы высокой и стандартной точности, что позволит разрешить противоречие, свойственное системам двойного назначения – обеспечение контроля над системой МО РФ и одновременное выполнение международных обязательств по предоставлению навигационных услуг гражданским потребителям.

Таким образом, в настоящее время и в ближайшем будущем главной задачей является широкое внедрение спутниковых навигационных технологий в качестве базовых для высокоэффективного использования в Вооружённых Силах РФ и в народном хозяйстве, а также для предоставления системы ГЛОНАСС в качестве основы создания международной глобальной навигационной системы.

Исходя из долгосрочной программы развития СНС ГЛОНАСС [4] необходимо следующее.

- Поддерживать СНС ГЛОНАСС на минимально допустимом уровне запусками КА «ГЛОНАСС», проводить модернизацию контура информацион-

ного обмена НКУ и расширенное оснащение НАП военных и гражданских потребителей.

- Осуществлять создание КА «ГЛОНАСС-М», развёртывание и поддержание на его базе орбитальной группировки из 18 КА. Перевести навигационный сигнал в новый частотный диапазон. Использовать межспутниковые измерения в контуре эфемеридно-временного обеспечения, добиваться увеличения точности навигационных определений в 2–2,5 раза, расширять номенклатуру и количество потребителей СНС ГЛОНАСС.

- Обосновать и осуществить создание малогабаритного КА «ГЛОНАСС-К», дооборудование под этот КА средств ракетно-космического комплекса, развёртывание штатной орбитальной группировки из 24 КА групповыми запусками по 6 КА с помощью ракеты носителя (РН) «Протон» и по 2 КА с помощью РН «Союз-2». Расширить использование межспутниковой радиолинии для передачи информационных сообщений, оперативного управления и контроля КА и обеспечения целостности.

- Создать сети наземных станций мониторинга СНС ГЛОНАСС и функциональных дополнений.

- Расширить номенклатуры решаемых задач. Осуществить передачу стандартного сигнала для гражданских потребителей на частотах  $F_1$  и  $F_2$ . Оснастить парк потребителей НАП, работающей по сигналам СНС ГЛОНАСС, GPS, GALILEO.

- Перевести всех отечественных потребителей навигационных услуг на использование в качестве основного средства СНС ГЛОНАСС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Чуров Е. П., Суворов Е. Ф. Космические средства судовождения. – М.: Транспорт, 1978. – 287 с.
2. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. – М.: КНИЦ, 1995. – С. 26.
3. Шебшаевич В. С. Этапы становления и проблемы развития спутниковых радионавигационных систем. – СПб.: Радио и связь, 1991. – С. 3–8.
4. Козлов А. Г., Бартнев В. А., Косенко В. Е. и др. Концепция развития СНС ГЛОНАСС. // Сб. трудов Третьей Международной конференции «Планирование глобальной радионавигации», Москва, 9–11 октября, 2000. – М.: ИТЦ «Интернавигация», 2000. – С. 133–138.

#### **B. I. Loboiko, V. N. Barinov**

##### State and Development Prospects of GLONASS Satellite Navigation System

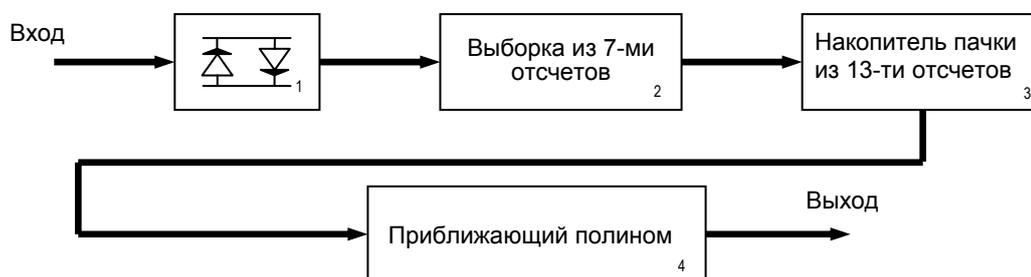
*The factors that resulted in the present state of GLONASS satellite navigation system (SNS) and reduction of the effectiveness of its employment by the movable objects are discussed. The development trends of the satellite systems and the world navigation user equipment as well as the main tasks for further development of GLONASS SNS are considered.*

**СКОЛЬЗЯЩИЙ НАВИГАЦИОННЫЙ ФИЛЬТР****А. В. ЖЕРЛАКОВ**

(ГМА им. адм. С. О. Макарова)

*В статье рассматривается скользящий навигационный фильтр, особенностью которого является процедура исключения предыдущих («старых») измерений, и возможность построения аналитического образа неизвестного входного воздействия, идентификация как полезных, так и мешающих сигналов. Приведены расчетные соотношения, примеры и программная реализация фильтра.*

1. При использовании различных навигационных приборов и систем производится измерение различных параметров, причем обработка измерений выполняется в цифровом виде. Примерная схема обработки информации может быть произведена по схеме, изображенной на рис. 1.



**Рис. 1. Навигационный фильтр**

В приведенной структурной схеме фильтра измеряемые величины подаются на ограничитель (блок 1), где производится уменьшение амплитуды выбросов сверх установленного порогового значения. При этом исключаются возможные аномальные сигналы, которые могут значительно исказить конечные результаты на выходе фильтра. Блок 2 фильтра представляет суммирующую схему осреднения пачки импульсов, выбранную, например, из семи отсчетов. Число отсчетов в пачке может быть другим и зависит от реальной схемы измерителя, наиболее полно отображающей физическую природу исследуемой системы или прибора.

Программа суммирующей схемы определяется обработкой выбранной пачки измерений (в рассматриваемом случае – состоящей из семи импульсов) с использованием схемы скользящего окна «семь по семь» с последующим переходом на новую пачку «семь по семь» или схемы скользящего окна обработки пачки из семи импульсов со стиранием более ранних измерений, когда новая пачка состоит из семи импульсов без первого (старого) члена или двух таких членов и т. д.

Поясним сказанное на примере скользящего окна из семи импульсов по семь, обозначая этот процесс символом скользящего окна  $O_7 (-7)$ . Пусть на вход блока 2 фильтра подается последовательность импульсов  $D_i$ , где  $i=1, 2, 3, \dots, n$  измерений. Тогда для формирования первой пачки измерений из семи импульсов ( $n=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ ) имеем на выходе блока 2 осредненное выражение ( $n=7$ )

$$\bar{D}_7 = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + D_6 + D_7}{7},$$

т. е. процесс формирования первой осредненной пачки ведется согласно зависимости:

$$\bar{D}_n = \frac{1}{n}[(n-1)\bar{D}_{n-1} + D_n] \quad (n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7). \quad (1.1)$$

Для последующих пачек из семи импульсов обработка ведется с применением скользящего окна  $O_{7(-7)}$  согласно зависимостям:

$$\bar{D}_n = \frac{1}{m-1}[(m-1)\bar{D}_{n-1} + A - B] \quad (1.2)$$

$$A = D_{n+k(r-1)} + D_{n+1+k(r-1)} + \dots + D_{n+6+k(r-1)}$$

$$B = D_{n+k(r-1)-(m-1)} + D_{n+1+k(r-1)-(m-1)} + \dots + D_{n+6+k(r-1)-(m-1)}$$

при последовательном использовании параметров:

$n=8, 9, 10, \dots, i$  – последовательность осреднений;

$r=1, 2, 3, \dots$  – шаг вычислений;

$k=6$  – постоянный параметр для окна  $O_{7(-7)}$ ;

$m=8$  – постоянный параметр.

Действительно, на третьем шаге вычислений ( $r=3$ ), когда  $n=10$  ( $k=6, m=8$ ) согласно равенствам (1.2), имеем

$$\bar{D}_{10} = \frac{1}{7}(D_{22} + D_{23} + D_{24} + D_{25} + D_{26} + D_{27} + D_{28}).$$

Понятно, что последовательности импульсов, которые надо поделить на 7, будут соответствовать:

$$\begin{aligned} & / D_1 D_2 D_3 D_4 D_5 D_6 D_7 /_1 / D_8 D_9 D_{10} D_{11} D_{12} D_{13} D_{14} /_2 \\ & / D_{15} D_{16} D_{17} D_{18} D_{19} D_{20} D_{21} /_3 / D_{22} D_{23} D_{24} D_{25} D_{26} D_{27} D_{28} /_4 \\ & / D_{29} D_{30} D_{34} D_{35} D_{36} D_{37} D_{38} / \end{aligned} \quad (1.3)$$

и, следовательно, получим четвертую осредненную пачку импульсов таким образом, чтобы скользящее окно  $O_{7(-7)}$  сдвигалось вправо, выбирая все новую пачку из семи отсчетов из ряда

$$D_i (i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, \dots)$$

**Построим** теперь осредненные пачки из семи отсчетов со стиранием первых трех («старых») измерений. Для этого используем равенства (1.1) и (1.2) из последовательности (1.3). Согласно равенству (1.1) для  $n=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$  формируем первую пачку

$$\bar{D}_7 = \frac{1}{7}(D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + D_6 + D_7).$$

Далее используем скользящее окно  $O_{7(-3)}$  из семи отсчетов со стиранием первых трех измерений и дополнением следующих трех членов взамен стираемых [см. равенства (1.2) и (1.3)].

Для  $n=8$  и  $r=1$  (первого шага образования второй пачки) имеем параметры  $k=2$  и  $m=8$ . Запишем сначала составляющие  $A$  и  $B$  в равенствах (1.2)

$$A = D_{n+k(r-1)} + D_{n+1+k(r-1)} + D_{n+2+k(r-1)} = D_8 + D_9 + D_{10}$$

$$B = D_{n+k(r-1)-(m-1)} + D_{n+1+k(r-1)-(m-1)} + D_{n+2+k(r-1)-(m-1)} = D_1 + D_2 + D_3,$$

добавляя в последние равенства по три члена. Поэтому равенство (1.2) запишется так:

$$\bar{D}_8 = \frac{1}{7}(7\bar{D}_7 + A - B) = (D_1 + D_2 + D_3 + D_4 + D_5 + D_6 + D_7 + D_8 + D_9 + D_{10} - D_1 - D_2 - D_3) / 7 = (D_4 + D_5 + D_6 + D_7 + D_8 + D_9 + D_{10}) / 7.$$

Таким образом, во второй пачке из семи отсчетов отсутствуют первые три члена ( $D_1, D_2, D_3$ ). Продолжая процесс вычислений, получим для параметров  $k=2$  и  $m=8$  следующую пачку при  $r=2$  и  $n=9$ . Именно [см. равенство (1.2)]

$$\bar{D}_9 = \frac{1}{7}(7\bar{D}_8 + A - B) = (D_4 + D_5 + D_6 + D_7 + D_8 + D_9 + D_{10} + D_{11} + D_{12} + D_{13} - D_4 - D_5 - D_6) / 7 = (D_7 + D_8 + D_9 + D_{10} + D_{11} + D_{12} + D_{13}) / 7$$

Процесс дальнейших вычислений  $\bar{D}_{10}, \bar{D}_{11}, \bar{D}_{12}, \dots$  производится так же, но с учетом изменения номера  $n$  ( $n= 10, 11, 12 \dots$  и т. д.) и  $r$  ( $r= 3, 4, 5 \dots$  и т. д.) отсчетов.

Если производится стирание одного, двух, трех и т. д. первых членов в выбранных пачках из семи отсчетов, то используются скользящие окна вида:

$O_{7(-1)} [k=0], O_{7(-2)} [k=1], O_{7(-3)} [k=2], O_{7(-4)} [k=3], O_{7(-5)} [k=4], O_{7(-6)} [k=5], O_{7(-7)} [k=6]$ , причем изменяется параметр  $k$  и в выражениях для  $A$  и  $B$  суммирование ограничивают добавлением нужного числа стираемых членов.

Возьмем ряд с 91 членом (13 пачек по семь измерений). Пусть этот ряд рассматривается как матрица-строка размером  $1 \times 91$   $R = |D_i|_{(1 \times 91)}$ . Тогда для скользящего окна  $O_{7(-7)} [k=6, m=8, n=1, 2, 3 \dots, r=1, 2 \dots]$  получим указанные осредненные отсчеты из тринадцати пачек в виде:

$$\begin{aligned} d_1 &= \text{trace}(\text{diag}(D(1:7))) / 7; \\ d_2 &= \text{trace}(\text{diag}(D(8:14))) / 7; \\ d_3 &= \text{trace}(\text{diag}(D(15:21))) / 7; \\ d_4 &= \text{trace}(\text{diag}(D(22:28))) / 7; \\ d_5 &= \text{trace}(\text{diag}(D(29:35))) / 7; \\ d_6 &= \text{trace}(\text{diag}(D(36:42))) / 7; \\ d_7 &= \text{trace}(\text{diag}(D(43:49))) / 7; \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \\ d_{13} &= \text{trace}(\text{diag}(D(85:91))) / 7, \end{aligned} \tag{1.4}$$

где, напомним,  $\text{trace}(\text{diag}(D(:)))$  обозначает след диагональной матрицы  $D$  (:). Контрольную программу вычислений для равенств (1.4) удобно создать для ряда целых натуральных чисел  $S = |D_i|=1, 2, 3, 4, \dots, 91$ , так что получаем ряд значений, отличающихся на семь единиц:

$$d_1 = 4; d_2 = 11; d_3 = 18; 25; 32; 39; 46; 53; 60; 67; 74; 81, \dots; d_{13} = 88.$$

**В блоке 3** (накопителе пачек) формируется последовательность обработанных ранее в блоке 2 измерений  $d_i$  ( $i=1, 2, 3 \dots 13$ ). Для последующего формирования фильтра – приближающего полинома (**блок 4**), который является математической моделью неизвестного входного воздействия, удобно выбрать нечетное число отсчетов (в нашем случае – 13). Тем самым осуществляется идентификация этого воздействия (процесса измерений), полезная в дальнейшей обработке наблюдений.

2. С использованием предложенной методики произведем построение приближающих полиномов для двух случаев  $y1_t$  и  $y2_t$  экспериментально проведенных измерений (см. табл. 2.1).

Для независимой переменной  $x$  ( $x_t$  – симметризованный аналог) получены тринадцать отсчетов входной последовательности  $y1_t$  и  $y2_t$  (решетчатые функции), приведенные в таблице 2.1 и на рис. 2 и 3.

Таблица 2.1

Примеры экспериментальных измерений

$x$	$x_t$	$y1_t$	$z1(x_t)$	$y2_t$	$z2(x_t)$
1	-6	1.0	1.0078	0	0.0552
2	-5	1.0	0.9781	1	0.7456
3	-4	1.0	1.0108	2	2.3110
4	-3	1.0	1.0200	4	4.1594
5	-2	1.0	1.0001	6.5	5.8908
6	-1	1.0	0.9781	7	7.2778
7	0	1.0	0.9802	8	8.2389
8	1	1.0	1.0103	9	8.8060
9	2	1.0	1.0405	9.1	9.0861
10	3	1.0	1.0138	9.2	9.2155
11	4	0.95	0.8591	9.3	9.3097
12	5	0.45	0.5183	9.4	9.4052
13	6	0	-0.0145	9.4	9.3964

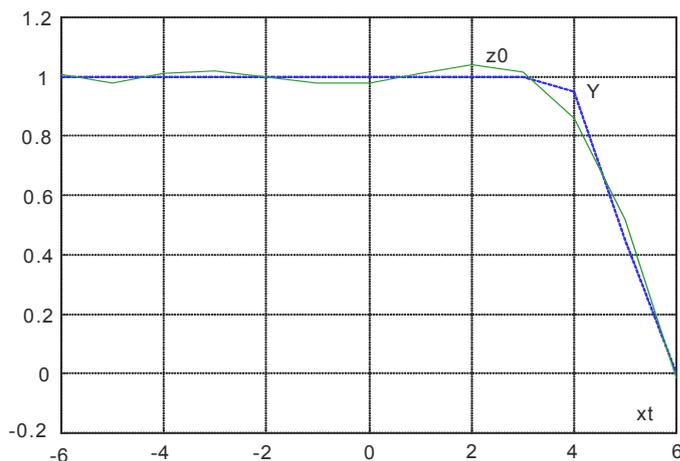


Рис. 2. Входная последовательность (ФНЧ)  $Y$  и её представление  $z0$  полиномом

Для случая  $y1_t$  рассмотрен фильтр нижних частот (ФНЧ), граница среза которого выбрана в полосе частот морской качки  $f=0.05\div 0.06$  Гц (период качки судна  $\tau_k=20\div 17$  с) (рис. 2). Понятно, что фильтр блокирует качку с периодами меньшими  $\tau_k=17$  с и особенно часто наблюдаемую качку с периодами  $4\div 6$  с.

Для случая  $y2_t$  выбрана произвольная последовательность нарастающих значений функций, часто встречающихся при наблюдениях (рис. 3).

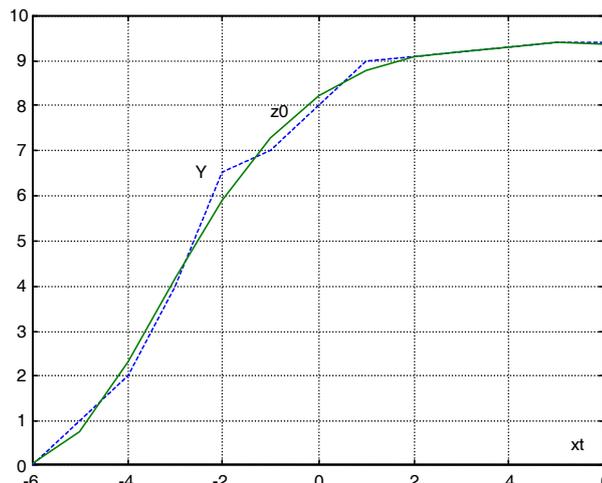


Рис. 3. Входная последовательность Y и её представление z0 полиномом

Выберем для  $y1_t$  и  $y2_t$  приближающие полиномы  $z(x_t)$  шестого порядка в виде

$$z(x_t) = C_1x^6 + C_2x^5 + C_3x^4 + C_4x^3 + C_5x^2 + C_6x + C_7, \tag{2.1}$$

где коэффициенты  $C_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ ) определяются согласно зависимостям:

$$\begin{aligned} C_1 &= 0.0306 a_6; \\ C_2 &= 0.0583 a_5; \\ C_3 &= 0.583 a_4 - 1.6528 a_6; \\ C_4 &= 0.16667 a_3 - 2.625 a_5; \\ C_5 &= a_2 - 20.5833 a_4 + 21.6222 a_6; \\ C_6 &= a_1 - 4.1667 a_3 + 22.5667 a_5; \\ C_7 &= a_0 - 14 a_2 + 84 a_4 - 40.003 a_6. \end{aligned} \tag{2.2}$$

Можно показать, что вычисление множителей  $a_j$  в равенствах (2.2) производится следующим образом. Из последовательностей  $y1_t, y2_t$  образуются матрицы  $Y$  размером  $1 \times 13$ , которые далее умножаются на постоянную матрицу  $P$  [равенство (2.3)]

$$P = \begin{pmatrix} 1: & -6: & 22: & -11: & 99: & -22: & 22 \\ 1: & -5: & 11: & 0: & -66: & 33: & -55 \\ 1: & -4: & 2: & 6: & -96: & 18: & 8 \\ 1: & -3: & -5: & 8: & -54: & -11: & 43 \\ 1: & -2: & -10: & 7: & 11: & -26: & 22 \\ 1: & -1: & -13: & 4: & 64: & -20: & -20 \\ 1: & 0: & -14: & 0: & 84: & 0: & -40 \\ 1: & 1: & -13: & -4: & 64: & 20: & -20 \\ 1: & 2: & -10: & -7: & 11: & 26: & 22 \\ 1: & 3: & -5: & -8: & -54: & 11: & 43 \\ 1: & 4: & 2: & -6: & -96: & -18: & 8 \\ 1: & 5: & 11: & 0: & -66: & -33: & -55 \\ 1: & 6: & 22: & 11: & 99: & 22: & 22 \end{pmatrix} \tag{2.3}$$

Имеем матрицу

$$A1 = Y \cdot P$$

и матрицу  $A = [a_0 a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6]^T$  множителей

$$A = \text{diag} (A1) \cdot S^T, \quad (2.4)$$

где использована также масштабная матрица  $S^T$

$$S = [1/13 \ 1/182 \ 1/2002 \ 1/572 \ 1/68068 \ 1/6188 \ 1/14212]. \quad (2.5)$$

Коэффициенты  $C_i$  приближающих полиномов (2.1) согласно равенств

(2.2) находятся произведением

$$C_i = C \cdot A, \quad (2.6)$$

так как матрица  $C$  известна [см. равенство (2.2)]

$$C = \begin{bmatrix} 0: & 0: & 0: & 0: & 0: & 0: & 0.0306 \\ 0: & 0: & 0: & 0: & 0: & 0.0583 & 0 \\ 0: & 0: & 0: & 0: & 0.5833: & 0 & -1.6528 \\ 0: & 0: & 0: & 0.16667: & 0: & -2.6250: & 0 \\ 0: & 0: & 1: & 0: & -20.5833 & 0: & 21.6222 \\ 0: & 1: & 0: & -4.1667: & 0: & 22.5667: & 0 \\ 1: & 0: & -14: & 0: & 84: & 0: & -40.003 \end{bmatrix}$$

В табл. 2.2 приведены значения вычисленных множителей  $A=[a_0 a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6]$  и значения коэффициентов  $C=[C_1 C_2 C_3 C_4 C_5 C_6]$  [равенства (2.4) и (2.6)].

Таблица 2.2

Значения коэффициентов

	$y1_t$	$y2_t$		$Y1_t$	$y2_t$
$a_0$	0.876923	6.453846	$C_1$	0.000017	-0.000009
$a_1$	-0.049176	0.826374	$C_2$	-0.000028	-0.000348
$a_2$	-0.014061	-0.099001	$C_3$	-0.001409	0.003158
$a_3$	-0.018706	-0.014336	$C_4$	-0.001866	0.013306
$a_4$	-0.000851	0.004616	$C_5$	0.015391	-0.200099
$a_5$	-0.000477	-0.005979	$C_6$	0.018009	0.751173
$a_6$	0.000552	-0.000281	$C_7$	0.980228	8.238861

Приведенные расчеты показывают достаточно точное представление входных данных выбранными полиномами, которые можно в дальнейшем рассматривать как аналитические их выражения. Приведенный навигационный фильтр полезен для обработки экспериментальных данных и достаточно удобен, так как многие использованные матрицы ( $P$ ,  $S$ ,  $C$ ) постоянны и могут быть введены заранее для повторяющихся вычислений. Все процедуры легко программируются и имеют контрольные проверки [1, 2].

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Большов Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. – М.: Наука, 1983. – 415 с.
2. Гольденберг Л. М., Матюшкин Б. Д., Поляк М. Н. Цифровая обработка сигналов. Справочник. – М.: Радио и связь, 1985. – 312 с.

**A. V. Zherlakov**

**Sliding Navigation Filter**

*A sliding navigation filter is considered. Its specific feature is the procedure of exclusion of the previous, «old» measurements and the possibility of constructing the analytical image of an unknown input influence, identification of both useful and interfering signals. The calculation relationships and examples as well as the program implementation of the filter are given.*

**УСТРАНЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ТРОПОСФЕРНЫХ И ИОНОСФЕРНЫХ ОШИБОК  
ИЗМЕРЕНИЙ В ОДНОЧАСТОТНОМ ПРИЁМНИКЕ**

**Ю. С. ДУБИНКО,  
Т. Ю. ДУБИНКО,  
Л. В. ДУБИНКО  
(«КБ НАВИС»),  
О. В. НИКИТИН  
(ГНИНГИ МО РФ)**

*В статье обсуждается алгоритм извлечения информации об ионосферных и тропосферных задержках измерений в одночастотном приемнике, при котором ухудшение обусловленности системы уравнений оценок координат, вызванное расширением вектора оцениваемых параметров, компенсируется улучшением геометрического фактора за счет взвешенной совместной обработки кодовых и фазовых (радиально-скоростных) измерений при оценивании координат потребителя. Подана заявка на получение патента на данный способ устранения ошибок распространения радиоволн в спутниковом позиционировании.*

Постановка задачи исключения ионосферной ошибки в одночастотном приемнике впервые сформулирована в статье [1] применительно к разрабатываемому приемнику нового поколения, осуществляющему формирование полной фазовой дальности (исключение неоднозначности фазовых измерений) в процессе захвата сигнала на сопровождение.

Запишем систему уравнений связи измерений, отягощённых тропосферными и ионосферными ошибками с вектором оцениваемых координат  $X$ . Уравнения, как обычно, линеаризованы в окрестности априорных (счислимых) значений элементов вектора  $X^{d.rec}$ . Для кодовых измерений (псевдодальностей) имеем

$$\left. \begin{aligned} PD_{1j}^{meas} &= D_{1j}^{d.rec} + H_{ij}^{code} \Delta X + \delta D_{1j}^{trop} + \delta D_{1j}^{ion} + \varepsilon_{1j}^{code} + C \tau_* \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ PD_{ij}^{meas} &= D_{ij}^{d.rec} + H_{ij}^{code} \Delta X + \delta D_{ij}^{trop} + \delta D_{ij}^{ion} + \varepsilon_{ij}^{code} + C \tau_* \\ &\cdot \\ &\cdot \\ &\cdot \\ PD_{nj}^{meas} &= D_{nj}^{d.rec} + H_{ij}^{code} \Delta X + \delta D_{nj}^{trop} + \delta D_{nj}^{ion} + \varepsilon_{nj}^{code} + C \tau_* \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{ij}^{code}$  – случайная (шумовая) ошибка кодовых измерений,

$C \tau_*$  – систематическая ошибка кодовых измерений, вызванная расхождением шкал времени передатчика спутника и приёмника потребителя, вызванная главным образом нестабильностью опорного генератора приёмника;

$i$  соотносит переменные с номером измерения в выборке;

$j$  соотносит переменные с номером спутника;

остальные индексы означают:

*meas* – измеренное значение;  
*d.rec* – счислимое значение;  
*trop* – тропосферные задержки;  
*ion* – ионосферные задержки.

Систему уравнений (1) можно записать в более компактной форме:

$$\left. \begin{aligned} Z^{code} = D_{ij}^{d.rec} + H^{code} \Delta X^p + \delta D_{ij}^{trop} + \delta D_{ij}^{ion} + \varepsilon_{ij}^{code} \\ i = 1 \dots n \\ j = 1 \dots m \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Здесь систематическая ошибка кодовых измерений  $C\tau_*$  как мешающий параметр, включена в вектор оцениваемых координат (расширенный)  $X^p$ , что исключает влияние этого мешающего параметра на оценки основных (интересующих) координат. Соответственно в матрицу  $H$  добавлена частная производная (равная 1) измерения по этой систематической ошибке.

При записи фазовых измерений необходимо иметь в виду, что ионосферная ошибка в кодовых измерениях (групповая скорость распространения огибающей сигнала в ионосфере меньше скорости в вакууме) положительна и по знаку совпадает с тропосферной задержкой, а в фазовых, имея ту же величину, что и в кодовых, противоположна ей по знаку, поскольку фаза несущей в ионосфере опережает фазу в вакууме. С учётом этого обстоятельства для полной фазовой дальности можно записать:

$$Z^{phase} = D_{ij}^{phase(d.rec)} + H^{phase} \Delta X^p + \delta D_{ij}^{trop} - \delta D_{ij}^{ion} + \varepsilon_{ij}^{phase} \quad (3)$$

Заметим, что полная фазовая дальность для обычных приёмников недоступна, так как в неё входит неизвестное целое число фазовых циклов несущей (число длин волн  $\lambda \approx 19$  см, укладываемое в дальность до спутника  $D \approx 20000$  км). Это число теряется при захвате несущей на сопровождение и в дальнейшем восстановлению не подлежит (по крайней мере, в обычных одностотных приёмниках).

Способ оценки ионосферной задержки по одностотным измерениям в обычных приемниках описан в статье [2]. Однако в этой работе в качестве исходной статистики для оценивания ионосферной задержки используется разность секундных приращений кодовых и фазовых измерений, причем секундные приращения кодовых дальностей сильно зашумлены (удвоение дисперсии кодовых шумов в их секундных разностях). Эта статистика не является достаточной, поскольку в ней хотя и использована информация о разных знаках ионосферной задержки (при равенстве модулей) в кодовых и фазовых измерениях, но априорная информация об очень большом ( $10^4$ – $10^6$ ) отношении дисперсий кодовых и фазовых измерений утеряна. С точки зрения потребителя, недостатком способа, приведенного в работе [2], является не исключаемая тропосферная ошибка, которая в реальных измерениях имеет вклад, соизмеримый с ионосферной.

Предлагаемый в данной статье подход обеспечивает не только более высокое качество подавления ионосферной ошибки, но также подавление и тропосферной (по измерениям обычных одностотных приемников).

Однако в любом приёмнике (в контуре слежения за несущей) производятся измерения набегов фазы на интервале измерения – доплеровские интегралы. По теореме о среднем значении интеграла эти измерения (не совсем корректно при неограниченном суммировании доплеровских интегралов, но достаточно строго для рассматриваемой задачи) можно интерпретировать как среднюю скорость изменения полной фазовой дальности внутри интервала измерений набега фазы. Для того чтобы избавиться от неизвестного, но постоянного для всех измерений по данному спутнику целого числа фазовых циклов в момент захвата сигнала на сопровождение по несущей, продифференцируем по времени выражение (3) и получим:

$$\dot{Z}^{phase} = V_{rij}^{d.rec} + H^{phase} \Delta X^p + \frac{d}{dt} (\delta D_{ij}^{trop} - \delta D_{ij}^{ion}) + \varepsilon_{ij}^{phase} - \varepsilon_{i-1,j}^{phase}, \quad (4)$$

где  $\dot{Z}^{phase}$  – фазовые измерения (измерения псевдорадиальных скоростей), т. е. набегов фазы несущей на интервале измерений  $\Delta t$ , отнесённых к этому интервалу;

$\varepsilon_{ij}^{phase}$  и  $\varepsilon_{i-1,j}^{phase}$  – погрешности отсчётов фазы несущей в конце и начале интервала интегрирования доплеровской частоты.

Из литературы по распространению радиоволн известно, что как для тропосферной, так и для ионосферной задержек справедлива факторизация вида:

$$\delta D^{trop(ion)}(t) = \delta D_{vert}^{trop(ion)} \Phi_{sl}^{trop(ion)}(t), \quad (5)$$

где  $\delta D_{vert}^{trop(ion)}$  – вертикальная задержка (спутник в зените наблюдателя) – медленно меняющаяся во времени величина, определяемая состоянием атмосферы (ионосферы);

$\Phi_{sl}(t)$  – функция наклонного луча, которая отражает изменение во времени угловых координат спутника; известно также, что  $\Phi_{sl}^{trop}(t)$  зависит практически только от угла  $h$  возвышения спутника над горизонтом, в то время как  $\Phi_{sl}^{ion}(t)$  зависит ещё и от текущего азимута наблюдаемого спутника.

Подставляя (5) в (4), получим:

$$\dot{Z}^{phase} = V_{rij}^{d.rec} + H^{phase} \Delta X^p + \delta D_{vert}^{trop} \dot{\Phi}_{sl}^{trop} - \delta D_{vert}^{ion} \dot{\Phi}_{sl}^{ion} + \varepsilon_{ij}^{phase} - \varepsilon_{i-1,j}^{phase}. \quad (6)$$

Включив  $\delta D_{vert}^{trop}$  и  $\delta D_{vert}^{ion}$  в расширенный вектор состояния  $X^p$ , наряду с другими мешающими параметрами (систематическими ошибками измерений), избавимся от их влияния на оценки интересующего нас подвектора состояния (координат и скоростей).

Выражение для  $\dot{\Phi}_{sl}^{trop}(t)$  можно получить прямым аналитическим дифференцированием:

$$\dot{\Phi}_{sl}^{trop}(t) = \frac{\partial \delta D^{trop}(h)}{\partial h} \cdot \frac{dh(t)}{dt}, \quad (7)$$

где  $\delta D^{trop}(h)$  – тропосферная задержка распространения, рассчитанная для параметров стандартной атмосферы в модели сферического слоя при экспоненциальном убывании плотности с высотой над нулевым уровнем.

Для расчёта ионосферных ошибок в составе навигационного сообщения (кадра ЭИ), передаваемого спутниками GPS, содержатся параметры ионосферной модели Клобучара, которая снижает ионосферные ошибки наполовину. Мы воспользуемся данными этой модели для расчёта априорного значения вертикальной задержки ( $h=90^\circ$ ) и вычисления производной  $\dot{\Phi}_{sl}^{ion}(t)$  численным дифференцированием:

$$\dot{\Phi}_{slj}^{ion}(t) = \frac{1}{t_2 - t_1} [\delta D_{ephj}^{ion}(t_2) - \delta D_{ephj}^{ion}(t_1)] \frac{1}{\delta D_{vert}^{ion}}. \quad (8)$$

В связи с тем, что текущие значения ионосферных ошибок практически не зависят от координат потребителя (по крайней мере, в окрестности его действительного положения в виде круга радиусом 10–20 км), то для численного дифференцирования (8) можно увеличивать интервал  $t_2-t_1$  до нескольких минут, а координаты подвижного потребителя брать прогнозными значениями его маршрута по счислению.

Вектор совместных кодовых и фазовых измерений  $Z$  сформируем в виде двух подвекторов – кодового (псевдодалности) и фазового (псевдорадialьные скорости):

$$Z = \begin{pmatrix} Z^{code} \\ \dots\dots\dots \\ Z^{phase} \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Запишем расширенный в соответствии с вышеизложенным вектор состояния (оценок) в виде:

$$X = (x; y; z; \delta D^{syst}; \dot{x}; \dot{y}; \dot{z}; \delta V_*^{syst}; \delta D_{vert}^{trop}; \delta D_{vert}^{ion})^T. \quad (10)$$

Аналогично вектору  $Z$  матрица частных производных записывается в виде двух блоков: верхний – кодовый и нижний – фазовый. Каждая строка кодового блока матрицы  $H$  записывается в соответствующем вектору  $X$  виде:

$$H_{ij}^{code} = (a_{ij}; b_{ij}; c_{ij}; 1; 0; 0; 0; 0; \Phi_{sl}^{trop}; \Phi_{sl}^{ion}). \quad (11)$$

Включение параметров тропосферы и ионосферы в число оцениваемых по измерениям неизбежно ухудшит качество оценивания (увеличит геометрический фактор) основных координат и скоростей по сравнению со случаем точного знания и учёта тропосферных и ионосферных ошибок. Для компенсации этого ухудшения (даже с улучшением качества их оценивания по сравнению с вышеуказанным случаем) применяется совместная обработка кодовых и фазовых (радиальноскоростных) измерений, для чего в фазовый блок матрицы  $H$  вводятся частные производные радиальных скоростей ( $\alpha, \beta, \gamma$ ) по координатам  $x, y, z$  соответственно:

$$H_{ij}^{phase} = (\alpha_{ij}; \beta_{ij}; \gamma_{ij}; 0; a_{ij}; b_{ij}; c_{ij}; 1; \dot{\Phi}_{slj}^{trop}; -\dot{\Phi}_{slj}^{ion}). \quad (12)$$

Частные производные радиальных скоростей по координатам  $(\alpha, \beta, \gamma)$  и производные вертикальных задержек в тропосфере и ионосфере существенно меньше соответствующих элементов в матрице частных производных кодовых измерений. Казалось бы, введение псевдорадиальных скоростей в вектор измерений не может заметно улучшить оценивание координат  $x, y, z$ . В действительности же СКП фазовых измерений на 2–3 порядка меньше СКП кодовых. Поэтому при оптимальном взвешивании этих совместных измерений (а веса обратно пропорциональны дисперсиям, т. е. квадратам СКП) радиально-скоростные измерения оказываются более информативными относительно координат, чем кодовые. Взвешенная обработка способом наименьших квадратов выполняется по формуле

$$\Delta X = (H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1} L, \quad (13)$$

где  $\Delta X$  – вектор оцениваемых поправок к числимым значениям вектора  $X$ ;

$L$  – вектор разностей измеренных и числимых псевдодальностей и псевдорадиальных скоростей;

$R$  – матрица шумов измерений – диагональная матрица из их дисперсий.

Поскольку в формуле (13) любой постоянный множитель в матрице  $R$  сокращается, эту матрицу удобно представить в нормированном виде:

$$R = (1, \dots, 1; \chi, \dots, \chi)^T E, \quad (14)$$

где  $E$  – единичная матрица размерности  $2m \times 2m$ ,

а количество элементов, равных 1, в векторе  $(\circ)^T$  равно количеству элементов  $\chi$  и равно  $m$  – количеству одновременно наблюдаемых спутников.

$$\chi = \frac{\sigma_{phase}^2}{\sigma_{code}^2} = 10^{-4} \div 10^{-6}, \quad (15)$$

Заметим, что метод решения с совместной обработкой псевдодальностей и псевдорадиальных скоростей, впервые предложенный Ю. С. Дубинко в 1983 г. [3], позволяет оценивать координаты при малом (теоретически недостаточном) числе видимых спутников вплоть до одного в двух-координатной задаче (при инициализации по трём с дальнейшей фиксацией высоты объекта и прогнозом дрейфа опорного генератора).

Отметим также, что при большой избыточности наблюдаемых спутников с большой вероятностью найдутся пары с примерно одинаковыми высотами и противоположными азимутами, которые при точном совпадении высот и разности азимутов в  $180^\circ$  обеспечивают полную компенсацию тропосферных влияний и сильное подавление ионосферных, что дает практически нулевое смещение оценок координат. Лишь нарушение этой симметрии приводит к заметному смещению оценок координат. Вообще при числе одновременно наблюдаемых спутников  $>8$  с высотами  $>10^\circ$  над горизонтом вклад тропосферы и ионосферы в смещение наблюдений не превышает первых единиц метров. При малом же числе спутников (особенно если

приходится брать в обработку «низкие» спутники) вклад ошибок распространения радиоволн может превысить 10 м.

Оценка и исключение влияния тропосферной и ионосферной ошибок должны дать заметный эффект в геодезической съёмке базовых линий большой длины, если находить эти оценки и учитывать их при формировании «очищенных» измерений для каждой точки базовой линии отдельно, а затем образовывать из них первые и вторые разности для решения геодезической задачи.

Реализация предложенного алгоритма устранил скачки обсерваций при смене рабочих созвездий спутников и позволит более эффективно решать задачи синхронизации шкал времени.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дубинко Ю. С. Некоторые направления развития аппаратуры потребителей в фирме КБ «Навис». Сборник трудов III международной конференции «Планирование глобальной радионавигации» (9-11 октября 2000 г. Москва, Россия). – М.: НТЦ «Интернавигация», 2000.
2. Гребенников А. В., Казанцев М. Ю., Фатеев Ю. Л. Оценка задержки сигналов ГЛОНАСС и GPS в ионосфере по одночастотным измерениям. Сборник трудов IX Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам (27-29 мая 2002, Россия). – СПб., 2002. – С. 25–34.
3. Волосов П. С., Дубинко Ю. С., Мордвинов В. Д. Судовые комплексы спутниковой навигации. Л.: Судостроение (издание второе), 1983. – 272 с.

**Y. S. Doubinko, T. Yu. Doubinko, L. V. Doubinko, O. V. Nikitin**

**Elimination of the Influence of Tropospheric and Ionospheric Measurement Errors in Single-Frequency Receiver**

*The algorithm of extracting the information about the ionospheric and tropospheric delays in single-frequency receiver is discussed. The deterioration of the conditionality of the equation system for co-ordinates estimates, caused by the extension of the vector of the evaluated parameters is compensated by the improvement of the geometric factor due to the weighted joint processing of the code and phase (radial-speed) measurements when evaluating the user co-ordinates. Application for the patent concerning this method of elimination of radio wave propagation errors in satellite positioning has been made.*

**ОЦЕНИВАНИЕ ВЕКТОРА ИНТЕРЕСУЮЩИХ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ПРИ НАЛИЧИИ МЕШАЮЩИХ ФАКТОРОВ**

**Ю. С. ДУБИНКО**  
(КБ «НАВИС»),  
**О. В. НИКИТИН**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*В статье рассмотрены два известных метода фильтрации навигационных параметров при наличии мешающих: первый – разрушение мешающей информации ее усреднением, второй – формальное взвешивание измерений СНК с включением мешающих параметров в число оцениваемых. Показано совпадение оценок подвектора интересующих параметров при этих разных подходах.*

В радионавигационных беззапросных системах как спутниковых (СРНС), так и с наземным базированием передающих станций (РНС) измерения радионавигационных параметров (задержки сигнала на трассе) имеют существенную систематическую погрешность, вызванную расхождением шкал времени РНС и потребителя. Эта погрешность исключается либо в процессе разностно-дальномерных измерений в гиперболических РНС, требующих одной лишней (ведущей) станции, либо в процессе обработки псевдодальномерных измерений в СРНС включением ее в число оцениваемых параметров, что также требует одного дополнительного спутника в рабочем созвездии. В специальной литературе до сих пор встречаются описания как разностно-дальномерных методов, так и псевдодальномерных. В частности, в книге «Система ГЛОНАСС» [1] приводятся отдельные описания обоих методов, хотя и утверждается их аналогичность (доказательству их идентичности посвящен целый раздел 6.3.3).

В иностранной литературе [2] часто упоминается метод исключения влияния мешающих параметров (таких, например, как систематические ошибки измерений) разрушением их информации интегрированием в бесконечных пределах условной функции правдоподобия выборки измерений, умноженной на плотность вероятности этих условий. В настоящее время имеется достаточно много публикаций по СРНС, где в число мешающих параметров включаются медленноменяющиеся погрешности распространения радиоволн в ионосфере, тропосфере и при наличии отраженных сигналов.

Здесь приводится доказательство эквивалентности метода усреднения условных функций правдоподобия по мешающим параметрам и метода уравновешивания измерений обобщенным расширенным способом наименьших квадратов (ОРСНК) при включении мешающих параметров в вектор оценок.

Значение измеряемого в момент  $t_i$  навигационного параметра  $z_i$  зависит как от параметров, которые подлежат оцениванию – координат объекта  $x_i$ , так и от целого ряда параметров  $y_i$ , оценки которых потребитель не использует. Неточное знание этих параметров при обработке измерений, естественно, приведет к дополнительным погрешностям оцениваемых координат. Будем называть эти параметры, следуя работе [2], мешающими.

$$z_{ij} = f_j[t_i; x_1, x_2, \dots, x_m; y_1, y_2, \dots, y_p]$$

$$\begin{aligned} i &= 1 \dots n \\ j &= 1 \dots m, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $m$  – число наблюдаемых спутников.

Измеренное значение навигационного параметра отличается от истинного (1) аддитивной флюктуационной помехой:

$$z_{iuz} = z_i + \varepsilon_i. \quad (2)$$

Погрешность измерения  $\varepsilon_i$  при нормальном функционировании приемно-измерительного тракта и отсутствии превалирующих искусственных помех подчиняется нормальному закону распределения с дисперсией  $\sigma_z^2$  и нулевым математическим ожиданием. Для получения линейных оценок  $x_i$ , эффективных при нормальном распределении погрешностей измерений, влияние нелинейности функции (1) устраняется последовательными приближениями линеаризованной функции (1) в каждой  $s$  итерации в окрестности оценок, полученных в предыдущей. Итерационный процесс останавливают при выполнении условия

$$|x_{is} - x_{is-1}| \leq \delta, \quad (3)$$

где  $s$  – номер итерации.

Величина  $\delta$  выбирается на уровне сантиметров. Следовательно, нелинейность функции (1) практически не влияет на результат оценивания параметров  $x_i$  и вместо (1) можно записать линейное уравнение измерений (4):

$$z_{ij} = \sum_{k=1}^m h_{ijk} x_k + \sum_{l=1}^p g_{ijl} y_l + \varepsilon_{ij}, \quad (4)$$

где  $z_i$  – разность измеренного и счислимого значений навигационного параметра;

$h_{ijk}$  – частные производные измерений по оцениваемым параметрам:

$$h_{ijk} = \frac{\partial z_{ij}}{\partial x_k}, \quad (5)$$

а  $g_{ijl}$  – частные производные измерений по мешающим параметрам:

$$g_{ijl} = \frac{\partial z_{ij}}{\partial y_l}. \quad (6)$$

Погрешности измерений характеризуются корреляционной матрицей

$$R = M[\|\varepsilon_i\| \|\varepsilon_i\|^T]. \quad (7)$$

Погрешности мешающих параметров характеризуются априорной корреляционной матрицей

$$R_y = M[\|Y_l\| \|Y_l\|^T]. \quad (8)$$

Априорную корреляционную матрицу погрешностей оцениваемых параметров обозначим через  $R_x$ ,

$$R_x = M[\|\bar{x}_j\| \|\bar{x}_j\|^T]. \quad (9)$$

Традиционные алгоритмы аппаратуры потребителей СНС минимизируют выбором поправок  $x_i$  сумму квадратов невязок:

$$\sum \bar{\varepsilon}_i^2 = \min, \quad (10)$$

т. е. оценки координат определяют способом наименьших квадратов. Эти оценки соответствуют максимально правдоподобным для нормально распределенных независимых равноточных измерений.

Действительно, функция правдоподобия выборки  $z_i$  в этом случае (без учета мешающих параметров и априорных данных об оцениваемых параметрах) имеет вид:

$$L_x(z_i) = \prod_{i=1}^n \varphi(\varepsilon_i) = \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \right)^n \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma_z^2} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \right\}. \quad (11)$$

Имея в виду, что

$$\varepsilon_i = z_{imeas} - z_{id.rec} = z_i - \sum_{k=1}^m h_{ik} x_k, \quad (12)$$

вместо (11) запишем:

$$L_x = \left( \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \right)^n \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma_z^2} \left[ \sum_{i=1}^n \left( z_i - \sum_{k=1}^m h_{ik} x_k \right) \right]^2 \right\}. \quad (13)$$

Очевидно, что максимуму функции правдоподобия (13) соответствует минимум показателя экспоненты в этой формуле, т. е. оценки  $x_k$  находятся из условия минимума функционала:

$$S = \left[ \sum_{i=1}^n \left( z_i - \sum_{k=1}^m h_{ik} x_k \right) \right]^2 = \min. \quad (14)$$

Дифференцированием (14) по оцениваемым параметрам получаем систему из  $m$  нормальных уравнений Гаусса:

$$\sum_{l=1}^m \left( \sum_{i=1}^n h_{ik} h_{il} \right) x_l = \sum_{i=1}^n h_{ik} z_i \quad k = 1, 2 \dots m. \quad (15)$$

Для удобства дальнейших выводов запишем функцию правдоподобия в векторно-матричной форме. Для этого обозначим:

вектор измерений  $\|\bar{z}_i\|$  размерности  $n$  через  $Z$ ;

вектор оцениваемых параметров  $\|\bar{x}_k\|$  размерности  $m$  через  $X$ ;

вектор мешающих параметров  $\|\bar{y}_k\|$  размерности  $p$  через  $Y$ ;

матрицу частных производных  $h_{ik}$  размерности  $m \times n$  через  $H$ ;

матрицу частных производных  $g_{il}$  размерности  $p \times n$  через  $G$ .

В этих обозначениях функция правдоподобия (13) запишется в виде:

$$L_x = (2\pi)^{-\frac{n}{2}} \frac{1}{\sqrt{\det R}} \exp \left[ -\frac{1}{2} (Z - HX)^T R^{-1} (Z - HX) \right]. \quad (16)$$

При наличии априорных данных об оцениваемых параметрах в виде априорной корреляционной матрицы  $K_x$  улучшение качества оценок может быть

достигнуто применением критерия максимума апостериорной плотности вероятности вместо максимального правдоподобия. В соответствии с этим критерием необходимо путем выбора оценок  $\hat{X}$  максимизировать апостериорную плотность вероятности этих параметров, что эквивалентно отысканию максимума функционала:

$$L_x = W_a(X)L_x, \quad (17)$$

где  $W_a(X)$  – априорная плотность вероятности вектора  $X$ , которая для нормального распределения  $X$ , с учетом введенных выше обозначений, может быть записана в виде:

$$W_a(X) = (2\pi)^{-\frac{m}{2}} (\det R_x)^{-\frac{1}{2}} \exp\left[-\frac{1}{2} X^T R_x^{-1} X\right]. \quad (18)$$

Подставляя (16) в (18), получим:

$$L_x = (2\pi)^{-\frac{n+m}{2}} (\det R \det R_x)^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2} [(Z - HX)^T R^{-1} (Z - HX) + X^T R_x^{-1} X]\right\}. \quad (19)$$

Дифференцируя показатель экспоненты по  $X$ , получим уравнения для оценок, обеспечивающих минимум этого выражения или максимум апостериорной плотности вероятности:

$$H^T R^{-1} H X + R_x^{-1} X = H^T R^{-1} Z. \quad (20)$$

Решение этой системы уравнений

$$X = (H^T R^{-1} H + R_x^{-1})^{-1} H^T R^{-1} Z \quad (21)$$

отличается от решения способом наименьших квадратов

$$X = (H^T H)^{-1} H^T Z \quad (22)$$

и встречается в литературе [3] под названием расширенного способа наименьших квадратов, если измерения равноточны и независимы. В этом случае матрица  $R$  примет вид:

$$R = \sigma_z^2 E, \quad R^{-1} = \frac{1}{\sigma_z^2} E. \quad (23)$$

Подставляя (23) в (21), получим:

$$X = (H^T H + \sigma_z^2 R_x^{-1})^{-1} H^T Z \quad (24)$$

или

$$X = (H^T H + \hat{R}_x^{-1})^{-1} H^T Z, \quad (25)$$

где  $\hat{R}_x = \frac{1}{\sigma_z^2} R_x$  – нормированная на дисперсию погрешностей измерений априорная корреляционная матрица оцениваемых параметров.

Отличие расширенного способа наименьших квадратов (РСНК) (25) от классического СНК (22) заключается в необходимости обращения матричного двучлена  $H^T H + \hat{R}_x^{-1}$  вместо  $H^T H$ . Наличие второго слагаемого ( $\hat{R}_x^{-1}$ ) улучшает обусловленность матрицы  $H^T H$  в случае неблагоприятного геометрического фактора наблюдений и всегда позволяет получить надежное решение.

Если учесть только корреляционную матрицу погрешностей независимых измерений (матрица  $R$  – диагональная, а вклад априорных данных  $R_x^{-1}$  пренебрежимо мал по сравнению с  $H^T R^{-1} H$ ), то оценку в соответствии с

$$\tilde{X} = (H^T R^{-1} H)^{-1} H^T R^{-1} Z \quad (26)$$

часто называют взвешенным способом наименьших квадратов.

При наличии корреляции в измерениях матрица  $R$  недиагональная и решение (26) называют обобщенным способом наименьших квадратов (ОСНК). Если классический СНК минимизирует сумму квадратов невязок

$$(Z - HX)^T (Z - HX) = \min, \quad (27)$$

то ОСНК минимизирует квадратичную форму:

$$(Z - HX)^T R^{-1} (Z - HX) = \min \quad (28)$$

и поэтому имеет другое название – метод минимизации квадратичной формы.

Функция правдоподобия выборки  $L_x$  (16) или функция  $L_x$  (19), определяющая апостериорную плотность вероятности оцениваемых параметров при наличии мешающих параметров  $Y$  представляют собой условные функции:

$$L_x(Z_1, \dots, Z_n / Y), \quad (29)$$

$$L_x = W_m(X) L_x(Z_1, \dots, Z_n / Y), \quad (30)$$

так как вычислены при условии, что значения элементов вектора  $Y$ , используемые для вычисления числимых значений измеряемых величин  $Z_{изм.}$ , безошибочны. При наличии априорных сведений о характеристиках погрешностей мешающих параметров в виде априорной корреляционной матрицы  $R_y$  (математическое ожидание  $M[Y]$  можно считать равным нулю) можно улучшить качество оценки  $\tilde{X}$ , минимизируя безусловную функцию правдоподобия или безусловную апостериорную плотность вероятности оцениваемых параметров. Для вычисления безусловные функции  $L_x$  и  $L_x$  необходимо умножить их на плотность вероятностей вектора  $Y$  и проинтегрировать в бесконечных пределах по всем элементам вектора  $Y$ .

$$L_x^* = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} L_x(Z_1 \dots Z_n / Y) W_p(Y) dy_1 \dots dy_p. \quad (31)$$

$$L_x^* = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} W_m(X) L_x(Z_1 \dots Z_n / Y) W_p(Y) dy_1 \dots dy_p. \quad (32)$$

Поскольку  $W_m(X)$  не зависит от  $Y$ , последнее выражение можно переписать в виде:

$$L_x^* = W_m(X) \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} L_x(Z_1 \dots Z_n / Y) W_p(Y) dy_1 \dots dy_p = W_m(X) L_x^*. \quad (33)$$

Для вычисления интегралов подставим в (31) выражение для  $L_x$  и  $W_p(Y)$ :

$$L_x^* = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} (2\pi)^{-\frac{n+p}{2}} (\det R^{-1} \det R_y)^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}[(Z - HX - GY)^T \times \right. \quad (34)$$

$$\left. \times R^{-1}(Z - HX - GY) + Y^T R_y^{-1} Y]\right\}$$

и воспользуемся тем обстоятельством, что интеграл

$$\int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left\{-\frac{1}{2}[(Y - S)^T V^{-1}(Y - S)]\right\} dy_1 \dots dy_p = (2\pi)^{\frac{p}{2}} (\det V^{-1})^{\frac{1}{2}}, \quad (35)$$

поскольку  $(2\pi)^{-\frac{p}{2}} (\det V^{-1})^{-\frac{1}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}[(Y - S)^T V^{-1}(Y - S)]\right\}$  представляет

собой плотность вероятности системы  $p$  коррелированных случайных величин  $T = \|t_1; t_2; \dots; t_p\|^T$  с вектором математических ожиданий  $S = \|s_1; s_2; \dots; s_p\|^T$  и корреляционной матрицей  $V$ , интеграл от которой в бесконечных пределах по всем параметрам  $t_i$  равен 1. Преобразуем выражение в квадратных скобках показателя экспоненты в (34), дополнив его до квадратичной формы вида:

$$T = (Y - S)^T V^{-1}(Y - S). \quad (36)$$

Представим (36) в виде:

$$T = Y^T V^{-1} Y - Y^T V^{-1} S - S^T V^{-1} Y + S^T V^{-1} S. \quad (37)$$

Аналогично преобразуем выражение в квадратных скобках показателя экспоненты формулы (34), выделив слагаемые, зависящие от  $Y$ :

$$T_i = (Z - HX)^T R^{-1}(Z - HX) - Y^T G^T R^{-1}(Z - HX) - (Z - HX)^T R^{-1} G Y + \quad (38)$$

$$+ Y^T (G^T R^{-1} G + R_y^{-1}) Y.$$

Сопоставляя (36) и (37), можем записать:

$$\left. \begin{aligned} Y^T V^{-1} Y &= Y^T (G^T R^{-1} G + R_y^{-1}) Y \text{ или } V^{-1} = (G^T R^{-1} G + R_y^{-1}) \\ Y^T V^{-1} S &= Y^T G^T R^{-1} (Z - HX) \text{ или } V^{-1} S = G^T R^{-1} (Z - HX) \\ S^T V^{-1} Y &= (Z - HX)^T R^{-1} G Y \text{ или } S^T V^{-1} = (Z - HX)^T R^{-1} G \end{aligned} \right\}. \quad (39)$$

Замечаем, что в  $T_i$  до квадратичной формы относительно  $Y$  не хватает слагаемого  $S^T V^{-1} S$ . Вычислим это слагаемое, воспользовавшись равенствами (39):

$$S^T V^{-1} S = (Z - HX)^T R^{-1} G (G^T R^{-1} G + R_y^{-1})^{-1} G^T R^{-1} (Z - HX). \quad (40)$$

Добавим и вычтем это выражение к показателю экспоненты в (34) и перегруппируем слагаемые, выделив полную квадратичную форму относительно  $Y$ :

$$L_x^* = (2\pi)^{-\frac{n+p}{2}} (\det R^{-1} \det R_y^{-1})^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left\{-\frac{1}{2}[(Z - HX)^T R^{-1}(Z - HX) - \right. \quad (41)$$

$$\left. - (Z - HX)^T R^{-1} G (G^T R^{-1} G + R_y^{-1})^{-1} G^T R^{-1} (Z - HX)] - \frac{1}{2}[(Y - S)^T V^{-1}(Y - S)]\right\}.$$

Выполнив интегрирование в соответствии с (35) и приведя подобные члены, получим:

$$L_x^* = c \exp \left\langle -\frac{1}{2} \left\{ (Z - HX)^T [R^{-1} - R^{-1}G(G^T R^{-1}G + R_y^{-1})^{-1}G^T R^{-1}] (Z - HX) \right\} \right\rangle, \quad (42)$$

где  $c$  – константа, не зависящая ни от  $X$ , ни от  $Z$ , ни от  $Y$ .

Воспользовавшись леммой об обращении матриц [2]

$$A = B - BH^T (HBH^T + R)^{-1} HB$$

$$A^{-1} = B^{-1} + H^T R^{-1} H,$$

можно получить более компактное выражение в квадратных скобках показателя экспоненты в (41), а именно:

$$L_x^* = c \exp \left\langle -\frac{1}{2} [(Z - HX)^T (R + GR_y G^T)^{-1} (Z - HX)] \right\rangle. \quad (43)$$

Продифференцировав показатель экспоненты в  $L_x^*$  по  $X$  и приравняв производные нулю, получим уравнения для оценки  $X$ , в которых учтена априорная информация о мешающих параметрах (при этом сами мешающие параметры не входят в уравнения оценки  $X$  и не требуют расширения вектора оцениваемых параметров для оценивания  $Y$ ):

$$H^T (R + GR_y G^T)^{-1} H \tilde{X} = H^T (R + GR_y G^T)^{-1} Z. \quad (44)$$

Решая это уравнение относительно  $X$ , получим:

$$\tilde{X} = [H^T (R + GR_y G^T)^{-1} H]^{-1} H^T (R + GR_y G^T)^{-1} Z. \quad (45)$$

Подставив (43) в (33) с учетом (18), получим:

$$L_x^* = c_1 \exp \left\langle -\frac{1}{2} [X^T R_x^{-1} X + (Z - HX)^T (R + GR_y G^T)^{-1} (Z - HX)] \right\rangle. \quad (46)$$

Продифференцировав показатель экспоненты в (46) и приравняв производные нулю, получим уравнения для оценки  $X$ , в которых использована априорная информация как о мешающих, так и об оцениваемых параметрах:

$$[R_x^{-1} + H^T (R + GR_y G^T)^{-1} H] \tilde{X} = H^T (R + GR_y G^T)^{-1} Z. \quad (47)$$

Решив это уравнение относительно  $X$ , получим выражение для оценки:

$$\tilde{X} = [H^T (R + GR_y G^T)^{-1} H + R_x^{-1}]^{-1} H^T (R + GR_y G^T)^{-1} Z. \quad (48)$$

Рассмотрим теперь вариант оценивания интересующих параметров вектора состояния при наличии мешающих путем оценивания последних в расширенном векторе оценок  $X_*$  обобщенным расширенным СНК:

$$X_* = (X; Y)^T. \quad (49)$$

Без нарушения общности можно считать, что математические ожидания элементов вектора  $Y$  равны нулю. Это объясняется тем, что, оценивая поправки к числимым значением регулярных составляющих элементов вектора  $Y$  по критерию максимального правдоподобия (в частности, при гауссовом шуме в форме СНК), получаем несмещенные, состоятельные и эффективные их оценки. Более того, если величины этих неизвестных регулярных составляющих столь велики, что нарушается корректность линеаризации в окрестности их нулевых приближений, то можно организовать итерационный про-

цесс уточнения, который при оценивании СНК всегда сходится. С учетом этих замечаний вектор  $X_*$  вместо (49) целесообразно записать в виде:

$$X_* = (X; \delta Y)^T. \quad (50)$$

Случайные компоненты вектора оценок мешающих параметров внесут свой вклад в погрешность измерений  $Z$ :

$$\bar{\varepsilon}_{iy} = \sum_{l=1}^p G_{il} \delta Y_l. \quad (51)$$

Корреляционная матрица этих дополнительных к измерительным шумам погрешностей может быть записана в виде:

$$R_y = M \{ \bar{\varepsilon}_y \cdot \bar{\varepsilon}_y^T \} = G R_y G^T. \quad (52)$$

В силу независимости шумовых ошибок измерений и случайных составляющих вектора  $Y$  вместо матрицы  $R$  в формуле (26) в обработке должна участвовать матрица  $R + G R_y G^T$ .

Расширяя вектор оцениваемых параметров (49), необходимо в матрицу  $H$  включить частные производные  $Z$  по  $Y$  и записать её в блочной форме:

$$H_* = \| H \quad \vdots \quad G \|. \quad (53)$$

Очевидно, что включение мешающих параметров в число оцениваемых не может улучшить случайные компоненты оценок интересующих параметров. Более того, в зависимости от геометрических свойств векторов  $X$  и  $Y$  они могут оказаться совместно ненаблюдаемыми – матрица  $(H_*^T H_*)^{-1}$  теряет положительную определенность.

В связи с этим чрезвычайно важно анализировать целесообразность включения того или иного мешающего параметра в число оцениваемых (или разрушения его информации интегрированием). Это включение устранил бы смещение оценок  $X$ , вызванных  $Y$ , но увеличит дисперсии случайных составляющих этих оценок, т. е. останется извечная проблема соотношения смещений оценок и их случайных составляющих (уменьшение одной из них приводит к увеличению другой).

В качестве примера конструктивного решения этой проблемы можно [4] привести алгоритм, где вектор измерений  $Z$  расширен включением фазовых измерений. Это обеспечивает разные знаки частных производных исходных кодовых и добавленных фазовых измерений по одному из мешающих параметров – вертикальной задержке в ионосфере, а негативное влияние тропосферной задержки компенсируется улучшением геометрического фактора за счет совместного взвешенного оценивания координат путем обработки дальномерных и радиально-скоростных измерений.

С учетом (51) и (53) выражение для невязок правых и левых частей уравнений измерений примет вид:

$$\mathcal{E} = Z - HX - GY = Z - H_* X_*. \quad (54)$$

Формулу (54) можно переписать в виде:

$$\mathcal{E} + GY = Z - HX. \quad (55)$$

Из этой формулы видно, что к чисто шумовым невязкам измерений (разностям правых и левых частей условных уравнений СНК) добавляются погрешности, вызванные неточным оцениванием мешающих параметров.

Вычислим корреляционную функцию этой суммарной погрешности.

$$M[(\mathcal{E} - GY)(\mathcal{E} - GY)^T] = R + G^T R_y G, \quad (56)$$

где  $R_y$  – априорная корреляционная матрица мешающих параметров.

С учетом (56) для обобщенного расширенного СНК необходимо минимизировать квадратичную форму

$$(Z - HX)^T (R + G^T R_y G)^{-1} (Z - HX). \quad (57)$$

Дифференцируя (57) по элементам вектора интересующих параметров  $X$ , получим уравнение для их оценок  $\tilde{X}$ :

$$(R + G^T R_y G)^{-1} (Z - H\tilde{X}) = 0. \quad (58)$$

Если не нормировать априорную корреляционную матрицу на дисперсию равноточных измерений  $Z$ , т. е. считать, что матрица  $R$  имеет разные значения элементов главной диагонали и в общем случае недиагональна, то вместо формулы (25) можно записать более общее выражение:

$$\tilde{X} = (H^T R^{-1} H + R_x^{-1})^{-1} H^T R^{-1} Z. \quad (59)$$

Теперь осталось заменить в выражении (59)  $R$  на  $R + GR_y G^T$  и записать оценку  $\tilde{X}$  в виде:

$$\tilde{X} = [H^T (R + GR_y G^T)^{-1} H + R_x^{-1}]^{-1} H^T (R + GR_y G^T)^{-1} Z, \quad (60)$$

полностью совпадающем с (48).

Выводы.

1. Мы получили одно и то же выражение для оценок вектора интересующих параметров  $X$  при наличии мешающих  $Y$  по результатам измерений  $Z$  двумя разными подходами.

а) Первый – интегрирование условной функции правдоподобия в бесконечных пределах по всем мешающим параметрам как условиям (разрушение мешающей информации усреднением с учетом ее многомерной плотности вероятности). Этот результат получен для нормального распределения всех векторов как измерений, так и априорных  $X$  и  $Y$ . Оценки получены по критерию максимума апостериорной плотности вероятности и обладают свойствами несмещенности, состоятельности и эффективности.

б) Второй – формальное уравнивание этих измерений обобщенным расширенным СНК с включением мешающих параметров в число оцениваемых (с учетом только вторых моментов всех распределений).

2. Совпадение результатов, полученных существенно различающимися способами, еще раз подтверждает, что и в этом наиболее общем случае применения уравнивания СНК полученные оценки интересующих параметров при гауссовых исходных распределениях учитываемых погрешностей обладают свойствами несмещенности, состоятельности и эффективности и отвечают критерию максимума апостериорной плотности вероятности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Система ГЛОНАСС. Под редакцией Харисова В. Н., Перова А. И., Болдина В. А. – М.: ИПРЖР, 1999. – 399 с.
2. Сотсков Б. М., Щербаков В. Ю. Теория и техника калмановской фильтрации при наличии мешающих параметров // Зарубежная радиоэлектроника, 1985. – Вып. 2.
3. Дмитриев С. П. Высокоточная морская навигация. СПб.: Судостроение, 1991. – 224 с.
4. Дубинко Ю. С., Дубинко Л. В., Дубинко Т. Ю., Никитин О. В. Алгоритм исключения ионосферных и тропосферных ошибок измерений в одночастотном приемнике спутниковой навигации // Навигация и гидрография. – 2002. – № 15. – С. 30–35 (настоящее издание).

**Yu. S. Doubinko, O. V. Nikitin**

**Filtration of Navigation Parameters in the Presence of Interfering Ones**

*Two known methods to solve this problem – destruction of the interfering information by its averaging and formal weighting of the measurements by least squares method with inclusion of interfering parameters in the estimated ones – are considered. The coincidence for the subvector estimates of the parameters of interest by these different approaches is shown.*

ГРНТИ 78.21.41.19

**О НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОМ СПОСОБЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОВЕРИТЕЛЬНОЙ  
ВЕРОЯТНОСТИ ОЦЕНКИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОЖИДАНИЯ**

**Б. Е. ИВАНОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*В статье анализируется непараметрический способ определения доверительной вероятности оценки математического ожидания, предложенный В. И. Ермаковым.*

В навигации, геодезии, гравиметрии и других областях науки и практики бывает необходимо оценить математическое ожидание по результатам серии измерений. Точность такой оценки достигается путем нахождения доверительного интервала, соответствующего заданной доверительной вероятности, которая равна вероятности того, что истинное значение математического ожидания находится в пределах доверительного интервала. При этом границы доверительного интервала, называемые доверительными границами, располагаются симметрично относительно оценки математического ожидания [1, 2].

Существуют два метода решения указанной задачи: приближенный метод, когда не требуется знать закон распределения погрешности измерения, но число  $n$  измерений в серии должно быть больше 30, и точный метод, когда число  $n$  не имеет ограничений, но необходимо знать закон распределения погрешности измерения [1, 2].

В. И. Ермаков предложил непараметрический способ определения точного значения доверительной вероятности оценки математического ожидания при  $n < 30$  и без необходимости знать закон распределения погрешности измерения [3]. Автор способа дал его теоретическое обоснование и оце-

нил достоверность своего предложения путем статистического моделирования и сравнения с традиционными методами, но не рассмотрел всех его особенностей.

В связи с изложенным в данной статье кратко описывается сущность способа В. И. Ермакова и анализируются его особенности.

Пусть выполнена серия из  $n$  измерений и в результате получена оценка математического ожидания  $z_m$  (рис. 1). Ставится задача найти доверительную вероятность  $\beta$  нахождения истинного значения  $z_0$  искомой величины в промежутке между наименьшим  $z_1$  и наибольшим  $z_n$  измеренными значениями. Для этого рассматривается случайная погрешность измерения  $x = z - z_0$  (где  $z$  – произвольное измеренное значение), о законе распределения которой никаких предположений не делается. Далее на основе биномиального распределения определяется вероятность события присутствия в одной серии измерений погрешностей с разными знаками. Эта вероятность соответствует доверительной вероятности и равна [3]

$$\beta = 1 - 2^{1-n} \tag{1}$$

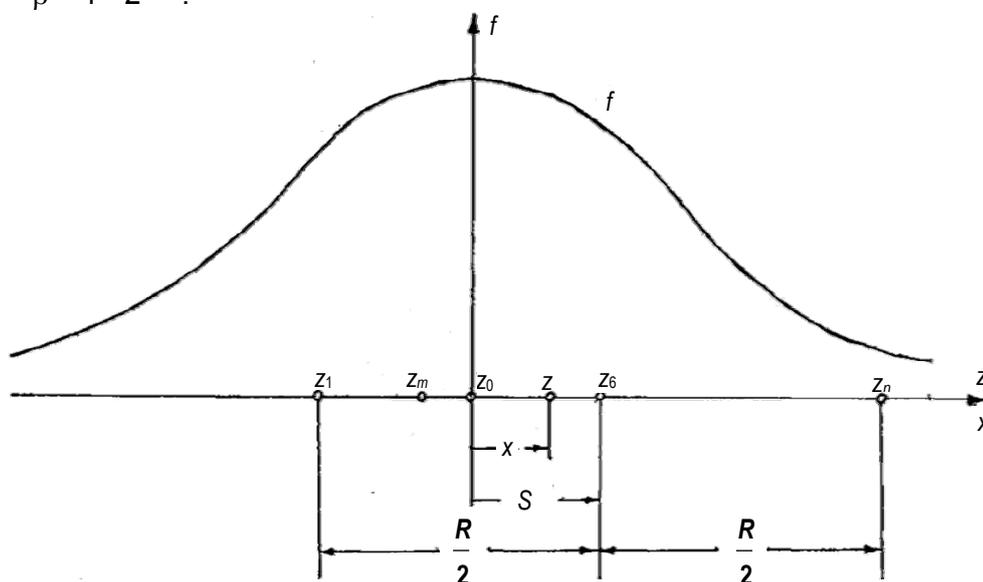


Рис. 1. Доверительный интервал

$z_0$  – истинное значение искомой величины;  $z_m$  – оценка математического ожидания;  $z_1$  и  $z_n$  – наименьшее и наибольшее значения в серии измерений;  $R$  – размах;  $S$  – центр распределения;  $x$  – погрешность измерения;  $f$  – плотность распределения  $x$ .

По формуле (1) выполнены вычисления. Изменение доверительной вероятности  $\beta$  в зависимости от  $n$  показано сплошной линией на рис. 2. Из этого рисунка видно, что  $\beta$  быстро изменяется при малых значениях  $n$ , – при  $n = 2$  величина  $\beta = 0,5$ , а при  $n > 10$  доверительная вероятность  $\beta > 0,999$ . Последнее позволяет утверждать, что при  $n > 10$  событие нахождения истинного значения в промежутке между наименьшим и наибольшим значениями в серии измерений становится практически достоверным, а способ В. И. Ермакова целесообразно применять только при очень малой серии измерений ( $n < 10$ ).

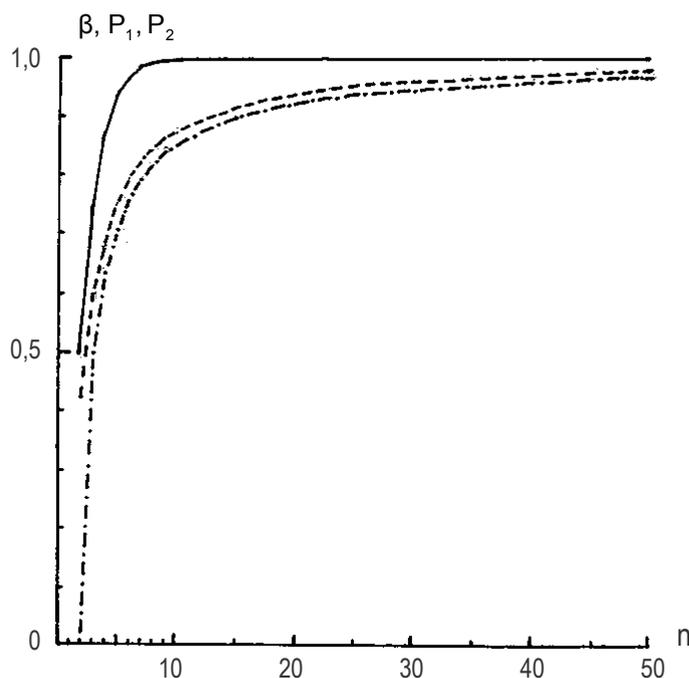


Рис. 2. Доверительная вероятность

$\beta$  – доверительная вероятность (сплошная линия);  $P_1$  и  $P_2$  – вероятности попадания случайной погрешности в интервалы, равные математическому ожиданию (штриховая линия) и моде размаха (штрих-пунктирная линия);  $n$  – число измерений в серии.

По формуле (2) с учетом зависимостей функции и плотности нормального распределения из работы [1] вычислены значения  $\varphi(R)$ . Здесь, как и далее, среднее квадратическое отклонение (СКО) исходного распределения принято равным единице, что не нарушает общности рассуждений. Изменение  $\varphi$  в зависимости от  $R$  и  $n$  показано на рис. 3. Из этого рисунка видно, что при увеличении  $n$  кривые, характеризующие  $\varphi(R)$ , смещаются в сторону возрастания  $R$  и становятся более сжатыми. По полученным значениям  $\varphi(R)$  вычислены математическое ожидание  $M$ , мода  $M_0$  и СКО  $\sigma_R$  размаха. Изменение этих величин в зависимости от  $n$  приведено в таблице.

В способе В. И. Ермакова доверительный интервал не вычисляется, а определяется в результате серии измерений. Величина его равна размаху  $R = x_n - x_1$ . Для оценки величины  $R$  используем формулу плотности распределения [4]:

$$\varphi(R) = n(n-1) \int_{-\infty}^{+\infty} [F(x+R) - F(x)]^{n-2} f(x+R)f(x)dx \quad , \quad (2)$$

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

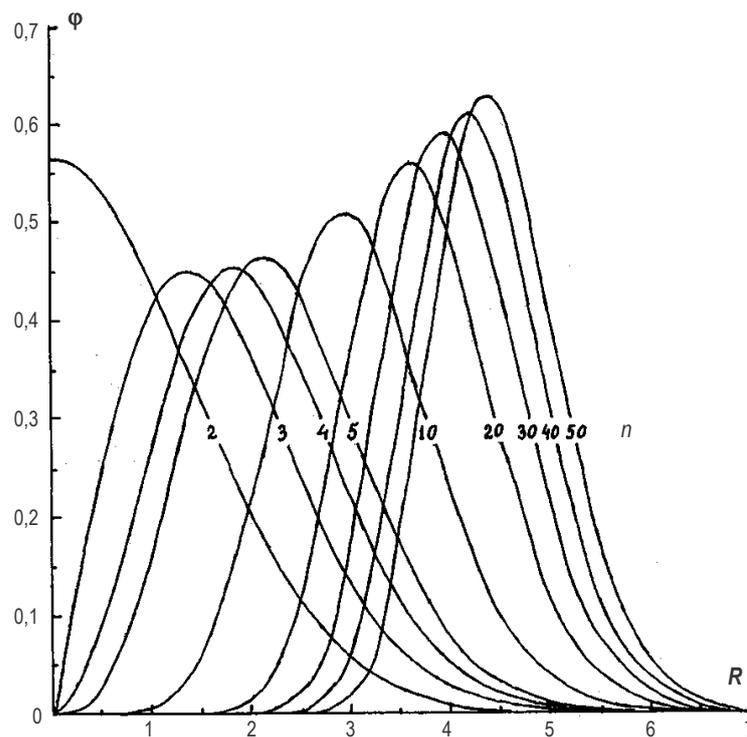


Рис. 3. Изменение плотности распределения  $\phi$  размаха  $R$  в зависимости от числа  $n$  измерений в серии

Математическое ожидание  $M$ , мода  $M_0$ , СКО  $\sigma_R$  размаха, СКО  $\sigma_S$  центра распределения и СКО  $\sigma_m$  оценки математического ожидания в зависимости от числа  $n$  измерений в серии

$n$	$M$	$M_0$	$\sigma_R$	$\sigma_S$	$\sigma_m$
2	1,128	0	0,868	0,353	0,707
3	1,693	1,344	0,889	0,301	0,577
4	2,059	1,806	0,879	0,273	0,5
5	2,326	2,113	0,864	0,255	0,447
6	2,534	2,343	0,848	0,243	0,408
7	2,704	2,526	0,833	0,234	0,378
8	2,847	2,676	0,82	0,226	0,354
9	2,97	2,805	0,808	0,22	0,333
10	3,077	2,916	0,797	0,215	0,316
15	3,472	3,32	0,756	0,199	0,258
20	3,735	3,587	0,729	0,189	0,224
25	3,931	3,785	0,708	0,182	0,2
30	4,085	3,941	0,693	0,177	0,183
35	4,213	4,069	0,68	0,174	0,169
40	4,321	4,178	0,669	0,17	0,158
45	4,415	4,272	0,66	0,168	0,149
50	4,498	4,356	0,652	0,165	0,141

Из таблицы видно, что с увеличением  $n$  математическое ожидание и мода размаха существенно возрастают, а СКО уменьшается.

При условии симметричности доверительного интервала оценим вероятности  $P_1$  и  $P_2$  попадания нормально распределенной случайной погрешности в интервал, равный математическому ожиданию и моде размаха соответственно. Изменение этих вероятностей в зависимости от  $n$  показано на рис. 2 штриховой линией для математического ожидания и штрих-пунктирной линией для моды размаха.

Данные, приведенные на рис. 2, 3 и в таблице, позволяют утверждать, что увеличение доверительной вероятности при возрастании  $n$  определяется в первую очередь увеличением доверительного интервала и во вторую очередь – повышением точности оценки искомой величины. В то же время, если следовать логике оценки точности, повышение точности оценки математического ожидания, обусловленное увеличением числа измерений в серии, должно было бы приводить к уменьшению доверительного интервала или хотя бы к тому, чтобы он не возрастал. Однако это не может быть выполнено при использовании способа В. И. Ермакова.

При применении анализируемого способа доверительный интервал в общем случае не будет симметричен относительно оценки математического ожидания или истинного значения. Несимметричность характеризуется величиной  $S$  (см. рис. 1), которая называется центром распределения [4]. На основании плотности распределения суммы крайних значений из работы [4] плотность распределения центра будет выражаться зависимостью

$$\psi(S) = \frac{1}{2} n(n-1) \int_{-\infty}^S [F(2S-x) - F(x)]^{n-2} f(2S-x) f(x) dx. \quad (3)$$

По формуле (3) с учетом зависимостей функции и плотности нормального распределения из работы [1] вычислены значения  $\psi(S)$ . Изменение  $\psi$  в зависимости от  $S$  и  $n$  показано на рис. 4. Из этого рисунка видно, что зависимость  $\psi(S)$  симметрична относительно  $S=0$ , математическое ожидание и мода равны нулю. При увеличении  $n$  кривые, характеризующие  $\psi(S)$ , становятся более сжатыми. По полученным  $\psi(S)$  вычислены значения СКО  $\sigma_S$  центра распределения, которые приведены в таблице.

В соответствии с работой [1] при исходном нормальном распределении погрешность  $z_m - z_o$  оценки математического ожидания также будет подчиняться нормальному распределению, а ее СКО будет равно

$$\sigma_m = n^{-0.5}. \quad (4)$$

Характер изменения плотности распределения  $z_m - z_o$  при увеличении  $n$  аналогичен данным, указанным на рис. 4. Вычисленные по формуле (4) значения СКО оценки математического ожидания показаны в таблице.

Данные, приведенные на рис. 4 и в таблице, показывают, что в подавляющем большинстве случаев доверительный интервал будет несимметричен, а степень несимметричности будет повышаться при уменьшении числа измерений в серии. Сказанное является недостатком рассматриваемого способа, так как погрешность оценки математического ожидания по результатам серии измерений целесообразно отождествлять с симметричным интервалом, что характерно для традиционных методов.

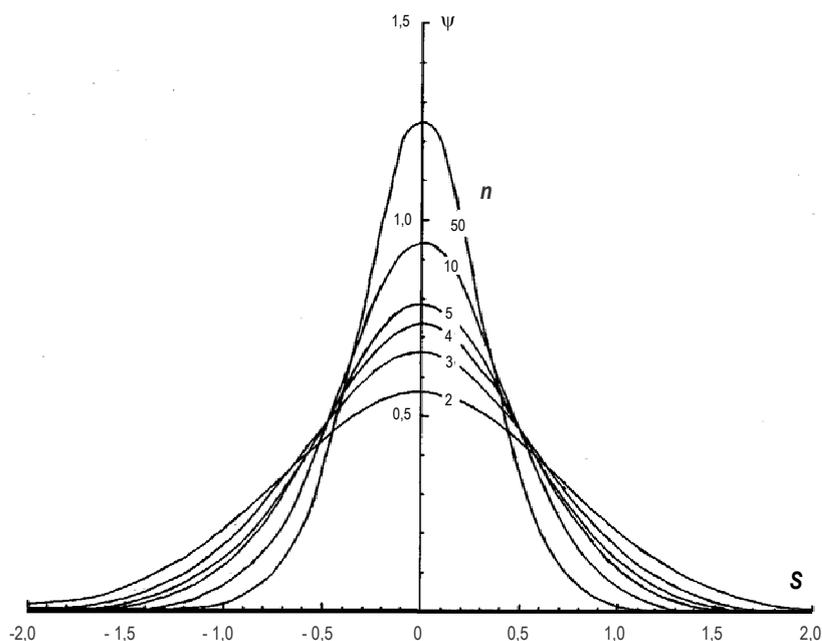


Рис. 4. Изменение плотности распределения  $\psi$  центра распределения  $S$  в зависимости от числа  $n$  измерений в серии

Практика оценки точности результатов измерений связывается с решением двух задач. Первая из них заключается в сопоставлении характеристик точности разных вариантов измерений или обработки результатов измерений с целью выбора наиболее точного. Вторая задача состоит в сопоставлении характеристик точности измерения с заранее заданной допустимой (требуемой) характеристикой. Решение этих задач способом В. И. Ермакова представляется затруднительным, поскольку величина доверительного интервала заранее задана быть не может. Возможно, этот способ найдет применение в автоматизированных измерительных системах при решении задачи определения достаточного числа измерений в серии для оценки математического ожидания по величине размаха и доверительной вероятности.

На основании изложенного выше можно сделать следующие выводы.

1. Достоинство способа В. И. Ермакова заключается в том, что при малой серии измерений можно получить точное значение доверительной вероятности по простейшей формуле без необходимости знать закон распределения погрешности измерения.

2. К недостаткам рассматриваемого способа можно отнести то, что:

- возрастает величина доверительного интервала при увеличении числа измерений в серии;
- при увеличении числа измерений в серии увеличение доверительной вероятности обуславливается в основном увеличением доверительного интервала, а не повышением точности определения искомой величины;
- доверительные границы располагаются в общем случае несимметрично относительно оценки математического ожидания.

3. Предложенный В. И. Ермаковым способ обладает оригинальностью и является несомненным вкладом в теорию вероятностей. Способ может найти применение только при очень малой серии измерений, включающей менее 10 значений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Физматгиз, 1962. – 564 с.
2. Справочник по вероятностным расчетам. Изд. 2-е, доп. и испр. / Г. Г. Абезгауз, А. П. Тронь, Ю. Н. Копенкин, И. А. Коровина. – М.: Воениздат, 1970. – 536 с.
3. Ермаков В. И. Промышленное судовождение: расчеты. – М.: Агропромиздат, 1989.
4. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. Пер. с англ. -М.: Мир, 1965. – 450 с.

**В. Е. Ivanov**

**On Nonparametric Method of Determining the Confidence Probability of Mathematical Expectation Estimate**

*The nonparametric method used to determine the confidence probability of mathematical expectation estimate proposed by V. I. Yermakov is analysed.*

ГРНТИ 78.21.41.19

**О СВОЙСТВАХ ПОГРЕШНОСТИ И ОБОЗНАЧАЮЩИХ ЕЕ ТЕРМИНАХ**

**Б. Е. ИВАНОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*В статье рассматриваются свойства погрешности функции и экстремальной погрешности в серии измерений и целесообразность обозначения их терминами «случайная погрешность» и «случайная величина».*

В ответ на критику, содержащуюся в статьях [1, 2], Н. М. Груздев указывает [3] на наличие «четкой грани между случайными величинами и случайными погрешностями» и отмечает [4], что «если каждая погрешность является случайной величиной, то не каждая случайная величина является случайной погрешностью». Тем самым Н. М. Груздев усматривает «четкую грань» между величинами, обозначаемыми терминами «погрешность» и «случайная погрешность». Можно было бы не обращать особого внимания на этот терминологический нюанс, если бы он не использовался как единственный признак для искусственного придания изучаемой погрешности свойств, которыми она не обладает. Н. М. Груздев полагает, что «случайная величина отличается от случайной погрешности по двум признакам: по определению (первая – результат измерения  $x$ , вторая – в общем случае результат вычисления  $\Delta = x - M(x)$ ) и по значению математического ожидания (математическое ожидание случайной величины не равно нулю, а математическое ожидание случайной погрешности при отсутствии систематической составляющей равно нулю» [4], где символ  $M$  обозначает математическое ожидание.

Рассмотрим справедливость положений, сформулированных Н. М. Груздевым, и соотношение между свойствами погрешности и обозначающими ее терминами.

В соответствии с монографиями [5, 6] погрешность измерения какой-либо величины можно представить в виде суммы двух основных составляющих:

- систематической погрешности, которая зависит от условий измерения, постоянна в данной серии измерений и, по возможности, может устраняться из результатов измерений путем введения поправки;
- случайной погрешности, которая появляется в результате совместного действия большого числа различных причин, носит случайный характер и имеет нулевое математическое ожидание.

В то же время деление погрешностей на систематические и случайные носит условный характер – между ними отсутствует четкая грань. В одних случаях одни и те же погрешности следует рассматривать как случайные, а в других – как систематические. Кроме того, практика научного познания свидетельствует, что вскрытая объективная и строгая, на первый взгляд, грань между объектами познания впоследствии часто оказывается нестрогой или вообще пропадает. Это характерно даже для отраслей знаний, которые подвержены процессу интеграции. Что уж говорить о «четкой грани», которая не является объективной, а носит условный характер.

Погрешность функции измеренной величины также может быть представлена в виде суммы двух составляющих: систематической погрешности и случайной погрешности функции [5].

Если при непосредственном измерении погрешности изучены в общем случае достаточно полно, то преобразование измеренных величин и их погрешностей требует дополнительного изучения. Рассмотрим погрешности линейной и нелинейной функции, а также экстремальные погрешности из серии измерений.

**1. Линейная функция**  $S$  измеренной величины  $K$  может выражаться зависимостью

$$S = aK + b, \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты.

Если величина  $K$  измерена со случайной погрешностью  $x$ , то из равенства (1) можно получить линейную зависимость для погрешности  $y$  функции  $y = ax$ . (2)

В учебнике [7] доказано, что линейная функция от аргумента, подчиняющегося нормальному распределению, также подчинена нормальному распределению. Тогда с учетом равенства (2) можно утверждать, что нормально распределенная случайная погрешность измерения вызовет появление также нормально распределенной погрешности функции. При этом математическое ожидание погрешности функции будет равно нулю, а ее среднее квадратическое отклонение (СКО) будет равно СКО погрешности измерения, умноженному на модуль коэффициента  $a$  [5].

Рассмотрим закон распределения погрешности линейной функции для общего случая, когда закон распределения погрешности измерения не обязательно соответствует нормальному.

В соответствии с работой [7] плотность распределения погрешности функции может выражаться формулами

$$\left. \begin{array}{l} \psi(y) = \varphi(g(y)) |g'(y)| \\ x = g(y) \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где  $g(y)$  – зависимость случайной погрешности  $x$  измерения от погрешности  $y$  функции;

$f(g(y))$  – плотность распределения случайной погрешности измерения с учетом зависимости

$$x=g(y).$$

Пусть плотность распределения случайной погрешности  $x$  измерения выражается теоретической зависимостью  $\varphi(x)$  [7]. Подставив эту зависимость и полученное из формулы (2) выражение  $x=y/a$  в первую из формул (3), после преобразования будем иметь

$$\psi(y)=|a^{-1}| \varphi(y/a). \quad (4)$$

Из формулы (4) следует, что вид распределения погрешности линейной функции соответствует виду теоретического распределения случайной погрешности измерения, а соотношение между статистическими характеристиками погрешности линейной функции и погрешности измерения будет такое же, как и указанное выше соотношение при нормальном распределении.

В связи с тем, что, как следует из монографии [5], математическое ожидание погрешности линейной функции равно нулю, присвоение этой погрешности термина «случайная погрешность» не должно вызывать сомнения с любых позиций.

**2. Нелинейная функция** может выражаться в общем виде зависимостью  $S=f(K)$ . (5)

Если величина  $K$  измерена со случайной погрешностью  $x$ , то из равенства (5) можно получить нелинейную зависимость погрешности  $y$  функции

$$y=f(K+x)-f(K). \quad (6)$$

Рассмотрим применение выражений (3) и (6) к решению некоторых навигационных задач.

При оценке точности определения места обычно принимается, что градиенты навигационных параметров постоянны в области действия погрешностей. Тогда между погрешностью измерения и погрешностью линии положения или определения места в заданном направлении устанавливается линейная зависимость. В подавляющем большинстве случаев такие допущения позволяют достаточно просто и качественно оценивать точность определения места. Однако в некоторых случаях, когда градиенты или их разность существенно изменяются, эти допущения неприемлемы. В таких случаях должна учитываться нелинейная зависимость между погрешностями. Так в статье [8] на основании формул (3) и (6) показано, что при определении места по разности расстояний, случайная погрешность которых подчинена нормальному распределению, вблизи продолжения базы станций погрешность положения изолинии будет иметь распределение, отличное от нормального, и математическое ожидание, не равное нулю. При этом изолиния плотности распределения погрешности определения места будет представлять собой замкнутую кривую, не совпадающую с эллипсом [9].

Несовпадение изолинии плотности распределения с эллипсом и отличное от нуля математическое ожидание относятся также к определению места по двум расстояниям, случайные погрешности которых подчинены нормальному распределению, вблизи базы станций [10].

Несмотря на то, что в работах [8, 9] было обосновано несоответствие законов распределения погрешности нелинейной функции и случайной погрешности измерения, а также отличие математического ожидания погрешно-

сти нелинейной функции от нуля, в статье [11] Н. М. Груздев возвращается к данному вопросу и, не приводя никаких доказательств, формулирует обратное. Проанализируем положения этой статьи.

Без какого-либо обоснования утверждается, что если погрешности измерений распределены по нормальному закону, то по этому же закону распределены погрешности нелинейной функции [11]. Исходя из этого предлагается вычислять дисперсию погрешности нелинейной функции по формуле [11]

$$m_y^2 = \int_{-3\sigma_x}^{+3\sigma_x} y^2 \varphi(x) dx, \quad (7)$$

где  $\sigma_x$  – СКО случайной погрешности измерения.

Следует иметь в виду, что символы некоторых величин в данной статье отличаются от символов, принятых в статье [11].

В формуле (7) не учтено математическое ожидание погрешности нелинейной функции. В связи с этим данная формула определяет не дисперсию, а средний квадрат (второй начальный момент или квадрат среднего квадратического значения) погрешности нелинейной функции. К тому же пределы интегрирования установлены в статье [11] произвольно.

В соответствии с монографией [7] дисперсия  $\sigma_y^2$  погрешности нелинейной функции выражается зависимостью:

$$\sigma_y^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (y - M_y)^2 \varphi(x) dx, \quad (8)$$

где  $M_y$  – математическое ожидание погрешности нелинейной функции.

Математическое ожидание  $M_y$  равно [7]

$$M_y = \int_{-\infty}^{+\infty} y \varphi(x) dx. \quad (9)$$

В статье [11] приводится пример оценки точности определения расстояния  $S$ , вычисляемого по формуле:

$$S = \Delta f \sec K, \quad (10)$$

где  $\Delta f$  – приращение широты, равное  $100'$ ;

$K$  – курс, равный  $70^\circ$  и имеющий нормально распределенную случайную погрешность с СКО, равным  $3^\circ$ .

Полученный в статье [11] результат вычисления по формулам (7) и (10) показан в таблице как первое решение.

**Математическое ожидание  $M_y$ , среднее квадратическое отклонение  $\sigma_y$  и среднее квадратическое значение  $m_y$  погрешности расстояния**

Номер решения	$M_y$ , милья	$\sigma_y$ , милья	$m_y$ , милья
1	0	-	46,93
2	6,95	46,70	47,21

Для сравнения с данными, приведенными в статье [11], по формулам (7)–(10) выполнены расчеты, результаты которых показаны в таблице как второе решение. При этом пределы численного интегрирования по формуле (7)

увеличены в два раза. Из таблицы видно, что погрешность определения расстояния имеет математическое ожидание, равное почти 7 миль.

Далее проверим справедливость утверждения Н. М. Груздева о том, что погрешность нелинейной функции и погрешность измерения ее аргумента имеют один и тот же вид закона распределения. Для этого прежде всего найдем пределы изменения погрешности расстояния.

Пусть по данным о разности широт  $\Delta\varphi$  и курса  $K$  определено расстояние  $S$  между точками  $A$  и  $B$  (рис. 1). В связи с погрешностью  $x$  курса, подчиненной нормальному распределению, точка  $B$  смещается по параллели и занимает положение текущей точки  $C$ . Это вызывает появление погрешности  $y$  расстояния, которая с учетом соотношения элементов треугольника  $AOC$  будет равна

$$y = \sqrt{\Delta\varphi^2 - \Delta w^2} - S, \quad (11)$$

где  $\Delta w$  – отстояние текущей точки  $C$  относительно начальной точки  $A$ .

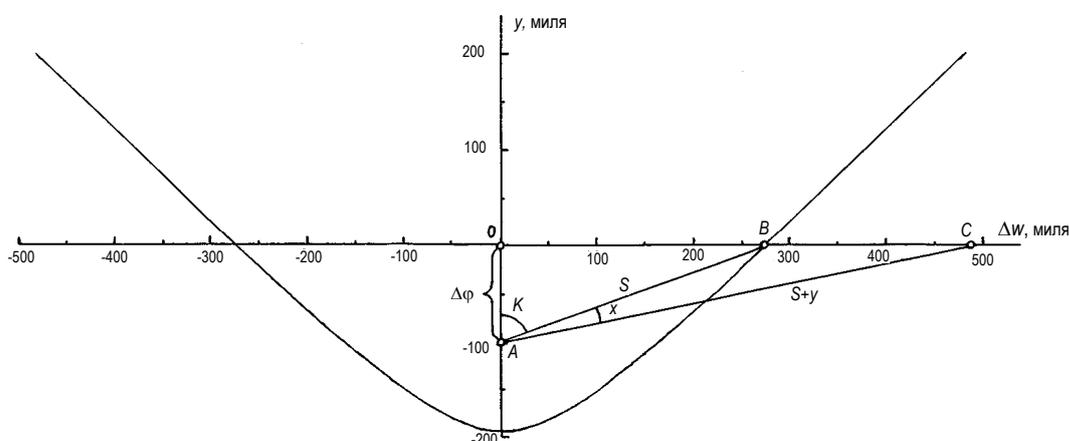


Рис. 1. Погрешность определения расстояния

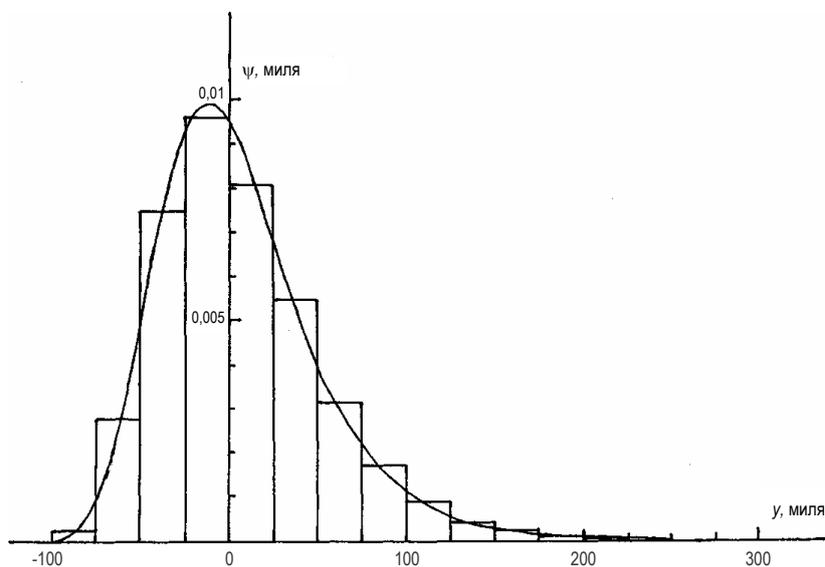
Изменение погрешности  $y$  расстояния  $S$  между точками  $A$  и  $B$  в зависимости от отстояния  $\Delta w$  текущей точки  $C$  вследствие влияния погрешности  $x$  курса  $K$  при заданной разности широт  $\Delta\varphi$ .

Анализ формулы (11) показывает, что погрешность  $y$  симметрична относительно меридиана  $OA$  точки  $A$ . При  $\Delta w = 0$  она принимает минимальное значение, равное  $\Delta\varphi - S = -192,38$  мили, становится равной нулю при  $\Delta w^2 = S^2 - \Delta\varphi^2$  и стремится к бесконечности при  $|\Delta w| \rightarrow \infty$ . Сказанное иллюстрируется приведенным на рис. 1 графиком зависимости  $y$  от  $\Delta w$ , который получен путем вычисления по формуле (11).

Тогда, с учетом того что в статье [11] погрешность курса подчиняется нормальному распределению, можно утверждать, что области значений погрешностей курса и расстояния не совпадают. Следовательно, указанные погрешности не могут иметь один и тот же вид закона распределения.

Чтобы окончательно ответить на вопрос о соответствии законов распределения погрешностей  $x$  и  $y$ , найдем плотность распределения  $\psi(y)$  погрешности  $y$ . Для этого выполним вычисления по первой из формул (3) с уче-

том формул (6) и (10) и исходных данных из статьи [11]. Изменение плотности распределения  $\psi$  в зависимости от погрешности  $y$  показано плавной кривой на рис. 2. Ясно видно, что кривая имеет асимметрию и никак **не соответствует** нормальному распределению. Сказанное подтверждается сравнением вычисленных по величине  $\psi$  значений асимметрии и эксцесса, равных 1,1 и 2,9 соответственно, с нулевыми значениями этих характеристик нормально распределенных погрешностей [7].



**Рис. 2. Закон распределения погрешности расстояния**

Плотность распределения  $\psi$  погрешности  $y$  расстояния (кривая) и гистограмма распределения  $y$  с шагом 25 миль.

Кроме того, на ПЭВМ генерировались 100000 нормально распределенных случайных погрешностей курса с СКО, равным  $3^\circ$ , и по формуле (6) с учетом формулы (10) определялся статистический ряд погрешности  $y$  с шагом 25 миль. На основе этого ряда на рис. 2 построена гистограмма, которая достаточно точно отражает плотность распределения погрешности расстояния.

В статье [11] неправильно решена задача и для функции нескольких аргументов. Здесь не только не учтено математическое ожидание, но и при определении плотности нормального распределения системы коррелированных случайных погрешностей без всякого обоснования предложено использовать совокупность псевдослучайных чисел якобы для учета корреляционных связей в дополнение к коэффициенту корреляции. В связи с включением случайных данных такое действие приводит к некоторой неопределенности (неоднозначности) решения задачи. Однако, на самом деле, эта плотность имеет вполне определенную аналитическую зависимость от СКО, коэффициента корреляции и текущих значений погрешностей [7]. Применение псевдослучайных чисел в дополнение к коэффициенту корреляции является явной ошибкой. К тому же система коррелированных по-

грешностей из статьи [11] может быть просто приведена к системе некоррелированных погрешностей [7]. Тогда и в соответствии со статьей [11] не потребуются псевдослучайные числа.

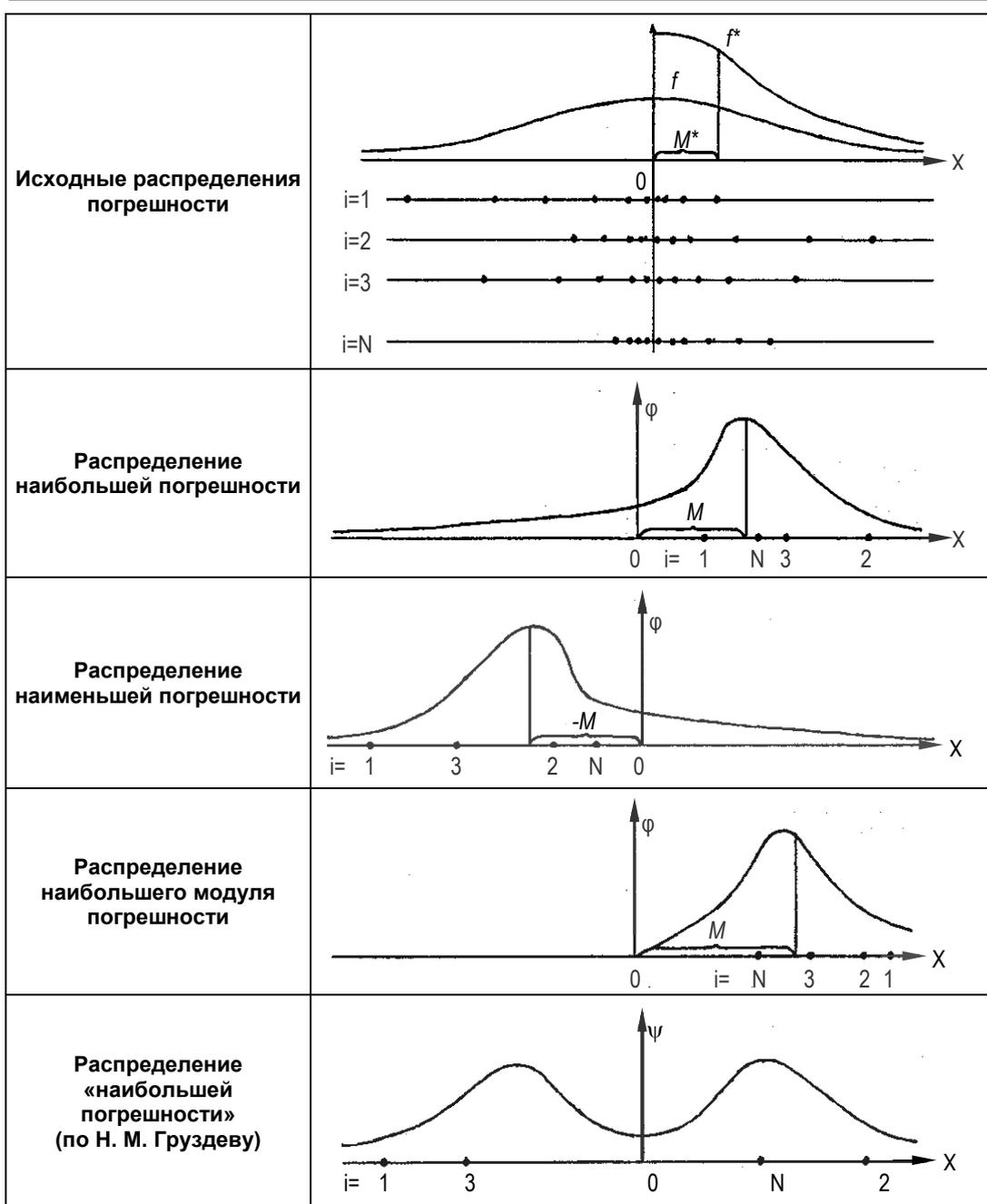
Результаты анализа статьи [11] показывают ее ошибочность и еще раз подтверждают, что законы распределения погрешности нелинейной функции и случайной погрешности измерений **не соответствуют друг другу**, а математическое ожидание погрешности нелинейной функции **не равно нулю**.

Теперь необходимо ответить на вопрос, какой термин следует присвоить погрешности нелинейной функции – «случайная величина» или «случайная погрешность». Если следовать положениям теории ошибок измерений, то, поскольку эта погрешность обусловлена случайной погрешностью измерений и носит случайный характер, она должна называться случайной погрешностью. Если учитывать ненулевое математическое ожидание, то с позиции автора статей [3, 4] погрешность нелинейной функции должна называться случайной величиной.

В данной статье не учитывалась систематическая погрешность измерения. Если ее учесть, то математическое ожидание погрешности нелинейной функции будет обусловлено как случайной, так и систематической погрешностями измерений. Тогда погрешность нелинейной функции может быть представлена как сумма систематической и случайной составляющих. Систематическая составляющая может быть исключена из результатов определения функции путем введения поправки в полученное значение функции (для рассматриваемого примера из статьи [11] – в расстояние  $S$ ). В этом случае оставшаяся случайная составляющая может быть названа случайной погрешностью уже с любых позиций.

**3. Экстремальная погрешность** является выборкой из серии погрешностей. Поскольку данная статья является откликом на статьи [3, 4], которые посвящены оценке вероятности навигационной безопасности плавания по параметрам двойного экспоненциального распределения, полученным из серий случайных погрешностей определения места в заданном направлении, то далее в качестве исходных погрешностей будут рассматриваться только случайные нормально распределенные погрешности с учетом решаемой навигационной задачи.

Экстремальные погрешности могут подразделяться на наибольшую, наименьшую (в алгебраическом смысле) и наибольший модуль погрешности. Для определения наибольшей и наименьшей погрешностей используется серия нормально распределенных случайных погрешностей с плотностью распределения  $f$ , а для определения наибольшего модуля погрешности – серия модулей нормально распределенных случайных погрешностей с плотностью распределения  $f^*$  (рис. 3). Таким образом, в качестве исходных распределений используются нормальное распределение с нулевым математическим ожиданием и распределение модуля случайной величины, подчиняющейся нормальному распределению, с математическим ожиданием  $M^*$ , отличным от нуля [12].



**Рис. 3. Исходные распределения и распределения экстремальных погрешностей**

Плотность  $f$  нормального распределения погрешности и плотность  $f^*$  модуля нормального распределения погрешности с математическим ожиданием  $M^*$  (исходные распределения); плотность распределения  $\phi$  экстремальной погрешности (наибольшей, наименьшей, наибольшего модуля) с математическим ожиданием  $M$  и плотность распределения  $\psi$  «наибольшей погрешности» по Н. М. Груздеву, полученные по исходным распределениям путем выбора крайних значений из  $N$  серий обычных (неэкстремальных) погрешностей. Значения погрешностей  $x$  обозначены точками.

Распределение экстремальной погрешности может быть получено либо эмпирически путем выбора ее из каждой  $i$ -й серии ( $i=1, 2, 3, \dots, N$ ), состоящей из  $n$  погрешностей  $x$  (на рис. 3  $n=10$ , погрешности обозначены точками), либо по формуле функции распределения экстремальной погрешности, соответствующей функции исходного распределения в степени  $n$ . Ссылаясь на стр. 88 монографии [13] (в статье [4] – ошибка, должна быть указана стр. 98), Н. М. Груздев утверждает, что эта формула описывает закон распределения обычных (неэкстремальных) величин и не имеет никакого отношения к экстремальным величинам и к относящемуся к ним двойному экспоненциальному распределению [4]. Если бы Н. М. Груздев перевернул страницу, то, читая стр. 99, он бы убедился в обратном. Указанная формула является точной зависимостью, на основании которой в монографии [13] выводится аппроксимирующая зависимость в виде двойного экспоненциального распределения. Такая зависимость предусматривает, что число серий  $N \rightarrow \infty$ , а не равно единице, как это утверждается в статье [4]. Имея исходное теоретическое распределение, по формуле (т. е. теоретически, без эмпирических данных) можно просто получить точное распределение экстремальной погрешности. В связи с этим к такой задаче и применен термин «теоретический путь», который не понравился Н. М. Груздеву.

Рассмотрим плотность распределения  $\varphi$  экстремальных погрешностей  $x$  (см. рис. 3). Эти погрешности относятся к статистике экстремальных значений, которая еще называется статистикой крайних значений [13]. Естественно, что распределение крайних значений смещается относительно центра рассеивания исходного распределения, а величина смещения, которая может быть выражена математическим ожиданием  $M$ , зависит от  $n$ .

В соответствии с рис. 4.2.2(2) и рис. 4.2.2(4) из монографии [13], результатами вычислений [1] и моделирования [2] математическое ожидание наибольшей погрешности быстро возрастает с увеличением числа  $n$  и при  $n > 10$  становится существенно больше СКО исходного распределения. В связи с симметричностью плотностей распределения наибольшей и наименьшей погрешностей их математические ожидания  $M$  отличаются только знаками. Из сравнения исходных распределений и результатов вычислений вытекает, что математическое ожидание  $M^*$  наибольшего модуля погрешности всегда будет больше математического ожидания  $M$  наибольшей погрешности. Даже математическое ожидание исходного распределения для наибольшего модуля погрешности будет равно 0,8 от СКО нормального распределения [12]. Следовательно, все экстремальные погрешности характеризуются значительным математическим ожиданием.

Наибольшая и наименьшая погрешности определяются **не по знаку** (такой признак неоднократно формулировал Н. М. Груздев в статье [4]), а как **крайние значения** в вариационном ряду. Эти погрешности в подавляющем большинстве случаев имеют положительные и отрицательные значения соответственно. По данным из работы [13], однако, с вероятностью, равной  $0,5^n$ , у каждой из них знак может изменяться на противоположный.

В качестве «наибольшей погрешности» Н. М. Груздев предлагает считать ту, «которая имеет наибольшее значение модуля» [4]. Эта погрешность получается путем выбора из серии измерений погрешности со своим знаком,

модуль которой является наибольшим в данной серии [3]. В результате обработки всех серий получается совокупность «наибольших погрешностей» со своими знаками. Плотность их распределения  $\psi$  будет симметрична относительно нуля, а математическое ожидание будет равно нулю (или близко к нулю при ограниченном числе серий, как это показано в статье [3]) (см. рис. 3). Тем самым Н. М. Груздев пытается доказать, что наибольшая погрешность имеет нулевое математическое ожидание.

Однако формирование «наибольшей погрешности» противоречит теории экстремальных значений [13]. Принцип ее выбора «по модулю, но со знаком» противоречив сам по себе. Значения выбираются с **двух** краев вариационного ряда, а не с **одного**. Совокупность этих погрешностей представляет **два** ряда экстремальных погрешностей (наибольшей и наименьшей), что ясно видно на рис. 4 в статье [2]. Поскольку распределение «наибольшей погрешности» является симметричным, оно никак не может быть аппроксимировано двойным экспоненциальным распределением, свойственным экстремальным погрешностям.

Отвергая наибольшую и наименьшую экстремальные погрешности, которые определены и названы в соответствии с монографией [13], Н. М. Груздев предлагает **новую** величину. Не отрицая права первооткрывателя давать название ранее неизвестному объекту, следует отметить следующее. Во-первых, термин «наибольшая погрешность» является производным от термина «наибольшее значение», применяемого в статистике экстремальных значений, но обозначающего совершенно другую величину. Поскольку тематика статей [3, 4] связана с экстремальными погрешностями, сказанное выше должно бы учитываться при назначении термина, а не исходить из принципа обычного понимания. Во-вторых, предлагаемая новая величина не только не соответствует теории статистики экстремальных значений, но и не имеет никакого практического значения. Свое предложение применять ее для определения параметров двойного экспоненциального распределения (а следовательно, и для решения конкретных навигационных задач) Н. М. Груздев **признал ошибочным** [4]. Зачем же тогда рассматривать эту погрешность в статье [4]?

Вероятно, следует считать недоразумением утверждение: «наибольшая погрешность является  $\Delta = |-4| = 4$ » [4]. Такое суждение трансформирует эту погрешность в наибольший модуль погрешности, математическое ожидание которого не равно нулю, что противоречит другим выводам Н. М. Груздева.

Если в первой попытке подтвердить свое ошибочное положение о равенстве нулю математического ожидания наибольшей погрешности Н. М. Груздев основывался на расчетах, хоть и неверных [3], то во второй попытке он просто декларирует: «так как наибольшие погрешности выбираются из нескольких серий нормально распределенных взаимозависимых случайных погрешностей, то они тоже являются случайными и потому их  $M(\Delta_m) = 0$ » [4, стр. 37]. В то же время на стр. 35 [там же] вместо «взаимозависимых» указано «независимых», – какое определение автор считает правильным – неизвестно. Это ошибочное суждение основано на чисто формальном применении положений теории ошибок измерений без какого-либо учета сущности и

свойств изучаемой погрешности. Ошибочность такого подхода в отношении нелинейной функции уже доказана в п. 2 данной статьи.

Для решения навигационных задач и оценки параметров двойного экспоненциального распределения вместо «наибольшей погрешности» Н. М. Груздев предлагает использовать наибольшей модуль погрешности [4]. Кроме указанного термина, который точно соответствует определяемой экстремальной погрешности, в статье [4] зачем-то вводится термин «модуль наибольшей погрешности».

Доказанное в статье [2] положение об отличии математического ожидания наибольшего модуля погрешности от нуля подтверждено данными, приведенными в табл. 2 [4, стр. 41]. Однако это правильное утверждение входит в противоречие с ошибочным суждением из статьи [4, стр. 37] о том, что величина, выбранная из серии случайных погрешностей, является также случайной погрешностью и имеет нулевое математическое ожидание.

Анализируя экстремальные погрешности в статье [4], Н. М. Груздев пытается показать, что он первым отметил наибольший модуль погрешности, несмотря на то, что в статье его оппонента [2] уже была рассмотрена эта экстремальная величина, получены ее статистические характеристики и указана область возможного применения в навигации.

Н. М. Груздев правильно сомневается в истинности полученных им уровней соответствия экспериментального и теоретического распределений экстремальных погрешностей [4]. Это связано с тем, что, во-первых, в связи с симметричностью плотностей распределения наибольшей и наименьшей погрешностей их уровни степени соответствия должны быть одинаковы. Во-вторых, названные распределения наибольшего модуля погрешности имеют разные области существования: аргумент экспериментального распределения изменяется от 0 до  $+\infty$ , а аргумент двойного экспоненциального распределения (т. е. теоретического) -  $-\infty$  от - до  $+\infty$ . Сказанное делает непредставимыми полученные в статье [4] уровни соответствия.

Анализ положений Н. М. Груздева по использованию экстремальных погрешностей и «наибольшей погрешности» при оценке вероятности навигационной безопасности плавания не относится к тематике данной статьи. Ошибочность этих положений доказана в статьях [1, 2, 14]. Следует отметить только утверждение о том, что «при решении навигационных задач с учетом случайных погрешностей учитывается не знак погрешности, а ее модуль» [4]. Это удивительное суждение противоречит математическим основам морской навигации. По-видимому, такое суждение является следствием игнорирования Н. М. Груздевым основополагающих положений теории вероятностей. Так, приведенные в учебнике [15] функции распределения для нормального и равномерного распределений этим распределениям **не соответствуют**.

Таким образом, в статьях [3, 4] содержатся принципиальные ошибки в определении свойств экстремальных погрешностей и неточности в назначении терминов. К тому же содержание статьи [4], по сути дела, опровергает первую статью Н. М. Груздева по тематике экстремальных погрешностей [16], ошибочные положения которой так горячо отстаивались этим автором в работе [3].

Теперь рассмотрим, какой термин можно отнести к экстремальной погрешности. Поскольку эта погрешность обусловлена случайной погрешностью

измерений и носит случайный характер, она должна называться случайной погрешностью. Если учитывать ненулевое математическое ожидание, то, с позиции автора статей [3, 4], экстремальная погрешность должна называться случайной величиной.

В данном случае терминологический вопрос более сложен, чем для погрешности нелинейной функции, когда можно было исключить систематическую составляющую и рассматривать только случайную составляющую. По отношению к экстремальной погрешности этого сделать нельзя. Во-первых, она является выборкой из совокупности случайных погрешностей измерения и одной из этих погрешностей. Во-вторых, искусственное исключение математического ожидания сделает экстремальную погрешность неэкстремальной и не соответствующей серии измерений, из которой она выбрана. В-третьих, на оценку вероятности навигационной безопасности плавания влияет вся погрешность определения места, а не какая-то ее часть.

Если кто-то желает обязательно исключить математическое ожидание, то формально это можно сделать для случая оценки вероятности навигационной безопасности плавания вблизи опасной изобаты путем введения соответствующей поправки в координаты места корабля, т. е. путем уменьшения рассчитанного расстояния до опасности на величину математического ожидания. Однако величина названной вероятности, рассчитанная по оставшейся погрешности, будет точно такой же, как и при учете всей экстремальной погрешности.

В связи с изложенным нельзя рассматривать математическое ожидание как систематическую составляющую экстремальной погрешности. Если кто-нибудь не устраивает обозначение экстремальной погрешности как случайной погрешности, то рассматриваемой погрешности можно присвоить термин «наибольшая погрешность», «наименьшая (в алгебраическом смысле) погрешность» или «наибольший модуль погрешности». Суть дела от этого не изменится.

Необходимо отметить, что многие авторы предостерегают от догматического следования канонам теории ошибок измерений. Так А. И. Сорокин [17], говоря о верности теории ошибок измерений и необходимости ее использования, указывает: «однако в ряде случаев имеет место формальное применение положений этой теории, обусловленное недостаточным учетом некоторых принципиальных допущений, имеющих принципиальный характер и приводящих в отдельных случаях к неверным выводам». В. Т. Кондрашихин [5] отмечает, что деление погрешностей на систематические и случайные «не должно абсолютизироваться», «сложность вопроса не позволяет ограничиться каким-либо формальным признаком – необходимо ясное понимание физической сущности процесса измерений, такое деление «соответствует укоренившейся традиции», «оно удобно для изучения ошибок и методов их учета». Излагая основы теории ошибок измерения, А. А. Свешников [6] рассматривает погрешность вообще без деления на систематическую и случайную составляющие, считая, что это деление «носит условный характер», а случайным погрешностям не приписывает нулевое математическое ожидание.

Такие предостережения не учтены не только Н. М. Груздевым при подготовке статей [3, 4, 11], но и его коллегам и по Санкт-Петербургскому военноморскому институту во время совместного заседания четырех штурманских кафедр 16 ноября 2001 года. В протоколе этого заседания ошибочные поло-

жения Н. М. Груздева признаются абсолютно правильными, а критика их считается ошибочной в связи с «отождествлением» автором статей [1, 2] «двух различных понятий – случайная погрешность и случайная величина». Вызывает недоумение столь необъективное заключение коллектива специалистов, авторитетных в области теории и практики навигации.

В заключение следует отметить, что при обосновании навигационных задач недопустимо формально следовать канонам теории ошибок измерений и на основе поверхностного рассмотрения описывать свойства погрешностей и устанавливать их термины. Как бы не казался важным терминологический вопрос, он не должен заслонять объективные свойства погрешности, а тем более позволять приписывать им ошибочные. Первичны свойства погрешности, а не обозначающий ее термин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Б. Е. Использование статистики экстремальных значений в навигации и океанографии // Записки по гидрографии. – 1999. – N 247. – С. 21–29.
2. Иванов Б. Е. Об использовании статистики экстремальных значений при оценке вероятности навигационной безопасности плавания // Записки по гидрографии. – 2002. – N 254. – С. 24–34.
3. Груздев Н. М. О решении проблемы учета максимальных погрешностей в навигации // Записки по гидрографии. – 1999. – N 247. – С. 30–35.
4. Груздев Н. М. Экстремальные погрешности и способы их использования для оценки параметров двойного экспоненциального закона // Записки по гидрографии. – 2002. – N 254. – С. 34–42.
5. Кондрашихин В. Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения. – М.: Транспорт, 1969. – 256 с.
6. Свешников А. А. Основы теории ошибок. – Л.: ЛГУ, 1972. – 124 с.
7. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Физматгиз, 1962. – 564 с.
8. Иванов Б. Е., Алексеев С. П. Оценка точности определения места по разности расстояний вблизи продолжения базы станций // Записки по гидрографии. – 1993. – N 229. – С. 67–72.
9. Иванов Б. Е., Алексеев С. П. Искажение эллипса погрешностей определения места по разности расстояний на продолжении базы станций // Записки по гидрографии. – 1993. – N 230. – С. 65–68.
10. Иванов Б. Е., Иванчихин С. А. Оценка точности определения места по двум расстояниям вблизи базы станций // Записки по гидрографии. – 1997. – N 240. – С. 27–34.
11. Груздев Н. М. Оценка погрешности нелинейной функции // Записки по гидрографии. 1995. – N 234. – С. 15–24.
12. Справочник по вероятностным расчетам. 2-е изд., доп. и испр. / Г. Г. Абезгауз, А. П. Тронь, Ю. Н. Копенкин, И. А. Коровина. – М.: Воениздат, 1970. – 536 с.
13. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. Пер. с англ. – М.: Мир, 1965. – 450 с.
14. Иванов Б. Е. Об оценке вероятности навигационной безопасности плавания при использовании двойного экспоненциального распределения. // Навигация и гидрография. – 2002. – N 14. – С. 28–39.
15. Груздев Н. М. Математическая обработка и анализ навигационной информации. Учебник для курсантов ВВМУ. – М.: Воениздат, 1979. – 222 с.
16. Груздев Н. М. Оценка навигационной безопасности плавания с учетом распределения максимальных погрешностей // Записки по гидрографии. – 1997. – N 240. – С. 17–26.
17. Сорокин А. И. Теоретические основы гидрографических исследований. – Л.: ГУНиО МО, 1972. – 196 с.

#### **B. E. Ivanov**

#### **On Properties of Error and Terms Used to Designate It**

*The properties of the error of function and the extreme error in the measurement series as well as the expedience of designating it by the terms «chance error» and «chance value» are considered.*

**ОПЕРАТИВНОЕ ЛЕДОВО-ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАВИГАЦИИ НА ЗАМЕРЗАЮЩИХ МОРЯХ**

**Ю. А. ЩЕРБАКОВ,  
В. С. ЛОЩИЛОВ,  
В. Г. СМИРНОВ,  
Е. А. ГРИШИН**  
(ГНЦ РФ АНИИ)

*Изложены результаты экспериментального применения разработанной в АНИИ технологии подготовки и оперативной передачи на судно электронных карт (векторных слоев) ледовой обстановки в стандарте, который поддерживается Электронной картографической навигационно-информационной системой «dKart Explorer» (ООО Моринтех). Система обеспечивает точное наложение и отображение ледового информационного слоя на фоне электронной морской навигационной карты в полупрозрачном режиме. Это позволяет безошибочно учитывать данные о ледовых условиях и более безопасно решать навигационные задачи по тактике плавания во льдах. В эксперименте выполнялось регулярное обновление и передача на научно-экспедиционное судно «Михаил Сомов» (работавшее в Баренцевом море) электронных ледовых карт, которые составлялись по спутниковым данным в ГНЦ АНИИ (С.-Петербург). Передача оперативной ледовой информации осуществлялась с помощью российской спутниковой системы связи «Гонец-Д1М». Результаты эксперимента были высоко оценены судоводительским составом научно-экспедиционного судна «Михаил Сомов», особенно при плавании в районе севернее параллели 78° с. ш., в котором глобальная система спутниковой связи INMARSAT не могла обеспечить гарантированное получение информации.*

**Введение**

В соответствии с недавно принятыми поправками к главе V «Безопасность мореплавания» Международной Конвенции по охране человеческой жизни на море (СОЛАС-74), которые вступили в силу 1 июля 2002 г., все суда независимо от размера должны быть оснащены, в частности, электронными картографическими навигационно-информационными системами (ЭКНИС) [1]. Эти системы, помимо решения непосредственно навигационных задач, обеспечивают поддержку и отображение на электронной навигационной карте различной дополнительной информации, представляемой в совместимом векторном формате (карты ледовой обстановки, погоды, приливных и постоянных течений и др.). Важно заметить, что ряд дополнительных информационных продуктов, требующих регулярного обновления, в электронном виде имеет относительно небольшой объем и, следовательно, может быть оперативно передан пользователю по существующим каналам связи. Карты ледовой обстановки в первую очередь относятся к такому виду информации, которая необходима при обеспечении мореплавания и другой практической деятельности на арктических и среднеширотных замерзающих морях.

В ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (АНИИ) разработана технология подготовки, оперативной передачи и отображения ледового слоя в электронной картографической навигационно-информационной системе dKart Explorer (ООО «Моринтех»). В апреле – мае

2001 года была проведена опытная эксплуатация технологии информационного обеспечения плавания научно-исследовательского судна «Михаил Сомов» в Баренцевом море. Для регулярной оперативной передачи электронных ледовых карт (информационных слоев) из ААНИИ на судно использовалась российская космическая система связи «Гонец-Д1М» (ЗАО «Спутниковая система "Гонец"»). Эта система в отличие от INMARSAT обеспечивает реальную глобальную связь, так как построена на группировке космических аппаратов, оперирующих на околополярных орбитах. В период опытных работ была подтверждена устойчивая передача информации на судно до широты 79°, что имеет важное значения для обеспечения плавания в высоких широтах.

Ниже изложены некоторые особенности основных блоков информационной технологии, а также краткие результаты проведенных опытных работ.

### **Существующая система и практика оперативного обеспечения мореплавания на арктических морях ледовой и гидрометеорологической информацией**

Для оперативного информационного обеспечения мореплавания, работ по разведке и добыче природных ресурсов, а также другой практической деятельности на арктических морях была создана и развивается Автоматизированная ледовая информационная система для Арктики (АЛИСА). Интеллектуальной и технической базой системы является ГНЦ РФ ААНИИ, в составе которого имеется специальное подразделение – Центр ледовой и гидрометеорологической информации (ЦЛГМИ). Этот Центр осуществляет сбор, обработку, ведение баз и банков данных о ледовой обстановке и комплекс наблюдений гидрометеорологического профиля по арктическому региону, а также оперативную подготовку и распространение широкого спектра информационных продуктов. Прежде всего к такому виду информации, необходимой для обеспечения безопасности и эффективности мореплавания на замерзающих акваториях, относятся карты ледовой обстановки, а также различная прогностическая информация.

Концепция дальнейшего развития системы АЛИСА за последние годы претерпела некоторые изменения и в общих чертах сводится к следующему. Во-первых, концентрация всех наземных и спутниковых наблюдений, их обработка, анализ, подготовка и распространение информационных продуктов осуществляется из одного Центра. Научные подразделения института обеспечивают квалифицированную методическую и технологическую поддержку Центра и получают в качестве обратной связи необходимые исходные данные для проводимых исследований. Во-вторых, из одного Центра осуществляется распространение информации. Это позволяет обеспечивать единую политику и условия предоставления информации, единые международные форматы и гарантию качества информационных продуктов.

При распространении гидрометеорологической информации возникает проблема ее передачи на отдельные суда или ледоколы, осуществляющие операции в высоких широтах, где не может быть использована глобальная система связи INMARSAT. Результаты эксперимента по решению этой задачи изложены ниже.

---

### **Характеристики морской электронной картографической навигационно-информационной системы, ее стандарты и возможности**

В настоящее время в мире существует и широко используется множество информационных технологий и соответствующего оборудования, в частности навигационных электронно-картографических систем (ЭКС) или электронных картографических дисплейных информационных систем (ЭКДИС или ECS/ECDIS в международной аббревиатуре), предназначенных для обеспечения безопасности мореплавания. Фирмой ООО «Моринтех» (С.-Петербург) разработано семейство программных продуктов dKart Navigator ECS/ECDIS, версии которого предназначены для использования на судах различных типов и назначения.

Названной фирмой разработан также ряд версий электронной картографической навигационно-информационной системы (ЭКНИС) dKart Explorer, базовый модуль которой обеспечивает основные функции по работе с навигационными векторными электронными картами. Программы используют векторные электронные карты и позволяют проводить быстрый анализ навигационной ситуации и предсказывать ее изменения. Обеспечивается возможность использования электронных навигационных карт как официального формата IHO S-57, так и карт из существующей мировой коллекции компании C-MAP. В программах предусмотрен ряд функций для автоматической и ручной оперативной корректуры навигационных карт на основе информации, поступающей в виде Извещений мореплавателям на дискетах или по различным каналам связи, включая Интернет.

Важно отметить, что программа dKart Explorer предоставляет оператору возможность создания пользовательских слоев, нанесения и редактирования на электронной карте, например собственной пространственной информации, включающей районы, линии, символы, тексты. Для каждого вида геометрических примитивов, предусмотрен выбор цвета и размера фонта, цвета и стиля заполнения. Кроме того, обеспечивается ввод простейших текстовых атрибутов. Программа поддерживает работу одновременно с несколькими пользовательскими слоями.

Для решения задачи обеспечения безопасности плавания во льдах, которая является предметом обсуждения данной статьи, особый интерес в программе dKart Explorer представляет система дополнительных модулей (макросов). Система макросов предоставляет неоспоримо большую гибкость в работе с дополнительной картографической информацией (например с картами ледовой обстановки, погоды, поверхностных или приливных течений и различными прогностическими картами), а также с базами данных. Обновление информационных баз макросов производится по сети Интернет или с использованием спутниковых телекоммуникационных систем.

Таким образом, используя макросы, пользователь может расширить возможности программы по отображению и анализу различной дополнительной информации. Версии макросов постоянно расширяются и дополняются. Важная для мореплавателя информация, например карта ледовой обстанов-

ки, может быть отображена программой dKart Explorer в виде информационного слоя поверх навигационной карты.

Программа поддерживает решение и ряда других весьма важных для мореплавания и, в частности, для плавания во льдах, навигационных и информационных задач, которых мы здесь не упоминаем. Программа имеет модульную структуру и поэтому может быть легко сконфигурирована в соответствии с требованиями заказчика. Это, например, дает возможность приобрести только те функции, которые необходимы для работы и тем самым значительно уменьшить затраты на покупку программы [2].

Основная цель экспериментальных работ заключалась в проверке разработанных технологий подготовки электронных информационных продуктов и технологической схемы оперативного ледового информационного обеспечения, состоящей из трех основных блоков: подготовки информации, передачи пользователю на судно и отображения информации в бортовой ЭКНИС dKart Explorer.

### **Подготовки ледовых электронных информационных слоев**

В настоящее время основным источником информации о ледовой обстановке на арктических и среднеширотных замерзающих морях являются спутниковые данные. Обычно используются пятиканальные изображения оптического диапазона среднего разрешения (1 км) или радиолокационные изображения малого (2 км) и высокого (0,1 км) разрешения. Российские радиолокационные спутники малого разрешения серии ОКЕАН-01 прекратили активную работу в 2000 г., и в ближайшее время их запуск не планируется. Данные зарубежных радиолокационных спутников, например канадского RADARSAT, имеют высокое разрешение, но предоставляются на коммерческой основе и по предварительному заказу за 7–10 дней. Поэтому, несмотря на информационные преимущества радиолокационных данных, в практике используются изображения среднего разрешения видимого и инфракрасного каналов серийных американских метеорологических спутников NOAA. Спутники этой серии, благодаря большой ширине полосы обзора (3000 км) и работе в режиме непосредственной передачи, обеспечивают возможность получения для полярных регионов до 10 и более изображений в сутки.

Высокая частота повторения изображений земной поверхности позволяет в какой-то степени уменьшить зависимость получения ледовой информации от облачности (благодаря ее относительно быстрому смещению). Кроме того, в процедурах предварительной обработки изображений существуют методические приемы по алгебраической комбинации изображений различных спектральных каналов, применение которых существенно повышает их качество, особенно при наличии однослойной полупрозрачной облачности. Программа обработки позволяет также генерировать по трем спектральным каналам «цветное» (RGB) изображение, которое в ряде случаев содержит больше информации и способствует выделению морских льдов при наличии облачности.

Специализированная программа, разработанная в ААНИИ, обеспечивает трансформацию в стереографическую проекцию и предварительную обработку многоканальных спутниковых изображений, их географическую привязку по орбитальным данным с уточнением привязки по наземным ориентирам. База контуров береговой черты подготовлена на основе цифровой карты Мира DCW (Digital Chart of the World) масштаба 1:1 000 000 и обеспечивает географическую привязку изображений спутника NOAA с точностью до одного-двух элементов разрешения. Программа поддерживает также обработку изображений любых других спутников, включая радиолокационные (ERS-1,2, RADARSAT).

Модуль специализированной программы для картирования ледовой обстановки построен на основе ГИС технологии и обеспечивает интерактивный режим составления ледовых карт по спутниковым изображениям. В процессе анализа и интерпретации изображений выделяются границы замкнутых полигонов (зон) однородных по возрасту или сплоченности льдов. Атрибутивная информация о параметрах состояния ледяного покрова для каждого полигона заносится в шаблон стандартного международного символа для морских ледовых карт и сохраняется в базе внутренних информационных таблиц. В зависимости от значений сплоченности или возраста льдов формируется соответствующий код цветовой заливки полигонов на векторной ледовой карте. Программа позволяет производить замыкание прибрежных полигонов на суше, а также по областям ранее выделенных полигонов с удалением перекрывающихся областей на завершающем этапе формирования ледовой карты.

Ледовая карта преобразуется в специальный формат, который поддерживается макросом электронной картографической навигационно-информационной системы dKart Explorer и может быть отображена в виде информационного слоя поверх электронной навигационной карты.

#### **Использование российской спутниковой системы связи «Гонец-Д1М» для оперативной передачи ледовых информационных слоев на судно**

Для оперативной передачи обновляемых электронных ледовых карт (информационных слоев) на НЭС «Михаил Сомов» использовалась российская космическая система связи «Гонец-Д1». Поскольку об этой системе мало сведений в доступных литературных источниках, авторы сочли полезным кратко изложить их ниже.

Многофункциональная система персональной спутниковой связи (МСПСС) «Гонец-Д1М» предназначена для передачи в глобальном масштабе сегментированной на короткие пакеты цифровой информации, в том числе текстовых сообщений, данных об аварийных и экстремальных ситуациях, а также телеметрии от необслуживаемых датчиков и данных о местоположении подвижных объектов. Абоненты, каждому из которых присваивается персональный номерной адрес, могут устанавливать двухстороннюю конфиденциальную связь находясь в любой точке планеты, в том числе в ре-

гионах со слаборазвитой инфраструктурой связи, не используя наземные или другие альтернативные линии связи и передавать сообщения, в том числе циркулярные, выделенным группам абонентов, которые могут быть сформированы по корпоративному или региональному принципу [3]. Глобальный охват связью обеспечивается за счет группировки нескольких взаимно связанных спутников на околополярных орбитах высотой около 1400 км и наклоном  $82,5^\circ$  с разносом плоскостей орбит на экваторе  $90^\circ$ , а на последующих этапах развития –  $45^\circ$  и  $30^\circ$ .

Система спутниковой связи «Гонец-Д1М» создается в рамках Федеральной космической программы России по тактико-техническому заданию Государственного заказчика этой системы – Российского авиационно-космического агентства. ЗАО «Спутниковая система “Гонец”» определено головным исполнителем по разработке и созданию МСПСС «Гонец-Д1М» в целом и головным оператором по предоставлению услуг связи.

МСПСС «Гонец-Д1М» развивается поэтапно, начиная с 1992 года. К настоящему времени реализован первый этап системы, включающий орбитальную группировку (ОГ) из 6 космических аппаратов (КА) «Гонец-Д1М», центра управления системой (г. Москва) и трех региональных станций (г. Москва-центральная, и г. Железногорск-, г. Петропавловск-Камчатский - региональные). Система обеспечивает использование различных типов абонентских терминалов (стационарных, навигационных, обслуживаемых, возимых, автономных). В таком виде система будет существовать до 2004 года и сможет обслуживать на территории Российской Федерации несколько тысяч абонентов.

В настоящее время ЗАО «Спутниковая система “Гонец”», ведет разработку технических средств для реализации второго этапа системы «Гонец-Д1М» (2004 г.), которая будет построена на базе модернизированных КА «Гонец-Д1М», работающих со значительно увеличенной пропускной способностью и упрощенной процедурой доступа к каналам связи. Орбитальная группировка, которая будет состоять на этом этапе из 12 КА, и расширенная сеть региональных станций позволят обеспечить связью более 100 тыс. потребителей на территории России. Дальнейшее наращивание ОГ до 24–48 КА на третьем этапе развития системы позволит обеспечить услугами передачи данных до миллиона потребителей на территории всего Земного шара.

В процессе практической проверки технологии обеспечения работ НЭС «Михаил Сомов» информацией о ледовой обстановке в районе плавления была реализована следующая схема оперативной передачи цифровых ледовых карт. Ледовые карты из ГНЦ ААНИИ (С.-Петербург) на работавшее в Баренцевом море НЭС «Михаил Сомов» (рис. 1) передавались в Центр управления связи (ЦУС) системы «Гонец-Д1М» (г. Москва) в виде файлов по электронной почте Интернет с указанием номера абонентского терминала получателя. Рабочая станция ЦУС автоматически передавала информацию в линию космической связи абоненту или ставила в очередь в зависимости от заранее установленного приоритета и наличия спутников в зоне радиосвязи.



**Рис. 1.** НЭС «Михаил Сомов» во льдах Баренцева моря, апрель 2001 г.

Абонентский терминал на борту НЭС «Михаил Сомов» включал легкую штыревую приемно-передающую антенну, установленную на пеленгаторном мостике (рис. 2).



**Рис. 2.** Размещение приемно-передающей антенны спутниковой системы связи «Гонец-Д1М» на пеленгаторном мостике НЭС «Михаил Сомов»

Приемный блок размещался в рабочем помещении с удалением от антенны на 20 м.

Управление связью осуществлялось через портативный компьютер, который имел следующие характеристики: объем оперативной памяти – 32 Мб, емкость накопителя ЖМД – 2 Гб, операционная система – Windows-98. Терминал обеспечивал получение цифровой ледовой картографической информации в виде бинарных файлов, а также прямую и обратную служебную связь с ГНЦ ААНИИ через ЦУС в форме текстовых сообщений с выделенными E-mail адресами сети Интернет.

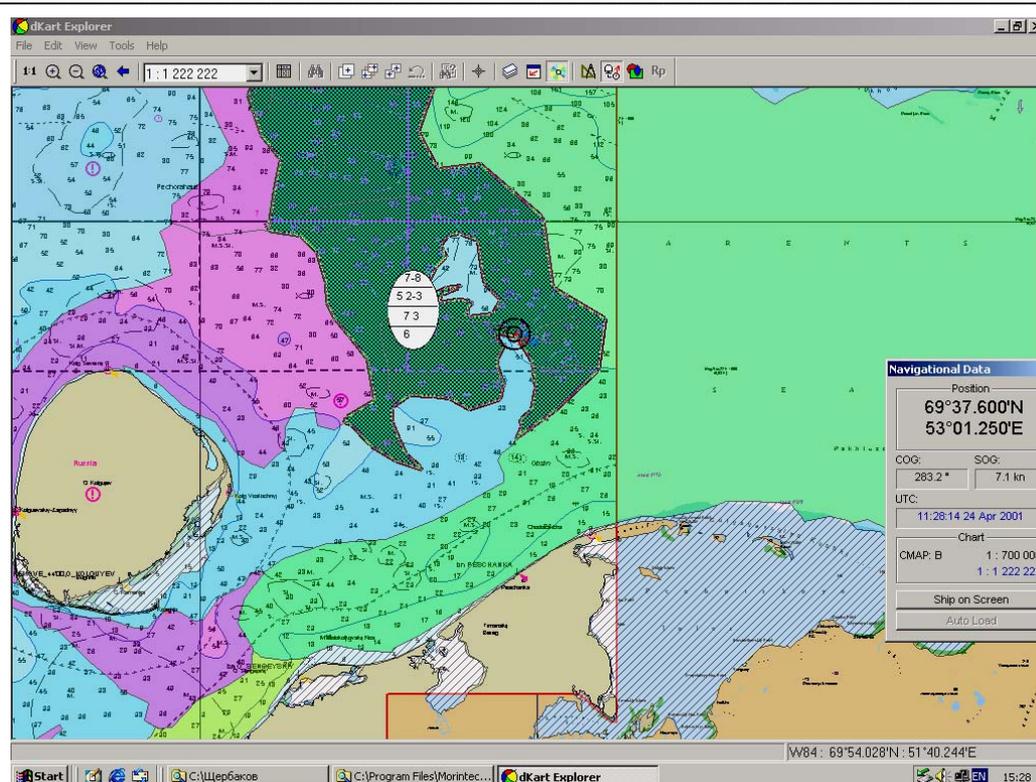
В качестве устройства отображения информации на ходовом мостике использовался также персональный компьютер с операционной системой Windows NT 4.0, оперативной памятью 128 Мб и разрешением экрана 800×600. Программа dKart Explorer с макросом «Ледовая карта» обеспечивала отображение электронных навигационных карт и информационных слоев ледовой обстановки. Постоянное позиционирование судна и текущее отображение его положения на электронной карте осуществлялось от внешнего приемника GPS, выходной сигнал которого вводился в компьютер.

### **Результаты эксперимента по информационному обеспечению работ экспедиции в Баренцевом море на НЭС «Михаил Сомов»**

В процессе опытной эксплуатации ледовой информационной системы в апреле-мае 2001 года была практически подтверждена ее надежность и эффективность. Передаваемая информация проходила по спутниковому каналу связи «Гонец-Д1М» без искажений и потерь, включая высокоширотные районы Баренцева моря. Получаемые электронные ледовые карты отображались ЭКНИС dKart Explorer и оперативно использовались для обеспечения безопасности плавания во льдах, а также решения исследовательских задач экспедиции на НЭС «Михаил Сомов» (рис. 3). Ледовые карты составлялись ежедневно, отдельные перерывы в 2–3 дня были вызваны наличием помех от облачности на спутниковых изображениях по районам работ экспедиции.

Время прохождения передаваемых цифровых ледовых карт по каналу спутниковой связи не зависело от объема информационных файлов и составляло (без приоритетного статуса) от 2 до 7 часов. Время прохождения служебных текстовых сообщений также не зависело от их объема и составляло от 0,5 до 7 часов. Эти данные относятся к апрелю 2001 г. и не учитывают постоянное развитие и совершенствование системы связи «Гонец-Д1М».

Всегда представляет интерес решение задачи по уменьшению объема информационных файлов для передачи по линиям связи. Поэтому в процессе опытных работ был проведен анализ информационных файлов и поиск путей уменьшения их объема. При составлении цифровых ледовых карт по спутниковым данным на первом этапе эксперимента значительный объем информации в передаваемых файлах составляла береговая линия, которая включалась в блок пространственных данных при замыкании информационных зон (полигонов) ледовой карты. В дальнейшем, при картировании ледовой обстановки эта избыточная информация сводилась к минимуму путем совершенствования технологических процедур составления ледовых карт по спутниковым данным.



**Рис. 3. Пример отображения цифровой ледовой карты и навигационной информации в бортовой ЭКНИС НЭС «Михаил Сомов»**

Ледовые зоны выделяются на карте условной цветовой заливкой, курсор активизирует указанную зону и вызывает появление стандартного овального символа с характеристиками ледовой обстановки в зоне; два concentрических кружка указывают на карте текущее положение судна по данным GPS.

Ледовые карты традиционно составляются по обширным акваториям и в масштабе значительно более мелком, чем используемые морские навигационные карты. Характеристики ледовой обстановки в зонах, выделенных на карте, обычно обобщаются и мало соответствуют визуально наблюдаемой картине с мостика судна. При отображении в ЭКНИС dKart Explorer такой ледовой карты поверх навигационной, которая обычно приводится в значительно более крупном масштабе (1:700 000–1:200 000), был выявлен недостаток детальности представления ледовой обстановки. По результатам эксперимента был сделан вывод о необходимости дифференцирования детальности составляемых ледовых карт в зависимости от задач информационного обеспечения и сложности ледовых условий.

При информационном обеспечении одного судна или каравана под проводкой ледоколов, первоначально составляется и передается ледовая карта обзорного типа для общей оценки ледовой обстановки и выбора генерального пути движения во льдах. Последующие, ежедневно обновляемые карты должны составляться по ограниченным акваториям, но с более высокой степенью детализации характеристик ледяного покрова (разводий, каналов, крупных монолитных ледовых блоков, ледяных полей и др.), необходимых для выбора

тактики движения во льдах. Аналогичный подход к ледовому информационно-обеспечению может быть применен для акваторий с тяжелой ледовой обстановкой и интенсивным судоходством при ледокольной поддержке.

Система связи «Гонец-Д1М» обеспечивает циркулярную передачу ледовой информации, например одновременно на ледоколы, транспортные суда и в офисы портовых служб и судовладельцев, оснащенные абонентскими терминалами. Отметим кстати, что затраты на приобретение абонентского терминала системы «Гонец-Д1М» и его эксплуатация существенно ниже, чем системы INMARSAT.

Необходимо заметить, что в ближайшей перспективе использование спутниковой телевизионной системы связи позволит передавать на суда или ледоколы, помимо векторных электронных ледовых карт, фрагменты спутниковых изображений высокого разрешения. ЭКНИС dKart Explorer обеспечит их отображение в проекции и масштабе навигационной карты, что, безусловно, повысит уровень безопасности плавания во льдах. Детальное спутниковое изображение, полученное через 1–2 часа после момента съемки, позволит судоводителю в любую погоду анализировать и реалистично оценивать ледовую обстановку в радиусе 100–200 миль не хуже, чем с ходового мостика вблизи судна или ледокола.

### **Заключение**

Проведенный эксперимент по оперативному обеспечению информацией о ледовой обстановке плавания НЭС «Михаил Сомов» в Баренцевом море подтвердил эффективность выбранной схемы, ключевыми элементами которой являются ЭКНИС dKart Explorer и Система спутниковой связи «Гонец-Д1М». Учитывая ближайшую перспективу развития системы спутниковой связи, можно говорить о построении на этой основе совершенно новой системы оперативного гидрометеорологического обеспечения мореплавания практически в любой точке Мирового океана. Получаемая потребителем картографическая информация гидрометеорологического комплекса (например карты ледовой обстановки, карты погоды, поверхностных или приливных течений, волнения моря, сгонно-нагонных явлений и различные прогностические карты) может быть немедленно и точно отображена ЭКНИС, проанализирована и учтена при решении навигационных задач. Оперативное получение такого рода информации, безусловно, будет способствовать повышению уровня безопасности мореплавания, а также буровых, инженерных работ в шельфовой зоне и любой другой практической деятельности на морях.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Системы связи и навигации на водном транспорте. Материалы Второй международной научно-практической конференции «Перспективы развития систем навигации на морском и речном флоте» // Морской флот. – 2001. – № 4. – С. 10–15.
2. Судовые навигационные системы с электронной картой. Сайт Интернет ООО Моринтех: <http://WWW.morintech.ru> – 2001.
3. Состав и структура низкоорбитальной системы спутниковой связи (НССС) «Гонец-Д1». Сайт Интернет ЗАО «Спутниковая система «Гонец»: <http://www.editrans.ru/sostav.htm> – 2001.

---

**Yu. A. Shcherbakov, V. S. Loshchilov, V. G. Smirnov, E. A. Grishin**

**Operational Ice-Information Support for Navigation in the Freezing Seas**

*The results of the experimental application of AARI-designed technology for preparation and operational transmission of electronic ice charts (vectorial layers) to a vessel in the standard supported by the Electronic cartographic navigation informative system «dKart Explorer» (Morintex, Ltd.), are set forth. The system provides the precise superposition and display of the ice-information layer on the background of electronic navigation chart in the translucent mode. This enables to make an error-free allowance for the ice-conditions data with higher reliability and to solve the navigational problems concerning the tactics of sailing in the ice. In the course of the experiment, the electronic ice charts that were prepared using the satellite data in AARI (St. Petersburg) were regularly updated and transmitted to the research-expedition vessel «Mikhail Somov» operating in the Barents Sea. The transmission of the operational ice information was carried out by means of the Russian satellite communication system «Gonets-D1M». The results of the experiment received a high appraisal of the navigation personnel of the «Mikhail Somov», especially when sailing in the area to the north of the parallel 78°N, where the information could not be reliably obtained using the Global Satellite Communication System (INMARSAT).*

---

# ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

---

ГРНТИ 78.21.39.17; 50.33.33

## **КРАТКИЙ ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ АСПЕКТАХ (ПО МАТЕРИАЛАМ РОССИЙСКОЙ ЗОНЫ ИНТЕРНЕТ)**

**(ОКОНЧАНИЕ. НАЧАЛО В № 14)**

**В. Г. ДМИТРИЕВ**

(Арктический и Антарктический НИИ)

*В статье приводится краткий обзор примеров разработок и применения современных компьютерных технологий – географических информационных систем (ГИС) в области гидрографии. Примеры сгруппированы по принципу общности сферы применения ГИС. Представленные материалы свидетельствуют о широте спектра применения гидрографических ГИС, а также позволяют выявить некоторые общие проблемы в области геоинформационных технологий применительно к гидрографии.*

*Обзор составлен по публикациям российской зоны Интернет и охватывает период со второй половины 90-х годов XX столетия. Каждый пример содержит ссылку на соответствующий URL. Обзор предназначен для специалистов в области ГИС и гидрографии.*

### **ГИС в области мониторинга природной среды и экологических исследований**

#### **Мониторинг природной среды в Скандинавии**

В 1991 году правительства Дании и Швеции создали совместное агентство, ответственное за проектирование и реализацию проекта мониторинга природной среды в Скандинавии [32]. Агентство поставило перед Датским гидравлическим институтом (DHI) и Институтом качества воды (VKI) задачу создания и поддержания Центра по контролю экологических последствий в ходе строительства и эксплуатации путепровода (Feed Back Monitoring Centre - FBC). Задача FBC состояла в разработке системы природного мониторинга для успешного проведения огромных объемов комплексных строительных работ в условиях разнообразных законодательных ограничений, установленных датскими и шведскими властями в отношении природной среды.

Очевидно, что для того чтобы результаты математического моделирования стали элементами механизмов поддержки принятия решений, они должны легко передаваться в ГИС, а последние – распознаваться и импортироваться моделирующей системой для использования в расчетах.

Именно в таком направлении происходило развитие компьютерных технологий семейства программных продуктов DHI при постоянном стратегическом партнерстве с ESRI. В итоге не только все программные продукты DHI сопряжены с ArcInfo, но и специальные ГИС-приложения разработаны на основе объединения свойств ArcView и математических моделей DHI.

В настоящее время для использования в инженерной и управленческой практике на компьютерном информационном рынке (в том числе на Российском) находится целый ряд специальных технологий, реализованных в программных продуктах серии MIKE. С точки зрения гидрографических приложений, наибольший интерес представляют:

- MIKE 21 – двумерная моделирующая система для водных объектов (гидродинамика, течения, ветровые нагоны, волны, перенос примесей и загрязнений, движение наносов, качество воды и др.);

- MIKE INFO – специальное ГИС-приложение с элементами технологии INTERNET, созданное в среде ArcView GIS, предназначенное для работы с результатами, полученными из моделирующих систем DHI (MIKE 11, MIKE 21, MIKE SHE и др.) в рамках конкретных проектов и/или систем управления.

DHI помог разработать Систему поддержки географической и природной информации (EAGLE) – приложение, построенное на базе ArcView GIS, которое следит за ходом выполнения работ и в случае каких-либо нарушений, связанных с природной средой, дает возможность создать отчет о таком событии.

Система EAGLE установлена на сервере FBC в Копенгагене, а около 20 клиентских мест ArcView GIS находятся в Дании и Швеции. Основная часть системы работает на платформе ПК с использованием технологий локальной и удаленной сетей. Наблюдения за ходом строительства выполняются ежедневно, а ежеквартально подготавливаются министерские отчеты. Система EAGLE используется властями и другими заинтересованными сторонами, чтобы следить за выполнением проекта, принимаемыми решениями и полевыми данными. Система дает возможность мониторинга в онлайн-режиме, информация обновляется два раза в день.

Планирование и экологическая оценка работ, связанных с намывом грунта, рассматриваются как главные инструменты, гарантирующие соблюдение природоохранных требований. Объединение данных наблюдений за природной средой с результатами прогнозирования с помощью численной модели служит ключевым фактором в принятии решений. В программе мониторинга реализовано использование численных моделей совместно с системой обратной связи.

Все собранные данные сохраняются системой мониторинга и могут быть выведены на экран или печать в виде временных рядов или профилей, а также переданы как данные ввода или проверки для численных моделей.

DHI выполняет прямые и обратные прогнозы, связанные с разносом грунта. Они базируются как на текущем мониторинге, так и оценках, которые делают инженеры относительно возможных потерь грунта при работах в определенном месте. Эта информация вводится в гидродинамические модели EAGLE, которые используют для проверки точности сделанных оценок и позволяют внести в работы необходимые поправки.

### ***Оценка санитарно-экологического состояния восточной части Финского залива***

Органами Госсанэпиднадзора ведется гигиенический мониторинг, включающий результаты лабораторных исследований качества питьевой воды, воды водоемов и водотоков, атмосферного воздуха, акустики, почв и оценки заболеваемости населения Санкт-Петербурга и административно подчиненных территорий с ведением электронных баз данных и использованием ГИС [33].

Основной целью является установление, предупреждение, устранение или уменьшение факторов и условий вредного влияния среды обитания на здоровье и обеспечение санитарно-эпидемиологического благополучия населения.

### ***Мониторинг водных объектов Калининградской области***

В текущем году Центром инженерных технологий «Си Эс Трэйд» закончена разработка и представлена пользователям бета-версия программного обеспечения для системы мониторинга водных объектов Калининградской области [34].

Система позволяет в многопользовательском режиме вводить данные о состоянии загрязнения водных объектов и объемах сброса загрязняющих веществ с целью постоянного анализа всего объема данных. В качестве рабочей среды ввода и обеспечения совместного анализа всех введенных данных на основе механизма репликаций принята СВУБД ORACLE. На следующих этапах предполагается использование ГИС для пространственного анализа накопленных данных. Разработка произведена по заказу международного проекта ENVRUS 9803 под эгидой программы ТАСИС.

Аналогичные работы проводятся и для Баренцева моря: возможности ГИС-технологий в изучении морских экосистем активно исследуются в Мурманском морском биологическом институте КНЦ РАН [35].

### ***Анализ экологической обстановки на сахалинском шельфе***

Для оценки экологического риска любой хозяйственной деятельности на территории Сахалинской области применяются современные методы работы с пространственно распределенными наборами данных и, в первую очередь, ГИС [36].

В течение 1999 г. в СКБ САМИ ДВО РАН создавалась ГИС «Экология Сахалинской области» для нужд Госкомэкологии Сахалинской области на основе Map Master – продукции фирмы ИНГИТ (Санкт-Петербург), являющейся основой для создаваемых ГИС органов государственной власти России.

На первых этапах были созданы специализированные информационно-аналитические комплексы, объединяющие исторические базы данных по экологически значимым параметрам состояния окружающей среды. С использованием этих баз должны отрабатываться новые экспертные или прогностические модели оценки экологической безопасности на территории Сахалинской области и прилегающих акваториях острова Сахалин и Курильских островов. Для решения задачи охраны важных и легкоуязвимых территорий и акваторий Сахалинской области создана база данных потенциально опасных объектов и объектов защиты.

### ***ГИС как средство управления акваторией Каспия***

Как отмечено в отчете экспедиции Общества Кусто под эгидой ЮНЕСКО/МОК (май-август 1998 г.) [37], для того, чтобы сохранить 50000 км<sup>2</sup> каспийских водно-болотных угодий, недостаточно создать заповедники. Нужен целый ряд мер для обеспечения будущего этой экосистемы. Это значит, что надо усовершенствовать функции экосистем. К средствам усовершенствования относится ГИС как технический метод, использующий научные данные для анализа и учета всех взаимоотношений между многочисленными компонентами комбинации естественной и искусственной систем. ГИС может сыграть важную координирующую роль, и в тоже время быть источником информации для различных заинтересованных сторон.

### ***Управление особо охраняемыми природными территориями***

Администрацией Сихотэ-Алинского государственного биосферного природного заповедника (Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды), включающего значительную часть морской акватории, основное внимание уделяется постоянным и временным работам на ключевых участках, пробных площадях, постоянных маршрутах и других стационарах с использованием ГИС-технологий и космического слежения [38]. Накопленный заповедником опыт работы по экологическому просвещению и образованию позволяет организовать эту важную работу на качественно ином уровне, приближенном к современным условиям и требованиям.

### ***Проект «Анализ загрязнения фосфором водных объектов»***

Примером применения ГИС в области экологических исследований может служить венгерский проект «Анализ загрязнения фосфором водных объектов» [39].

Моделирование рассеянных источников, от которых в водоемы поступает более половины загрязнений фосфором, представляет собой сложную проблему. Центр дистанционного зондирования (Будапешт, 1998 г.) участвовал в выполнении демонстрационного проекта по Дунаю, цель которого состояла в том, чтобы исследовать возможности использования данных о земельном покрове CORINE для моделирования рассеянного загрязнения фосфором и разработки калибровочной модели, чтобы предсказать его концентрацию на реках.

CORINE – программа европейской комиссии по координации информации об окружающей среде – имеет уникальную стандартизированную базу данных о земельном покрове 31 страны. Для моделирования были взяты три речных бассейна в Словацкой Республике, Румынии и Венгрии.

Участники проекта использовали модель оценки риска эвтрофикации при поступлении питательных веществ (MINDER), разработанную в Центре водных ресурсов (Великобритания), который и координировал эти работы. Основой и инструментом выполнения проекта послужила созданная на базе программного обеспечения ArcInfo растровая ГИС-модель водосборных бассейнов с размером ячейки 100 на 100 метров. Для исправления и обновления гидрографии использовались спутниковые изображения Landsat TM.

### ***Карты природной среды интерактивного атласа Балтики***

Атлас природы Балтики [40] основан на данных одного из наиболее популярных экологических сайтов «ГИС, карты и статистическая база данных региона Балтийского моря». Этот сайт разработан информационным центром природоохранной программы ООН GRID-Arendal как часть проекта Службы онлайн-интерактивной географической и природоохранной информационной программы (BOING), спонсируемого Европейским Сообществом.

Web-сайт атласа Балтики работает под управлением картографического серверного приложения ArcIMS. Он позволяет выбрать тематические данные, отобразить их вместе с другими данными и создать адаптированные под конкретные интересы карты на нужную территорию в пределах региона. Представленные данные в основном отражают факторы, воздействующие на природу региона. Большое внимание уделено экологическим и экономическим аспектам эвтрофикации, которая пагубно влияет на биоразнообразие, сокращает рыбные ресурсы, снижает рекреационный потенциал прибрежных областей.

### ***ESRI и стратегия Болгарии по сохранению биоразнообразия***

В 1992 г. правительство Болгарии установило контакты с Агентством по международному сотрудничеству США (USAID) и провело консультации с руководителями Программы поддержки биоразнообразия (BSP), сотрудники которой имеют богатый опыт решения подобных задач [41].

При посредничестве BSP представители Болгарии связались с американской компанией ESRI, которая разработала и поддерживает специальную природоохранную программу. Ее основополагающим принципом является всестороннее полномасштабное обучение работе с ГИС представителей заинтересованных организаций разных стран.

Ввиду отсутствия достаточно надежных картографических данных, широко использовалась составленная в формате ArcInfo Цифровая карта мира (DCW), слои которой насыщены разнообразной информацией. Окончательная обработка собранных данных проводилась болгарскими учеными на базе ESRI в Калифорнии.

За счет относительно небольших вложений Болгария приобрела аппаратные средства, программные продукты, опытных экспертов, базу данных, большое число цифровых и бумажных карт и демонстрационных материалов, что составило основу национальной природоохранной программы. ESRI активно участвует в создании подобных национальных и региональных программ во многих странах.

### ***Проблема сохранения морской черепахи в Турции***

В качестве пилотного проекта Отделом дистанционного зондирования Стамбульского университета была разработана информационная система особо охраняемой прибрежной области Койцедиз Дайлан [42]. Проект, поддержанный Европейским космическим агентством, отмечен наградой Генри Форда Европейского общества охраны природы.

В системе средствами ArcView GIS версии 3.0 интегрирована вся спутниковая и наземная информация. В нее включены данные оптической и радарной спутниковой съемки, батиметрия, топография, метеорологическая информация, данные переписи населения и подсчета численности черепах, сельскохозяйственная информация, данные гидрологических наблюдений, данные GPS по расположению черепаших гнезд и цифровая модель местности, в пределах которой черепахи откладывают яйца.

### **ГИС для рыбного хозяйства**

#### ***Мониторинг промыслово-биологической обстановки***

Системной интеграцией и разработкой оригинального программного обеспечения для решения разнообразных задач рыбного хозяйства занимается Центр «Геоматика» (учрежден в 1996 г., МГУ им. М.В. Ломоносова) [43]. Разработанные Центром морские географические информационные системы (МГИС) со спутниковым позиционированием незаменимы не только в рыбодобывающей отрасли, но и в морской геологии и гидрографии. Приоритетные разработки Центра – комплексы для мобильных морских рабочих станций – позволяют в реальном времени проводить автоматизированный мониторинг промыслово-биологической обстановки, оценивать промысловый запас и контролировать суда на промысле.

Программное обеспечение и системная интеграция, разрабатываемые Центром для морских и геологических приложений, основаны на широком использовании современных телекоммуникационных технологий: клиент-серверной технологии, Интернет, спутниковой связи, спутникового позиционирования.

#### ***Обеспечение центров спутникового мониторинга***

В Лаборатории новых информационных технологий Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии проводятся работы по созданию научно-методического обеспечения отраслевых региональных центров спутникового мониторинга [44]. Целью проводимого исследования является разработка и создание новой методологии сбора, обработки и использования разнородных данных, получаемых автоматизированным способом непосредственно потребителем на интересующей его акватории с помощью ИСЗ, самолета-лаборатории и судна.

В настоящее время подобные задачи успешно решаются с использованием ГИС-технологий, когда для верификации каждого из дистанционно измеряемых физико-химических параметров морской среды регулярно проводится натурный океанографический эксперимент, сочетающий как прямые, так и косвенные методы измерений (Норвежское, Каспийское, Адриатическое, Балтийское, Белое, Черное моря).

#### ***Гидролого-гидрохимический атлас Сахалинского шельфа***

Во второй половине 90-х гг. Сахалинский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО) провел комплекс работ по созданию компьютерной версии гидролого-гидрохимического атласа саха-

линского шельфа, который можно рассматривать как упрощенную модель геоинформационной системы [45].

Особенность океанографической информации заключается в том, что она дискретна во времени и в пространстве, а изученность отдельных районов океанов и морей может разделиться на порядки. Поэтому получить картину, адекватно отражающую реальное распределение параметров в районах с различной изученностью, достаточно сложно.

Главным достоинством разработки является возможность проведения комплексного анализа на основе сопоставимых исходных данных, полученных в точках с фиксированными координатами и в одном временном масштабе. С использованием данного инструментария в настоящее время в СахНИРО начата подготовка режимно-справочного пособия по гидрологии и гидрохимии сахалинского шельфа, делаются попытки производства модельных расчетов. Практика работы с атласом показала, что он может стать образцом океанографических ГИС.

### **ГИС в интересах озераведения**

#### ***Исследования озер Северо-Запада России***

Геоинформационные технологии широко применяются Институтом озераведения РАН при изучении озер [46]. Так, ГИС «Информационно-справочный атлас Ладожского озера» предназначена для использования при перспективном и текущем планировании развития производства в регионе, для разработки прогностических моделей влияния возрастающей антропогенной нагрузки на функционирование экосистемы, для использования в качестве справочного материала при решении широкого диапазона научных, хозяйственных и природоохранных задач, а также при организации туризма и другой рекреационной деятельности. Атлас включает результаты многолетних исследований озера, которые представлены в виде электронных карт, диаграмм, графиков и рисунков.

ГИС «Бассейн Ладожского озера» осуществляет интеграцию семантической, метеорологической, гидрологической и гидрохимической информации и географических знаний о территории бассейна Ладожского озера.

ГИС «Озера мира» предназначена для исследования зональных и азональных закономерностей изменения термического и водного режимов озер, а также оценки озерных водных ресурсов в глобальном, национальном и региональном масштабах.

ГИС «Озера Северо-Запада России» используется при исследованиях зональных и азональных закономерностей изменения термического и водного режимов озер, а также для оценки озерных водных ресурсов Северо-Запада России в глобальном, национальном и региональном масштабах.

ГИС «Бассейн озера Лахтинский Разлив» предназначена для хранения и обработки результатов полевых исследований бассейна озера Лахтинский Разлив.

### **Мониторинг природной среды Байкала**

Разработкой научных основ мониторинга и прогнозирования естественных и антропогенных образований природной среды в бассейне озера Байкал на основе использования данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий в интересах оптимизации процессов природопользования занимается Лаборатория геоэкологии и ландшафтного планирования Байкальского института природопользования СО РАН (отдел геоэкологии) [47].

Исследования по моделированию природных и социально-экономических процессов байкальского региона проводятся в лаборатории экологической геохимии ЧИПР СО РАН [48].

В настоящее время разрабатываются математические модели эколого-геохимических процессов в криолитозоне Забайкалья, при этом создаются модели и информационные комплексы с использованием ГИС-технологий по ресурсным, эколого-геохимическим, демографическим, социально-экономическим направлениям.

В рамках этих исследований осуществляется сотрудничество с ОИГГМ СО РАН, ЧитГТУ, Институтом биофизики Минздрава (г. Москва) и некоторыми другими научными организациями.

### **ГИС в военной сфере**

Одной из перспективных областей применения ГИС является военная область, под которой условимся понимать приложения не только для Министерства обороны, но и для МВД, Пограничных войск, МЧС, ФСБ и других структур [49–51]. Появление инструментальных ГИС-средств (таких, как MapObjects, ArcSDE, NetEngine, ERDAS Developers ToolKit) существенно расширило возможности ГИС для военных пользователей. Инструментальные средства позволяют построить сколь угодно сложную систему, опираясь на фундамент той или иной ГИС (например, ArcInfo).

Фирмы – военные разработчики, партнеры ERDAS и ESRI, решают проблему настройки интерфейса и доведения внешнего вида программы до уровня нескольких кнопок, каждая из которых может вызывать очень сложные алгоритмы ArcInfo.

Цифровое поле боя или электронное поле боя – новый термин, появившийся в последнее время. Он охватывает цифровую картографическую информацию в виде собственно самой ГИС непосредственно по полю боя и средствам ее эксплуатации. Она дает возможность отображать информацию в точном соответствии с потребностями пользователя, с привлечением средств трехмерной визуализации (в задачах командования и контроля). ESRI и ERDAS уделяют самое пристальное внимание развитию таких программных продуктов как ArcView 3D Analyst и Imagine VirtualGIS.

ГИС также может использоваться для пересчета цифровой карты в другую проекцию, например в систему координат территории (акватории) вероятного противника.

При размещении на местах военных подразделений ГИС оказывают реальную помощь в детальном понимании ландшафта, чтобы провести успешные действия.

ГИС позволяет объединить и визуализировать пространственную информацию всех видов, включая навигационные карты, карты батиметрии, маршруты движения корабля, погодные условия, боевую обстановку.

Военные специалисты, занимающиеся вопросами логистики, извлекают огромную пользу из ГИС, поскольку задачи логистики связаны с крайне сложными проблемами размещения личного состава, техники, различных служб, материальных объектов в нужном месте в нужное время. Для решения этих задач ГИС является ключевой технологией.

У компаний ESRI и ERDAS имеется необходимый набор программ для создания ГИС любого уровня сложности и любого уровня интеграции.

В отечественной практике Специальное научно-исследовательское бюро «Эльбрус» в процессе выполнения ряда заказов Министерства обороны разработало несколько ГИС для сети центров экологического мониторинга для военных округов и родов войск [52].

### **ГИС для служб быстрого реагирования**

Институт гидравлики г. Эскондидо (Калифорния) объединил систему анализа случаев разлива в водоемах нефте- и других опасных продуктов (SAW) с программным обеспечением ArcInfo [53]. Эта система предназначена для обеспечения заинтересованных организаций оперативной информацией о происшедшем разливе, масштабах загрязнения окружающей среды и вероятных последствиях, анализ которых необходим для своевременного принятия решений по локализации разлива и его ликвидации.

Система SAW может проводить моделирование в пространстве и времени физических, химических и биологических процессов, сопровождающих распространение вредных продуктов, прогнозирует пути их наиболее вероятного перемещения, а также изменение свойств и объемы поступления в зоны, где возможно проведение защитных мероприятий и работ по ликвидации разлива.

Совмещение системы SAW с ArcInfo позволило кардинально повысить наглядность информации, выдаваемой в результате обработки и анализа поступающих данных. Интегрированная система, названная MIKE 21 SAW, способна оперативно создавать динамические карты зон, подверженных воздействию пролившегося вещества, в зависимости от направления и силы ветра и течений, многослойные карты распределения в пространстве и во времени свойств загрязнителя и т. п. Все промежуточные карты можно сохранить и использовать для последующего детального анализа. Система работает на широком спектре UNIX платформ.

По решению муниципалитета Токио в Японии создан Центр по борьбе со стихией. Главными его задачами являются: оповещение населения об ожидаемых стихийных бедствиях (связанных главным образом с землетрясениями, цунами и их последствиями), анализ вероятности их возникновения, оценка ущерба, организация спасательных и восстановительных работ [54]. Основой системы оповещения, анализа и принятия решений является пакет ArcInfo, работающий в сети рабочих станциях IBM 30 M 5080 и IBM PS/2 Model 55. С его помощью проводится ввод, систематизация и визуализация данных полевых наблюдений.

Поскольку при сильных землетрясениях велика вероятность нарушений работы обычных средств связи, полевые наблюдения будут базироваться преимущественно на дистанционных методах измерений, таких, как спутниковая система привязки (GPS). Средствами ArcInfo по собранной информации составляются подробные карты района бедствия, включающие все необходимые сведения для служб быстрого реагирования и лиц, отвечающих за спасательно-восстановительные мероприятия.

### **ГИС и картография**

Хотя, как было отмечено, геоинформационные технологии и не предназначены для производства электронных цифровых карт, ввиду широких технологических возможностей программное обеспечение ГИС наиболее широко используется именно в картографической деятельности.

С начала 90-х годов Картфабрика ВСЕГЕИ осуществляет использование ГИС при подготовке карт к изданию, а также одновременное создание корректной цифровой модели геологического строения конкретной территории [55].

Создаваемые на этом этапе цифровые материалы ориентированы на издание и не могут быть отнесены к цифровым картам, так как они ограничиваются только метрикой и не содержат дополнительной информации в виде атрибутивных таблиц. Однако отдельные элементы возможно использовать при создании цифровых карт. Например, линейные объекты подготовленной к изданию геологической карты (гидрография, рельеф, пути сообщения, геологические границы и др.) могут быть переведены из издательских пакетов в ГИС с использованием транспортного формата (например DXF) и составить основу цифровой карты.

Издательская электронно-картографическая система dKart OFFICE компании Моринтех [56] предназначена для производства традиционных бумажных и электронных навигационных материалов, включающих морские навигационные карты, огни и знаки, извещения мореплавателям, лоции, наставления по плаванию и т. д., а также цифровые наборы обмена данных в соответствии со стандартом S-57 Международной гидрографической организации. Вместе с этим система dKart OFFICE обеспечивает корректуру навигационных публикаций в традиционном бумажном и электронном виде.

ЗАО «Резидент» и ООО «Резидент-Консалтинг» [57] с помощью ГИС-технологий создают и распространяют такие продукты, как политическую карту мира, политико-административную карту России, карты отдельных европейских стран и др.

Широкий спектр GPS-аппаратуры и программного обеспечения, предназначенного для решения задач в области навигации, геодезии и гидрографии, включая задачи использования ГИС в картографии, предлагает ООО «Кросс». Компания, являясь официальным дистрибьютором фирмы Trimble Navigation Limited (лидера в технике GPS), специализируется в области спутникового навигационного и геодезического оборудования [58]. В число продуктов ООО «Кросс» входят:

- GPS Pathfinder™ Pro XR – система сбора точных географических данных для картографических работ и ГИС;

- Pathfinder Office™ – мощный программный пакет компании Trimble на русском языке для планирования, создания карт и работы с ГИС-данными;
- Trimble's HYDRProg™ – высокопроизводительная система, базирующаяся на работе в операционных системах Microsoft Windows. Она позволяет охватить все этапы гидрографической съемки – от получения данных до создания готовых распечаток и отчетов.

Значительный объем цифровых карт, содержащих гидрографические и гидрометеорологические данные, предлагает ООО «ДАТА+» [59] – официальный дистрибьютор компании ESRI в России и странах СНГ.

### **Проблемы конвертации**

В связи с многообразием форматов представления географических данных возникает проблема их конвертации для реализации возможностей сопряжения различных ГИС. Одна из первоочередных проблем состоит в согласовании форматов цифровых карт и обеспечении качественного конвертирования данных. Например, Роскартографией созданы карты в формате F1M, Роскомнедра первоначально использовал формат ArcInfo, а с 1998 года перешел на пакет ПАРК версии 6.0.

В настоящее время многие отечественные электронные карты подготовлены в форматах SXF и F1M [60]. Для быстрого и полноценного использования таких карт с программными продуктами ESRI необходимо их преобразование в форматы, которые воспринимаются такими программными продуктами, как ArcView GIS, ArcInfo, MapObjects и др. В связи с этим сотрудники ЗАО «ИТМ» при участии и поддержке ООО «ДАТА+» разработали программный продукт ConView (1998 г.), позволяющий преобразовывать топографические электронные карты различных масштабов обменного формата SXF в слои Share без потери семантической информации о географических объектах электронной карты.

Благодаря наличию соответствующих конвертеров, происходит формирование общего информационного поля на основе согласованных форматов и стандартов через создание глобальных информационных сетей.

Этому способствует и тенденция к унификации цифровых моделей топографических карт. На совещании по созданию Государственного банка данных цифровой геологической информации (ГБЦГИ), проходившем в г. Королеве в конце февраля – начале марта 2000 г., был представлен проект отраслевого стандарта на цифровые модели топографических карт, которые являются одной из значительной составляющей базы картографической информации ГБЦГИ [61].

### **Заключение**

Несмотря на то, что в настоящем обзоре представлены далеко не все примеры использования гидрографических ГИС, анализ опубликованных материалов показывает, что геоинформационные технологии в течение многих лет активно применяются многочисленными научными и производственными организациями в областях деятельности, непосредственно связанной с различными аспектами гидрографии. ГИС используются при информационной поддержке консалтинга в таких сферах деятельности, как разработка место-

рождений полезных ископаемых, грузовой и пассажирский транспорт (в том числе торговые коммуникации и логистика), промысловая деятельность, промышленная деятельность, планирование инвестиций, юридические споры (включая и международный уровень), туризм, охрана природы, научные исследования, образование и т. д.

Из представленного обзора видно, что спектр использования современных геоинформационных технологий весьма широк – от общих проблем информационного освещения акваторий до поддержки вполне конкретных технологических мероприятий. Число организаций – создателей гидрографических ГИС – исчисляется сотнями (заметим, что в обзор практически не вошли материалы зарубежных публикаций, в противном случае число организаций увеличилось бы до десятков тысяч).

К преимущественным направлениям создания и использования отечественных гидрографических ГИС относятся геология, геохимия и геофизика акваторий (включая проблемы нефтегазового комплекса), экология морей и озер, морской транспорт, рыбное хозяйство.

Среди применяемых ГИС доминирует продукция одного из мировых лидеров в области геоинформационных технологий – американского Института исследований систем окружающей среды (ESRI), хотя для решения специализированных задач используются и ГИС других компаний (например отечественные разработки GeoDraw/GeoGraph, INTEGRO, специализированная морская канадская ГИС CARIS, универсальная ГИС MapInfo и др.). Некоторые геоинформационные системы имеют особый статус: ГИС Map Master, например, выбрана основной для создаваемых ГИС органов государственной власти России.

В то же время следует отметить, что отечественная практика применения ГИС не полностью использует потенциал геоинформационных технологий. Это, в первую очередь, относится к степени реализации возможностей использования геоданных потребителями. Существующие средства геоинформатики применяются в отечественной практике в основном для решения задач сбора, хранения и отображения пространственной информации о природных параметрах, в то время как ГИС предназначены прежде всего для использования пространственных данных в целях поддержки процессов управления с помощью компьютерного моделирования. Примером успешного применения интегрированных в ГИС моделей могут служить результаты Датского гидравлического института.

Кроме того, создание отдельными ведомствами в своих интересах ГИС на одни и те же акватории не только не эффективно с экономической точки зрения, но и не гарантирует совместимости данных ввиду использования различных методологических подходов и первичных материалов.

Многообразие разработчиков геоинформационных систем ставит проблему сопряжения данных различных организаций как на уровне их передачи из одних систем в другие (проблема конвертации), так и на уровне семантико-лингвистического сопряжения (отсутствие унифицированных классификаторов, стандартизованных библиотек условных знаков и др.), вследствие чего представляется рациональным требование сертификации гидрографических ГИС-продуктов.

Следует отметить также и сугубо научные проблемы генерализации гидрографической информации в ГИС. Они возникли в связи с тем обстоятельством, что, как и любой технический аппарат, ГИС-технология обладает ограничениями на область применения. В частности, ГИС вносит некоторые искажения в исходный набор данных при отображении, вследствие чего ставятся новые для гидрографии проблемы пространственно-временного обобщения данных и оптимизации сочетания пространственного и временного разрешения визуализации информации. Это обусловлено как специфическими свойствами изменчивости различных гидрографических полей, так и проблемами восприятия и понимания картографических изображений [62].

Во многом трудности связаны с несовершенством нормативно-законодательной и методической базы в области использования ГИС в гидрографии и отсутствием стандартов на производство геоинформационной продукции (заметим, что проблема стандартизации в полной мере не решена и на мировом уровне).

Тем не менее, ГИС-технологии имеют большие перспективы развития при подключении моделей принятия решений, численных имитационных моделей, расширения области применения трехмерной графики (в том числе и анимированной) и мультимедийных средств, сетевых технологий и т. д. Это позволит намного расширить возможности анализа географической информации при решении задач управления пространственно распределенными объектами.

#### ИСТОЧНИКИ (URL)

32. [http://www.dataplus.ru/win/All\\_Gis/13Ecolog/MonitorSkand.htm](http://www.dataplus.ru/win/All_Gis/13Ecolog/MonitorSkand.htm)
33. <http://www.maneb.spb.ru/glava1.html>
34. <http://www.cstrade.ru/russian/news.htm>
35. [http://herba.msu.ru/news/Botanical\\_News/morschool.html](http://herba.msu.ru/news/Botanical_News/morschool.html)
36. <http://www.arcenter.ru/news/201000.html>
37. <http://www.isarmos.ru/transcasp/05/07.htm>
38. <http://www.tigers.ru/res/rs1r.html>
39. [http://www.dataplus.ru/win/All\\_Gis/13Ecolog/Fosfor.htm](http://www.dataplus.ru/win/All_Gis/13Ecolog/Fosfor.htm)
40. [http://www.dataplus.ru/win/All\\_Gis/12KartGd/Atlas.htm](http://www.dataplus.ru/win/All_Gis/12KartGd/Atlas.htm)
41. [http://www.dataplus.ru/win/All\\_Gis/13Ecolog/Bolgar.htm](http://www.dataplus.ru/win/All_Gis/13Ecolog/Bolgar.htm)
42. [http://www.dataplus.ru/win/All\\_Gis/101Ever/Tartil.htm](http://www.dataplus.ru/win/All_Gis/101Ever/Tartil.htm)
43. <http://www.geomatics.ru>, <http://www.science.park.ru/geom.htm>
44. [http://ocean.infospace.ru/rus/lab\\_nit.htm](http://ocean.infospace.ru/rus/lab_nit.htm)
45. [http://www.science.sakhalin.ru/Pub/Pisch\\_01.html](http://www.science.sakhalin.ru/Pub/Pisch_01.html)
46. [http://www.spb.org.ru/lake/home\\_k8.htm](http://www.spb.org.ru/lake/home_k8.htm)
47. <http://geoecology.narod.ru>
48. [http://www.chita.ru/public\\_html/cinr/laekgeox.htm](http://www.chita.ru/public_html/cinr/laekgeox.htm)
49. [http://www.dataplus.ru/win/All\\_Gis/2MVD/WarGIS.htm](http://www.dataplus.ru/win/All_Gis/2MVD/WarGIS.htm)
50. <http://www.esri.com/industries/defense/index.html>
51. <http://www.erdas.com>
52. <http://www.permonline.ru/~enter/may/obl.htm>
53. [http://www.ecomm.kiev.ua/GIS/Emergency/emerg\\_service.htm](http://www.ecomm.kiev.ua/GIS/Emergency/emerg_service.htm)
54. [http://www.ecomm.kiev.ua/GIS/Emergency/emerg\\_service.htm](http://www.ecomm.kiev.ua/GIS/Emergency/emerg_service.htm)
55. <http://www.geolog.kmv.ru/Konferenc/subjects/22/22.htm>
56. <http://www.ecdis.ru/products.htm>
57. <http://www.eatlas.ru>
58. <http://www.cross.com.ua/cross/navigation/trimble/products/gis-r.htm>
59. [http://www.dataplus.ru/WIN/OUR\\_MAP/Our\\_Map.htm](http://www.dataplus.ru/WIN/OUR_MAP/Our_Map.htm)
60. [http://www.dataplus.ru/WIN/ARCREV/Number7/10\\_Conv.htm](http://www.dataplus.ru/WIN/ARCREV/Number7/10_Conv.htm)
61. [http://www.dataplus.ru/WIN/ARCREV/Number\\_14/3\\_model.htm](http://www.dataplus.ru/WIN/ARCREV/Number_14/3_model.htm)
62. <http://www.oceaninfo.ru/news/news1.htm>

**V. G. Dmitriyev**

Brief Review of Employment of Geoinformation Technologies in Hydrographic Aspects (based on the materials of the Russian zone of the Internet)

The end, see Navigation and Hydrography, No. 14

*Examples of developments and employment of the modern computer technologies – geographic information systems (GIS) in the area of hydrography – are briefly reviewed. The examples are grouped according to the principle of community of the GIS application sphere. The presented materials show the width of the spectrum in which the hydrographic GIS are used. They also allow to reveal some general problems in the area of geoinformation technologies as applied to hydrography.*

*The review has been compiled using the publications of the Russian zone of the Internet and covers the period beginning from the second half of the 90s of the XX century. Each example has a reference to the corresponding URL.*

*The review is intended for the specialists in the field of GIS and hydrography.*

ГРНТИ 36.33.85

**О НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ ОСНОВАХ ЦИФРОВОЙ  
КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЕСИМО  
ЧАСТЬ II**

**В. Г. ДМИТРИЕВ**

(Арктический и Антарктический НИИ),

**А. Б. ОПАРИН,**

**А. М. АБРАМОВ**

(ГНИНГИ МО РФ)

*Продолжен обзор современного состояния нормативно-правовых основ деятельности в области цифровой картографической информации с целью обеспечения функционирования Единой общегосударственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО). Рассмотрены проблемы стандартизации, состояние системы словарей и классификаторов. Особое внимание уделено аспектам координации в области цифровой картографической информации и проблемам создания морских цифровых карт и геоинформационных систем. Сформулированы направления деятельности в области совершенствования нормативно-правового обеспечения функционирования модуля картографической и описательной информации ЕСИМО.*

**О проблеме стандартизации**

В настоящее время геоинформационные технологии доминируют в мировой практике картографического производства. В России геоинформационные системы (ГИС) также получили широкое распространение. Заказчиками цифровой картографической продукции выступают как государственные структуры, так и организации других форм собственности. Часть ГИС-проектов разрабатывается по соглашению с партнерами из США (ГИС-Байкал), с европейскими и скандинавскими картографическими службами (ГИС-Баренц, ГИС-Балтика, ГИС-Север) [1]. Эти проекты, целью которых является объединение картографических служб для создания единой информационной картографической базы (ГИС-

Север, например, охватывает приграничную зону России и Финляндии, а ГИС-Балтика объединяет 11 балтийских стран), базируются, как правило, на технологиях и программных продуктах ArcInfo.

Количество коммерческих заказов вдвое превышает число государственных (по крайней мере, на предприятиях Роскартографии [1]). При этом приходится учитывать требования заказчиков, имеющих различную подготовленность в области цифровой картографии, что приводит к разнообразию форм цифрового картографирования.

С другой стороны, многообразие фирм-разработчиков ГИС-технологий обусловило множество различных моделей (сейчас используется, по крайней мере, семь) и форматов (более 80) представления данных.

Поэтому специалистами Роскартографии выдвигались предложения по унификации цифровой картографической продукции путем введения хотя бы отраслевых стандартов [1].

Госгисцентром разработана часть пакета стандартов, включающая под общим заголовком «Карты цифровые топографические» следующие стандарты отрасли: ОСТ 68-3.1-99 «Общие требования» [2]; ОСТ 68-3.2-99 «Система классификации и кодирования цифровой картографической информации. Общие требования» [3]; ОСТ 68-3.3-99 «Правила цифрового описания картографической информации. Общие требования» [4]; ОСТ 68-3.4-99 «Требования к качеству цифровых топографических карт» [5]; ОСТ 68-3.5-99 «Формат обмена. Общие требования»; [6] ОСТ 68-3.6-99 «Формы представления» [7].

Эти стандарты утверждены соответствующими приказами Роскартографии и введены в действие в период 1998–99 гг. Положения стандартов подлежат применению расположенными на территории Российской Федерации учреждениями, организациями и предприятиями, независимо от их ведомственной принадлежности и форм собственности, и имеющими лицензию Роскартографии на изготовление и распространение цифровых топографических карт (ЦТК) масштабов 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000 и 1:1 000 000.

Перечисленные выше стандарты, как утверждают их авторы, реализуют два основных принципа цифровой картографии, сформулированных в работе [8]: 1. «Цифровая карта не обязана содержать что-либо, кроме информации об объектах местности»; 2. «Формат, правила цифрового описания и классификатор цифровой карты должны быть максимально независимы друг от друга».

Стандарт ОСТ 68-3.1-99 дает определения основных понятий, таких как метрическая информация, объект топографической карты, объект ЦТК, метрическая согласованность объектов ЦТК, номенклатурный лист ЦТК и семантическая информация. Он также устанавливает общие требования к процессу создания и обновления ЦТК и выдвигает основные требования к ним (полнота информации, современность и точность данных, согласование информации). Там же формулируются требования к программному и информационному обеспечению.

Стандарт ОСТ 68-3.2-99 определяет понятия классификации, классификатора, кодирования, кодового обозначения, системы классификации и кодирования объектов ЦТК и формулирует требования к системе классификации, системе кодирования и классификаторам объектов цифровых топографических карт.

В стандарте ОСТ 68-3.3-99 введены понятия простого, сложного дискретного, площадного, стандартно и нестандартно ориентированного объекта ЦТК, локализации объекта, правила локализации объекта, правила цифрового описания картографической информации, цифрового описания картографической информации и цифрового описания объекта ЦТК. Там же определены требования к содержанию и структуре цифрового описания картографической информации в составе ЦТК, сформулированы правила цифрового описания картографической информации, включая правила определения характера локализации объектов ЦТК, правила представления метрики объектов, правила представления семантики объектов и правила цифрового описания пространственно-логических связей объектов ЦТК.

Стандарт ОСТ 68-3.4-99 определяет избыточно введенные объекты, избыточно введенные характеристики, исходный картографический материал, обязательные характеристики, полноту объектового состава ЦТК, полноту характеристик объектов, правильность определения характеристик объектов и требования к оценке качества цифровых топографических карт. Согласно стандарту в состав показателей оценки качества включены полнота ЦТК, точность ЦТК, правильность идентификации объектов, логическая согласованность структуры и представления объектов ЦТК. В стандарте сформулированы общие требования к системе контроля качества цифровых топографических карт.

Стандарт ОСТ 68-3.5-99 устанавливает общие требования к формату, используемому для обмена цифровыми топографическими картами, под которым понимается формат представления цифровых топографических карт, используемый при их передаче предприятиями Роскартографии и при выдаче пользователям этих данных. Обменный формат, в частности, не должен зависеть от технологий изготовления, обновления и использования цифровой карты. Модернизация существующих и введение новых технологий не должно вызывать изменений обменного формата. В то же время формат не должен зависеть от технических средств, используемых при создании, обновлении и хранении карт. Наконец, обменный формат должен сопровождаться описанием, представляющим собой комплект документации, которая содержит необходимые сведения обо всех составляющих формата в объеме, достаточном для его использования. Последнее требование означает, что информация об обменном формате должна быть доступной для всех пользователей цифровых топографических карт, представленных в этом формате.

Стандарт ОСТ 68-3.6-99 устанавливает общие требования к формам представления ЦТК. В стандарте рассмотрены различные виды растровой формы, понятия примитива, линейно-контурной, матричной и векторной форм и сформулированы требования к ним.

На основе опробованных отраслевых стандартов разработаны и введены в действие государственные стандарты на виды деятельности в области цифровой картографии. К ним относятся:

- ГОСТ 28441-90 Картография цифровая. Термины и определения;
- ГОСТ Р-50828-95 Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования;
- ГОСТ Р-51353-99 Геоинформационное картографирование. Метаданные электронных карт. Состав и содержание;

- ГОСТ 2.0.394-1.002.99 Карты цифровые топографические. Система классификации и кодирования.

В последующем планируется выпуск дополнительных государственных стандартов в области цифровой картографии.

### **Словари, классификаторы**

Информационное обеспечение цифрового картографического производства включает разработку классификаторов цифровой картографической информации, классификаторов справочно-технологических параметров, библиотеку условных знаков, правила цифрового описания информации, формат цифрового представления информации и т. п. Это весьма сложный технологический процесс, требующий высокой квалификации всех исполнителей и строгой организации работ по выполнению контроля качества на всех технологических этапах и всеми должностными уровнями.

В качестве общих терминологических пособий можно рекомендовать толковые словари [9–10] (имеются также версии этих словарей в системе Интернет, например [http://www.ihst.ru/project\\_link/glossary/abbr.htm](http://www.ihst.ru/project_link/glossary/abbr.htm)).

Основные понятия сферы классификации и кодирования ЦТК определены в ГОСТ 2.0.394-1.002.99 Карты цифровые топографические. Система классификации и кодирования (см. также [11]). Точнее говоря, стандарт вводит определения таких понятий, как классификатор объектов ЦТК, классификация объектов ЦТК, кодирование объектов и кодовое обозначение объекта ЦТК, а также понятие системы классификации и кодирования объектов. В том же стандарте сформулированы требования к системе классификации объектов, к системе кодирования объектов и к классификаторам объектов ЦТК.

Приказом Роскартографии от 05.01.2000 г. № 1-пр утверждены классификаторы топографической информации для цифровых топографических карт масштабов 1:1 000 000 и 1:200 000 открытого использования. Эти классификаторы введены в действие с 01.02.2000 г. Упомянутым приказом руководителям предприятий, учреждений и организаций отрасли предписано при создании цифровых топографических карт открытого использования масштаба 1:1000 000 и 1:200 000 руководствоваться РТМ 68-3.01-99 «Порядок создания и контроля цифровой картографической продукции открытого использования» и утвержденными классификаторами.

В современных цифровых картах Роскартографии применен наиболее подробный и самый современный классификатор объектов UNI\_VGM, построенный на основе ранее разработанных классификаторов Роскартографии и Военно-топографического управления МО. Госгисцентром разработан классификатор слоев покрытий ArcInfo, включающий 85 слоев.

### **О проблеме координации**

В целях рассмотрения и подготовки предложений по вопросам создания и использования ГИС, имеющим общегосударственное значение, и координации работ в этой области Правительством РФ в 1992 г. была создана Государственная комиссия по геоинформационным системам, которая в 1994 г. преобразована в Межведомственную, а в 1997 г. – в Правительственную комиссию по геоинформационным системам [12].

К основным ее задачам относились, в частности, выработка стратегии и государственной научно-технической политики в области создания и использования ГИС и определение основных направлений научно-технической политики по созданию единого геоинформационного пространства Российской Федерации.

Комиссия была призвана рассматривать предложения по созданию геоинформационной инфраструктуры Российской Федерации с использованием российских и зарубежных информационных ресурсов, координировать работы по реализации этих предложений и по созданию и использованию федеральных, региональных, муниципальных и отраслевых ГИС.

Кроме того, в сферу компетенции комиссии попадала организация проведения экспертизы отечественных и зарубежных проектов создания ГИС, а также организация и координация разработки нормативной базы по вопросам создания и использования ГИС (в том числе и рассмотрение предложений по требованиям к ГИС и проектам стандартов цифровых и электронных карт).

Комиссия рассматривала вопросы межотраслевой, межрегиональной и международной координации работ, а также взаимодействия органов власти различного уровня, предприятий, организаций и учреждений по созданию и ведению ГИС на основе новых технологий, включая организационные и правовые вопросы обмена информацией между ГИС. От Министерства обороны в комиссию входил начальник Военно-топографического управления Генерального штаба ВС РФ.

Однако в связи с реорганизацией федеральных органов государственной власти Постановлением Правительства РФ от 15 мая 1998 г. № 443 она была ликвидирована. Попытка возродить комиссию, инициированная Роскартографией, к настоящему времени не увенчалась успехом.

Тем не менее, несмотря на то, что финансирование и производство работ по созданию ГИС для органов государственной власти в настоящее время практически приостановлено вследствие ограниченных возможностей федерального бюджета, процесс распространения геоинформационных технологий продолжается, хотя, в определенной мере, стихийно.

### **Цифровые морские карты**

Согласно руководящим документам [13, 14] организация топогеодезического обеспечения Вооруженных Сил, а также, в установленном порядке, других войск, воинских формирований и органов разработки и организация мероприятий, связанных с проведением картографических работ в интересах обороны, возложена на Генеральный штаб ВС РФ.

Создателем и хранителем уникальной коллекции традиционных бумажных навигационных морских карт выступает Главное управление навигации и океанографии (ГУНиО) Министерства обороны (МО) РФ. Руководящими документами также определена роль ГУНиО как производителя и хранителя государственного фонда официальных электронных навигационных карт (ЭНК), создаваемых специально для решения задач навигационной безопасности общего мореплавания.

Согласно принятой в ВМФ классификации морские карты, издаваемые ГУНиО МО, по своему назначению подразделяются на три группы:

- навигационные морские карты (электронные навигационные карты – ЭНК);
- специальные карты для ВФМ;
- морские вспомогательные и справочные карты.

В целом морские карты, издаваемые ГУНиО МО РФ, являются государственными специальными географическими картами морей, океанов или их отдельных районов и предназначены для обеспечения военно-морского, транспортного, промыслового и исследовательского флотов и решения других задач, связанных с использованием Мирового океана в народнохозяйственных и научных целях [15–17].

Заметим, что формально это положение не распространяется на морские цифровые карты, поскольку издание цитированных документов относится к периоду до 1989 года. В настоящее время готовятся новые редакции «Положения о навигационно-гидрографическом обеспечении народнохозяйственной деятельности ведомств и мореплавания в исключительной экономической зоне, территориальном море и прилегающей зоне и внутренних водных путях Российской Федерации» и «Временного положения о порядке снабжения, хранения, тиражирования и передачи электронных навигационных карт подразделениям ВМФ, гражданским организациям РФ и иностранным потребителям».

Официальные ЭНК изготавливаются в 280 Центральном картографическом производстве (ЦКП) ВМФ – специализированном центре гидрографических и геофизических данных Минобороны РФ – с соблюдением международных норм, требований и стандартов в интересах решения задач обеспечения безопасности мореплавания.

Согласно Положению [18] 280 ЦКП ВМФ является подразделением Гидрографической службы ВМФ центрального подчинения и предназначено для составления и подготовки к изданию морских карт, руководств и пособий, извещений мореплавателям, а также для создания цифровых морских карт (ЦМК), фундаментальных изданий по исследованию Мирового океана в интересах навигационно-гидрографического обеспечения боевой и повседневной деятельности Военно-морского флота, навигационной безопасности общего мореплавания и решения других народнохозяйственных задач. 280 ЦКП ВМФ осуществляет функции центра сбора и обработки материалов гидрографических и геофизических работ, проводимых в Мировом океане.

ЭНК 280 ЦКП ВМФ хранятся в форме стандарта Международной гидрографической организации S-57. В настоящее время их фонд насчитывает около тысячи единиц хранения. Компания ЗАО «Транзас» – официальный дистрибьютер ГУНиО МО РФ – осуществляет распространение ЭНК на коммерческой основе. Система визуализации ЭНК жестко структурирована и не допускает расширения своей сервисной области, что исключает возможность использования ЭНК вне рамок решения навигационных задач без использования специализированного аппаратно-программного обеспечения.

Вместе с тем, поскольку производственная деятельность 280 ЦКП ВМФ осуществляется на основании планов навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения ВМФ, целый ряд направлений в об-

ласти морской цифровой картографии не имеет достаточной организационной поддержки.

К перспективным видам цифровой (электронной) продукции в рамках МНИСиОГ ЕСИМО относятся карты и геоинформационные системы по следующим тематическим разделам:

- шельф и внутренние водоемы;
- кадастровые карты и планы прибрежных территорий, включая комплексные кадастры природных ресурсов;
- тематические и специальные (климатические, экономические, охраны природы и др.) карты, планы и атласы для обеспечения различных видов морской деятельности;
- туристские карты (обзорные, маршрутные, зоны отдыха и др.), в том числе и карты водно-болотных угодий и других особо охраняемых природных территорий;
- карты для охотников и рыболовов, туристские атласы акваторий и прибрежных территорий;
- спортивные карты для обеспечения различного рода соревнований на акваториях и прибрежных территориях, включая обеспечение парусных регат и других соревнований с использованием плавучих средств;
- планы и схемы административных и муниципальных образований, городов и других населенных пунктов, прибрежных территорий, в том числе с различным тематическим содержанием (туристских, торговых, архитектурных и др.);
- схемы пассажирского и грузового транспорта, включая схемы транспортных узлов типа «берег-море»;
- различные рекламные и информационные издания на картографической основе или с ее использованием (календари, буклеты, справочники, путеводители, открытки, проспекты, обзоры и др.), включая Web-сайты для сети Интернет.

Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт Министерства обороны РФ (ГНИНГИ МО РФ) – Головная научно-исследовательская организация России, ответственная за разработку технической политики в области навигации, гидрографии, морской картографии и океанографического обеспечения – обеспечивает научно-техническую поддержку работ в области отечественной морской картографии и способствует выполнению международных обязательств России по обеспечению безопасности мореплавания, обмену картографическими данными и океанографической информацией.

ГНИНГИ МО РФ располагает современной технической базой, в том числе уникальными средствами съемки рельефа и грунта дна морей и океанов, океанографической и навигационной аппаратурой. Океанографический центр ГНИНГИ МО РФ располагает одним из наиболее полных в России банком данных по океанографии, морской метеорологии, магнитным гравитационным и сейсмическим полям Мирового океана, а также развитой системой обработки материалов фактических наблюдений и современными моделями физических полей в морях и океанских зонах.

В общем случае на традиционных морских картах с различной полнотой и подробностью изображаются [15]:

- рамки и картографическая сетка с оцифровкой;
- опорные пункты, элементы гидрографической сети;
- береговая линия с обозначением характера берега;
- гидротехнические сооружения и объекты, сооружения на море;
- рельеф суши и морского дна, грунты морского дна;
- почвенно-растительный покров;
- дороги и дорожные сооружения, населенные пункты, промышленные сооружения, социально-культурные объекты;
- сухопутные и морские границы;
- навигационные опасности, фарватеры, морские каналы, рекомендованные пути и системы разделения движения судов;
- районы различного назначения на морской части карты;
- гидрологические элементы и элементы земного магнетизма;
- виды берегов, ориентиров и средств навигационного оборудования;
- предупреждения, примечания, надписи и другие элементы оформления.

Указанные элементы нагрузки могут изображаться в различных объемах в зависимости от назначения морской карты. Карты составляются в соответствии с установленными условными знаками и сокращениями [19].

#### **Направления работ и ближайшие задачи**

Одним из средств достижения целей ЕСИМО является создание единого правового и информационного пространства в интересах координации деятельности по производству наблюдений, сбору, накоплению, обработке и распространению информации об обстановке в Мировом океане. Под единым правовым пространством ЕСИМО понимается совокупность правовых норм, обязательных для исполнения всеми ее участниками [20].

Для правового обеспечения деятельности по созданию морских ГИС ЕСИМО, по-видимому, следует развивать межотраслевую нормативно-методическую базу внедрения морских ГИС-технологий, включая информационно-технологическое сопровождение стандартов по геоинформатике и ГИС. Результатом могут стать основополагающие документы и стандарты, методические указания и рекомендации, инструкции и правила, терминология и т. д., а также замечания по их применению в процессах выполнения реальных геоинформационных проектов различного содержания и назначения. К нормативно-методическим материалам по разработке, выполнению и эксплуатации морских геоинформационных проектов, могли бы относиться следующие.

#### **Документы общего характера:**

- Положение о МНИСиОГ;
- Положение о головном центре МНИСиОГ;
- Положение о Консультативном совете МНИСиОГ ЕСИМО;
- межведомственное Соглашение об информационном взаимодействии в рамках МНИСиОГ ЕСИМО;
- межведомственное Соглашение об использовании совместных информационных продуктов в рамках МНИСиОГ ЕСИМО;

- Положение (договор) об информационных услугах в области подготовки и распространения картографической и описательной информации в рамках МНИСиОГ ЕСИМО.

**Документы по подготовке картографической и описательной информации:**

- Основные параметры и характеристики картографической и описательной информации в МНИСиОГ ЕСИМО;
- Основные положения по созданию и обновлению картографической и описательной информации в МНИСиОГ ЕСИМО;
- Руководство по созданию картографической и описательной информации МНИСиОГ ЕСИМО;
- Инструкция о порядке составления и подготовке к изданию картографической и описательной информации организациями МНИСиОГ ЕСИМО;
- Единые согласованные условные знаки для картографической продукции и описательной информации МНИСиОГ ЕСИМО;
- Положение о порядке учета, регистрации терминов, о порядке издания словарей и справочников терминов, порядке создания и ведения Единого каталога терминов в МНИСиОГ ЕСИМО;
- Классификатор картографической и описательной информации для использования в МНИСиОГ ЕСИМО.

**Документы по организации хранения и распространения картографической и описательной информации:**

- Основные положения о хранении и распространении картографической и описательной информации в МНИСиОГ ЕСИМО;
- Положение об обеспечении потребителей МНИСиОГ ЕСИМО картографической и описательной информацией МНИСиОГ ЕСИМО;
- Положение об организации и ведению Фонда картографической и описательной информации МНИСиОГ ЕСИМО;
- Положение о редакционной службе по созданию картографической и описательной информации МНИСиОГ ЕСИМО;
- Порядок реализации картографической и описательной информации открытого пользования МНИСиОГ ЕСИМО.

**Документы по оценке качества картографической и описательной информации:**

- Программа МНИСиОГ ЕСИМО по стандартизации подготовки и распространения картографической и описательной информации;
- Межведомственные стандарты МНИСиОГ ЕСИМО в области создания морских карт и ГИС;
- Система сертификации картографической и описательной информации в МНИСиОГ ЕСИМО.

Очевидно, что создание необходимой нормативной базы будет проходить поэтапно по мере накопления опыта информационного взаимодействия при функционировании ЕСИМО. На первом этапе (2001–2002 гг.) целесообразна разработка документов общего характера, а документы по подготовке картографической и описательной информации, по организации хранения и распространения картографической и описательной информации и по оценке

качества картографической и описательной информации следует разработать на последующих этапах (2002–2007 гг.).

### Заключение

В заключение отметим, что в целом создание нормативно-правовой базы системы информационного обеспечения ЕСИМО далеко от завершения. Действующее законодательство относит морские карты к тем картографическим объектам федерального уровня, создание которых разрешено только Роскартографии и Минобороны, в то время как МНИСиОГ ЕСИМО ориентируется на более широкий спектр потребителей. Информация, необходимая для достижения целей федеральной целевой программы «Мировой океан» находится, помимо Роскартографии и Минобороны, в различных ведомствах, вследствие чего обмен данными возможен только на основе межведомственных соглашений.

Разработка нормативной базы функционирования головного центра МНИСиОГ (см. приведенный выше далеко не окончательный перечень необходимых нормативно-правовых документов) позволит создать благоприятные юридические условия для реализации МНИСиОГ ЕСИМО.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Александров В.Н. Политика Роскартографии в области геоинформатики // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации, – 1998. – № 2(14). // <http://www.geomarket.ru/1756.html>
2. ОСТ 68-3.1-98. Стандарт отрасли. Общие требования. – М.: ЦНИИГАиК, 1999.
3. ОСТ 68-3.2-98. Стандарт отрасли. Система классификации и кодирования цифровой картографической информации. Общие требования. – М.: ЦНИИГАиК, 1999.
4. ОСТ 68-3.3-98. Стандарт отрасли. Правила цифрового описания картографической информации. Общие требования. – М.: ЦНИИГАиК, 1999.
5. ОСТ 68-3.4-98. Стандарт отрасли. Требования к качеству цифровых топографических карт. – М.: – ЦНИИГАиК, 1999.
6. ОСТ 68-3.5-99. Стандарт отрасли. Карты цифровые топографические. Обменный формат. Общие требования. – М.: – ЦНИИГАиК, 1999.
7. ОСТ 68-3.6-99. Стандарт отрасли. Карты цифровые топографические. – М.: – ЦНИИГАиК, 1999.
8. Рогачев А.. О разработке отраслевых стандартов Роскартографии в области цифровой картографии // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 1999. – №1(18). // <http://www.geomarket.ru/1763.html>
9. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов / Под ред. А. М. Берлянта и А. В. Кошкарева /. – М.: ГИС-Ассоциация, 1997. – 204 с.
10. Цифровая картография и геоинформатика. Краткий терминологический словарь / Картгеоцентр. – М.: Геодиздат, 1999. – 46 с.
11. Проект ГОСТ: Карты цифровые топографические. Система классификации и кодирования цифровой картографической информации. Общие требования // Материалы пятой конференции «Проблемы ввода и обновления пространственной информации» (Москва, 29 февраля — 3 марта 2000 г.) // <http://www.geomarket.ru>
12. Положение о правительственной комиссии по геоинформационным системам. Правительства РФ от 22 ноября 1997 г. № 1482 Утверждено постановлением // <http://www.consultant.ru>
13. Положение о Министерстве обороны РФ. Утверждено Указом Президента РФ от 11 ноября 1998 г. № 1357 // <http://www.consultant.ru>
14. Положение о Генеральном Штабе Вооруженных Сил РФ. Утверждено Указом Президента РФ от 11 ноября 1998 г. № 1357 // <http://www.consultant.ru>
15. Правила Гидрографической службы № 5. Составление и издание морских карт и карт внутренних водных путей (ПГС № 5). Часть I. Навигационные морские карты и карты внутренних водных путей. Л.: Изд-во ГУНиО МО. – 1989. – 352 с.
16. Положение о снабжении гражданских организаций Советского Союза несекретными изданиями ГУНиО МО Союза ССР. – Л.: Изд-во ГУНиО МО, 1984. – 47 с.
17. Положение о взаимоотношениях между ГУНиО МО и частями центрального подчинения по организации планирования, издания и отправки морских карт, руководств и пособий. – Л.: Изд-во ГУНиО МО, – 1978. – 33 с.

18. Положение о 280 Центральном картографическом производстве Военно-Морского флота. Введено приказом Начальника Главного управления навигации и океанографии МО РФ № 228 25 июня 1999 г. – СПб.: Изд-во ГУНиО МО, – 1999.
19. Условные знаки и сокращения для составления и оформления морских карт и внутренних водных путей. Л.: Изд-во ГУНиО МО, 1985. – 110 с.
20. Подпрограмма «Создание Единой системы информации об обстановке в Мировом океане // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды / Федеральная целевая программ «Мировой океан». – М, 997. – 50 с.

**V. G. Dmitriev, A. B. Oparin, A. M. Abramov**

**On the Normative-Legal Principles of Digital Cartographic Activities in the Unified System of Information on the World Ocean State. Part II**

*The article continues the review of the present-day state of the normative-legal principles of activities in the area of digital cartographic information intended to provide the operation of the Unified State System of Information on the World Ocean State. The problems of standardization, the state of the system of glossaries and classifiers are considered. Special attention is paid to the co-ordination aspects in the area of the digital cartographic information and to the problems of creation of the digital charts and geoinformation systems. The trends of the activities in the area of improvement of the normative-legal support for the operation of the cartographic and descriptive information module of the Unified State System of Information on the World Ocean State are formulated.*

ГРНТИ 551.508.9

**СПОСОБ ОЦЕНКИ БЛИЗОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ ИЗОЛИНИЙ**

**Ю. Н. ЖУКОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Предложен основанный на метрике Хаусдорфа способ оценки близости положения изолиний, полученных различными интерполяционными методами.*

В последнее время для анализа и визуализации геопространственной информации широкое распространение получили ГИС-технологии. Для представления пространственной информации средствами ГИС одним из основных является способ построения изолиний, при этом для построения изолиний полей различной природы используются разнообразные численные методы пространственной интерполяции, разработанные геостатистикой. Поскольку различные интерполяционные алгоритмы дают разное положение изолиний, возникает задача оценки их близости. На основе такой оценки можно определить степень сходства различных карт по степени близости положения изолиний на них.

Задача формулируется следующим образом. Задано фиксированное значение уровня некоторой геопространственной функции и построены для него две различные системы изолиний. Необходимо количественно оценить степень близости этих систем. Причем процедура оценки должна быть легко реализована программными инструментами ГИС.

Отличие данной задачи от разнообразных задач по определению близости (погрешностей) в местоположении каких-либо точек, которые применя-

ются в традиционной картографии, состоит в том, что две сравниваемые изолинии представляют собой два множества точек, и необходимо определить близость между этими двумя множествами. Причем свести оценку близости между положением двух изолиний к оценке близости между двумя точками невозможно, поскольку нет никакого способа найти соответствие между точками рассматриваемых изолиний. Действительно, если на одной изолинии выбрать некоторую точку, то нельзя найти соответствующую ей на другой. Задача осложняется тем, что в общем случае на сравниваемых картах не только положение изолиний фиксированного уровня будет разным, но различно и число изолиний. Кроме того, изолинии, полученные разными интерполяционными процедурами, могут иметь точки пересечения.

Очевидно, что для решения поставленной задачи необходимо использовать понятие «расстояния». Можно попытаться определить «расстояние» между двумя множествами точек изолиний  $A$  и  $B$  как минимальное «расстояние» между точкой множества  $A$  и точкой множества  $B$ , а именно  $d(A, B) = \min_a \min_b d(a, b)$ , где  $a \in A$ ,  $b \in B$  и  $d$  – расстояние, или как максимальное «расстояние»  $d(A, B) = \max_a \max_b d(a, b)$ . При таком определении в

обоих случаях  $d(A, B) = d(B, A)$ . Однако в контексте поставленной задачи применение этих расстояний не имеет смысла. В самом деле, если использовать минимальное расстояние, то при сравнении положения двух изолиний все пересекающиеся хотя бы в одной точке изолинии будут иметь нулевое расстояние между ними, как бы далеко они не расходились в других точках. При использовании максимального расстояния возникает проблема, связанная с тем, что на сферической поверхности Земли между любыми двумя точками существует как минимум два возможных расстояния, определяемых по большой окружности, на которой лежат точки. В случае нескольких изолиний, соответствующих фиксированному уровню, или при разном их количестве оба эти определения не имеют смысла.

С формальной точки зрения, определенные выше «расстояния» не являются «мерой длины». В математике принято вместо выражения «расстояние» (мера длины) использовать термин «метрика», обобщающий и конкретизирующий понятие «меры длины». Для метрики существуют требования (аксиомы), которым она должна удовлетворять. Напомним ее определение. Метрикой на множестве  $X$  называется вещественная функция  $d(x, y)$ , определенная на декартовом произведении  $X \times X$  и удовлетворяющая следующим аксиомам:

- а)  $d(x, y) \geq 0$  для всех  $x, y \in X$ ;
- б)  $d(x, y) = 0$  влечет  $x = y$ ;
- в)  $d(x, y) = d(y, x)$ ;
- г)  $d(A, C) \leq d(A, B) + d(B, C)$  для всех  $x, y, z \in X$  (неравенство треугольника).

Приведенные выше варианты изолиний, для которых невозможно осмысленно оценить степень их близости на основе минимального и макси-

мального расстояния, являются следствием нарушения этих аксиом. В частности, для этих вариантов не выполняется аксиомы (б) и (г).

В нашем случае нельзя использовать и определение расстояния между двумя кривыми, используемое в интегральной геометрии [1]. Оно определяется следующим образом. Пусть  $C_1$  и  $C_2$  – две кривые на плоскости и пусть  $N_1(G)$  и  $N_2(G)$  обозначают число точек, в которых они пересекают произвольную прямую  $G$ . Расстояние между  $C_1$  и  $C_2$  определяется интегралом

$$d(C_1, C_2) = \frac{1}{2} \int |N_1(G) - N_2(G)| dG, \quad (1)$$

взятым по всем прямым на плоскости. Это расстояние неприменимо для решения нашей задачи по двум причинам. Во-первых, оно определено только для двух кривых, тогда как в рассматриваемой задаче изолинии фиксированного уровня могут представлять несколько кривых, а, во-вторых, нельзя конструктивно вычислить интеграл (1).

Расстоянием, удовлетворяющим условиям нашей задачи, является метрика Хаусдорфа. Эта метрика определяет расстояния между двумя множествами точек, причем для нее не существует ограничений ни на число сравниваемых кривых, ни на их расположение относительно друг друга.

Метрика Хаусдорфа определяется следующим образом [2]. Определим расстояние между некоторой точкой и множеством точек изолинии  $A$  в виде (рис. 1)

$$d_h(x, A) = \min \{ \|x - y\| : y \in A \}. \quad (2)$$

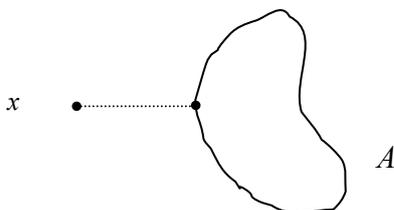


Рис. 1. К определению расстояния  $d_h(x, A)$

Здесь  $\|\bullet\|$  означает какое-либо расстояние между двумя точками, например обычное евклидово расстояние или расстояние, определяемое на сфере и т. д. Строго говоря, следует использовать  $\inf$  вместо  $\min$  в определении (2). Однако, так как множество точек изолинии является компактным, то  $\inf \{ \|x - y\| : y \in A \}$  фактически означает то же самое, что и  $\min \{ \|x - y\| : y \in A \}$ .

Обобщим понятие расстояния от точки  $x$  до множества точек изолинии  $A$ . Определим расстояние между двумя компактными множествами  $A$  и  $B$  следующим образом (рис. 2):

$$d_H(A, B) = \max \{ d(x, B) : x \in A \}. \quad (3)$$

Строго говоря, следует использовать  $\sup$  вместо  $\max$ , но вследствие того, что оба множества компактны, корректно использование  $\max$ .

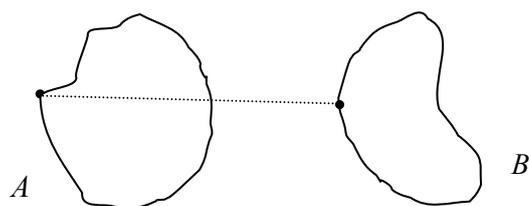


Рис. 2. К определению расстояния  $d_H(A, B)$

Естественно задать вопрос: является ли расстояние  $d_H(A, B)$  метрикой? Очевидно, нет. В частности, если  $A \subset B$ , причем  $A \neq B$ , то  $d_H(A, B) = 0$ , что нарушает аксиому метрики (б). Более того, так определенное расстояние не является симметричным  $d_H(A, B) \neq d_H(B, A)$ .

Чтобы получить метрику, необходимо использовать комбинацию расстояний  $d_H(A, B)$  и  $d_H(B, A)$ , заданных выражением (3). Это и будет определение метрики Хаусдорфа (рис. 3)

$$H(A, B) = \max\{d_H(A, B), d_H(B, A)\}. \quad (4)$$

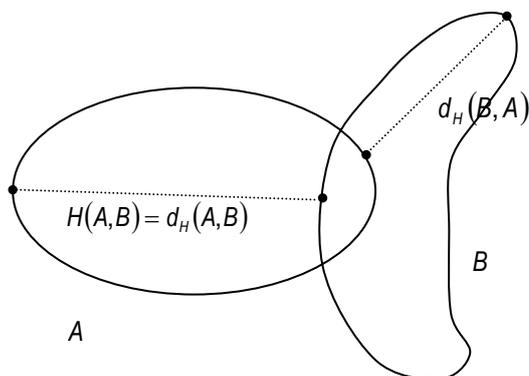


Рис. 3. Метрика Хаусдорфа  $H(A, B)$

На практике прямое использование выражения (4) для вычисления близости между двумя множествами затруднительно. Однако можно построить конструктивное выражение для метрики Хаусдорфа, основанное на понятии дилатации (расширения) [3]. Оно будет тождественно выражению (4).

Для заданного множества точек изолинии  $A$  и радиуса  $r > 0$  дилатация  $A$  радиуса  $r$ , обозначается как  $A + r$ . Она определяется как векторная сумма  $A + \bar{E}_r(0)$ , где  $\bar{E}_r(0)$  – замкнутый круг радиуса  $r$  с центром в начале координат (рис. 4). Это можно записать в следующем эквивалентном виде:

$$A + r = \cup\{\bar{E}_r(x) : x \in A\}. \quad (5)$$

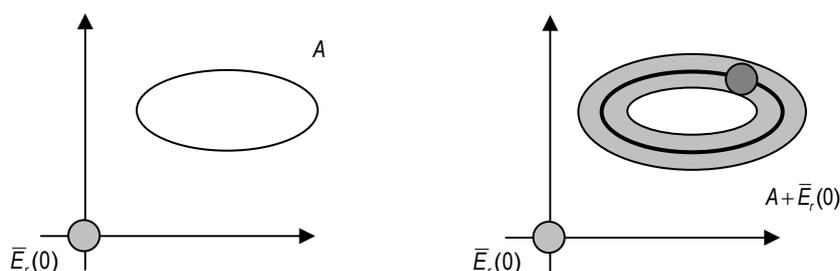


Рис. 4. Векторная сумма множеств

Используя (5), приведем выражение (4) к виду

$$H(A, B) = \min\{r > 0 : A \subset B + r \text{ и } B \subset A + r\}. \quad (6)$$

Выражение (6) является искомым определением меры близости между двумя системами изолиний, которое легко поддается численной оценке.

Приведем пример. Пусть  $A$  и  $B$  – эллипсы (рис. 5):

$$\frac{x^2}{4} + 4y^2 = 1 \text{ и } 4(x-2)^2 + \frac{y^2}{4} = 1.$$

Видно, что наименьшее  $r$ , при котором  $A \subset B + r$  и  $B \subset A + r$ , составляет  $r = 3.5$ . Поэтому  $H(A, B) = 3.5$ .  $A$

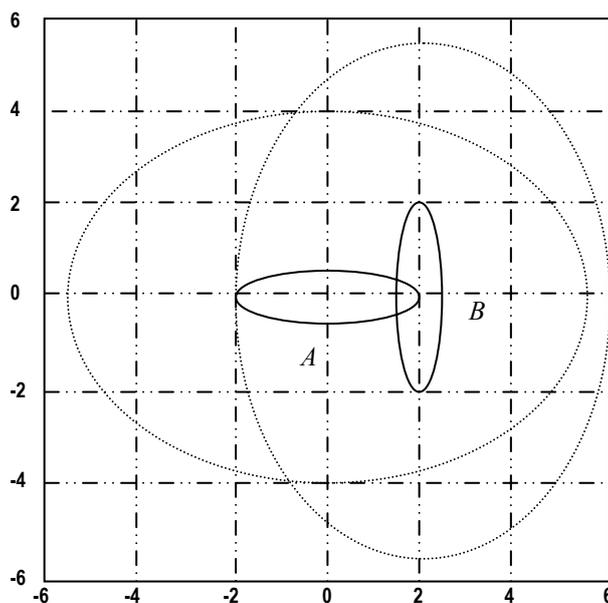


Рис. 5. Пример определения метрики Хаусдорфа через дилатации

В случае представления изолиний  $A$  и  $B$  дискретным набором точек для вычисления метрики Хаусдорфа используется построение диаграммы Вороного [4]. Такой алгоритм требует времени пропорционально  $N \log N$ , где  $N$  – число точек. Для ситуации, когда точки изолиний являются вершинами

выпуклого или простого многоугольника, существует более быстрый алгоритм предложенный Аталла [5]. Этот алгоритм имеет время выполнения пропорциональное  $N$ .

Наиболее просто оценка метрики Хаусдорфа проводится средствами ГИС. В этих системах оценка метрики Хаусдорфа реализуется стандартными средствами, включенными во всех современных ГИС. Инструментом построения векторного произведения (5) в ГИС являются инструменты буферизации с заданным расстоянием  $r$ , а инструментом вычисления включений  $A \subset B+r$  и  $B \subset A+r$  являются стандартные средства пространственного поиска. Единственное, что требуется для оценки метрики Хаусдорфа, – организовать циклическое выполнение этих двух стандартных операций для поиска минимального значения  $r$  в выражении (6). Это можно сделать, используя внутренние языки программирования. Так, например, в ГИС ArcView 3.2 это реализуется на внутреннем языке Avenue.

Таким образом, поставленная задача решена. Найден способ оценки близости двух систем изолиний. В основе этого способа лежит метрика Хаусдорфа, которая позволяет получить простые алгоритмы вычисления близости изолиний с использованием стандартных инструментов ГИС. Этот способ неприменим в единственном случае, когда при интерполировании одним способом изолинии фиксированного уровня присутствуют, а при интерполировании другим изолиний для этого уровня нет.

Предложенный способ может быть положен в основу разработки способа оценки точности положения изолинии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сантало Л. Интегральная геометрия и геометрические вероятности. – М.: Наука, 1983. – 358 с.
2. Хаусдорф Ф. Теория множеств. – М.-Л.: ОНТИ, 1937. – 445 с.
3. Амбарцумян Р. В., Меллу Й., Штойян Д. Введение в стохастическую геометрию. – М.: Наука, 1989. – 400 с.
4. Препарата Ф., Шеймос М. Вычислительная геометрия. – М.: Мир, 1989. – 478 с.
5. Atallah M.J. A linear time algorithm for the Hausdorff distance between convex polygons. // Info. Proc. Lett. 8. – Nov. 1983. – P. 207 – 209.

**Y. N. Zhukov**

#### The Method of Evaluating the Closeness of Isolines

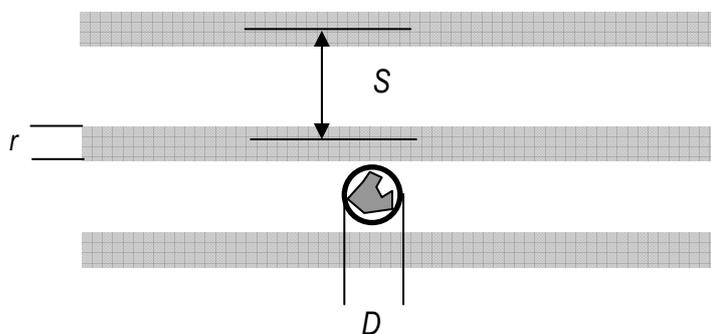
*The method of evaluating the closeness of isolines, obtained by different interpolation methods is proposed. The method is based on Hausdorff metric.*

**ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ****Ю. Н. ЖУКОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Предложена оценка вероятности обнаружения подводных объектов при поиске их на параллельных галсах, которая может быть использована для определения эффективности поиска подводных затонувших объектов и подводных навигационных опасностей.*

Обнаружение подводных объектов – важная народнохозяйственная проблема. В ее круг входят задачи обнаружения подводных навигационных опасностей и затопленных опасных объектов. Обычно они решаются с использованием надводных судов с гидроакустической аппаратурой, а сканирование морского дна осуществляется при движении судов параллельными галсами. В этой статье предлагается способ оценки вероятности обнаружения подводных объектов при указанной стратегии их поиска.

Представим рассматриваемую задачу в геометрической постановке. На рис. 1 схематически изображен район с подводным объектом, который необходимо обнаружить. Местоположение искомого объекта в районе поиска неизвестно. Траектории движения поисковых судов на галсах представим в виде параллельных полос, расположенных на равном расстоянии  $S$  друг от друга. Ширина полосы  $r$  соответствует ширине луча гидроакустической аппаратуры у дна. Искомый объект по своим габаритам вписывается в окружность некоторого диаметра  $D$ , причем  $D \leq S$ . Предположим, что объект будет обнаружен, если полоса гидроакустического луча пересечет область окружности, описанной вокруг объекта. При такой постановке наша задача сведется к нахождению вероятности пересечения полосой случайно расположенной окружности на плоскости.



**Рис. 1. Схема обнаружения подводного объекта (объяснения в тексте)**

В данной задаче случайными элементами являются не числа, а геометрические объекты (полосы и окружности), то есть она является чисто геометрической. Поэтому для ее решения необходимо использовать теорию геометрических вероятностей.

В теории вероятностей обычно рассматриваются случайные переменные, которые являются числами (или системами чисел) и принимают значения из некоторого множества, где определена неотрицательная мера. В теории геометрических вероятностей случайными элементами являются геометрические объекты. Способ приписывания меры таким элементам не всегда вполне очевиден. Вообще для определения распределения геометрического объекта сначала нужно выбрать систему координат, которые определяют объект единственным образом, а затем определить вероятностное распределение в области их изменения.

Плотность множества полос определяется следующим образом [1]. Под полосой ширины  $r$  понимается замкнутая часть плоскости, состоящая из всех точек, лежащих между двумя параллельными прямыми на расстоянии  $r$  друг от друга. Обозначим полосу буквой  $B$ . Положение полосы  $B$  может быть определено положением ее средней линии. Принимая  $p, \varphi$  за координаты такой прямой, получим, что плотность  $dB$  для множества полос фиксированной ширины будет равна (рис. 2)

$$dB = dp \wedge d\varphi. \quad (1)$$

Здесь символ  $\wedge$  означает операцию внешнего произведения. Плотность (1) является единственной плотностью с точностью до постоянного множителя, так как она инвариантна относительно группы движений плоскости.

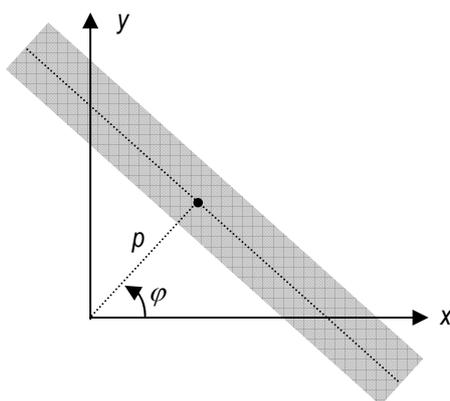


Рис. 2. Параметризация прямой на плоскости

Тем самым мы ввели параметры  $p, \varphi$  на многообразии полос, причем очевидно, что одна и та же полоса отвечает параметрам  $p, \varphi$  и  $p', \varphi'$  тогда и только тогда, когда  $p' = (-1)^k p$ ,  $\varphi' = \varphi + \pi k$ ,  $k$  – целое положительное. Эта параметризация показывает, что многообразие полос на плоскости получается из бесконечного кругового цилиндра с цилиндрическими координатами  $p, \varphi$  отождествлением точек  $p, \varphi$  и  $-p, \varphi + \pi$ .

Определим меру множества полос, пересекающих выпуклое множество. Пусть  $K$  – ограниченное выпуклое множество. Если  $B$  пересекает  $K$ , то средняя линия  $B$  пересекает параллельное множество  $K_{r/2}$  на расстоянии

$r/2$  от  $K$ . Обратно, если средняя линия  $B$  пересекает  $K_{r/2}$ , то  $B$  пересекает  $K$ . Следовательно, получим, что мера множества полос ширины  $r$ , пересекающих выпуклое множество  $K$ , равна

$$m(B; B \cap K \neq \emptyset) = \int_{B \cap K \neq \emptyset} dB = \int_{B \cap K \neq \emptyset} dp \wedge d\varphi = L + \pi r, \quad (2)$$

где  $L$  есть периметр  $K$ .

Этот результат дает возможность определить вероятность того, что в районе поиска полоса обзора пересечет искомый объект. Пусть  $K_1$  – выпуклое множество, представляющее объект, содержится в ограниченном выпуклом множестве  $K$ , представляющее район поиска. Из (2) следует, что вероятность того что случайная полоса ширины  $r$ , пересекающая  $K$ , пересечет  $K_1$ , равна

$$p = \frac{L_1 + \pi r}{L + \pi r}, \quad (3)$$

где  $L_1$  и  $L$  – периметры множеств  $K_1$  и  $K$  соответственно.

Если диаметр  $K_1$  меньше или равен  $r$ , то вероятность того что полоса  $B$  содержит  $K_1$ , равна

$$p = \frac{\pi r - L_1}{\pi r + L}. \quad (4)$$

Если  $K_1$  сводится к точке, то в (4) надо положить  $L_1 = 0$ .

Таким образом, получены выражения для оценки вероятности обнаружения объекта при пересечении района поиска одним галсом. Графики для выражений (3) и (4) представлены на рис. 3 и 4 соответственно. Теперь определим вероятность обнаружения объекта для нескольких галсов. Для этого вместо предположения, что  $K$  фиксировано и полоса  $B$  выбирается случайно, предположим, что множество  $K$  вместе с множеством  $K_1$  расположено случайно на плоскости, разлинованной параллельными полосами  $B$  на расстоянии  $S$  друг от друга (рис. 1). Тогда  $K$  пересечет одну и только одну полосу (кроме касательных положений меры нуль), и вероятность того что  $K_1$  пересечет какую-нибудь полосу, дается формулой (3). Учитывая, что  $L_1 = \pi D$ , получим

$$p = \frac{D + r}{S + r}. \quad (5)$$

Ясно, что наличие множества  $K$  не является необходимым. Поэтому можно утверждать, что если выпуклое множество  $K_1$  диаметра  $D \leq S$  и периметра  $L_1$  расположено случайно на плоскости, вероятность того, что оно пересечет полосу определяется выражением (5). График для него представлен на рис. 5.

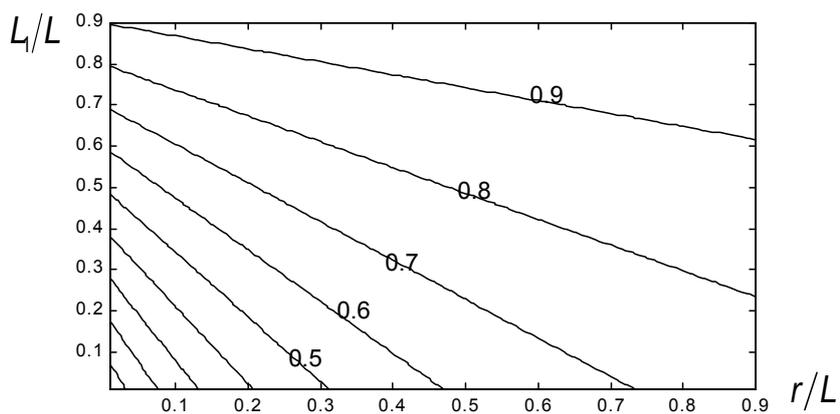


Рис. 3. График  $p$  для уравнения (3)

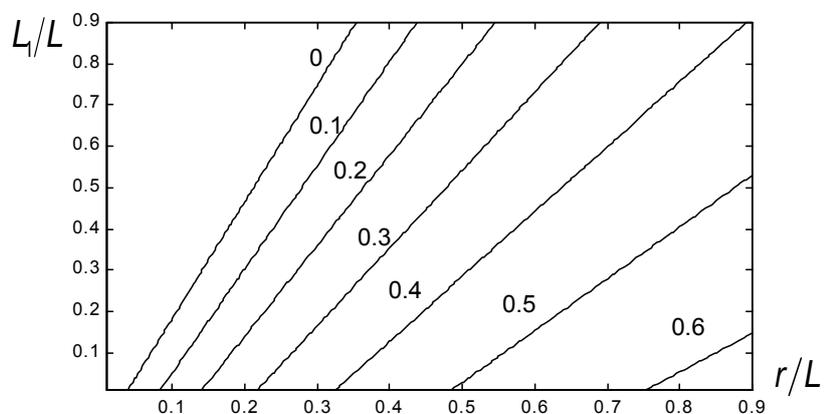


Рис. 4. График  $p$  для уравнения (4)

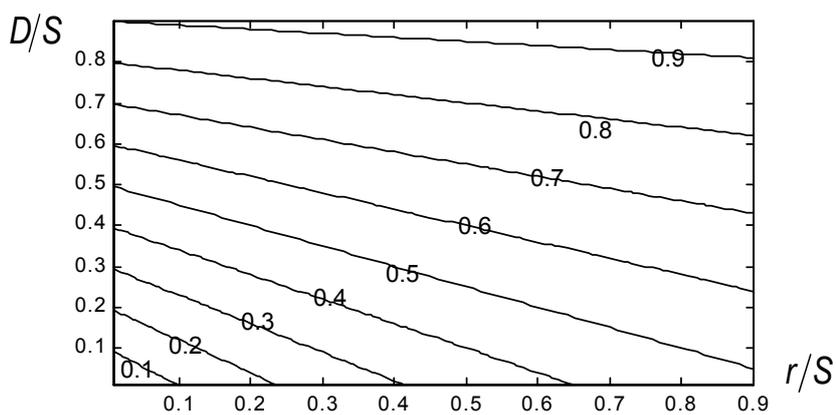


Рис. 5. График  $p$  для уравнения (5)

Из графика на рис. 5 следует, что вероятность обнаружения подводного объекта медленно растет с увеличением полосы обзора гидроакустического средства.

Таким образом, получено выражение для оценки вероятности обнаружения подводного объекта при проведении поиска параллельными галсами. Полученная оценка может быть использована для определения эффективности работ по поиску подводных затонувших объектов и подводных навигационных опасностей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сантало Л. А. Введение в интегральную геометрию. – М.: ИЛ, 1956. – 183 с.

**Y. N. Zhukov**

#### Evaluation of the Detection Probability of Underwater Objects

*The evaluation of the detection probability of underwater objects when searching for them on parallel tracks is proposed. It can be used to determine the effectiveness of the search operations of the underwater sunken objects and submarine dangers to navigation.*

---

# ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ОКЕАНОГРАФИЯ

---

---

ГРНТИ 78.21.43.15

## **ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ СОЗДАНИИ ЭЛЕКТРОННОГО АТЛАСА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

**БРАХИМ БЕНРИГХИ**  
(ВМА им. Н. Г. Кузнецова),  
**С. П. ДЕМИН,**  
**Д. А. ШУМАХЕР**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Показана возможность практического использования ГИС ArcView при создании атласа гидрометеорологических параметров. Рассмотрены перспективы дальнейшего использования ГИС в этом направлении.*

Одной из основных задач разработчиков информационных систем является представление информации в форме, удобной для анализа и принятия тех или иных решений [1]. Особую сложность представляет анализ пространственно распределенной информации, в том числе гидрометеорологической. В последнее время для этих целей широко используются так называемые географические информационные системы (ГИС).

ГИС успешно используются во многих отраслях деятельности, в том числе и в гидрометеорологии [1, 2]. С использованием одной из наиболее популярных ГИС ArcView v.3.2 был подготовлен макет электронного атласа гидрометеорологических параметров на примере Северной Атлантики.

Поскольку основой любой ГИС является совокупность массивов пространственно привязанной информации, то на первом этапе создания макета электронного атласа гидрометеорологических параметров были разработаны структура и содержание соответствующей базы данных.

Положение объекта на водной поверхности можно описать тремя параметрами: географической широтой, долготой и глубиной места в точке. Все другие характеристики водной и воздушной среды обязательно связаны с временным параметром (сезон, месяц, заданный промежуток, дата и др.).

Наиболее важными для учета влияния на эффективность действий сил флота являются облачность, температура воды и воздуха, волнение, ледовые условия, наличие гидрологических фронтов и прозрачность воды.

Исходя из перечисленных обстоятельств предлагается в качестве основы базы данных для составления цифровой модели природной среды использовать таблицу в формате СУБД dBase, имеющей структуру, приведенную на рис. 1.

База данных цифровой модели Среды

Сезонные характеристики для точки | Гидрологические характеристики по слоям | Метеорологические характеристики по слоям

	Облачность, баллы	Волнение, баллы	Наличие льда (1-да, 0-нет)	Наличие фронта (1-да, 0-нет)	Прозрачность воды, м
Январь					
Февраль					
Март					
Апрель					
Май					
Июнь					
Июль			0	1	0
Август					
Сентябрь					
Октябрь					
Ноябрь					
Декабрь					

ПЕРЕЧЕНЬ ТОЧЕК ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ

Номер точки	Ш-градусы	Ш-минуты	Ш-секунды	Д-градусы	Д-минуты	Д-секунды	Глубина, м	Тип грунта
1	77			-19				
2	77			-17				
3	77			-15				
4	77			-13				
5	77			-11				
6	77			-9				

Рис. 1. Содержание базы данных по общим характеристикам точек

Помимо изменчивости во времени, в каждой точке водной поверхности гидрологические параметры изменяются в зависимости от горизонта (глубины). При производстве океанографических исследований используются следующие стандартные горизонты для производства систематических измерений гидрологических параметров водной среды: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 750, 800, 1000, 1200, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000, 10000 метров.

К основным параметрам, которые измеряются или рассчитываются по измеренным, относятся следующие:

- температура воды;
- градиент температуры воды по глубине;
- соленость воды;
- градиент солености воды по глубине;
- электропроводность воды;
- градиент электропроводности воды по глубине;
- направление течения;
- скорость течения;
- градиент скорости течения по глубине;
- скорость звука в воде;
- градиент скорости звука в воде по глубине;
- плотность воды;
- градиент плотности воды по глубине.

Для каждого из 13 перечисленных гидрологических параметров, для каждого стандартного горизонта наблюдения (максимальное число горизонтов – 38) и для каждого месяца предлагается составить таблицу в формате dBase, связав каждую из таких таблиц по ключевому полю – коду точки. В качестве кода точки можно использовать либо общий порядковый номер записи координат точки, либо специальную кодировку.

На рис. 2 приведены структура и содержание базы данных по гидрологическим характеристикам точек водной среды. В нижней части рис. 2 приводится основная таблица базы данных для ориентировки пользователя при вводе информации.

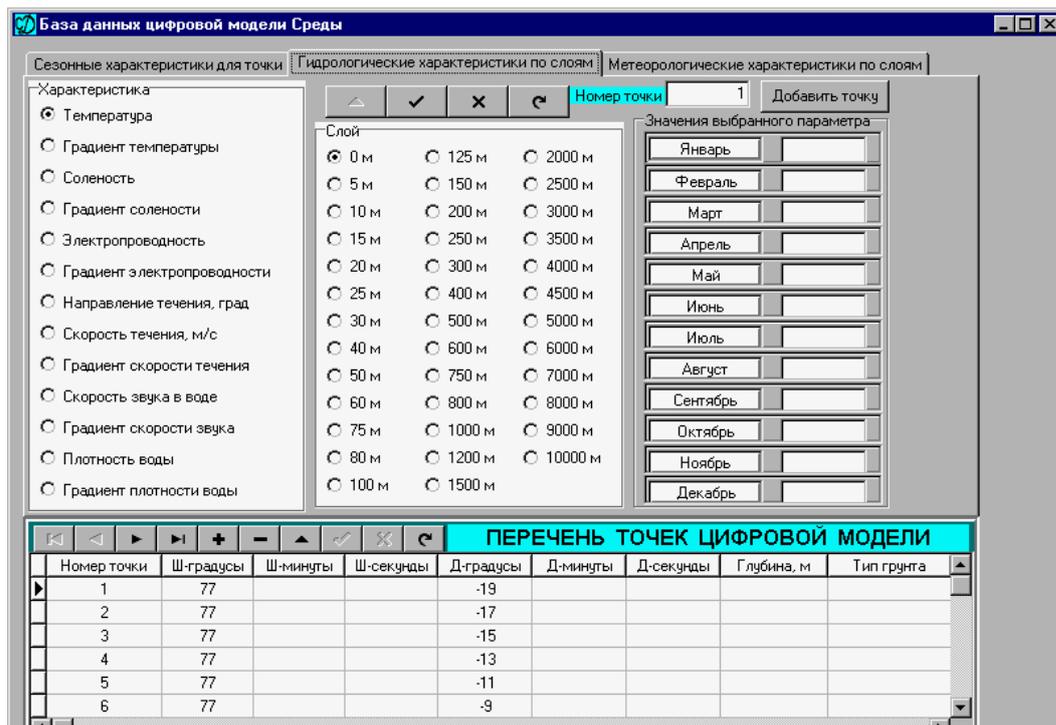


Рис. 2. Содержание базы данных гидрологических характеристик точек

К основным метеорологическим характеристикам, также имеющим значительную пространственную и временную изменчивость, можно отнести следующие:

- атмосферное давление;
- температура воздуха;
- влажность воздуха;
- направление ветра;
- скорость ветра.

Значения метеорологических элементов также получают в результате измерений для различных высот (слоев) над ровной поверхностью таких слоев 13:

- слой 1000 гектопаскалей (приблизительно 0 км);
- слой 850 гектопаскалей (приблизительно 1,5 км);

- слой 700 гектопаскалей (приблизительно 3 км);
- слой 500 гектопаскалей (приблизительно 5 км);
- слой 400 гектопаскалей (приблизительно 7 км);
- слой 300 гектопаскалей (приблизительно 9 км);
- слой 200 гектопаскалей (приблизительно 12 км);
- слой 150 гектопаскалей (приблизительно 14 км);
- слой 100 гектопаскалей (приблизительно 16 км);
- слой 50 гектопаскалей (приблизительно 20 км);
- слой 30 гектопаскалей (приблизительно 24 км);
- слой 20 гектопаскалей (приблизительно 28 км);
- слой 10 гектопаскалей (приблизительно 32 км).

Перечисленные характеристики по аналогии с гидрологическими можно свести в таблицы формата dBase. На рис. 3 приведены структура и содержание базы данных по метеорологическим характеристикам точек водной среды.

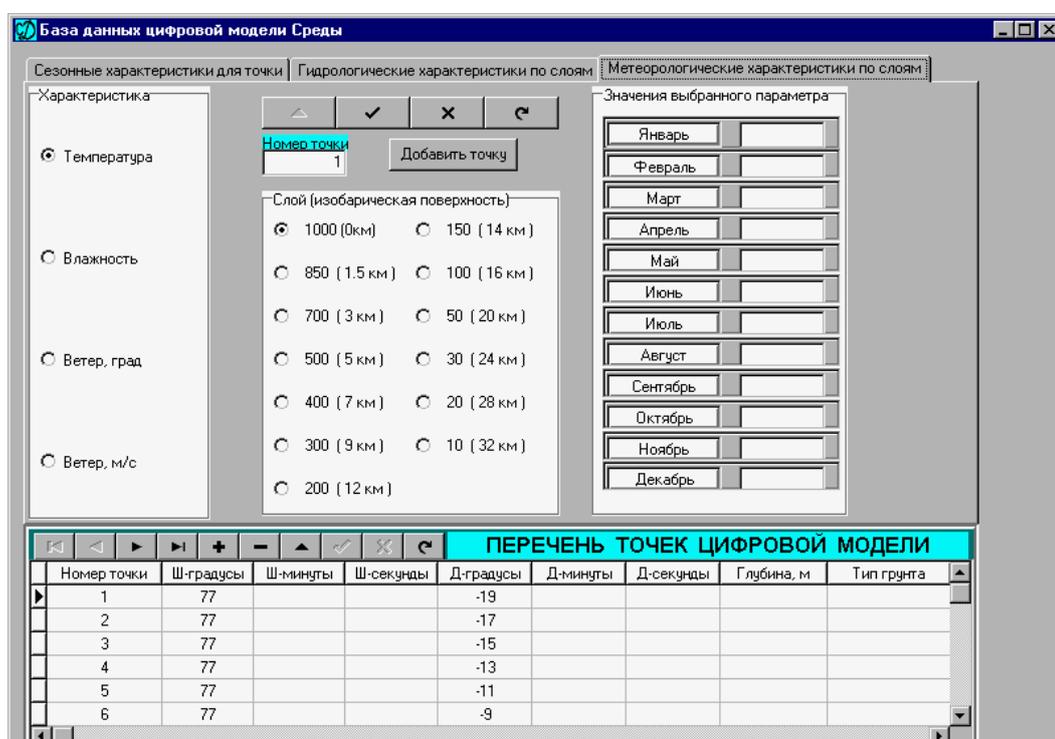


Рис. 3. Содержание базы данных метеорологических характеристик точек

В нижней части рис. 3 так же, как и для блока данных по гидрологическим характеристикам, приводится основная таблица базы данных для ориентировки пользователя при вводе информации. Так, для района Северной Атлантики, ограниченного по долготе от 20 W до 50 E градусов и по широте от 66 N до 77 N градусов, при разбиении его интервалами 1 градус по широте и 2 градуса по долготе, количество узловых точек составит 420.

Созданная подобным образом база данных может быть использована без каких-либо изменений для работы в программной среде ГИС ArcView, для визуализации необходимой пользователю информации.

С помощью встроенного модуля ГИС Spatial Analyst были дополнительно определены пространственные взаимосвязи данных, смоделированы rasterные данные, получены путем расчетов новые слои информации. В дальнейшем с помощью модуля Internet Map Server, можно опубликовать данные на своих WEB-сайтах, а также распространять их по сети Internet.

В созданном электронном атласе имеются следующие слои информации:

- береговая линия (страны);
- точки наблюдения;
- волнение моря;
- ледовые условия (кромка льда);
- температура воды на горизонтах 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300 метров;
- соленость морской воды на горизонтах 0, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300 метров.

Планируется включение метеорологической информации.

Информация о координатах узловых точек (центров квадратов) имеется в dbf-файле. Этот файл добавляется в проект как тема событий, что позволяет по значениям полей «широта» и «долгота» отображать данные в виде точек в географической системе координат (при желании данные могут быть представлены в другой проекции). Далее, к этой атрибутивной таблице по номеру точки присоединяются таблицы с данными о температуре и солёности морской воды (или другими параметрами), которые содержатся в соответствующих dbf-файлах. К атрибутивной таблице можно будет также присоединять таблицы с расчетными данными, где соответствующие табличные поля рассчитываются с помощью математических формул, а также информации, содержащейся в других полях (для заданной узловой точки).

По точкам созданного слоя температуры и солёности (или другого параметра) на каком-либо горизонте можно:

- классифицировать значения температуры или солёности в точках, используя различные методы (метод естественных границ, метод квантилей, метод равных интервалов, метод стандартного отклонения и др.) с целью выявления закономерностей в исходных данных (рис. 4);
- привязать текстовый файл или рисунок (например схему кильватерного следа в данном квадрате), открывающийся при нажатии кнопки «горячая связь»;
- строить графики вертикального распределения гидрометеорологического параметра в выбранной точке или в нескольких точках одновременно (рис. 5);
- интерполировать поверхность слоя в виде полигона различными методами (метод взвешенных расстояний, сплайн) (рис. 6).

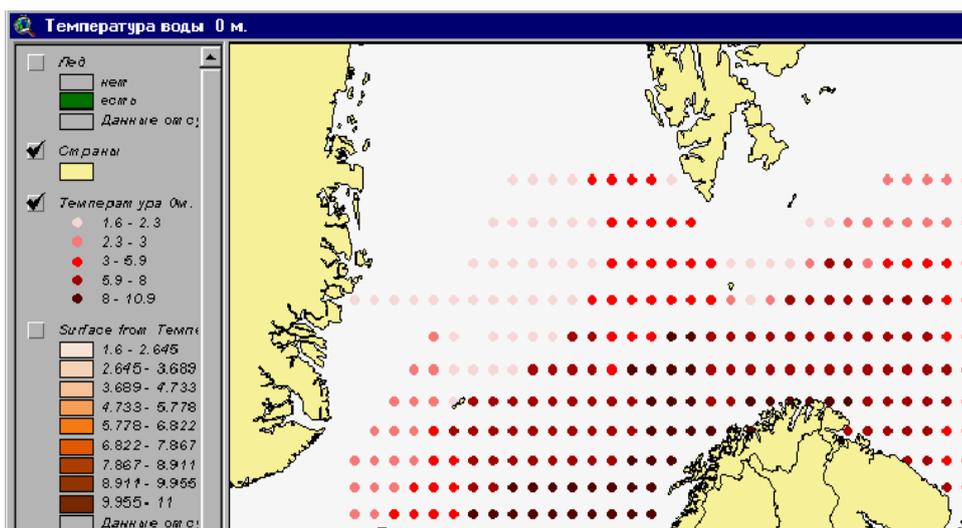


Рис. 4. Классификация значений температуры воды на поверхности

Интерполяция поверхности позволяет вычислить значения всех ячеек раstra по значениям ограниченного числа исходных точек. По-видимому, данный метод можно будет использовать для восстановления гидрометеорологических полей при ограниченном количестве наблюдений. По растровой картине (рис. 6) визуальнo выявляется наличие фронтальных зон в районе и определяется значение параметра в любой выбранной точке при указании на эту точку «мышью». Затем, указав шаг, можно построить карту изолиний этого гидрометеорологического параметра.

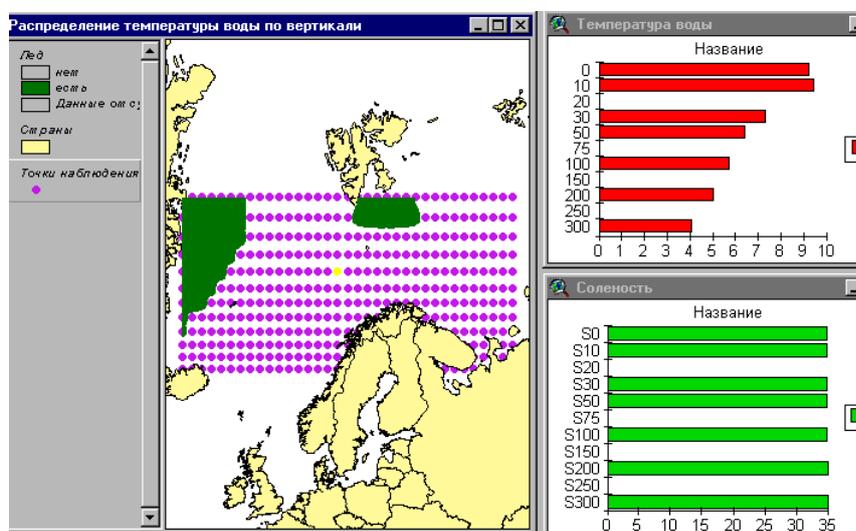


Рис. 5. Графики вертикального распределения температуры и солености морской воды на стандартных горизонтах в выбранной точке (бледно окрашенные)

Используя созданные различными методами интерполяции поверхностей гриды, представляющие модели непрерывного пространственного распределения гидрометеорологических параметров (рис. 6), можно построить

растровую картину градиентов этого параметра. В частности, на рис. 7 представлены зоны различных горизонтальных градиентов температуры воды на поверхности (максимальные окрашены), вычисленные по данным рис. 6. Таким образом, данный метод позволяет выявлять не только фронтальные зоны, но и зоны наибольших градиентов гидрометеорологических параметров.

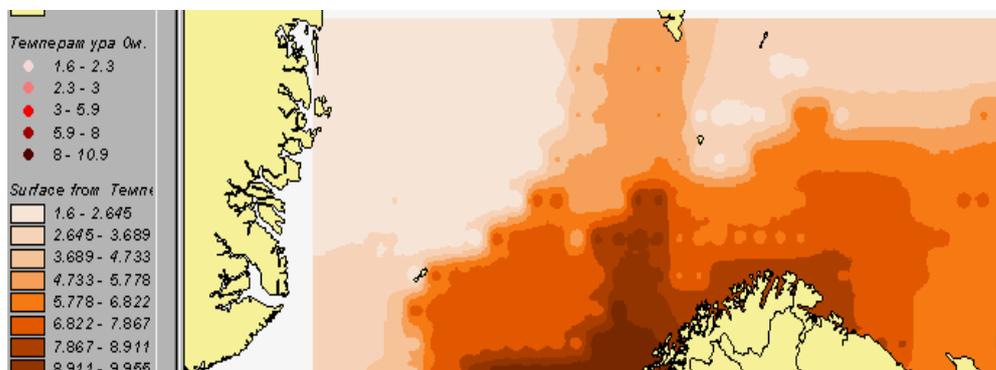


Рис. 6. Интерполяция поверхности температуры воды на горизонте 0 метров

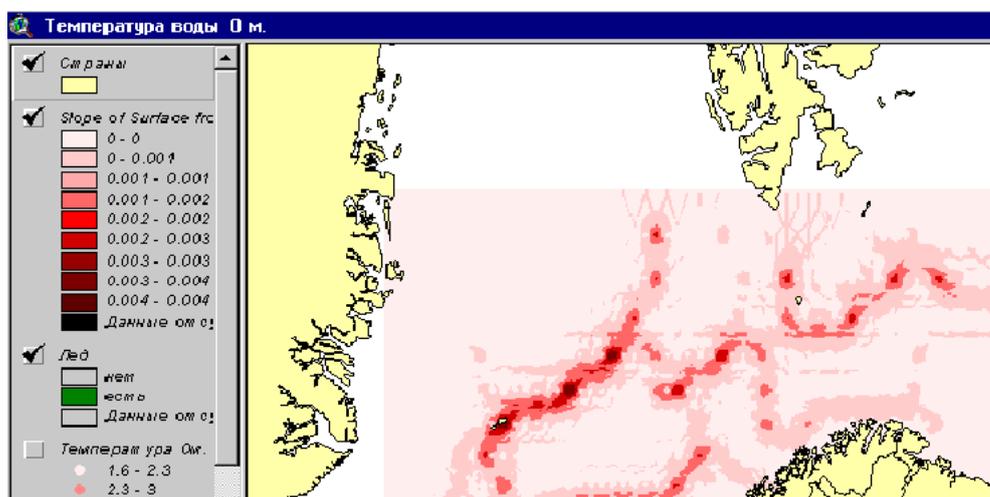


Рис. 7. Зоны наибольших градиентов температуры воды на поверхности

### Заключение

Использование данного подхода позволит значительно сократить время на создание цифровых гидрометеорологических карт, используя уже созданные базы данных гидрометеорологических параметров практически в любом формате. Отсутствующая информация может быть получена методами интерполяции поверхностей по имеющимся наблюдениям. Слои распределения гидрометеорологических параметров, их градиенты и изолинии могут быть созданы аналитически, без трудоемкого процесса оцифровки картографического материала. ГИС целесообразно использовать и для отображения результатов решения сложных расчетных задач моделирования и прогнозирования. Возможности ГИС позволяют подготовить предложения для принятия решений при долгосрочном планировании тех или иных мероприятий на основе анализа гидрометеорологической информации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мاستрюков С. И., Шумахер Д. А., Кильдюшевский Ю. И. Макет электронного атласа гидрометеорологического режима Баренцева моря // Навигация и гидрография. – 1997. – N 5. – С. 79–84.
2. Шумахер Д. А. Об использовании геоинформационных систем в гидрометеорологии // Записки по гидрографии. – 2000. – N 247. – С. 52–56.

**Brahim Benrighi, S. P. Demin, D. A. Shumakher**

On Employment of Geoinformation Systems when Creating the Atlas of Hydrometeorological Parameters

*The possibility to use the GIS ArcView when creating the atlas of hydrometeorological parameters is shown. The prospects of further employment of GIS in this direction are considered.*

ГРНТИ 551.508.9

**ВОЛНОВОЙ АСПЕКТ ПРОБЛЕМЫ ПРИЛИВОВ**

**Ю. Н. ЖУКОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Проведен кинематический анализ пространственного распределения приливных колебаний в Белом море по данным альтиметрических измерений со спутника Торех/Poseidon за 1993–2000 гг. На основе полученных результатов исследуется применимость волновой модели к описанию пространственного распределения приливных колебаний.*

При проведении гидрографических работ необходимо иметь сведения о распределении приливных колебаний на открытых акваториях. В настоящее время единственной информацией о пространственном распределении приливных колебаний является альтиметрическая. Автором статьи с использованием разработанного им метода [1] были проведены оценки фаз приливных колебаний в подспутниковых точках измерения спутника Торех/Poseidon за 1993–2000 гг. (рис. 1). На основе этих оценок получены оценки фазовой скорости приливных колебаний на акватории Белого моря. Последние, в свою очередь, были сопоставлены с оценками, традиционно получаемыми на основе теории длинных волн на мелкой воде, которая широко используется в приливных моделях. Как оказалось, расхождения между ними настолько велики, что необходимо было найти объяснение этому факту. Проведенный анализ показал, что существуют логические ошибки при прямой интерпретации приливных колебаний как волн на воде.

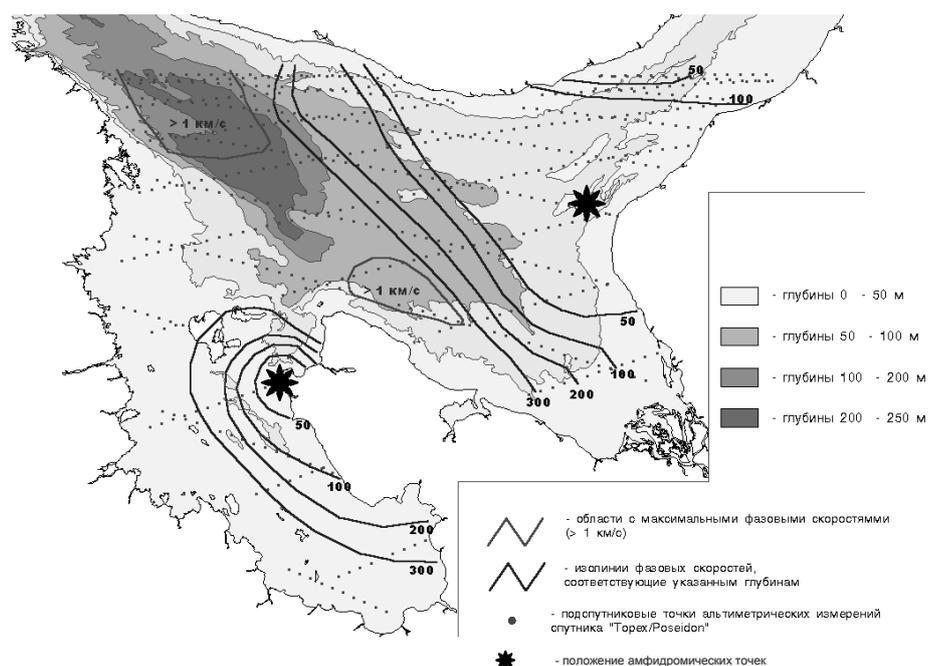
Фазовая скорость является одной из основных кинематических характеристик в теории волн. Для приливных колебаний оценка ее по пространственному полю значений фазы прилива в некоторый момент времени осуществляется [2] по формуле

$$\frac{1}{grad[\Phi(x,y)]}, \quad (1)$$

где  $\Phi(x, y)$  – фаза приливных колебаний в пространственной точке с координатами  $(x, y)$  в фиксированный момент времени. На рис. 1 представлены изолинии для рассчитанного поля модуля фазовой скорости. Положение изолиний свидетельствует об очень малых фазовых скоростях в областях, где расположены амфидромические точки. С удалением от этих точек фазовые скорости закономерно возрастают. В самой точке фазовая скорость равна нулю. Вблизи амфидромических точек фазовые скорости незначительны, что объясняется большими градиентами в поле фаз приливных колебаний в данной области. Увеличение фазовых скоростей при радиальном удалении от амфидромических точек является следствием уменьшения градиентов фазы в поле приливных колебаний при удалении от амфидромических точек. Однако вызывает удивление то, что абсолютные значения фазовых скоростей меняются от нулевых значений до значений в несколько тысяч (!) километров в секунду (рис. 1), тогда как в теории фазовая скорость длинных волн на мелкой воде должна быть сравнима по порядку с характеристической скоростью  $\sqrt{gH}$ , где  $g$  – ускорение свободного падения,  $H$  – глубина места [2, 3]. Другими словами, положения изолиний модуля фазовых скоростей приливных колебаний должны быть близки к положению соответствующих изобат. На рис. 1 приведены изолинии модуля фазовых скоростей, соответствующих 50 -, 100 -, 200 -, и 300-метровым глубинам, и изобаты для этих глубин. Соответствие между ними далеко не полное.

В тоже время из теории длинных гравитационных волн следует, что локально возникающее возмущение водной поверхности и поток энергии, связанный с ним, не могут распространяться со скоростью, превышающей характеристическую скорость  $\sqrt{gh}$ . Даже в случае «бора», где отказ от гипотезы непрерывности приводит к несколько завышенному значению скорости, последняя все же сохраняет тот же порядок величины [2].

Различие между теоретическими и наблюдаемыми значениями модуля фазовых скоростей можно обнаружить, если воспользоваться любой приливной картой, на которой имеются амфидромические точки. Первая такая карта была построена Уэллом (W. Whewell) в 1836 г. для Северного моря [4]. Однако на это никто не обратил внимания, и исторически превышение фазовых скоростей над теоретическими значениями было обнаружено только в начале 20 века в экспедиции «Мод». То, что модули фазовых скоростей в Арктическом океане, по данным экспедиции «Мод», превышают  $\sqrt{gH}$ , было сначала воспринято как ересь. Объяснение различия между наблюдениями и теорией Свердруп (Sverdrup) [5] искал в области влияния силы Кориолиса на приливные колебания. Однако учет сил Кориолиса не позволяет объяснить наблюдаемые «космические» значения фазовых скоростей. В современных публикациях этот вопрос не обсуждается, хотя противоречие не разрешено.



**Рис. 1.** Карта распределения фазовых скоростей приливных колебаний уровня в Белом море по данным альтиметрических измерений спутника «Торех/Poseidon»

На наш взгляд, решение проблемы сводится к выяснению применимости понятий теории длинных гравитационных волн к приливным колебаниям.

Понятие «скорость» возникло и используется для описания движения «частицы». Оно является совершенно четким и имеет смысл только при том условии, что существует возможность отождествления частицы во времени, т. е. при перемещении частицы в пространстве мы можем утверждать, что это та же самая частица. При распространении волны мы имеем дело с перемещением не частицы, а состояния. В волновых теориях под состоянием традиционно понимают форму волны. Поэтому для использования понятия скорости по отношению к форме волны необходимо, чтобы последняя мало менялась при распространении на расстоянии не менее одной длины волны. Иначе нельзя ее идентифицировать при перемещении. Оценки длин приливных волн дают значения в сотни километров. Для корректного введения скорости по отношению к приливным волнам необходимо, чтобы на интервале приблизительно в тысячу километров форма приливной волны оставалась практически неизменной. Но даже береговые наблюдения за приливами противоречат этому. Приливные колебания изменяются вдоль побережья на масштабах в десятки километров. Именно поэтому невозможна экстраполяция гармонических постоянных вдоль побережья.

Можно возразить, что приливная «волна» деформируется по мере распространения под действием дисперсии. Однако дисперсионное соотношение для длинных волн имеет вид

$$v = \sqrt{gH} \left( 1 - \frac{4\pi^2 H^2}{6\lambda^2} \right), \text{ при } \lambda \gg H, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – длина, а  $v$  – фазовая скорость волны. Из этого выражения следует, что для приливных гармоник значение дроби в скобках пренебрежимо мало, и фазовая скорость не зависит от длины волны. Поэтому приливные волны должны быть отнесены к волнам без дисперсии.

Таким образом, полученные противоречия между наблюдаемыми и теоретическими оценками фазовой скорости приливных колебаний свидетельствуют о том, что представление пространственно-временного распределения приливных колебаний на акватории Белого моря нельзя интерпретировать как волновые движения.

Представляется, что именно с неправомерностью применения теории длинных гравитационных волн к приливному колебаниям связаны трудности в нахождении действительного механизма диссипации приливной энергии [6].

На взгляд автора, альтернативным взглядом на пространственное распределение приливных колебаний может служить модель слабо связанных синхронизированных осцилляторов, типа широко известной модели Ферми-Паста-Улама [7].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков Ю. Н. Восстановление приливных пространственно-временных колебаний уровня моря по данным спутниковой альтиметрии. Сборник докладов 4-ой Российской научно-технической конференции «НО-2001» (6-9 июля 2001, СПб). – Т. 2. – С 249–253.
2. Vantrouys L. Les divers aspects mathematiques dynamiques ou cinematiques du probleme des marees // D'blletin d'information –1958. – № 8, p. 469-483. – №9, p.541-558. – №10, p.657–690.
3. Некрасов А. В. Энергия океанских приливов. – Л.: Гидрометеоздат, 1990. – 288 с.
4. Whewell W. Researches on the Tides// Philosophical Transactions of the Royal Society of London. – 1836. – Vol. 126. – P.289–307.
5. Sverdrup H. V. Dynamic of Tides on the North Siberian shelf // Geofysiske Publikasjoner, Oslo. –1926. – Vol. IV. –No. 5.
6. Ле Блон П., Майсек Л. Волны в океане. Т. 2. – М.: Мир, 1981. – 366 с.
7. Додд Р., Эйлбек Дж., Гиббон Дж., Моррис Х. Солитоны и нелинейные волновые уравнения. – М.: Мир, 1988. – 694 с.

**Y. N. Zhukov**

#### Wave Aspect of the Problem of Tides

*The kinematic analysis of the spatial distribution of tidal variations in the White Sea, based on the altimeter measurements by Topex/Poseidon satellites in 1993-2000, has been carried out. Using the results obtained, the applicability of the wave model to the description of the spatial distribution of tidal variations is studied.*

### **ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ ПЛАВАЮЩИХ ЛЬДИН И ОБЩЕЙ ПЛОЩАДИ МОРЯ, ЗАНЯТОЙ ПЛАВУЧИМ ЛЬДОМ**

*При допущении, что подавляющее число плавающих льдин имеет округлую форму, предложен метод обработки снимков плавучего льда и вычисления параметров законов распределения вероятностей среднего размера льдины и ее средней площади. Дается вероятная оценка абсолютной величины площади моря, покрытой плавучим льдом*

В 1963 г. автору статьи было предложено для каких-то технических нужд выполнить статистическую обработку двух аэрофотоснимков плавучего льда, сделанных в одном и том же районе Баренцева моря в июне 1961 и в июле 1963 гг. Масштаб съемки – 1:3000, разрешение на местности 3 м. Первоначальная обработка снимков заключалась в том, что с помощью обычной линейки были измерены размеры льдин: если отчетливо была видна разница в длине и ширине льдины, измерялось и то и другое; если льдина имела округлую форму – измерялся ее диаметр. Всего таким образом было измерено 2 814 льдин.

На снимке 1963 г. было отобрано несколько сот льдин с явными признаками различия в длине и ширине. Льдины отбирались из трех разных частей снимка, чтобы выборка размеров была наиболее представительной. В таблице приведены статистические характеристики этой выборки. Интересно отметить, что измерения размеров льдин, относящихся к разным частям снимка, дали почти одни и те же средние значения длины и ширины льдин при весьма широкой вариации размеров отдельных льдин относительно их средних значений.

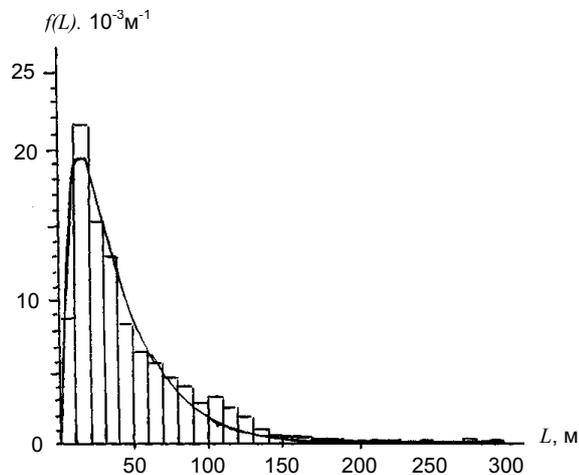


Рис. 1 Гистограмма размеров льдин и ее аппроксимация кривой плотности вероятности гамма-распределения с параметрами  $\lambda = 0,04 \text{ м}^{-1}$ ,  $\eta = 1,50$ . Средний размер льдины 38 м, модальный – 13 м. Аэрофотосъемка в северной половине Баренцева моря, июнь 1961 г.

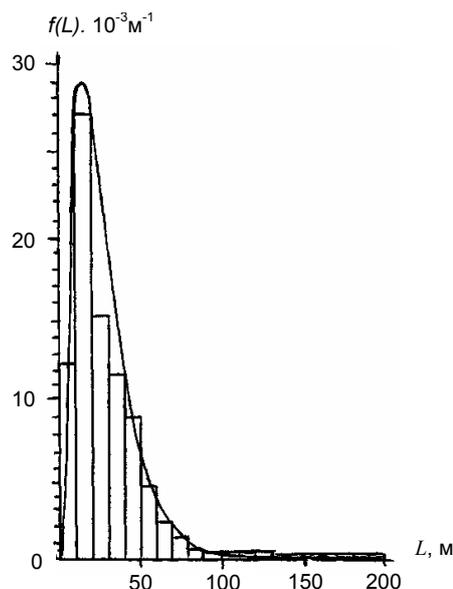


Рис. 2 Гистограмма размеров льдин и ее аппроксимация кривой плотности вероятности гамма-распределения с параметрами  $\lambda = 0,105 \text{ м}^{-1}$ ,  $\eta = 2,84$ . Средний размер льдины 27 м, модальный – 17 м. Аэрофотосъемка в северной половине Баренцева моря, июль 1963 г.

Следующим шагом в обработке снимков было построение гистограмм размеров льдин, имеющих округлые формы. Гистограммы представлены на рис. 1, 2. Контуры гистограмм показывают, что внутренняя структура полей плавучего льда на снимках 1961 и 1963 гг. идентична. Правда, в июльской гистограмме 1963 г. основная масса льдин имела размеры, не превышающие 100–130 м, и лишь отдельные «штучные» льдины достигали в длину 200 м. По гистограмме же 1961 г. Видно, что имелось значительное число льдин. размеры которых доходили до 170 м, а «штучных» – до 300 м. Можно предположить, что это различие в структурах гистограмм обуславливалось процессами таяния и разрушения льда, поскольку гистограмма 1963 г. относилась к июлю, гистограмма 1961 г. – к июню. Как видно на рис. 1, 2, обе гистограммы вполне удовлетворительно описываются кривой плотности вероятности гамма-распределения [1]. Плотность вероятности этого распределения и его параметры выражаются в следующем виде:

$$f(L, \eta, \lambda) = \frac{\lambda^\eta}{\Gamma(\eta)} L^{\eta-1} \exp(-\lambda L), \quad (1)$$

где  $L \geq 0$ ,  $\lambda > 0$ ,  $\eta > 0$ ,  $\Gamma(\eta)$  – гамма-функция; параметры распределения  $\lambda$  и  $\eta$  могут быть вычислены по формулам:

$$\lambda = \frac{\bar{L}}{S^2} \quad (2)$$

и  $\eta = \lambda \bar{L}$ , (3)

где  $\bar{L}$  – средний размер льдины,  $S$  – среднее квадратическое отклонение. При  $\eta > 1$  модальное значение размера льдины может быть вычислено по формуле

$$L_{\text{mod}} = \frac{\eta - 1}{\lambda}. \quad (4)$$

Описание наблюдаемого плавучего льда с помощью гамма-распределения выглядит перспективным в том отношении, что при установлении, например, регрессионной связи между параметрами распределения  $\lambda$  и  $\eta$  (всего два числа) и синоптическими и гидрометеорологическими факторами, определяющими процессы ледообразования, таяния, дробления и смерзания, можно получать почти исчерпывающие данные о размерах и площадях отдельных льдин, их суммарной площади, покрывающей поверхность моря, и т. д. Однако эта перспектива не будет иметь никакой практической ценности, если вспомнить, каким способом были получены исходные данные при построении гистограмм на рис. 1, 2. Очевидно, что развитие такого вероятностного описания плавучего льда полностью зависит от автоматизации процесса измерения длин участков льдин, пересекаемых каким-то сканирующим устройством. При наличии сканирующего прибора процесс получения выборки из протяженностей участков льдин, пересекаемых сканером, будет занимать минуты и не составит трудности в обработке снимков льда. В основу дальнейшей обработки такой выборки положено важное допущение: подавляющее большинство льдин имеет округлую форму. При таком допущении полученная сканированием выборка будет представлять собой выборку из хорд пересеченных льдин. Из членов выборки строится ранжированный ряд  $L_1 \leq L_2 \leq L_3 \leq \dots \leq L_n$  и по нему вычисляется эмпирическая функция распределения хорд по формуле  $F(L) = \frac{1}{n}(i - 0,5)$  [1], где  $i$  – порядковый номер хорды в ранжированном ряду. Эмпирическая функция распределения  $F(L)$  проверяется на соответствие экспоненциальному распределению, плотность вероятности которого имеет вид [1]:

$$\varphi(L) = \kappa_1 \exp(-\kappa_1 L) \quad (5)$$

$$\text{и } \varphi(L) = \kappa_2 \exp[-\kappa_2(L - L_0)], \quad (6)$$

где  $\kappa_1$ ,  $\kappa_2$  и  $L_0$  – параметры распределения;  $L_0$ , в частности, указывает на то, что длина хорд, измеренных в процессе сканирования, больше  $L_0$ . Проверку  $F(L)$  на экспоненциальность целесообразно осуществить путем построения ее графика, на оси ординат которого нанесена шкала экспоненциального распределения. По таким графикам удобно определять вероятность существования льдин с самыми большими размерами и определять величину параметра  $L_0$ . Сама функция  $F(L)$  на таких графиках представляет прямую линию, прямизна которой и подтверждает соответствие  $F(L)$  экспоненциальному распределению, т. е. возможность описать полученную выборку хорд этим распределением. Одним из свойств экспоненциального распределения

является то, что параметр этого распределения равен обратной величине среднего значения членов выборки, которую это распределение описывает [1]. Таким образом

$$\kappa = \frac{1}{\bar{L}}. \quad (7)$$

Это свойство экспоненциального распределения позволяет получить очень важный результат. В монографии [2] приведена формула, связывающая среднее значение хорды пересеченных кругов со средним диаметром этих кругов:

$$\bar{D} = \frac{4}{\pi} \bar{L}. \quad (8)$$

Выражение (8) можно привести к виду:

$$\bar{D} = \frac{4}{\pi \kappa}, \quad (9)$$

а с помощью формулы

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \quad (10)$$

получить и выражение для средней площади льдин  $\bar{Q}$ , пересеченных в процессе сканирования:

$$\bar{Q} = \frac{4}{\pi \kappa^2}. \quad (11)$$

В формулах (9) и (11) величины  $\bar{D}$  и  $\bar{Q}$  являются функциями аргумента  $\kappa$ , распределение которого известно [3]:

$$f(\kappa) = \frac{m_1^n}{(n-1)!} \kappa^{n-1} \exp(-m_1 \kappa) \quad (12)$$

и

$$f(\kappa) = \frac{m_2^n}{(n-1)!} \kappa^{n-1} \exp(-m_2 \kappa), \quad (13)$$

где в рассматриваемом случае параметры распределения  $m_1 = \sum_{i=1}^n L_i$

$m_2 = \sum_{i=1}^n L_i - nL_0$ , и  $n$  – число льдин, пересеченных при сканировании.

Если распределение аргумента известно, то можно получить распределение его функции [1]. В данном случае, выполнив необходимые преобразования, получаем:

$$\psi(\bar{D}la, n) = \frac{a^n}{(n-1)!} \bar{D}^{-(n+1)} \exp(-a\bar{D}^{-1}), \quad (14)$$

$$\psi(\bar{D}lb, L_0, n) = \frac{b^n}{(n-1)!} \left( \bar{D} - \frac{4}{\pi} L_0 \right)^{-(n+1)} \exp \left( -\frac{b}{\bar{D} - \frac{4}{\pi} L_0} \right), \quad (15)$$

$$\psi(\bar{Q}lc, n) = \frac{c^n}{2(n-1)!} \bar{Q}^{-\frac{(n+2)}{2}} \exp \left( -c\bar{Q}^{-\frac{1}{2}} \right), \quad (16)$$

$$\psi(\bar{Q}ld, L_0, n) = \frac{d^n}{2\sqrt{\pi}(n-1)!} \left( \sqrt{\frac{\bar{Q}}{\pi}} - \frac{2}{\pi} L_0 \right) \exp \left( -\frac{d}{\sqrt{\frac{\bar{Q}}{\pi}} - \frac{2}{\pi} L_0} \right), \quad (17)$$

где  $a = \frac{4}{\pi} \sum_{i=1}^n L_i$ ,  $b = \frac{4}{\pi} \left( \sum_{i=1}^n L_i - nL_0 \right)$ ,  $c = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sum_{i=1}^n L_i$  и  $d = \frac{2}{\pi} \left( \sum_{i=1}^n L_i - nL_0 \right)$  – параметры распределений. В отличие от гистограмм на рис. 1, 2 выражения (14)–(17) описывают распределение вероятностей средних размеров льдин и их средних площадей, общая же вероятная площадь моря, покрытая плавучим льдом, равна

$$\bar{Q}_0 = \bar{Q}_i n, \quad (18)$$

где  $\bar{Q}_i$  – выбранная вероятностная оценка средней площади одной льдины,  $n$  – число пересеченных льдин. Очевидно, что при  $\bar{Q}_i$ , равной ее модальной величине,  $\bar{Q}_0$  будет наиболее близка к площади льда в наблюдаемых гидрометеорологических условиях.

В отличие от оценки площади льда в баллах  $\bar{Q}_0$  является абсолютной величиной, – она не связана с общей площадью обзриваемой акватории моря, необходимой для определения количества льда в баллах.

Оценка  $\bar{Q}_0$  – площади, покрытой плавучим льдом, – может быть полезной, например, при определении реальной площади моря, свободной от льда и подвергающейся солнечному прогреву или, наоборот, выхолаживанию.

Рассмотренный способ обработки спутниковых изображений льда и результатов его аэрофотосъемок открывает большие возможности для обработки ледовых архивных материалов, организации текущего контроля за состоянием плавучего льда путем анализа предшествующей синоптической обстановки над морем и, возможно, разработки ледовых прогнозов разной заблаговременности, базирующихся на прогнозах синоптических условий над морем.

Статистические характеристики размеров льдин

Район измерений	Размеры льдин					
	Длина			Ширина		
	$\bar{L}$ м	$S$ м	$\delta = \frac{S}{\bar{L}}$	$\bar{d}$ м	$S$ м	$\delta = \frac{S}{\bar{L}}$
1	36	19	0,53	14	12	0,86
2	28	17	0,61	14	14	0,86
3	27	16	0,59	13	11	0,85

ЛИТЕРАТУРА

1. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. – М.: Мир, 1969. – 395 с.
2. Вульфсон Н. И. Методы стереологии в геофизике. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989.
3. Поздынин В. Д. Элементы вероятностного описания мелкомасштабной турбулентности в океане. – Л. Гидрометеоиздат, 1989. – 51 с.

**V. D. Pozdynin**

Probabilistic Estimate of the Floating Ice Floes Size and of the Total Sea Surface Covered by the Floating Ice

*Assuming that the prevailing number of the floating ice floes has a round form, the author suggests the method of processing the photographs of the floating ice and calculating the parameters of probability distribution laws for the average size of an ice floe and its average area. The probabilistic estimate of the absolute area of the sea surface covered by the floating ice is presented.*

---

# КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ, СЕМИНАРЫ, ВЫСТАВКИ

---

ГРНТИ 733.34.01.13; 733.34.37

**ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ СЛУЖБА ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА, ЕЕ РОЛЬ И  
МЕСТО В НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ  
МОРЕПЛАВАНИЯ В РОССИИ»**

11 октября 2002 г. в Санкт-Петербурге в ГУНиО МО РФ проведена Всероссийская научно-практическая конференция «Гидрографическая служба Военно-Морского Флота, ее роль и место в навигационно-гидрографическом обеспечении мореплавания в России», посвященная 175-летию создания Главного управления навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации.

В конференции приняли участие начальники Военно-Морской академии им. Н. Г. Кузнецова, Высших специальных офицерских классов ВМФ, Гидрометеорологической службы ВМФ, Гидрографических служб флотов представители научно-исследовательских учреждений Минобороны России, Ленинградского военного округа, Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Федеральной службы геодезии и картографии России, администрации Санкт-Петербурга, а также директор ФГУП ЦНИИ «Электроприбор», директор ВНИИОкеанология, директор СПбФ ИЗМИРАН, другие представители научно-исследовательских учреждений и организаций промышленности.

Главной целью конференции было подведение основных итогов деятельности Гидрографической службы Военно-Морского Флота, коллективное обсуждение проблем ее дальнейшего развития и актуальных вопросов теории и практики навигации и океанографии.

Конференцию открыл начальник ГУНиО МО РФ адмирал А. А. Комаричин. В своем докладе он рассказал об истории гидрографической службы России, о ее развитии с момента создания Управления генерал-гидрографа в 1827 году до деятельности под руководством Главного управления навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации в начале XXI века, об итогах этой деятельности и ее дальнейших задачах. Как положительный факт было отмечено возобновление строительства гидрографического флота России – в 2002 г. на верфи в г. Рыбинске заложено гидрографическое судно, закладная доска которого была преподнесена его главным строителем Главному управлению навигации и океанографии к юбилею.

Научные аспекты деятельности ГУНиО МО РФ осветил в своем докладе начальник Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института Министерства обороны Российской Федерации контр-адмирал С. П. Алексеев. Начальник 280 ЦКП ВМФ капитан 1 ранга Б. С. Фридман рассмотрел проблемы морской картографии как составляющей части навигационно-гидрографического обеспечения ВМФ. Генеральный директор ЦНИИ «Электроприбор» действительный член РАН В. Г. Пешехонов выступил с докладом о новых инерциальных измерителях и их использовании в задачах навигации, управления движением и батиметрии. Взаимодействию ГУНиО МО РФ и общественных организаций, занимающихся исследованиями Мирового океана, было посвящено выступление Президента Гидрографического общества Н. Н. Неронова. Наиболее подробно им было рассмотрено сотрудничество с Гидрографическим обществом в вопросах навигационно-гидрографического обеспечения морской деятельности страны.

К началу конференции издан сборник тезисов докладов, куда вошли тезисы упомянутых выступлений, а также докладов:

начальника Военно-Морской академии им. Н. Г. Кузнецова адмирала В. П. Еремина, посвященного 175-летию гидрографической службы ВМФ, заместителя главного штурмана ВМФ капитана 1 ранга С. В. Козлова об истории Штурманской службы ВМФ, ее роли и месте в современной системе безопасности кораблевождения и судовождения,

начальника 373 Центра ВМФ капитана 1 ранга П. П. Ковальчука о роли Гидрографической службы ВМФ в НГО мореплавания в России,

директора ЦНИИМФ действительного члена АТ РФ В. И. Пересыпкина о проблемах развития судоходства и систем безопасности на Балтике,

директора ВНИИОкеанология действительного члена РАН И. С. Грамберга о результатах исследований рельефа дна гидрографией России в Северном Ледовитом океане,

директора СПбФ ИЗМИРАН Ю. А. Копытенко о развитии геомагнитных исследований в России в связи с проблемами навигации морского флота,

заведующего лабораторией СПО ГОИН И. Н. Давидана о технологии и результатах создания исторических информационных баз и электронных справочников по ветровому волнению Мирового океана.

Общее число участников конференции составило 187 человек.

ГРНТИ 733.34.01.13

**ПЕРВЫЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ ВОЕННО-МОРСКОЙ САЛОН «IMDS-2003»**

В период с 25 по 29 июня 2003 года в рамках празднования 300-летия Санкт-Петербурга состоится первый Международный военно-морской салон «IMDS-2003».

Цель салона – демонстрация современных достижений российской военно-морской техники и вооружений. В экспозиционно-выставочном разделе Международного военно-морского салона планируется участие практически всех разработчиков и производителей экспортных образцов российской военно-морской техники. Тематика салона позволяет принять участие в выставке широкому кругу научно-исследовательских и проектных организаций, а также предприятий-поставщиков комплектующего оборудования, материалов и услуг для ВМС и оборонной промышленности.

Ожидается участие в «IMDS-2003» официальных делегаций министерств обороны, научных и промышленных организаций из многих стран мира, а также ряда зарубежных компаний, имеющих или стремящихся установить партнерские связи с российскими организациями оборонно-промышленного комплекса.

На акватории Невы и Ленэкспо будут представлены корабли и суда Военно-морского флота России, а также Военно-морских сил зарубежных стран.

В салоне активное участие примут ведущие организации ГУНиО МО РФ, в том числе ФГУП «ГНИНГИ Минобороны России».

Приглашаем заинтересованные стороны к сотрудничеству по участию в первом Международном военно-морском салоне «IMDS-2003».

ГРНТИ 733.34.01.13; 733.34.37; 361.16.23

**ПЯТАЯ РОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
«СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ НАВИГАЦИИ И ОКЕАНОГРАФИИ»  
(«НО-2004»)**

Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт Министерства обороны Российской Федерации (ГНИНГИ Минобороны России) приглашает Вас принять участие в работе V Российской научно-технической конференции «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии» («НО-2004»), проводимой в дни празднования 65-летия института. Конференция состоится 10–12 марта 2004 г.

Научно-технические проблемы навигации и океанографии и пути их решения при реализации в различных областях деятельности были предметом обсуждения предыдущих конференций. Их тематика вызвала значительный интерес представителей многих организаций, предприятий, научных центров России и ряда зарубежных стран (Англии, Греции, Китая, Польши, Португалии, Японии и др.)

На конференцию приглашаются представители органов власти и управления Санкт-Петербурга и Ленинградской области, представители министерств и ведомств, руководители промышленных предприятий, проектных и научно-исследовательских институтов, ученые и специалисты, работающие по тематике конференции.

Планируется проведение пленарного заседания и работа тематических секций по следующим направлениям:

- методы, точность и эффективность навигации;
- автономные навигационные системы и комплексы;
- спутниковые и наземные радионавигационные системы;
- средства навигационного оборудования;
- средства и методы гидрографии, морской картографии и морской геофизики;
- гидрометеорологическое обеспечение морской деятельности.

К началу работы конференции будет издан сборник ее материалов, куда войдут тезисы докладов с приложением полного текста докладов на CD. Все материалы публикуются на русском и/или английском языке в редакции авторов.

Окончательный срок представления заявок, регистрационных листов и докладов с актами экспертизы о возможности открытого опубликования – **30 декабря 2003 года**.

Наиболее актуальные доклады в расширенном и доработанном виде могут быть опубликованы в одном из номеров периодического научно-технического журнала «Навигация и гидрография», издаваемого ГНИНГИ МО РФ.

В течение всего периода работы конференции будет открыта выставка технических средств.

Регистрационный взнос для участников конференции до **30 декабря 2003 года** составляет 100 у.е., после указанного срока – 130 у.е. Указанная сумма не облагается НДС.

Оргкомитет содействует в размещении участников конференции в гостиницах Санкт-Петербурга по заявкам, поданным до **20 февраля 2004 г.**

Культурная программа предлагается за отдельную плату по заявкам, поданным в день регистрации.

Более подробную информацию можно получить в оргкомитете конференции «НО-2004» по адресу: Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, Кожевенная линия, д. 41.

Контактные телефоны: +7-812-327-99-80;  
+7-812-322-18-88 (доб. 249 или 260)  
Факс + 7 812 322 33 19 (с 9.00 до 17.00)  
E-mail: gningi@navy.ru

## 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 10 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.

**БЕНРИГХИ Брахим**, подполковник, адъютант Военно-морской академии им. Н. Г. Кузнецова. Окончил Каспийское высшее военно-морское училище им. С. М. Кирова (1979 г.), главный штурмана ВСМ Алжирской НДР. Специализация – навигация. Автор одной публикации.

**ГРИШИН Евгений Александрович**, инженер Арктического и антарктического НИИ. Окончил Санкт-Петербургский государственный университет (1998). Специализация – полярная океанография и информатика. Автор трех печатных работ.

**ДЕМИН Сергей Петрович**, ведущий специалист НИЦ «Природопользование» ГНИНГИ МО РФ, канд. воен. н., капитан 1-го ранга. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1976) и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1988). Специализация – военный инженер-гидрограф. Автор более 50 печатных трудов.

**ДМИТРИЕВ Виктор Георгиевич**, ученый секретарь ГНЦ РФ Арктический и антарктический НИИ, полковник в отставке, канд. техн. н. Окончил Ленинградский государственный университет (1972). Специализация – математика, военная гидрометеорология, информационные технологии управления. Автор около 50 печатных трудов.

**ДУБИНКО Людмила Владимировна**, старший научный сотрудник КБ «Навис», профессор, докт. техн. н. Окончила Санкт-Петербургский государственный университет (1958). Специализация – спутниковая навигация. Автор более 50 печатных трудов.

**ДУБИНКО Татьяна Юрьевна**, старший научный сотрудник КБ «Навис», канд. физ.-мат. н. Окончила Ленинградский государственный университет (1991). Область научных интересов – алгоритмы спутниковой навигации. Автор более 20 печатных трудов.

**Alexandr M. ABRAMOV**, Deputy Chief of the Research Centre, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, Captain 1-st rank. Graduated from Frunze Naval College (1982), Naval Academy (1995). Speciality: hydrography, oceanography. Author of 10 publications.

**Vladimir N. BARINOV**, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, Captain 2<sup>nd</sup> rank. Graduated from Frunze Naval College (1992) and Kuznetsov Naval Academy (2000). Speciality: navigation.

**Brahim BENRIGHI**, Lieutenant-Colonel, the Chief Navigator of the Algerian Peoples' Democratic Republic Navy. Graduated from Kirov Caspian Naval College (1979). Began postgraduate studies at Kuznetsov Naval Academy in 1999. Speciality: navigation.

**Evgeny A. GRISHIN**, engineer, the Arctic and Antarctic Research Institute. Graduated from St. Petersburg State University (1998). Speciality: polar oceanography, informatics. Author of 3 publications.

**Sergei P. DEMIN**, leading specialist of Research Centre «Prirodopolsovaniye», Captain 1-nd rank, CandSc. Graduated from Frunze Naval College (1976), the Kuznetsov Naval Academy (1988). Speciality: military engineer-hydrographer. Author of more than 50 publications.

**Victor G. DMITRIYEV**, scientific secretary of the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Colonel (Ret.), CandSc, Graduated from Leningrad State University (1972). Speciality: mathematics, military hydrometeorology, management of information technologies. Author of about 50 publications.

**Liudmila V. DOUBINKO**, senior researcher, «Navis» Design Bureau, professor, DSc. Graduated from Leningrad State University (1958). Speciality: satellite navigation. Author of more than 50 scientific publications.

**Tatiana Y. DOUBINKO**, senior researcher of «Navis» Design Bureau, CandSc. Graduated from Leningrad State University (1991). Sphere of scientific interests: algorithms of SNS equipment. Author of more than 20 scientific publications.

**ДУБИНКО Юрий Сергеевич**, ведущий специалист КБ «Навис», капитан 1 ранга (в отставке), канд. техн. н., доцент. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1958) и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1966). Специализация – спутниковая радионавигация. Автор более 50 печатных трудов, в том числе двух монографий

**ЕЛАГИН Андрей Викторович**, исполнительный директор издательства «Юридический центр пресс», канд. техн. н., сертифицированный профессионал Microsoft, капитан 2 ранга в запасе. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1980). Специализация – гидрография. Автор 7 публикаций.

**ЖЕРЛАКОВ Александр Васильевич**, профессор Государственной морской академии им. адм. С. О. Макарова, докт. техн. н. Окончил Ленинградское высшее инженерное морское училище им. адм. С. О. Макарова (1948). Специализация – технические средства навигации. Автор более 120 печатных трудов.

**ЖУКОВ Юрий Николаевич**, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, канд. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт в 1972 г. Специализация – гидрометеорология. Автор более 10 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 в 1957 г., Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова в 1969 г. Специализация – морская геодезия, гравиметрия, гидрография, навигация. Автор около 200 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. А. С. Попова (1968). Специализация – радиосвязь, навигация. Автор более 70 печатных трудов.

**ЛОШИЛОВ Виктор Сергеевич**, старший научный сотрудник Арктического и антарктического НИИ. Окончил Ленинградское высшее инженерное морское училище им. адм. С. О. Макарова (1951), канд. географ. н. Специализация – полярная океанография. Автор более 70 печатных трудов.

**НИКИТИН Олег Викторович**, начальник лаборатории ГНИНГИ МО РФ, капитан 2 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники им. А. С. Попова (1988). Специализация – спутниковая навигация.

**Yuri S. DOUBINKO**, leading specialist of «Navis» Design Bureau, Captain 1-st rank (Ret.), CandSc, senior researcher. Graduated from Frunze Naval College (1958) and Naval Academy (1966). Speciality: satellite radionavigation. Author of more than 50 publications, including two monographs.

**Andrei V. ELAGIN**, Executive Director of the Publishing House «Yuridichesky Centre Press», CandSc, Microsoft certified professional, Capitan 2-nd rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College (1980). Speciality: hydrographer. Author of 7 publications.

**Alexandr V. ZHERLAKOV**, professor, the Makarov State Maritime Academy, DSc. Graduated from Leningrad Higher Engineering Marine College (1948). Speciality: technical aids to navigation. Author of about 120 publications.

**Yuri N. ZHUKOV**, leading researcher of GNINGI, CandSc. Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute (1972). Speciality: hydrometeorology. Author of more than 10 publications.

**Boris E. IVANOV**, chief researcher of GNINGI, 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.

**Boris I. LOBOIKO**, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute. Captain 1<sup>st</sup> rank (Ret.), DSc, academician of the Academy of Military Sciences, Honoured Specialist. Graduated from Popov Naval College of Raioelectronics(1968). Speciality: radio communications, navigation. Author of more than 70 publications.

**Victor S. LOSHCHILOV**, senior researcher, the Arctic and Antarctic Research Institute, CandSc. Graduated from Leningrad Higher Engineering Marine College (1951). Speciality: polar oceanography. Author of more than 70 publications.

**Oleg V. NIKITIN**, chief of laboratory, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, Captain 2<sup>nd</sup> rank. Graduated from Popov Naval College of Raioelectronics (1988). Speciality: satellite navigation.

**ОПАРИН Александр Борисович**, начальник НИЦ ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга, канд. техн. н., старший научный сотрудник. Окончил Высшее военноморское училище им. М. В. Фрунзе (1977) и Высшие специальные офицерские классы (1984). Специализация – военный инженер-гидрограф. Автор 56 печатных трудов.

**ПОЗДЫНИН Владимир Дмитриевич**, ведущий научный сотрудник Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, канд. техн. н., полковник в отставке. Окончил Высший военный гидрометеорологический институт Красной Армии (1942). Специализация – океанология, область интересов – морская турбулентность. Автор 2 монографий и 127 статей.

**СМИРНОВ Владимир Григорьевич**, заведующий отделом Арктического и антарктического НИИ. Окончил Ленинградское высшее инженерное морское училище им. адм. С. О. Макарова (1973). Специализация – полярная океанография. Автор более 70 печатных трудов.

**ШУМАХЕР Дмитрий Александрович**, старший научный сотрудник НИНГИ, канд. географ. наук. Окончил Ленинградское высшее инженерное морское училище им. адм. С. О. Макарова (1980). Специализация – геоинформатика, гидрометеорология. Автор более 30 печатных трудов.

**ЩЕРБАКОВ Юрий Алексеевич**, заведующий лабораторией Арктического и антарктического НИИ. Окончил Ленинградское высшее инженерное морское училище им. адм. С. О. Макарова (1981). Специализация – полярная океанография и информатика. Автор более 15 публикаций.

**Alexandr B. OPARIN**, chief of GNINGI Research Centre, Captain 1-st rank, senior researcher, CandSc. Graduated from Frunze Naval College (1977) and Higher Officers' Classes (1984). Speciality: military engineer-hydrographer. Author of 56 publications.

**Vladimir D. POZDYNIN**, leading researcher, the Institute of Oceanology, RAS, CandSc, Colonel (Ret). Graduated from the Higher Military Hydrometeorological Institute of the Red Army (1942). Speciality: oceanology; sphere of interests – marine turbulence. The author of two monographs and 127 papers.

**Vladimir G. SMIRNOV**, head of division, the Arctic and Antarctic Research Institute, CandSc. Graduated from Leningrad Higher Engineering Marine College (1973). Speciality: polar oceanography. Author of more than 70 publications.

**Dmitry A. SHUMAKHER**, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, CandSc. Graduated from Leningrad Higher Engineering Marine College (1980). Speciality: geomatics, hydrometeorology. Author of more than 30 publications.

**Yuri A. SHCHERBAKOV**, head of laboratory, the Arctic and Antarctic Research Institute. Graduated from Leningrad Higher Engineering Marine College (1981). Speciality: polar oceanography, informatics. Author of more than 15 publications.



## ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА

### Информация о правилах оформления подписки на издания Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института Министерства обороны Российской Федерации

Юридические и физические лица могут приобрести журнал "Навигация и гидрография", материалы конференций, информационные материалы, разработанные информационным отделом ГНИНГИ МО РФ (аналитические и реферативные обзоры, переводы), оформив подписку как за безналичный, так и наличный расчет. Время оформления подписки не ограничено.

Журнал "Навигация и гидрография" выходит 2 раза в год. В 2002 г. выйдут 14 и 15 номера. Заказ можно оформить на любой номер журнала, начиная с 12. НДС на все печатные издания не начисляется. Цена одного номера журнала – **150** руб.

Ежеквартально информационным отделом ГНИНГИ МО РФ выпускаются:

- Аналитические справки. Стоимость одного выпуска - **60** руб.
- Информационные справки. Стоимость одного выпуска - **60** руб.
- Реферативные обзоры. Стоимость одного выпуска - **60** руб.
- Реферативно-библиографический указатель. Стоимость одного выпуска - **60** руб.
- Переводы. Стоимость одного выпуска - **60** руб.

Можно приобрести также сборник докладов Четвертой Российской научно-технической конференции "Современное состояние, проблемы навигации и океанографии" (НО-2001) Стоимость 2-х томов Сборника – **350** рублей.

Главному редактору журнала «Навигация и гидрография»  
**Алексееву С. П.**  
199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41

#### **БЛАНК-ЗАКАЗ**

Прошу оформить подписку (заказ) на:

- \_\_\_ экз. журнала «Навигация и гидрография», №№ .....;
- \_\_\_ экз. реферативно-библиографического указателя, №№ .....;
- \_\_\_ экз. реферативного обзора, №№ .....;
- \_\_\_ экз. сборника переводов, №№ .....;
- \_\_\_ экз. сборника докладов конференции (НО-2001).

Стоимость подписки в сумме \_\_\_\_\_

перечислена на расчетный счет ГНИНГИ МО РФ:

ИНН 7801020940

р/сч 40502810100000000107; (кор/сч - нет)  
БИК 044081002; ОКОНХ 95120; ОКПО 08303504

ПУ ЦБ РФ Флагманское г. С. -Петербург.

Платежное поручение № \_\_\_\_\_ от " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 200\_ г.

Заказ направить по адресу:

индекс п/о \_\_\_\_\_, область (край, респ.). \_\_\_\_\_

город, улица, дом \_\_\_\_\_

Кому \_\_\_\_\_

(полное название организации и ФИО контактного лица или ФИО заказчика)

В платежном поручении указать: **«Подписная плата за журнал(ы) ...»**.

Заполненный бланк-заказ перешлите (почтой/факсом) в редакцию по указанному ниже адресу.

## **ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ**

В журнале публикуются результаты исследований в области навигации, гидрографии, океанографии, гидрометеорологии, морской картографии, морской геофизики и экологии. Издание освещает концептуальные научные положения, осуществляет оперативную публикацию новейших теоретических исследований. Журнал знакомит с передовыми техническими достижениями, с материалами симпозиумов, конференций и хроникой важнейших событий научной жизни.

### **Требования к оформлению материалов**

1. Статьи принимаются на дискетах 3,5" или CD в формате текстового редактора **MS Word for Windows** (версия не ранее 1997 г.) с приложением текста на бумаге (размер шрифта 14, межстрочный интервал 1,5). Все материалы должны быть подписаны авторами.
2. Объем статьи не должен превышать 0,5 авторского листа (20 000 печатных знаков), включая рисунки, таблицы и список литературы.
3. Название статьи должно в наиболее краткой форме отражать ее содержание.
4. В статье указывается индекс ГРНТИ. К работе прилагается аннотация (объемом не более 150 слов) и сведения об авторах (ФИО полностью; полное название учреждения, где работает автор; должность; ученая степень; воинское звание; год окончания и полное название высшего учебного заведения, которое закончил автор; специализация, количество опубликованных научных трудов). Аннотация, сведения об авторах и иллюстрации представляются отдельными файлами. Следует указать почтовый и электронный адреса авторов, а также служебные и домашние номера телефонов. К рукописи прилагается сопроводительное письмо организации, где выполнено данное исследование, и акт экспертизы о возможности открытого опубликования.
5. Для написания формул следует использовать редактор формул **MS Word for Windows**.
6. Используемые в статье величины и единицы измерения должны соответствовать стандартным обозначениям согласно Международной системе единиц СИ.
7. Рисунки представляются отдельным файлом в черно-белом изображении в форматах **.jpg** или **.gif** с разрешением до **300 DPI**. Все рисунки должны быть размером не более 210x140 мм и иметь порядковые номера и подписи.
8. Таблицы должны иметь порядковые номера и названия. Длина строки таблиц при шрифте "Arial" размером 9 не должна превышать 200 мм. При этом таблицы, у которых длина строки при указанном шрифте превышает 145 мм, должны иметь вертикальную ориентацию.
9. Список использованной литературы составляется на языке оригинала (исключение – языки с иероглифическим написанием слов) в порядке ссылок на источники по тексту. Ссылки в тексте даются в квадратных скобках, где указывается номер работы по списку. В списке литературы указываются: фамилии и инициалы авторов, полное название книги или статьи, название сборника, город, издательство, год, том, номер, страницы.
10. Материалы, отправляемые по E-mail, следует направлять в виде присоединенных к письму файлов. Размер одного сообщения не должен превышать 0,5 Mb. Письма большего объема необходимо компрессировать архиваторами (**ZIP**, **RAR**) или разделять. Графические файлы не должны содержать более одного рисунка.

**Адрес редакции: Россия, 199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41.  
Телефон: (812) 322-21-42 (доб. 215), 322-34-18 (доб. 249),  
Факс: (812) 322-33-19 (с 9.00 до 17.00).  
E-mail: [gningi@navy.ru](mailto:gningi@navy.ru)**

# **НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ, 2002, №15**

Редактор И. Ю. Бугрова

Компьютерная верстка: А. А. Смирнова

Подписано в печать 17.12.2002 г.

Заказ № 26

Рег. № 013267 от 26.01.95 г.

Комитет РФ по печати

---

---

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