

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

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

Издается с 1995 года

**10
2000**

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санкт-Петербург

Главный редактор д.т.н. С.П.Алексеев

Редакционная коллегия:

В.А.Авдонушкин, к.т.н. А.И.Баранов (секретарь), к.т.н.С.П.Баринов,
д.т.н. Б.Н.Беляев, д.в.н. П.Г.Бродский (заместитель главного редактора),
к.т.н. К.А. Виноградов, к.в.-м.н. А.А.Дадашев, к.т.н. В.Г.Дзюба,
д.т.н. А.Н.Добротворский (первый заместитель главного редактора),
д.т.н. Г.И.Емельянцеv, к.т.н. А.В.Зинченко (ответственный за выпуск),
д.т.н. Б.Е.Иванов, к.т.н. И.В.Козырь, к.ф.-м.н. П.И.Малеев,
к.т.н. С.И.Мастрюков, д.в.-м.н. А.П.Михайловский,
д.т.н. Н.Н.Неронов, к.т.н. А.Б.Опарин, д.т.н. В.И.Пересыпкин,
акад.РАН В.Г.Пешехонов,
к.т.н. Ю.В.Румянцев, к.т.н. С.А.Рудас (заместитель главного редактора),
чл.-кор.РАН А.Е.Сазонов, чл.-кор.РАН А.И.Сорокин,
д.в.н. В.Н.Фрадкин

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

2000

**THE STATE RESEARCH
NAVIGATION-HYDROGRAPHIC INSTITUTE**

**NAVIGATION AND
HYDROGRAPHY**

Published since 1995

**10
2000**

RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE

Saint -Petersburg

Editor-in-chief
ScD S.P.Alekseyev

Editorial board

V.A.Avdonyushkin, PhD A.I.Baranov (secretary), PhD S.P.Barinov,
ScD B.N.Belyaev, ScD P.G.Brodsky (vice editor-in-chief),
PhD K.A.Vinogradov, PhD A.A.Dadashev, PhD V.G.Dzyuba,
ScD A.N.Dobrotvorsky (first vice editor-in-chief),
ScD G.I.Yemelyantsev, PhD A.V.Zinchenko (responsible for the issue),
ScD B.E.Ivanov, PhD I.V.Kozyr, PhD P.I.Maleyev, PhD S.I.Mastryukov,
ScD A.P.Mikhaylovsky, ScD N.N.Neronov, PhD A.B.Oparin,
PhD A.G.Panov, ScD V.I.Peresyppkin, Acad. RAS V.G.Peshekhonov,
PhD Yu.V.Rumyantsev, PhD S.A.Rudas (vice editor-in-chief),
CM RAS A.E.Sazonov, CM RAS A.I.Sorokin,
ScD V.N.Fradkin

© The State Research Navigation-Hydrographic Institute RF Ministry of Defense

2000

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Алексеев С.П. Стратегия развития государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института МО РФ.....	7
Комарицын А.А., Дмитриев В.Г. О проблемах создания системы информационного обеспечения Байкальского региона.....	15
Алексеев С.П. Современное состояние и перспективы развития фундаментальной и прикладной астрономии для обеспечения навигации подвижных объектов различного назначения.....	27
Болдырев В.С., Пересыпкин В.И. Оценка перспектив развития средств и методов навигационно-гидрографического обеспечения мореплавания в водах Российской Федерации.....	36
Шостак В.П., Голиков В.И., Еганов А.Е. Некоторые особенности проектирования плавучих средств освоения океана и континентального шельфа.....	47
Авдонушкин В.А., Лакунин А.А., Степанов И.В., Симонов В.Ф., Фурса А.И. Использование геоинформационных системы "Панорама" при моделировании тактической обстановки.....	58

МЕТОДЫ, ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВИГАЦИИ. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШТУРМАНА

Лобойко Б.И. Состояние и перспективы развития мер времени и частоты.....	63
Астапович А.В., Брынь М.Я. О редуцировании GPS измерений и ковариационных матриц их ошибок на плоскость проекции Гаусса—Крюгера.....	71
Ромашина Л.В., Мурашкин А.В., Маринов В.К. Локально-экстремальный метод обработки видеоизображений звезд.....	78

СПУТНИКОВЫЕ И НАЗЕМНЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Никитенко Ю.И. Расширение круга навигационно-динамических параметров, оцениваемых по фазе сигналов спутниковых радионавигационных систем.....	85
Курчанов И.А., Никитенко Ю.И. Сравнение одноканальной и двухканальной схем измерения задержки сигналов спутниковых радионавигационных систем.....	93

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГИДРОГРАФИИ, МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ

Острианский Е.А., Свечников А.И. Дистанционная послыная классификация донных грунтов акустическим методом.....	103
Войтов А.А., Острианский Е.А., Свечников А.И. Классификация грунтов с помощью первого отечественного ЛЧМ-профилографа высокого разрешения.....	108
Завгородний В.Н. Условия стабилизации подводного аппарата как линейной интервальной динамической системы.....	113

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРЕПЛАВАНИЯ

Беляев Б.Н., Дмитриев В.Г. К проблеме оценки точности гидродинамических прогностических моделей.....	119
Дмитриев В.Г. Представление категорических гидрометеорологических прогнозов в вероятностном виде.....	126
Дмитриев В.Г. О способе точечной детерминации интервального гидрометеорологического прогноза.....	136

МОРСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

Мастрюков С.И. Моделирование течений в Невской губе.....	143
---	-----

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

Стрельбицкий К.Б. Гидрографические суда ВМФ СССР, погибшие в период великой отечественной войны 1941 – 1945 годов.....	150
---	-----

ЗА РУБЕЖОМ

Болдырев В.С., Заколядажный В.П. Анализ опыта использования спутниковых навигационных систем для обеспечения операций Вооруженных Сил.....	154
---	-----

КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ, СЕМИНАРЫ

4-я Российская научно-техническая конференция "НО-2001".....	164
Всероссийский съезд геологов.....	165
37-й международный конгресс подводников.....	167
7-я Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным системам.....	169
5-я Научная школа "Астронавигация-2000".....	170
ABSTRACTS	171

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ	175
------------------------------------	-----

CONTENTS

GENERAL MATTERS

S.P.Alekseyev. Strategy of Development of the State Research Navigation-Hydrographic Institute MoD RF.....	7
A.A.Komaritsyn, V.G.Dmitriyev. On the Problems of Creating the Information Support System for the Baikal region.	15
S.P.Alekseyev. Present State and Prospects of Development of Fundamental and Applied Astronomy to Provide the Navigation of Movable Objects Intended for Different Purposes.	27
V.S.Boldyrev, V.I.Peresypkin. Evaluation of Development Prospects of Means and Methods in Navigation-Hydrographic Support for Sailing in the Russian Federation Waters.....	36
V.P.Shostak, V.I.Golikov, A.E.Yeganov. Some Features of Designing the Vessels and Objects for the Ocean and Continental Shelf Development.	47
V.A.Avdonyushkin, A.A. Lakounin, V.F.Simonov, A.I.Foursa. Employment of "Panorama" Geoinformation System in Modelling the Tactical Situation.	58

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

B.I.Loboyko. State and Prospects of Time and Frequency Measures Development.	63
A.V.Astapovich, M.YaBryn, S.P.Imshenetsky. On Reduction of GPS Measurementsf and Covariance Matrices of Their Errors on the Gauss-Kruger Projection Plane.	71
L.V.Romashina, A.V.Murashkin, V.X.Marinov. Local-Extreme Method of processing the Stars Video Images.	78

NAVIGATION AND INTEGRATED SYSTEMS

Y.I.Nikitenko. Widening the Scope of Navigational-Dynamic Parameters Evaluated by the Phase of Satellite Radio Navigation Systems Signals.....	85
I.A.Kourchanov, Y.I.Nikitenko. Comparison of Single-channel and Dual-channel Schemes for Measuring the Signals Delay in Satellite Radio Navigation Systems.....	93

MEANS AND METHODS OF HYDROGRAPHY, MARINE CARTOGRAPHY AND GEOPHYSICS

E.A.Ostriyansky, A.I.Svechnikov. Remote Sediment Layers Classification of the Bottom Soils, Using the Acoustic Method.....	103
A.A. Voitov, E.A. Ostriyansky, A.I. Svechnikov. Classification of the Bottom soil by the First National Linearly-Frequency Modulated High-Resolution Profilograph.....	108
V.N.Zavgorodny. Conditions of Stabilizing an Underwater Vehicle as a Linear Interval Dynamic System.	113

HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT OF MARINE NAVIGATION

B.N.Belyaev, V.G.Dmitriyev. On the Problem of Evaluating the Hydrodynamic Prognostic Models Accuracy.....	119
V.G.Dmitriyev. Presentation of Categorical Hydrometeorologic Forecasts in Probabilistic Form.....	126
V.G.Dmitriyev. On the Method of Pointing Determination of Interval Hydrometeorological Forecast	136

MARINE ECOLOGY

S.I.Mastryukov. Modelling the Currents in the Gulf of the Neva River.....	143
--	-----

HISTORY PAGES

K.B.Strelbitsky. Survey Vessels of the USSR Navy Lost in the Period of the Great Patriotic War (1941-1945).....	150
--	-----

ABROAD

V.S.Boldyrev, V.T.Zakolodyzhny. The Analysis of Exploitation Experience of Satellite Navigation Systems for securing of the Armed Forces Operations.	154
--	-----

CONFERENCES, SYMPOSIA, SEMINARS

The 4-th Russian Scientific Conference "NO-2001"	164
The Russian Meeting of geologists	165
The 37-th International Congress of submariners.....	167
The 7-th St.-Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems	169
The 5-th Scientific school "Astronavigation-2000".....	170

ABSTRACTS	171
------------------------	-----

INFORMATION ABOUT AUTHORS	175
--	-----

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ГРНТИ 78.21.36.01

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО НАУЧНО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА МО РФ

С.П.АЛЕКСЕЕВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Приводится качественная оценка состояния и характеристика деятельности Института. Излагаются взгляды на стратегию его развития и основные направления научных исследований и работ на среднесрочный период. Анализируются аспекта социальной политики.

Стратегия развития Гос.НИНГИ МО РФ должна осуществляться в рамках обозначенной Министром обороны военно-технической политики России в начале XXI века и обеспечивать дальнейшее расширение конверсионного использования нашего научно-технического потенциала.

При разработке стратегии необходимо учитывать, что среди военных аспектов национальной безопасности России Министр обороны выделил, в том числе:

- ограниченные возможности государства по финансированию своих оборонных потребностей;
- значительное ослабление научно-технического, технологического и интеллектуального потенциалов и, как следствие, усиление внешней технологической зависимости страны;
- увеличение военно-технологического отрыва ведущих мировых держав и наращивания их возможностей по созданию В и ВТ новых поколений, что знаменует качественно новый этап гонки вооружений.

Ситуация такова, что Россия не сможет в ближайшие годы поддерживать военно-стратегический и военно-технический паритет с ведущими державами Запада на «симметричной» основе. В ближайшее десятилетие не

представляется возможным обеспечить целостность и полномасштабное развитие всех компонентов системы вооружения национальных ВС.

Поэтому необходим поиск рационального сочетания эволюционного и «революционного» путей и наиболее эффективных асимметричных направлений развития В и ВТ, а также технического оснащения ВС РФ.

Главная цель военно-технической политики определена Министром обороны как «оснащение ВС РФ приоритетными средствами вооруженной борьбы и поддержание в боеготовности тех существующих систем вооружений, которые обеспечат решение поставленных перед ВС задач».

Для нас важны некоторые из принципов достижения этой цели:

- сбалансирование систем вооружений по средствам поражения, информационного, оперативного, технического и другим видам обеспечения;
- опережающее развитие научно-технического задела военного и двойного назначения;
- государственное стимулирование «прорывных» технологий двойного применения, а также в сфере военно-технического сотрудничества с другими государствами;
- сосредоточение ресурсов на повышении уровня информатизации и «интеллектуализации» В и ВТ.

Базовые положения стратегии перспективного развития. Стратегия развития Института должна строиться исходя из необходимости:

- обеспечения сбалансированного развития системы НГГМО ВМФ, ориентированной на решение приоритетных задач перспективных кораблей и вооружения ВМФ и поддержание требуемого уровня боеготовности существующих сил флота через синхронизацию развития методов и средств навигации, гидрографии, геофизики и гидрометеорологии;
- сосредоточения научно-технического потенциала и соответствующего ресурсного обеспечения на создании таких элементов системы НГГМО, которые обеспечивают значительный прирост боевой эффективности сил ВМФ и являются предпочтительными по критерию «эффективность – стоимость – реализуемость»;
- существенного увеличения глубины и качества тактико-техно-экономических обоснований перспектив развития системы НГГМО, особенно при формировании Государственной программы вооружения; использования современных моделей действий сил ВМФ в операциях и боевых действиях для оценки и выбора вариантов развития этой системы, обоснования тактико-технических требований и эффективности НГГМО;
- совершенствования стратегического управления, организации и технологии научно-производственной деятельности; активного развития технологий «двойного применения», обеспечения наращивания научно-технического потенциала Института с привлечением средств сторонних организаций.

В целом в настоящее время Институту предстоит переход от стратегии «выживания» (1995–1998 гг.) к устойчивому сбалансированному развитию на

основе реализации гибкой системы планирования, совершенствования организации и использования современных методов управления в существующей системе рыночных отношений.

Это подразумевает необходимость дальнейшего наращивания научно-технического потенциала и повышения эффективности его работы (путем совершенствования каждой компоненты научно-технического потенциала – накопленных знаний (информации), научно-технических кадров, опытно-эксплуатационной базы, материально-технических и финансовых ресурсов, а также штатной организации).

Основные направления деятельности на предстоящий период. В соответствии с выше изложенным, стратегия развития Гос.НИНГИ предполагает реализацию следующих основных направлений по областям деятельности.

Проведение научных исследований и разработок, научно-техническое сопровождение НИОКР, хоздоговорные работы. При выполнении работ по оборонной тематике необходимо:

1. Применение современных методов системного проектирования и моделирования процессов функционирования больших военно-технических систем. Дальнейшее совершенствование методов оценки системы НГГМО ВМФ и ее вклада в эффективность использования сил флота в операциях и боевых действиях. Внедрение в практику формирования перспективных планов работ методов многокритериальной оптимизации и обоснований рационального состава, структуры и характеристик системы (подсистем, комплексов).
2. Концентрация усилий на обосновании требований к перспективным элементам системы НГГМО, необходимых уровней их достижения с учетом различного рода ограничений и путей их технической реализации, исходя из необходимости поддержания существующего состава флота и обеспечения создания новых видов вооружений и строительства перспективных кораблей ВМФ.

При этом особое внимание при выполнении государственного заказа должно быть уделено созданию:

- корабельных инерциальных навигационных систем, построение на их основе навигационных комплексов подводных лодок, аппаратов, надводных кораблей, других подвижных объектов, разработка методов их испытаний и использования;
- современных средств стабилизации и ориентации, измерителей скорости и глубины, навигационно-гидроакустических средств и систем;
- радионавигационных систем на единой координатно-временной основе;
- зрительных и радионавигационных средств системы навигационного оборудования и системы управления движением судов;
- систем отображения электронных карт, обеспечивающих решение вопросов безопасности плавания;
- методов и средств гидрографии, геофизики, морской картографии;
- современных автоматизированных технических средств съемки рельефа и грунта дна, а также геофизических полей; разработке тех-

нологии гидрографической съемки и методов использования геофизической информации;

- средств и методов обработки, хранения и использования цифровой картографической информации;
- средств освещения гидрометеорологической обстановки на море, ледовой разведки и изучения театров;
- оптимизации в структуре системы НГГМО ВМФ информационных процессов, охватывающих все уровни боевого управления и фактически решаемые флотом задачи;
- методов и математических моделей усвоения данных о навигационно-гидрографических и гидрометеорологических условиях в задачах оценки обстановки и выработки решений органами управления;
- современного банка данных океанографических и геофизических данных как глобального, так и регионального уровней, в т.ч. на базе использования ГИС-технологий.

Основной формой решения этих задач является выполнение НИР по заказам управлений и служб ВМФ и МО, а также других министерств (ведомств). Представляется целесообразным, в частности, рассмотреть возможность развертывания комплексной работы по проблеме о. Байкал в рамках изучения природных объектов мирового значения. Отработать организацию международных связей и научных контактов.

При выполнении хозяйственных работ основными задачами являются:

1. Нарращивание присутствия Института в Федеральных целевых программах, в первую очередь – в программе «Мировой океан», программе создания Единого радионавигационного поля и др.
2. Совершенствование механизма военно-технического сотрудничества с иностранными компаниями и фирмами, имея в виду компенсацию нехватки бюджетных средств за счет экспортных заказов.
3. Участие в выполнении крупных проектов по освоению морских нефтегазовых месторождений и развитию элементов морской транспортной системы.

Здесь открывается достаточно широкое поле деятельности по участию в следующих работах:

- проект вывоза нефти из Тимано–Печерского бассейна (компания ЛУКОЙЛ);
- программа «Арктик–Газ» – программа информационного обеспечения освоения нефтегазовых месторождений на арктическом шельфе;
- освоение Штокмановского месторождения – морские инженерные изыскания;
- проект «Голубой поток» – система производственно–технологического мониторинга;
- прокладка Северо-Европейского газопровода – детальные изыскания и т.д;
- проникновение в «зоны высокой деловой активности» за рубежом (шельф Вьетнама, Индии, Турции, Саудовской Аравии и др.).

При осуществлении этого вида деятельности нам необходимо значительно расширить свой арсенал используемых методов работы. Принципиально важно полностью мобилизовать творческий потенциал каждого члена коллектива Института. В перспективе мы будем практиковать:

- разработки инвестиционных проектов;
- получение кредитов на закупку техники и оборудования под государственные гарантии или залог выводимых из состава флота исследовательских судов;
- создание холдинговых компаний на основе базовых промышленных предприятий с целью консолидации усилий и получения преимуществ в конкурентной борьбе;
- работу с зарубежными фирмами по прямым договорам, предусматривающим проектирование и поставку оборудования, информационное обеспечение производственной деятельности, изыскания.

Уже сейчас нужно конкретно подумать о создании специализированного судна для производства морских инженерных изысканий (судно ГУНиО + гидрография Гос.НИНГИ + геология «Севморгео»). Такое предложение нами получено.

В целом наша политика в области хозяйственной деятельности должна быть настойчивой, агрессивной и гибкой.

В области совершенствования стратегического управления, организации и технологии научно-производственной деятельности. Существующая структура управления, организация и технология научно-производственной деятельности сложились в период плановой экономики и работы Института по стабильному государственному заказу. Переход на новую систему хозяйствования и отказ от административных методов управления в экономике пока еще не привел к адекватному изменению в нашей деятельности и в настоящее время стало совершенно очевидно, что ее надо менять. Для этого необходимо:

1. Создать в составе органов управления Института самостоятельное подразделение, возложив на него функции «локомотива». Его задачи:

- упорный и целеустремленный поиск заказов и областей возможного приложения научно-технического потенциала Института;
- конкретная практическая организация новых форм и методов работы на существующем в сфере нашей профессиональной деятельности рынке товаров и услуг;
- установление партнерских отношений с предприятиями и фирмами, маркетинг, информационная поддержка управления.

2. Внести принципиальные изменения в условия оплаты труда. Лозунг тут такой – «Кто плодотворно работает, тот хорошо живет». (Этот аспект подробнее рассмотрен ниже).

3. Тщательно проанализировать, оценить возможность и целесообразность повышения статуса Гос.НИНГИ до ранга Государственного научного центра РФ (такие центры частично финансируются по линии Миннауки и эту возможность целесообразно было бы использовать).

Определенные предпосылки к этому, как представляется, имеются. Мы уже сейчас имеем свидетельство о государственной аккредитации при Мини-

стерстве науки и технологий РФ, а значит имеем льготы по уплате налогов, предусмотренные налоговым законодательством РФ, и ряд других льгот, установленных для научных организаций действующим законодательством.

4. Самым серьезным образом заняться всесторонней автоматизацией научно-исследовательской деятельности Института, внедрить в практику повседневной деятельности подразделений современные информационные методы и технологии. Первоочередная задача – создание локально-вычислительной сети Института. Необходимо также в оперативном порядке автоматизировать документооборот, основные процессы управления и планирования.

5. Сформировать банк данных Института, организовав соответствующую работу.

Настоятельной необходимостью является проведение современных маркетинговых исследований в нашей предметной сфере.

Подготовка научных кадров и кадровая политика. Здесь у нас две главные задачи:

- обеспечить постоянный и устойчивый процесс подготовки специалистов высшей квалификации, используя отлаженно функционирующие известные формы работы (соискательство, адъюнктура);
- привлечь к работам Института авторитетных ученых и специалистов, хорошо зарекомендовавших себя в ходе осуществления совместной деятельности.

При этом следует существенно улучшить работу по планированию подготовки научных кадров, их отбору, расстановке, уделив особое внимание обучению и воспитанию молодых специалистов. Параллельно необходимо в полной мере активно использовать знания и опыт практической работы наших ученых, – особенно ветеранов, – которые являются истинными патриотами Института и много сил отдают воспитанию нового поколения специалистов.

Уже сейчас мы смогли обеспечить обучение ряда наших сотрудников современным технологиям за счет Института, готовимся командировать одного из перспективных офицеров на стажировку в Италию. Обострение конкуренции на рынке труда предоставляет широкие возможности по привлечению высококвалифицированных специалистов со стороны. Целесообразно активизировать усилия в этой области.

В целом можно смело сказать, что для нас нет неразрешимых задач – нужен только продуктивный, конкретный замысел и желание трудиться с полной отдачей сил.

Для стимуляции работы ученых, повышения качества и эффективности проводимых исследований в практику нашей жизнедеятельности вводится проведение конкурсов на лучшую НИР. Такой конкурс объявляется с 2000 г. Для упорядочения работы ученых и специалистов Института, оценки их индивидуального вклада, а также повышения действенности контроля предполагается введение «карточки специалиста» (карточка учета основных показателей работы специалиста-ученого) установленного образца.

Редакционно-издательская деятельность. Издание журнала «Навигация и гидрография», сборников трудов части и другая наша печатная продукция – важнейший участок работы, прямо связанный с формированием имид-

жа Института и утверждением его авторитета как в научном мире, так и на коммерческом рынке.

По этому направлению необходимо:

- модернизировать нашу производственно-технологическую базу;
- разработать и утвердить ряд организационно-технических документов, в т.ч. по журналу «Навигация и океанография»:
 - предусмотреть включение Гидрографического общества в состав одного из учредителей;
 - шире привлекать к участию в работе крупных отечественных и зарубежных ученых;
 - обеспечить публикацию в каждом номере по крайней мере одной статьи на английском языке.

Было бы целесообразно, – как это практикуется в некоторых изданиях, – сформировать «образцовый» номер журнала и бесплатно разослать его персонально ведущим ученым с приглашением к сотрудничеству.

Социальная политика. Главное богатство, которым мы располагаем – это наш коллектив. В большинстве своем в его составе высококвалифицированные, преданные делу специалисты, искренне стремящиеся к решению поставленных перед нами задач в интересах обороны и экономики страны. Поэтому необходимо создать все условия для того, чтобы эти люди могли в полной мере реализовать свой профессиональный потенциал, талант и энергию.

Планируются конкретные шаги в данном направлении. Социальная политика направлена на то, чтобы каждый член коллектива мог работать с полной отдачей, получал достаточную оплату за свой труд, гордился своей принадлежностью к Гос.НИНГИ и был твердо уверен, что в трудную минуту ни командование, ни коллеги не оставят его без помощи и внимания.

Решить такой комплекс проблем исключительно сложно. Нам мешают:

- противоречия в нормативной базе, определяющей деятельность военных хозрасчетных предприятий;
- сокращение бюджетного финансирования;
- сокращение численности офицерского состава и т.д.

Материальной основой для формирования справедливой социальной политики является устойчивое финансовое положение части и гибкая политика в оплате труда. При этом важно строго придерживаться принципа социального партнерства между администрацией и коллективом. Администрация обязана заботиться о сотрудниках, помогать в трудоустройстве, обучении, продвижении достойных специалистов по служебной лестнице, обеспечивать хорошей зарплатой. Каждый член коллектива, со своей стороны, обязан честно и добросовестно трудиться, не допускать халатности, нарушений дисциплины и установленного распорядка дня.

В плане осуществления перспективной социальной политики необходимо:

- пересмотреть и выработать новые условия оплаты труда;
- пересмотреть и выработать новые правила выполнения хоздоговорных работ. Зарабатывание денег для Института необходимо рассматривать как прямую функциональную обязанность каждого руко-

водителя. Формы заработков могут быть самые разные: договорные НИР, проектирование, поставки оборудования, аренда помещений.

- совершенствовать формы совместной деятельности с нашими «дочерними» предприятиями (НИЦ Природопользования, НПК «Промэлектроника» и др.).

Подготовка соответствующих документов планируется. Базовые принципы, которые должны быть заложены в их основу, следующие:

- сотрудник (сотрудники), вне зависимости от их должностного положения, которые обеспечили получение Институтом договора и качественное выполнение работы по нему, получают в качестве вознаграждения до 20% от суммы, подлежащей выдаче ВТК в качестве заработной платы;
- нормативные отчисления устанавливаются в следующих размерах:
 - накладные расходы – 35%;
 - фонд развития Института – 5%;
 - фонд оплаты труда ученых, внесших по итогам года определяющий вклад в наращивание научно-технического потенциала Института, и фонд социальных выплат – 5%;
 - остальные отчисления – в соответствии с действующими нормативами;
- порядок согласования и утверждения хоздоговорных работ и договорной документации по ним, если они составляют коммерческую или технологическую тайну, определяются руководством Института;
- один экземпляр отчетных документов по всем договорным работам (электронная полная копия) вносится в специализированную БД, доступ к которой осуществляется с разрешения руководства Института;
- подготовительная работа к выполнению хоздоговорных тем может осуществляться в любой форме. Принятие решения на проведение хоздоговорной работы осуществляется лично начальником Института по согласованию участия конкретных подразделений и специалистов с соответствующими начальниками;
- запрещается какая-либо сепаратная деятельность, связанная с индивидуальным «выносом» интеллектуальной продукции Института, а также посредничество при заключении договоров с гензаказчиками.
- Взаимодействие с «дочерними» предприятиями:
- если Гос.НИНГИ связан с «дочерним» предприятием договором о совместной деятельности, то последние оплачивает только свои телефонные разговоры, коммунальные услуги и 20% от установленной арендной платы. Институт участвует в доле от прибыли реализованной предприятием продукции;
- если Гос.НИНГИ не связан с «дочерним» предприятием договором о совместной деятельности, то последний выплачивает все предусмотренные платежи и арендную плату.

Для стимулирования труда наших сотрудников можно было бы установить именные годовые премии (по навигации, гидрографии, океанографии) за лучшие НИР.

Думается, что реализация указанных направлений принесет свои конкретные результаты.

Заключение. В перспективе Гос.НИНГИ представляется специализированным научным учреждением, обеспечивающим комплексное решение научных проблем и задач в области навигации, гидрографии, морской картографии и океанографического обеспечения ВМФ (МО), а также интересов других ведомств на общегосударственном уровне. Организацией, обладающей существенным научно-техническим потенциалом и практическими возможностями по его успешной реализации путем координации планов, программ и проектов, а также самостоятельному проведению НИОКР, имеющей отлаженные научные и производственные связи на международном и отечественном уровне, стабильное финансово-экономическое положение и уверенные перспективы дальнейшей деятельности.

ГРНТИ 78.21.39

О ПРОБЛЕМАХ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА

А.А.КОМАРИЦЫН
(ГУНиО МО РФ),
В.Г.ДМИТРИЕВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Статья посвящена проблемам создания системы информационного обеспечения сохранности естественных ресурсов озера Байкал (включая прибайкальскую территорию) как объекта Мирового природного наследия. Эти проблемы затрагивают интересы многих министерств, ведомств и международных организаций, которые в течение многих десятилетий проводят сбор различных данных по байкальской природной зоне. Приведен анализ текущего состояния информационного обеспечения территории Байкала. Высказаны предложения о создании современной информационной системы озера, в том числе электронной энциклопедии его природных ресурсов. Поставлен вопрос о создании Международного научного информационного центра «Байкал».

Введение. Роль природной территории озера Байкал и прибайкальской территории как системообразующего элемента в жизни Сибирского региона, России в целом и, более того, всей Земли неоспорима. В декабре 1996 г. ООН (Комитет по мировому наследию) признала Байкал примером выдающейся пресноводной экологической системы и включила озеро в Список участков мирового природного наследия [1, 2].

Видные российские ученые уже неоднократно выдвигали гипотезу о том, что Байкал в силу специфики своего происхождения и эволюции может выступать в роли природной модели Мирового океана. Это обстоятельство играет важную роль для проведения на примере байкальской природной зоны как фундаментальных исследований проблемы взаимодействия природы и человека, так и прикладных гидрографических, геофизических, гидрометеорологических, экологических и других научных исследований в различных областях науки и техники.

Проблема озера Байкал затрагивает интересы многих министерств, ведомств и международных организаций, которые в течение многих десятилетий проводят сбор различных данных по байкальской природной зоне. Информационные материалы о природной среде территории Байкала как объекта Мирового природного наследия могут послужить базой для привлечения пристального внимания общественности и воспитания бережного обращения к уникальным природным анклавам, имеющим непреходящую историческую, культурную, биологическую, экологическую, научную и эстетическую ценность. Одним из аспектов этой проблемы видится создание современной электронной мультимедийной энциклопедии озера Байкал, которая в компактной форме будет хранить все основные сведения о байкальской природной территории.

В мировой практике уже накоплен значительный опыт семантического и синтаксического согласования разнородных научных данных о природных объектах на основе современных информационных технологий – географических информационных систем, распределенных баз данных и знаний и т.п. (в части гидрографических данных, см., например, [3, 4]). В ряде организаций Сибирского отделения (СО) РАН в рамках международных научных проектов эти технологии успешно применяются и для освещения экологической обстановки в районе озера Байкал.

Главное управление навигации и океанографии Министерства обороны (ГУНиО МО) обладает богатейшими данными гидрографических экспедиций на акватории Байкала. Это ведомство издавна систематически осуществляет руководство комплексными исследованиями природных территориальных объектов как в национальных, так и в международных интересах [5]. Полученный им опыт несомненно должен быть использован в международных проектах ЮНЕСКО по сбережению Мирового природного наследия.

Для унификации разнородных информационных ресурсов, разработки комплексной системы данных по байкальской территории и создания электронной энциклопедии озера Байкал на основе современных информационных технологий представляется целесообразным образовать в рамках международных научных проектов ЮНЕСКО (в том числе Межправительственной океанографической комиссии) и Европейского союза совместно с заинтересованными ведомствами Российской Федерации специализированное научное подразделение – Международный научный информационный центр (МНИЦ) «Байкал». А подготовленная им электронная энциклопедия Байкала могла бы положить начало целой серии аналогичных энциклопедий по другим объектам Мирового природного наследия, тем самым, обеспечив мировое сообщество всесторонним, постоянно обновляемым их описанием на современных информационных носителях.

Изучение природы Байкала ведется уже не первое столетие и в целом по нему накоплен огромный научный и исторический материал – в период со второй половины XVII столетия до середины 80-х годов XX века опубликовано не менее миллиона научно-технических документов [6]. К настоящему времени число публикаций существенно возросло.

В XVIII-ом веке в основном изучались только флора и фауна Байкала. В XIX-ом началось систематическое физико-географическое обследование озе-

ра. К важнейшим направлениям геофизических исследований Байкала этого периода можно отнести:

- гидрографические исследования;
- изучение климата;
- магнитные наблюдения;
- наблюдения за колебанием уровня;
- исследования ледяного покрова;
- астрономо-геодезические наблюдения;
- исследование силы тяжести.

Результаты этих работ отражены в «Лоции и физико-географическом очерке озера Байкал» под редакцией Ф.К.Дриженко (1896–1902 гг.) [7].

Следующий временной этап фундаментальных исследований природы Байкала – середина прошлого столетия. По данным А.В.Плахотника [8], к основным научным дисциплинам исследований в 50–60-е годы можно отнести гидрохимию, биологию, геоморфологию, а также изучение термического режима озера. Важнейшие результаты опубликованы М.М.Кожовым [9] и в целом ряде других трудов (см. ссылки в работе [6]).

Необходимость создания современных высокоточных навигационных карт определила направленность гидрографических исследований 80-х годов. В 1979–1981 и 1981–1986 гг. силами Гидрографической службы Тихоокеанского флота с этой целью был выполнен комплекс полевых работ по созданию плановой основы промера, организации гидрологических постов для наблюдений за колебаниями уровня озера, проведению съемки рельефа и грунтов дна, топографической, геофизической и магнитной съемок побережья. В итоге получены картографические материалы, необходимые для создания навигационных карт и планов различных масштабов, способных удовлетворять все запросы судоводителей и ученых. Обработка материалов, составление и редактирование новой лоции Байкала было выполнено в 1987–1990 гг.

Последние десятилетия характеризует широкая международная научная деятельность по исследованию Байкала [10], которую осуществляют международные научные центры, созданные на базе подразделений СО РАН. Основным методологическим принципом выступает междисциплинарный подход, объединяющий усилия нескольких геологических и геофизических дисциплин, а также лимнологии и гидродинамики. К направлениям исследований относятся биоразнообразие, видообразование, активная тектоника, сейсмическое профилирование и морфологический анализ, палеоклимат, землепользование и другие аспекты устойчивого развития в байкальском регионе. Международные байкальские проекты (БИСЕР, КАЗИМИР и другие) включают, в частности, многоканальное сейсмозондирование, глубинное бурение (при участии Японии и США), в том числе и на подводном Академическом хребте, исследования колебаний климата и его реконструкцию в ретроспективе около 15 млн. лет. Проводятся детальная реконструкция изменений формы озерного бассейна и моделирование вызвавших их структурных процессов.

Исследование влияния гидротермальных источников на гидродинамику Байкала выполняются в рамках изучения экологических проблем рифтовых бассейнов (проект ИНТАС при поддержке правительства Бельгии).

Особое внимание в настоящее время уделяется проблемам создания информационных инфраструктур по проблемам экологии Байкала (международная программа ТАСИС). Важную роль при этом играет Байкальский международный центр экологических исследований. В организации и проведении исследований Байкала деятельное участие принимают и отечественные научные организации (СО РАН в рамках интеграционных междисциплинарных программ), Российские научные фонды (РФФИ, РГНФ), а также региональные администрации.

Следует отметить, однако, что в последнее время наметилось снижение интереса международных научных фондов к байкальской тематике. Возможно, это обусловлено, с одной стороны, неправомерным представлением о полноте собранных ранее данных, а с другой, по-видимому, низкой информативной эффективностью разобобщенных сведений о Байкале.

Проблема формирования информационных ресурсов по Байкальскому региону. В силу уникальности совокупности своих специфических особенностей Байкал по-прежнему остается территориальной зоной мирового значения для изучения важнейших аспектов проблемы взаимодействия человека и природы. С этой точки зрения его изучение должно продолжаться, в полной мере используя преимущества системного подхода для проведения комплексных научных и прикладных исследований. Наиболее перспективными в ближайшем будущем представляются:

- проблемы управления территорией (в аспекте устойчивого развития региона);
- экологические проблемы сохранения природной среды озера;
- традиционные проблемы навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения безопасности плавания и поддержки аварийно-спасательных мероприятий;
- проблемы изучения фундаментальных геологических и геоморфологических, а также экологических, биологических и других процессов в экосистемах и биоценозах согласно критериям формирования объектов Мирового природного наследия ЮНЕСКО [11].

По мнению академика Н.Л.Добрецова, Байкал является «уникальной природной лабораторией». Помимо базы для фундаментальных исследований, акватория озера и его прибрежные территории могут служить естественным полигоном для отработки в локальных условиях способов решения частных задач навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения в интересах обороны и экономики страны. С этой точки зрения с максимальной степенью эффективности могут быть задействованы конверсионные информационные технологии, которыми располагает ГУНиО МО. В качестве примера участия военных моряков во внутренних пресноводных водоемах можно указать на опыт ВМС Канады по оказанию содействия при проведении мероприятий по поиску и спасению (национальная программа SAR) на акватории Великих озер [12], а также при проведении операций по контролю загрязнений, мониторингу климата и т.д. [13].

К числу сторон, наиболее заинтересованных в информации о Байкале и его прибрежных территориях, в настоящее время можно отнести:

- международную научную общественность (Байкал как уникальный природный объект всемирного значения);
- РАН РФ (Байкал как объект многопрофильных фундаментальных исследований);

- Росгидромет (Байкал как фактор формирования погоды и климата);
- ГУНиО МО РФ (Байкал как внутренний гидрографический объект);
- научные организации других министерств и ведомств (Байкал как источник природных ресурсов и как компонент экосистемы Восточно-сибирского региона);
- региональные администрации (проблемы непосредственного управления территориями Бурятии, Иркутской и Читинской областей, Усть-Ордынского Бурятского автономного округа);
- хозяйствующие организации федерального и регионального уровней (Байкальский регион как место размещения объектов производства, сельского хозяйства, транспорта и т.п.);
- отечественные и зарубежные коммерческие организации (Байкальский регион как объект туризма, отдыха и т.п.);
- медицинские организации (лечебно-оздоровительные ресурсы Байкала);
- население (регион как среда обитания);
- инвестиционные компании, банки и т.п. финансовые организации (регион с точки зрения инвестиционной привлекательности).

Различные организации в силу своих функциональных обязанностей являются собственниками/владельцами специфических совокупностей информационных ресурсов по Байкальскому региону. Так, ГУНиО МО – владелец топографо-геофизических данных по Байкалу. В организациях РАН сосредоточены многочисленные сведения по экологии, геологии, геофизике, гидродинамике, биологии, палеоклимату и другим разделам науки. Росгидромет ведет непрерывный учет поверхностных водных ресурсов, включая наблюдения за качеством поверхностных вод. Учет подземных водных ресурсов выполняется на основе данных государственной сети наблюдений за режимом подземных вод системы Министерства природных ресурсов РФ. Кроме того, значительные массивы данных сосредоточены в региональных научных организациях и административных органах.

При формировании комплексного свода данных о Байкале и его прибрежных территориях необходимо учитывать информационные потребности самых различных организаций, деятельность которых тем или иным образом связана с Байкальским регионом. В информационном плане можно выделить некие общие аспекты их деятельности, предопределяющие главенствующие факторы, требующие учета при формировании информационных ресурсов. К этим аспектам относятся:

- администрирование (с учетом сохранения экологии региона);
- фундаментальное изучение проблемы взаимодействия человека и природы;
- прикладные научные исследования.

Перечисленные ниже ограничения определяют базовое направление проектирования системы информационных ресурсов по Байкальскому региону в интересах охраны его экосистемы. В соответствии с действующим законодательством [14], на байкальской природной территории запрещаются или ограничиваются виды деятельности, при осуществлении которых оказывается негативное воздействие на уникальную экологическую систему озера Байкал, в том числе:

- химическое загрязнение озера или его части, а также его водосборной площади, связанное со сбросами и выбросами вредных веществ, использованием пестицидов, агрохимикатов, радиоактивных веществ, эксплуатацией транспорта, размещением отходов производства и потребления;
- физическое изменение состояния озера или его части (изменение температурных режимов воды, колебание уровня воды за пределами допустимых значений, изменение стоков);
- биологическое загрязнение озера и имеющих постоянную или временную связь с ним водных объектов, обусловленное использованием, разведением или акклиматизацией водных биологических организмов, не свойственных рассматриваемой экосистеме.

В качестве особой проблемы необходимо выделить проблему управления Байкальским регионом. Она связана в первую очередь с задачами обеспечения экологической безопасности озера как уникального природного объекта. Озабоченность организацией управления экосистемой Байкал разделяет и ЮНЕСКО (в частности, по поводу загрязнения озера Байкальским целлюлозно-бумажным комбинатом [15]). Для охраны экосистемы озера на байкальской природной территории устанавливается особый режим хозяйственной и иной деятельности, предусматривающий [14]:

- приоритет видов деятельности, не приводящих к нарушению уникальной экологической системы озера и природных ландшафтов его водоохранной зоны;
- учет комплексности воздействия хозяйственной и иной деятельности на уникальную экосистему озера;
- сбалансированность решения социально-экономических задач и задач охраны уникальной экосистемы озера на принципах устойчивого развития;
- обязательность государственной экологической экспертизы.
- К основным видам государственного регулирования в области охраны озера Байкал относятся:
- экологическая паспортизация хозяйственных объектов;
- ликвидация или репрофилирование экологически опасных хозяйственных объектов на байкальской природной территории;
- государственный экологический контроль;
- государственный экологический мониторинг экосистемы озера.

Отсюда основными факторами, которые необходимо учитывать при формировании состава информационных ресурсов по Байкальскому региону (в свете информационного обеспечения процессов его управления), будут:

- особенности землепользования, лесопользования, организация туризма и отдыха в охранной и буферной зонах;
- установление нормативов предельно допустимых вредных воздействий на экосистему озера;
- особенности охраны, вылова (добычи) эндемичных видов водных животных и сбора эндемичных видов водных растений.

Анализ перечисленных выше факторов позволит детализировать состав тематических рубрик при классификации информационных ресурсов о территориальном объекте. Так, например, известно, что выбивание пастбищ (уничтожение животными растительного покрова) и нерегулируемый туризм в прибрежных районах озера Байкал приводят к конфликтам в сфере землепользования. Поэтому для социально-экономической стабилизации региона необходимо экологическое проектирование территории (см., например, [16]). Блоки экологического проекта, как правило, предусматривают:

- разработку плановой документации для регионального или ландшафтного рамочного планирования;
- анализ правовых условий и проектов законов по реализации полученных результатов планирования;
- участие общественности в процессах планирования и реализации;
- реализацию отдельных показательных мероприятий.

Следовательно, для информационного обеспечения экологического проектирования необходимо иметь, по крайней мере, данные по нормативно-правовой базе, регулирующей процессы землепользования, материалы о возможностях реализации предлагаемых проектов и прогнозы предполагаемых последствий (социальных, экономических, экологических и т.п.), сведения о роли при этом общественности и топографические карты рассматриваемой территории. Детальный анализ полного перечня необходимой информации выходит за рамки настоящей публикации. В качестве начального можно предложить следующий вариант верхнего уровня классификации информационных ресурсов региональной администрации, необходимых для осуществления ее административных функций, который может послужить основой и для формирования электронной энциклопедии Байкала:

Основы государственного управления:

- нормативно-правовая база;
- административное деление;
- общие прогнозы, планы и программы;
- разграничение полномочий;
- политические основы государственного управления;
- органы власти и государственного управления;
- система управления районом;
- финансы и бюджет.
- гражданская оборона и чрезвычайные ситуации ;

Социальный блок:

- демография и проблемы населения ;
- системы обслуживания населения ;
- охрана общественного порядка;
- торговля, общественное питание, бытовое обслуживание, гостиницы, туризм;
- медицина и здравоохранение;
- социальное обеспечение;
- система образования;
- культура;
- физическая культура и спорт;

- религия.

Экономический блок:

- общие экономические проблемы;
- муниципальная и федеральная собственность ;
- виды экономической деятельности;
- архитектура и градостроительство;
- жилищно-коммунальное хозяйство;
- лесное хозяйство;
- охотничье хозяйство ;
- водное хозяйство ;
- рыбное хозяйство ;
- военное дело;
- противопожарная безопасность.

Природно-ресурсный блок:

- географическое описание района;
- природные условия района;
- природные ресурсы района;
- проблемы природопользования в районе.

Блок внешних связей:

- взаимодействие с органами власти и управления различных форм собственности;
- связи с населением;
- договоры и соглашения;
- международное сотрудничество.

Подход к детализации процесса формирования информационных ресурсов можно продемонстрировать на примере деятельности ГУНиО МО, использующего информацию о природных объектах с целью:

- создания информационной базы для моделирования гидрологических, гидрометеорологических и других геофизических процессов и поведения объектов в физических средах;
- формирования методологии и организации (в том числе и планирование) наблюдений, сбора, анализа, обработки измерений силами постоянно-действующих гидрографических экспедиций;
- формирования методологии обработки и организации хранения гидрографических данных с доведением до потребителей результатов обработки;
- оценки роли среды при решении отдельных задач навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения деятельности озерного флота;
- отработки частных задач навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения на Байкале как на локальном полигоне;
- анализа влияния характеристик окружающей среды на объекты озерного флота и определения способов оценки этого влияния;
- получения информации о состоянии пространственно-временной изменчивости ареала Байкала в интересах природопользователей и

обеспечения экологической безопасности озера как уникального объекта природы.

По тематическому признаку к сфере интересов ГУНиО МО относятся приведенные ранее разделы геофизики, гидрофизики и физики атмосферы.

Проблемы создания современных информационных систем Байкальского региона. Задача создания автоматизированной информационно-поисковой системы (АИПС) «Байкал» впервые была сформулирована, по-видимому, в работе [17]. К сожалению, предложенный ее авторами вариант уже не соответствует современному уровню развития информационных технологий. Кроме того, он ориентирован на учет библиографии по теме, в то время как интерес для пользователей представляет система хранения первичных фактографических данных.

В настоящее время наиболее значимые результаты по созданию информационно-справочных систем по территории Байкала получены в СО РАН. В течение 1998–1999 гг. Байкальский институт природопользования СО РАН (г. Улан-Удэ) и Лимнологический институт СО РАН (г. Иркутск) при финансовой поддержке Европейского Союза и технической помощи Общества Технического Содействия (GTZ, ФРГ) в рамках программы ТАСИС реализуют проект «Содействие сбору данных и информированию общественности об экологической ситуации в регионе озера Байкал». Его цели состоят в создании децентрализованной геоинформационной системы (ГИС) для Байкальского региона, обмене экологическими данными между принимающими участие в проекте организациями, создании библиографической базы данных и предоставлении доступа национальной и международной общественности к информации по озеру Байкал.

Основными поставщиками информации по данному проекту будут выступать институты Иркутского Научного Центра (ИНЦ) и Бурятского Научного Центра (БНЦ) СО РАН, т.к. в настоящее время экологическую информацию собирают в Республике Бурятия и Иркутской области по отдельности. При дальнейшем развитии системы в рамках других проектов будет осуществляться постепенное подключение информационных баз данных экологической информации различных научных, общеобразовательных и административных организаций.

В Лимнологическом институте СО РАН создана единая АИПС знаний «Байкал» – Банк знаний о Байкале. В его состав входят: библиографическая база, включающая информацию о Байкале, опубликованную с 1970 г. (13,5 тыс. документов), централизованная фактографическая база числовых опубликованных и неопубликованных данных по основным направлениям исследований этого института (300 тыс. записей). Все данные фактографических баз привязаны к географическим координатам и могут быть представлены в виде горизонтального, вертикального, пространственного и временного распределения показателей в табличном или графическом виде, а также на карте Байкала. В настоящее время ведется постоянное пополнение действующих разделов Банка знаний и дальнейшее его развитие.

Среди других участников данного проекта можно указать Госкомитет по экологии и природопользованию Республики Бурятия, Бурятский республи-

канский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Федеральное государственное унитарное предприятие Бурятский центр региональных геоэкологических работ и Бурятскую станцию химизации. Важно отметить, что информационное взаимодействие различных организаций-участников проекта юридически обосновано и регламентируется взаимным соглашением, на основе которого выделены ресурсы общего пользования.

Следует подчеркнуть, что на сегодня значительная часть информационных ресурсов о Байкале все еще рассредоточена по многочисленным научным и административным организациям, в силу чего имеет место несогласованность пространственно-временной и лексической атрибутики, различная степень достоверности сведений и плохая совместимость форматов данных, представленных в электронном виде.

Для формализации информационных процессов все информационные ресурсы современной АИС по Байкальскому региону следует представлять в виде информационных объектов, в состав которых входят:

- документы (тексты, таблицы, рисунки, схемы, графики);
- картографические объекты:
 - проекты (карты), в форматах поддерживаемых ГИС;
 - слои картографической информации;
- базы данных:
 - атрибутивные (характеризующие картографическую информацию);
 - тематические;
- словари-справочники/кодификаторы.

Все информационные объекты перспективной АИС «Байкал» должны характеризоваться жестко структурированной метаинформацией, входящей в лингвистическое обеспечение АИС и представленной в виде баз метаданных.

Базы метаданных совместно с унифицированными программными средствами их обработки обеспечат учет и однозначную идентификацию информационных объектов, а также унифицированный доступ к ним как в рамках одной информационной системы или рабочей группы, так и при информационном взаимодействии с внешними организациями, что позволит интегрировать информационные ресурсы в единое информационное поле.

Информационные ресурсы общего пользования должны содержать данные в формализованном (или структурированном) виде, что облегчает их ведение и усвоение программными средствами локальных рабочих мест. Данные кодируются на основе общесистемных кодификаторов или принимают значения, определяемые общесистемными словарями-справочниками.

Ведомственная разобщенность информационных ресурсов (как по составу, так и по формам представления) приводит к необходимости проведения большой предварительной работы, направленной на унификацию материалов, предназначенных для ввода в АИС. Эти работы требуют решения целого ряда методологических задач согласования разнородных данных.

Заключение. Наряду с проектированием АИС в научных кругах уже давно была поставлена задача создания энциклопедии озера Байкал [18]. В развитие этой идеи в ряде публикаций были предложены оригинальные ме-

тодологические принципы классификации знаний о Байкале и варианты внутреннего строения озерной энциклопедии [8, 17, 19].

Однако проблема создания энциклопедии Байкала как фундаментального справочного издания требует обработки огромного массива данных с целью обобщения знаний в виде аналитических обзоров и справок. Современные информационные технологии позволяют формировать исчерпывающую информационную базу для проведения таких работ. При этом сервисные возможности компьютерных технологий значительно упрощают и ускоряют обработку исходных информационных материалов, что обеспечивает эффективные условия для своевременного обновления справочных сведений.

Международные стандарты формирования информационных ресурсов о природных территориальных объектах, современные возможности информационных технологий и технических средств в настоящее время определяют возможность создания интегрированных кадастров на единой геоинформационной основе с целью совместимости данных различной тематики (см., например, [20]), которые помимо обзорных данных и обобщенной информации (таблиц, графиков и т.п.) будут содержать и огромные объемы фактических данных.

Разработка такой системы по байкальской природной территории позволит создать информационную платформу для выпусков регулярно обновляемой электронной энциклопедии Байкала в виде информационно-справочной системы, которая может быть представлена на компактных носителях (как правило, на CD-ROM). Популярная версия этой энциклопедии может быть снабжена (в цифровом формате) панорамными фотографиями, видеофильмами, звуковым сопровождением и т.п.

На первых этапах разработки электронной энциклопедии придется решить целый ряд вспомогательных методологических задач (не говоря уже о задачах формирования включаемых в энциклопедию информационных ресурсов). В состав этих задач, в частности, входят:

- разработка общесистемных требований к созданию энциклопедии;
- обоснование состава и структуры энциклопедии;
- разработка состава сервисных функций энциклопедии;
- разработка перечня типовых запросов к энциклопедии;
- разработка структуры пользовательского интерфейса и вида экранных форм представления информации;
- разработка классификаторов и словарей-справочников;
- разработка структур баз данных;
- разработка программного обеспечения энциклопедии.

Особую проблему будет представлять решение задач дизайна и определения состава мультимедийных аксессуаров, позволяющих сделать энциклопедию о Байкале привлекательной и удобной для использования.

Для решения названного комплекса методологических задач и практической реализации рассмотренной информационной системы Байкальского региона предлагается на первом этапе создать Международный научный информационный центр «Байкал» при участии Главного управления навигации и океанографии Министерства обороны РФ, как организации, владеющей наиболее полным физико-географическим описанием уникального озера и богатейшим опытом проведения сложных многопрофильных научных исследований по изучению геофизических сред.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Convention concerning the Protection of the World cultural and natural Heritage. World Heritage Committee. UNESCO. Twentieth Session. Merida, Mexico. 2–7 December 1996. Report WHC–96/CONF.201/21, –1997.
2. Lake Baikal Basin. Descriptions of Natural World Heritage Properties. Information Officer World Conservation Monitoring Center, 219 Huntington Road, Cambridge CB3 0DL, United Kingdom. – November 1996.
3. HYSAS. GIS Applied to sharing and standardizing oceanographic information // ArcNews, –1995, vol. 17, № 2, p. 37.
4. Masson J.Y.M. Management of Hydrographic and oceanographic databases using GIS // Hydrographic Journal. – 1993. – № 68.
5. Komaritsin A., Sytchev V. The Hydrographic Service of the Russian Federation Navy and International Programs // BFU Research Bulletin. – 1996. –December. – № 2. – P. 88–89.
6. Колотило Л.Г. Из истории изучения Байкала и создание его энциклопедии // Экспресс–информация АН СССР «Научная программа энциклопедии «Байкал», № 3–89, 1989, с. 4–11.
7. Лоция и физико-географический очерк оз. Байкал / СПб.: Изд. ГГУ, 1908. 443 с.
8. Плахотник А.Ф. Методологические основы формирования банка знаний для энциклопедии Байкала // Экспресс-информация АН СССР «Научная программа энциклопедии «Байкал», № 3–89, 1989, с. 11–17.
9. Кожов М.М. Очерки по байкаловедению. Иркутск, Вост.–Сиб. книжное изд., 1972, 254 с.
10. Добрецов Н.Л. С законом о Байкале пора поторопиться // Поиск, № 39 (489), 1998, с. 4–5.
11. Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention. UNESCO, 1978–1998.
12. Defense Planning Guidance 1999 (DPG 99). Ottawa: Dept. of National Defense (Canada). –1999. – 120 p.
13. Navy Frigate HMCS “Toronto” Sets Sail For the Great Lakes. NPAO 68.98, September 9. – 1998.
14. Действующая редакция федерального закона «Об охране озера Байкал», принятого Государственной Думой 2 апреля 1999 г. и одобренного Советом Федерации 22 апреля 1999 г.
15. Convention concerning the Protection of the World cultural and natural Heritage. World Heritage Committee. Twenty-Second session. Kyoto, Japan. 30 November – 5 December 1998. Report WHC–98/CONF.203/18. –1999.
16. Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Проект российско-германского сотрудничества. Иркутск, Ганновер. – 1997. – 9 с.
17. Колотило Л.Г., Тарасюк Ю.Ф. К вопросу о создании автоматизированной информационно-поисковой системы (АИПС) «Байкал» // Экспресс–информация АН СССР «Научная программа энциклопедии «Байкал», № 3–89, 1989, с. 22–25.
18. Кондратьев К.Я. Почему нужна энциклопедия озера Байкал? // Экспресс–информация АН СССР «Научная программа энциклопедии «Байкал», № 3–89, 1989, с. 3–4.
19. Колотило Л.Г., Плахотник А.Ф. Проект внутреннего строения энциклопедии Байкала. // Экспресс–информация АН СССР «Научная программа энциклопедии «Байкал», № 3–89, 1989, с. 17–21.
20. Положение о ведении Государственного водного кадастра Российской Федерации. – М., 1998. – 8 с.

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ
РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ И ПРИКЛАДНОЙ
АСТРОНОМИИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАВИГАЦИИ
ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

С.П.АЛЕКСЕЕВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Анализируется состояние спутниковых систем навигации, Подчеркивается необходимость развития в дополнение к ним средств и методов навигации по астрономическим ориентирам. Характеризуются основные пути их перспективного развития.

В современных условиях основными средствами навигации подвижных объектов являются инерциальные навигационные системы (ИНС) и космические (или, иначе, спутниковые) навигационные системы (КНС или СНС). Инерциальные системы обеспечивают определение места и курса (или какого-либо направления) с достаточной точностью в течение длительного времени и фактически являются автономными бортовыми средствами навигации. Если еще 10 лет тому назад актуальной была задача коррекции курса в высоких широтах, то в последние годы дальнейшее совершенствование прецизионных ИНС практически сняло и эту задачу.

Развертывание в 70-х годах низкоорбитных (на высотах $H < 5000$ км) СНС (отечественной «Цикада» и американской «Транзит»), а затем в 80-х годах и глобальных среднеорбитных ($5000 < H < 22000$ км) систем (отечественной ГЛОНАСС и американской НАВСТАР) практически полностью решило задачу навигации или коррекции координат места с требуемой для безопасности движения и обеспечения ракетного и артиллерийского оружия точностью и вероятностью. Однако использование низкоорбитных СНС постепенно прекращается. Функционирование среднеорбитной СНС ГЛОНАСС реализовано только наполовину (из 24 штатных спутников пока запущено 12, причем только 10 из них действуют по целевому назначению) в связи с крайне критическим финансовым состоянием. Кроме того, в ГЛОНАСС до сих пор не введен дифференциальный режим, и максимальные погрешности определения места составляют 45 м. Применение так же, как в НАВСТАР дифференциального режима позволило бы решить задачу определения места с максимальной погрешностью 5 м. Высокоорбитные ($H > 22000$ км) СНС в навигации не используются и нашли применение только в системах связи и телевидения.

Опыт ведения боевых действий в Югославии, когда американская GPS/НАВСТАР в ряде случаев давала неточную или заведомо ложную информацию, возможность уничтожения или временной изоляции космических и наземных радиотехнических систем, а также ряд других причин обуславливают необходимость дальнейшего развития средств и методов навигации по астрономическим ориентирам.

Только критические ситуации позволяют выяснить истинную ценность астрономии и ее прикладных направлений. Основой астрономической навигации

гации является фундаментальная астрономия, которая занимается координатно-временным обеспечением (КВО) в интересах науки, хозяйственной деятельности и обороны. В современных условиях КВО представляет совокупность разнообразных средств и методов измерений. Важнейшим измерительным средством КВО является радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами (РСДБ), которая обеспечивает высшую точность измерений и позволяет создать опорные координатно-временные системы на Земле и в Космосе. Усилиями многих стран создана глобальная сеть РСДБ-станций. В России создается трехэлементный РСДБ – комплекс КВАЗАР, который предполагается ввести в строй к 2003 г. В перспективе планируется интеграция отечественного комплекса КВАЗАР в мировую систему КВО.

Менее высокоточными средствами измерений КВО для широкого круга пользователей являются спутниковые системы GPS и ГЛОНАСС. В результате главной системой отсчета для целей астрономии принята Международная небесная опорная система, точность которой составляет миллисекунды дуги, а для целей наземного обеспечения – Международная земная опорная система с точностью на уровне ± 1 см.

Важнейшим элементом КВО является расчет эфемерид астрономических ориентиров. Совершенствуются динамические теории движения небесных тел. Вместо фундаментального каталога звезд FK4 используется новый фундаментальный каталог FK5 положений и собственных движений звезд. Разрабатывается каталог FK6, как результат объединения данных FK5 с результатами работы на орбите астрометрического спутника ГИППАРХОС. Издаются Астрономический ежегодник (АЕ), Морской астрономический ежегодник (МАЕ) и Сборники астрономических таблиц для нужд ракетно-артиллерийских войск ВС РФ. До 1996 г. издавался Авиационный астрономический ежегодник (ААЕ). Необходимо отметить важность изданий в печатном виде, т.к. представленные таким образом данные не подвержены искажению при случайном или целенаправленном электромагнитном воздействии (что особенно важно при решении боевых задач).

Совершенствование динамических теорий движения небесных тел привело к формированию новой шкалы времени – земного динамического времени (ТДТ) вместо устаревшего эфемеридного времени (ЕТ). По инициативе Военно-морской обсерватории США, возможно будет произведено изменение статуса Всемирного координированного времени ($T_{в.к.}$, UTC). Продолжаются работы по реализации шкалы пульсарного времени.

На базе фундаментальной астрономии развиваются ее прикладные направления. Морская астрономия стала первым прикладным направлением фундаментальной астрономии применительно к обеспечению навигации подвижных объектов, которая зародилась еще в глубокой древности, на заре мореплавания. Измерительные средства и методы навигации по небесным светилам совершенствовались на протяжении многих веков. В течение последних почти 300 лет основным измерительным средством морской астрономии был навигационный секстан, который и по сей день исправно служит на всех гражданских и военных морских флотах в качестве резервного измерительного средства навигации. Особое развитие морская астрономия получила в 50-60 годах XX века с созданием автоматизированных бортовых астронавигаци-

онных систем (АНС) в качестве автономных средств коррекции корабельных навигационных комплексов (НК). Основными измерительными средствами морской астронавигации в настоящее время стали:

- радиоастронавигационные комплексы (РАНК) для ПЛ и надводных кораблей, работающие в оптическом и радиодиапазоне;
- прецизионные перископные оптические астрокорректоры (АК) для ПЛ;
- оптические астропеленгаторы (ОАП) для надводных кораблей;
- навигационные секстаны.

По своим точностным и эксплуатационным характеристикам отечественные АНС не имеют аналогов за рубежом. В этом большая заслуга основных разработчиков АНС: ГНЦ РФ – ЦНИИ «Электроприбор» и АО «ЛОМО». Однако в XX веке с развитием в 70 – 80 годах СНС и в 80 – 90 годах корабельных ИНС наметилась тенденция к отказу от АНС как основного средства астрокоррекции НК, поскольку они перестали отвечать современным требованиям ракетного оружия как по точности, так и по вероятности использования. Фактически, современные АНС подошли к пределу своих точностных и вероятностных возможностей и дальнейшее существенное их развитие возможно либо на качественно новых научно-технических принципах, либо на основе совершенствования методов решения астронавигационных задач. В ближайшие годы возможно использование АНС в качестве резервного и аварийного измерительного средства.

Определенный всплеск интереса к морской астронавигации возник в 1999 г. в связи с «Проблемой–2000» применительно к АНС, которая была успешно решена специалистами Гос.НИНГИ МО РФ, Институтом прикладной астрономии РАН и разработчиками навигационных комплексов ВМФ.

С развитием авиации астрономические методы получили широкое применение на больших трассах перелетов и в слабо изученных для навигации районах. Ориентирование по небесным светилам стало резервным вариантом навигации и осуществлялось с помощью ААЕ, издание которого из-за отсутствия финансирования, как уже отмечалось выше, прекратилось в 1996 г. В настоящее время вновь прорабатывается вопрос профессионального астрономического обеспечения военной и гражданской авиации.

Астрономические методы ориентирования нашли также широкое применение в средствах наведения дальнобойной артиллерии и наземного ракетного оружия для обеспечения загоризонтных высокоточных боевых стрельб. Особый интерес к астрономии появился в последние десятилетия XX века в связи с ведением боевых действий в Афганистане и Чечне в условиях плохой топоцентрической привязки и слабого знания местности. Традиционно в ракетных войсках и артиллерии развиваются два основных направления использования астрономических методов – с помощью ЭВМ и с помощью таблиц. Кроме того, совершенствуются ручные и автоматизированные средства наблюдения навигационных светил. Специально для нужд артиллерии и ракетного оружия разрабатываются Сборники астрономических таблиц.

В 80 – 90 годах XX века для решения серьезных фундаментальных астрофизических задач широкое применение получили космические системы. Они автоматически привязываются по астрономическим объектам, автомати-

чески осуществляют измерения и обработку астрономической информации. При этом зачастую решаются системы уравнений с очень большим числом неизвестных. Однако для широкого круга пользователей эти методы решения задач остаются неизвестными. Низкоорбитные и среднеорбитные СНС также абсолютно не используют астрономические методы привязки и ориентации. Изучение опыта функционирования астрономических космических систем может существенно продвинуть развитие средств и методов астронавигации подвижных объектов различного назначения.

Постепенное уменьшение прикладного применения астрономии для обеспечения навигации подвижных объектов различного назначения привело к резкому сокращению общего времени подготовки соответствующих специалистов. Учитывая специфику и уровень сложности восприятия астронавигации по сравнению с другими методами навигации, наметились новые пути и технологии преподавания прикладной астрономии. Остается надеяться, что современные подходы к обучению соответствующих кадров, включая различные конференции, семинары и регулярно проводимую Гос.НИНГИ МО РФ Астрошколу, позволят качественно повысить уровень преподавания и профессионализма при решении астронавигационных задач в различных областях деятельности человека.

Таким образом, в отношении современного состояния развития средств и методов астронавигации подвижных объектов различного назначения можно заключить следующее.

1. В последние годы наметилась тенденция к отказу от использования астрономических методов для обеспечения навигации подвижных объектов из-за недостаточной точности и низкой вероятности использования астронавигационных измерительных средств, а также в связи со значительным развитием СНС и ИНС.

2. Тем не менее, опыт последних локальных войн в Афганистане, Югославии и Чечне показал уязвимость всех радиотехнических навигационных систем при противодействии противника и необходимость дальнейшего развития астрономических методов навигации подвижных объектов.

3. Различные направления фундаментальной и прикладной астрономии в части обеспечения навигации подвижных объектов фактически развиваются автономно, не обмениваются научно-технической информацией, зачастую решают схожие задачи, слабо взаимодействуют в различных областях научно-технической деятельности.

В связи с изложенным основные перспективы развития фундаментальной и прикладной астрономии для обеспечения навигации подвижных объектов различного назначения видятся в следующем.

1. Для повышения эффективности и конкурентоспособности астронавигационных средств их развитие должно осуществляться на качественно новых научно-технических и технологических принципах. При этом военная техника должна строиться в основном на отечественной элементной базе в целях исключения заблаговременного вывода ее из строя противником.

2. Научно-технические исследования должны быть направлены на повышение точности, увеличение вероятности использования и значительного уменьшения масс и габаритов астронавигационных измерительных средств.

3. Астронавигационные измерительные средства должны обеспечивать как автоматический, так и резервный ручной режимы функционирования.

4. Необходимо повышение уровня автоматизации процессов управления и ориентации. Наведение оружия, измерение и обработка измерительной информации возможно как за счет использования ЭВМ, разработанных на основе современных персональных компьютеров, так и за счет развития компактных специализированных калькуляторов в качестве резервных автономных автоматизированных вычислительных средств.

5. Несмотря на значительное повышение уровня автоматизации обработки измерительной информации необходимо и дальше развивать табличные средства астронавигационных вычислений в качестве резервных автономных неавтоматизированных вычислительных средств.

6. Учитывая, что современные астронавигационные измерительные средства по точности измерений находятся на пределе своих технических реализаций, дальнейшее повышение точности получения необходимых навигационных параметров возможно также на основе совершенствования методов решения астронавигационных задач. В этом плане существенную помощь могут оказать обмен информацией и совместные проработки различных астрономических направлений в области методов исследований, обработки измерительной информации и решения широкого круга задач.

7. Целесообразна унификация в области астронавигационных средств (систем) для ВМФ, ВВС и других видов ВС, а также гражданских ведомств, которая может быть проведена на уровне следующих функциональных блоков или важных элементов:

- фотоприемных устройств;
- телевизионных камер;
- лазерных дальномеров;
- лазерных подсветок ориентиров;
- датчиков «угол-код»;
- элементов гиросtabilизаторов и гировертикалей;
- специализированных вычислительных средств.

Учитывая изложенное, мы считаем, что целесообразно в процессе проведения таких форумов, как третья школа «Астронавигация–2000», проведенная Институтом в марте 2000 г., отработать общие подходы к решению задач астронавигации и наладить соответствующие деловые отношения.

PRESENT STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF FUNDAMENTAL AND APPLIED ASTRONOMY TO PROVIDE THE NAVIGATION OF MOVABLE OBJECTS INTENDED FOR DIFFERENT PURPOSES

S.P. ALEKSEYEV
(Gos.NINGI, MoD RF)

The state of satellite navigation systems is analysed. The necessity to develop, in addition to them, the facilities and methods of navigation, using the astronomical reference points is underlined. The main ways of their development in prospect are characterised.

Under the present conditions, the inertial navigation systems (INS) and space (or satellite) navigation systems (SNS) are the main aids to navigation of the movable objects. The inertial systems provide the position fixing and determination of the course (or some direction) with sufficient accuracy for a long time and are, in fact, the self-contained shipborne or airborne aids to navigation. If as far back as 10 years ago the task of course correction in high latitudes was urgent, in recent years the continuing improvement of precision INS has practically solved this problem.

The deployment of low-altitude (at altitudes $H < 5000$ km) SNS (national "Tsi-kada" and American "Transit") in the 70s, and then of global medium-altitude ($5000 < H < 22000$ km) systems (national GLONASS and American NAVSTAR) in the 80s practically solved completely the problem of navigation or correction of the position co-ordinates with accuracy and probability required for safety of navigation and support for the guided missile and artillery weapons. However, the employment of low-altitude SNS is gradually discontinued. Only half of the medium-altitude GLONASS SNS is operational (out of 24 planned satellites 12 have been launched for the present, only 10 of them being used for special purpose) due to the extremely critical financial state. Besides, the differential mode has not yet been introduced in GLONASS and the maximum position errors are 45 m. The employment of the differential mode, as it is done in NAVSTAR, would enable to solve the problem of position fixing with a maximum error of 5 m. The high-altitude ($H > 22000$ km) SNS are not employed in navigation; use is made of them only in communication and television systems.

The experience of combat operations in Yugoslavia when the American GPS/NAVSTAR produced inaccurate or deliberately false information in a number of cases, possibility of destruction or temporary isolation of the space-based and ground-based radiotechnical systems, as well as a number of other causes necessitate the further development of facilities and methods of navigation, using the astronomical reference points.

Only the critical situations enable to see clearly the true value of astronomy and its applications. The astronavigation is based on the fundamental astronomy which deals with co-ordinate-time provision (CTP) in the interests of science, economic activities and defence. Under the present conditions, CTP is a complex of various means and methods of measurement. Radio interferometry with superlong baselines (RISLB) is the most important measurement means of CTP; it provides the highest measurement accuracy and enables to create the reference co-ordinate-time systems on the Earth and in Space. The global network of RISLB

stations has been created thanks to the efforts of many countries. In Russia the three-element RISLB is being created – QUASAR complex – which is expected to become operational by 2003. In prospect, it is planned to integrate the national QUASAR complex into the world CTP system.

The GPS and GLONASS satellite systems are less accurate measurement systems for a wide range of users. In result, the International Celestial Reference System is considered to be the main reference system for the purposes of astronomy; its accuracy is milliseconds of arc. To provide the ground support, the International Terrestrial Reference System with an accuracy of ± 1 cm is used.

The calculation of ephemerides for astronomical reference points is the most important element of CTP. The dynamic theories of motion of celestial bodies are being improved. Instead of FK4 fundamental star catalogue, the new FK5 fundamental catalogue of positions and proper motion of stars is used. The FK6 catalogue is being developed, which is the result of combination of FK5 data with data obtained from HIPPARCOS astrometric satellite. Astronomical Almanac, Nautical Almanac and Astronomical Tables for the missile forces and artillery of the RF Armed Forces are published. Up to 1996 the Air Almanac was published. It is necessary to underline the importance of publications in printed form, as the data presented in them are not subject to distortion due to accidental or intentional electromagnetic action (which is of special importance in combat operations).

The improvement of dynamic theories of celestial bodies motion resulted in formation of a new time scale – Terrestrial Dynamic Time (TDT) instead of the obsolete ephemeris time (ET). It is probable that the status of the Universal Coordinated Time (UTC) will be changed on the initiative of the US Naval Observatory. The work is going on to implement the pulsar time scale.

Based on the fundamental astronomy, its applications are being developed. Nautical astronomy became the first applied direction of the fundamental astronomy to be used to support the navigation of movable objects that originated in ancient times at the dawn of seafaring. The means and methods of measurement in navigation by celestial bodies were being refined in the course of many centuries. For about 300 years past, the navigational sextant was the main measurement tool of the nautical astronomy; it still serves faithfully in all the merchant fleets and navies as a back-up measuring navigational aid. Of special significance was the development of the nautical astronomy in the 50s–60s of the XX century when there were designed the automated shipborne astronavigation systems (ANS) as self-contained means of correction of ship integrated navigation systems. At present, the following main measurement aids are used in the nautical astronavigation:

- radio astronavigation integrated systems for submarines and surface ships, operating in optical and radio-frequency bands;
- precision periscope optical astro-correctors for submarines;
- optical astro-direction-finders for surface ships;
- navigational sextants.

By their accuracy and operational characteristics the national ANSs have no analogies abroad. Credit for this should be given to the main designers of ANS: State Scientific Centre RF – Central Research Institute "Elektropribor" and Joint Stock Company "LOMO". However, in XX century, due to the development of SNS in the 70s–80s and SINS in the 80s–90s, there began to show the tendency to

abandon the ANS as the principal means of astrocorrection for surface ships because they did not meet the modern requirements of missile weapons any more both in accuracy and probability of employment. In fact, the present-day ANS reached the limit of their accuracy and probabilistic capabilities and their significant development in future is possible either on qualitatively new scientific and technical principles or on the basis of refining the methods used to solve the astronavigation problems. Within the next few years it will be possible to use ANS as a back-up and emergency measurement aid.

A certain sharp increase of interest in nautical astronavigation could be seen in 1999 in connection with "Problem-2000" as applied to ANS. The problem was successfully solved by the specialists of Gos.NINGI MoD RF, the Institute of Applied Astronomy RAS and designers of the integrated navigation systems of the Navy.

As the aviation developed, astronomical methods came into general use on long flight routes and in the areas that were not explored in sufficient detail for navigation purposes. Orientation by the celestial bodies became the back-up variant of navigation; it was carried out using the Air Almanac whose publication was discontinued, as mentioned above, in 1996 because of the lack of funds. At present, the question of the professional astronomical support for military and civil aviation is being studied again.

Wide use of astronomical orientation methods is also made in fire control systems of long-range artillery and ground-based missile weapons to provide the over-the-horizon high-accuracy firing. Particular interest in astronomy became apparent in the last decades of the XX century in connection with combat operations in Afghanistan and Chechnya under the conditions of inaccurate topocentric control and insufficient knowledge of the terrain. Traditionally, two principal directions of employment of astronomical methods are developed in the missile forces and artillery – by means of computers and by means of tables. In addition, the hand-held and automated aids of observing the navigational heavenly bodies are being improved. Astronomical tables are being developed to meet the needs of artillery and missile weapons.

In the 80s-90s of the XX century, space-based systems began to be widely used to solve the serious fundamental astrophysical problems. They automatically provide the positioning using the astronomical objects, carry out the measurement and processing of astronomical information. Very often the equation sets having very great number of unknowns are worked out in this case. However, these methods of solving the problems are still unknown to a wide range of users. The low-altitude and medium-altitude SNS do not use the astronomical methods of positioning and orientation either. Study of the operational practice of the astronomical space-based systems can contribute greatly to the development of aids and methods of astronavigation for the movable objects used for different purposes.

The gradual decrease of the applied functions of astronomy to support the navigation of the movable objects used for different purposes resulted in the sharp decrease of the total time allocated for training the proper specialists. Taking into consideration the specific character and the level of perception complexity of astronavigation as compared to the other methods of navigation, there have emerged the new ways and technologies of teaching the applied astronomy. It is to be hoped that the modern approaches to training the corresponding specialists, including different conferences, seminars and Astroschool that is regularly held by

Gos.NINGI MoD RF, will enable to raise the level of teaching and professionalism when solving the astronavigation problems in different fields of man's activities.

Thus, as far as the present-day state of development of modern aids and methods of astronavigation of movable objects used for different purposes is concerned, the following conclusions can be drawn:

1. In recent years there has been a tendency to stop using the astronomical methods in order to support the navigation of the movable objects because of insufficient accuracy and low probability of employment of the astronavigation measurement aids, as well as in connection with considerable development of SNS and INS.

2. Nevertheless, the experience of the recent local wars in Afghanistan, Yugoslavia and Chechnya has shown the vulnerability of all the radio navigation systems to the enemy electronic countermeasures and the necessity for further development of astronomical methods of navigation for movable objects.

3. Different directions of the fundamental and applied astronomy in the way of providing the navigation of movable objects are developed, in fact, autonomously, there is no exchange of scientific and technical information, very often similar problems are solved, there is poor co-operation in different fields of scientific and technical activities.

In view of the above, the main prospects of development of fundamental and applied astronomy to support the navigation of movable objects used for different purposes can be stated as follows:

1. In order to increase the effectiveness and competitive ability of astronavigational aids, their development should be based on qualitatively new scientific, technical and technological principles. The military systems and equipment should be designed using mainly the national element base in order to exclude their being put out of operation by the enemy.

2. The scientific and technical investigations should be aimed at increasing the accuracy, increasing the probability of employment and considerable reduction of mass and dimensions of astronavigation measurement aids.

3. Astronavigation measurement aids should provide both the automatic and back-up manual modes of operation.

4. It is necessary to raise the automation level of control processes and orientation. The weapons guidance, measurement and processing of the information can be carried out both using the computers based on the up-to-date personal computers and developing the compact special-purpose calculators to be used as back-up autonomous calculation aids.

5. Though the automation level of processing the measurement information has been considerably raised, it is necessary to continue the development of the tabular variants of astronavigation calculations as back-up autonomous nonautomated calculation aids.

6. Taking into consideration the fact that present-day astronavigation measurement aids have reached the limit of their technical implementation abilities, as far as their measurement accuracy is concerned, it is also possible to increase the accuracy of the necessary navigational parameters to be obtained by improvement of the methods used to solve the navigational problems. Information exchange and joint studies for different astronomical directions in the field of research methods, processing of the measurement information and solution of a wide range of prob-

lems can be of considerable assistance in this sphere.

7. It is expedient to carry out the unification in the field of astronavigation aids (systems) for the Navy, Air Force and other services of the Armed Forces as well as for the civil organisations. This can be done at the level of the following functional units or important elements:

- photodetector units;
- television cameras;
- laser range-finders;
- laser illumination of the reference points;
- "angle-code" sensors;
- elements of gyrostabilizers and vertical gyroscopes;
- special-purpose computing aids.

Taking the above into account, we believe that it is expedient to develop the general approaches to solution of the problems of astronavigation and to establish the corresponding business relations in the course of such forums as the third School "Astronavigation–2000" organised by the Institute in March 2000.

ГРНТИ 78.21.41.19.17: 78.21.39.17.01

**ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ
НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
МОРЕПЛАВАНИЯ В ВОДАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**В.С.БОЛДЫРЕВ,
В.И.ПЕРЕСЫПКИН
(ЗАО "ЦНИИМФ")**

В статье сделана попытка анализа изменений в области организации навигационно-гидрографического обеспечения морских перевозок, происходящих вследствие внедрения в практику достижений радиоэлектроники и смены характера производственных отношений в нашей стране.

В обеспечение благоприятных для мореплавания условий, способствующих эффективному осуществлению морских перевозок, необходимо:

1. Выполнить работы по изучению заданной акватории в гидрографическом и гидрометеорологическом отношениях и на основе полученных результатов создать навигационные карты (цифровые базы картографических данных) и пособия для плавания.
2. Организовать рациональное обеспечение мореплавателей картами и пособиями для плавания и поддержание этих материалов на уровне современности.
3. Создать систему средств навигационного оборудования, позволяющую надежно обеспечить безопасность плавания в определенных акваториях с целью улучшения экономических показателей эксплуатации судов.

4. Обеспечить судовладельцам возможность выбора судовых навигационных средств, необходимых для оснащения судов, в соответствии с международными и национальными требованиями.

Глубина требований мореплавателей к каждому из названных направлений навигационно-гидрографического обеспечения будет различной в зависимости от степени влияния того или иного фактора на конечный результат функционирования рассматриваемой транспортной системы.

В СССР все перечисленные мероприятия в области навигационно-гидрографического обеспечения морских перевозок подчинялись строгому планированию, обязательному для выполнения как судовладельцами, так и соответствующими гидрографическими организациями и предприятиями промышленности, которым поручался выпуск необходимой техники. Реализация подобных детальных планов не всегда была идеальной, но, тем не менее, система в целом достаточно успешно функционировала.

Вопросы гидрографического изучения морей России на современном этапе. В настоящее время судоходные компании стали частными предприятиями, а организации гидрографического профиля в основном остались в государственной собственности. За государством сохранились и обязанности по обеспечению навигационной безопасности плавания, в том числе и по выполнению обязательств в соответствии с Правилom 9 Главы 5 Международной Конвенции "Охрана человеческой жизни на море" (СОЛАС-74) по изучению своих вод в гидрографическом отношении, изданию карт и пособий для плавания, обмену гидрографической информацией с другими странами и систематическому обновлению соответствующих данных.

Таким образом, в отношении необходимости постоянного гидрографического освещения морских акваторий обстановка осталась прежней. Разве что из-за отсутствия финансирования резко сократился ежегодный объем выполняемых съемочных работ.

Промерные работы в нашей стране почти всегда проводились достаточно интенсивно. При этом в первую очередь учитывались интересы обороны и, в определенной степени, потребности обеспечения народнохозяйственной деятельности на море.

Следует отметить, что в послевоенные десятилетия удалось выполнить большой объем работ, необходимый для издания современных карт почти на все территориальные воды СССР. Однако даже к началу 90-х годов все еще недостаточно изученными в гидрографическом отношении оставались некоторые акватории окраинных морей Северного Ледовитого и Тихого океанов, что определялось большой их площадью и сложностью условий выполнения промера.

В связи с распадом Союза ССР зона ответственности Гидрографической службы несколько уменьшилась. Однако часть материалов съемочных работ российских вод сейчас устарела, поскольку после ввода в действие высокоточных среднеорбитных навигационных систем (СНС) непрерывного действия оказалось, что в некоторых случаях координаты судов стали известны точнее, чем положение объектов на морском дне, показанное на навигационных картах. В большей степени сказанное относится к прибрежным акваториям, находящимся в зонах действия береговых контрольных станций дифференциального режима работы СНС. Как известно, погрешность места в

этом режиме не превосходит 10 м ($P=0,95$). Отмеченное обстоятельство определяет безотлагательную необходимость выполнения повторной съемки рельефа дна в обширных районах отечественных морей.

Гидрографические работы в российских водах традиционно выполняют две государственные организации: Главное управление навигации и океанографии МО РФ и Гидрографическое предприятие Минтранса, разделившие между собой зоны ответственности. Финансирование их деятельности осуществляется за счет госбюджета в пределах лимитов Минобороны и Минтранса, для которых эти обязанности однако не являются основными. Отмеченное обстоятельство, по нашему мнению, может быть одной из причин ограничения возможностей выполнения работ по изучению наших прибрежных акваторий.

Картографическое обеспечение мореплавания. Эта сфера деятельности отечественной гидрографии в связи с переходом к рыночным отношениям должна быть существенно перестроена. Если раньше организация снабжения картами и пособиями для плавания и формирование судовых коллекций карт достаточно эффективно регулировалось директивными указаниями, то теперь за государством остались лишь обязанности по соблюдению международных требований в данной области. В соответствии с положениями Главы 5 Конвенции СОЛАС–74 каждое судно должно обязательно иметь на борту только комплект карт на район предстоящего рейса. Предъявлять судоходным компаниям какие-либо дополнительные требования по составу судовой коллекции карт представляется неправомерным. Сказанное в полной мере может быть отнесено и к прежде существовавшему условию комплектования судовых коллекций преимущественно картами отечественного производства.

Для выполнения требования Конвенции необходимо создать благоприятные условия, обеспечивающие простую и быструю замену комплекта карт в любом порту, где судно может получить новое рейсовое задание. Применительно к линейным судам такая задача решается сравнительно просто, поскольку в этом случае соответствующие мероприятия можно спланировать заранее. Трамповые же суда, по необходимости, должны будут действовать по одному из возможных вариантов:

- иметь на борту полный набор карт по всему ожидаемому району плавания;
- закупать недостающие карты на предстоящий рейс.

Выбор целесообразного образа действий, при условии неперемного обеспечения безопасности плавания, будет определяться экономическими соображениями – по критерию возможного уровня затрат.

По имеющимся сведениям, некоторые агентские фирмы за рубежом предоставляют мореплавателям возможность обмена с соответствующей доплатой ненужных в данный момент карт на откорректированные карты, уже бывшие в употреблении на других судах. Стоимость такого комплекта, разумеется, меньше чем нового. Учитывая высокую износостойкость морских карт, выпускаемых морскими странами, указанный вариант представляется достаточно приемлемым.

Очевидно, что неперемным условием оперативности изменения состава судовой коллекции является наличие широкой сети агентств картографического обеспечения. Отечественные карты в указанном смысле явно проигрывают зарубежным из-за отсутствия налаженной системы распространения,

надеяться на создание которой пока совершенно нереально, поскольку такие службы как, например, Гидрографическая служба Великобритании, обеспечивающая удовлетворение порядка 50% потребностей мирового флота в морских картах, строились в течение столетий.

Наличие в составе судовой коллекции карт, изданных в разных странах, естественно, потребует использования сборников национальных "Извещений мореплавателям" ("ИМ") с тем, чтобы весь комплект карт можно было постоянно поддерживать на современном уровне. Все это создает дополнительные неудобства мореплавателям.

Широкое распространение электронных методов обмена информацией – электронной почты и сети Интернет – позволяет в значительной мере сократить время доведения корректируемой информации до находящихся в рейсах судов. Ряд гидрографических служб уже несколько лет тому назад перешел на выпуск "ИМ" на дискетах с записью информации в текстовой форме, что дает возможность уменьшения объема почтовых отправок, облегчает получение данных в портах захода и значительно упрощает проведение корректуры пользователем. В частности, Гидрографическая служба Великобритании обеспечивает передачу "ИМ" через связную систему ИНМАРСАТ [1].

В этом плане следует отметить весьма прогрессивную инициативу ГУНиО МО, объявившего в "ИМ" 1514/98 (вып.12) о вводе в действие "Электронного каталога карт и книг" и "Электронных извещений мореплавателям ГУНиО МО". Документ содержит описание нескольких вариантов обслуживания, имеющих различную стоимость, и в зависимости от условий своей деятельности судоходные компании могут выбирать наиболее подходящий для них способ получения корректурной информации. Указанное нововведение существенно расширяет зону обслуживания судовых коллекций, состоящих из карт отечественного производства, и тем самым повышает их конкурентоспособность.

Сама система выпуска традиционной картографической продукции тем не менее у нас пока серьезных изменений не претерпела. Так же как и раньше, Годовой Исполнительный План картпроизводства верстается с учетом заявок основных судоходных компаний и на его реализацию Министерство обороны выделяет так называемый "операционный кредит" (средства, полученные от продаж карт и книг, уходят на погашение этого кредита). При таком порядке денег часто нет даже на закупку бумаги для "ИМ" и их выпуски задерживаются на несколько (иногда до восьми) недель. Внедрение электронных средств передачи информации, существенно удешевляющее процесс обновления карт, позволит ослабить негативное влияние этого обстоятельства.

Следует отметить, что в последние годы значительно увеличились сроки издания карт и особенно книг. Некоторые лоции задерживаются в печати на годы, что приводит к накоплению большого объема корректуры уже даже на только что выпущенные издания. В целом еще раз следует подчеркнуть, что система снабжения картами и пособиями для плавания пока все же мало изменилась, осталась громоздкой и медленно действующей.

Пожелания мореплавателей здесь достаточно просты. Им нужно, чтобы весь процесс происходил по схеме – "пришел, заплатил деньги и получил карты". Если указанную операцию можно будет осуществить где угодно, то наши моряки будут оказывать предпочтение отечественным картам хотя бы

потому, что они "на родном языке", а текстовая нагрузка навигационных карт сейчас повсеместно увеличивается. Кроме того пока еще действуют традиции и просто привычка к виду отечественных карт.

Качество наших карт в целом мореплавателей устраивает. Наиболее серьезные претензии возникают в части достоверности информации, показанной на отечественных крупномасштабных картах зарубежных портов. Очевидно, что такие карты могут быть выпущены с существенным запаздыванием, только на основании уже изданных национальных карт. А это обстоятельство может привести к искажению первичных сведений, что отмечалось при посещении нашими судами зарубежных портов, в которые они заходят редко. Гарантией от таких неприятностей могла бы послужить прежде применявшаяся практика "оплавывания", но на её реализацию уже давно нет средств. Отсюда следует, что издание у нас таких карт, по нашему мнению, реальной перспективы не имеет. К тому же и на коммерческую выгоду здесь вряд ли можно рассчитывать, учитывая существенно сократившийся состав отечественного флота.

Нарекания гражданских потребителей картографической продукции вызывает также использование фиксированных значений знаменателей масштаба, установленных ПГС-5. Указанное обстоятельство иногда приводит к неудобной нарезке карт, особенно на подходах к портам. В других странах такое ограничение не принято. Последнее позволяет изменять границы карты с тем, чтобы поместить на стандартный лист заданную акваторию за счет введения произвольного значения знаменателя масштаба в пределах принятого масштабного ряда путевых или частных карт. В результате удается сократить количество карт, на которых ведется прокладка.

Не так давно в практику деятельности гидрографических служб стало входить издание специальных "справочно-информационных карт" на районы интенсивного судоходства. У нас такие карты изданы по ряду акваторий Дальневосточного региона, близятся к завершению работы над картами Черноморской и Балтийской проливных зон. Мореплаватели уже весьма положительно оценили этот новый вид картографических материалов. В дальнейшем указанные материалы должны быть переведены в цифровую форму, что позволит придать им новое качество за счет простоты и удобства быстрого поиска необходимых данных по разным признакам идентификации и объединения их с текущей навигационной информацией электронной карты. В перспективе это даст возможность построения "экспертных навигационных систем".

Морские лоции 280 ЦКП ВМФ продолжает выпускать (как уже отмечалось выше) в традиционном виде. Большая их часть посвящена описанию береговой черты, т.е. словесному описанию географических объектов, показанных на морской карте, с добавлением некоторых сведений о средствах навигационного оборудования и рекомендаций мореплавателям, имеющих, как правило, общий характер. Представляется, что подобный подход к составлению лоций, учитывая современный уровень изученности морей и существующие возможности навигационной техники, необходимо пересмотреть. Наиболее важные сведения по навигационному обеспечению мореплавания следовало бы, конечно в компактной форме, переносить непосредственно на карту, а в текстовой части оставить общее описание района и его

гидрометеорологический очерк. Широкие возможности в указанном плане просматриваются в области создания цифровых баз картографических данных по типу развивающихся сейчас "Географических информационных систем".

В первом квартале 1999 г. Международная Электротехническая Комиссия ввела в действие Стандарт 61174 "Требования к ECDIS, методы производства испытаний и оценки их результатов". Издание данного документа завершает создание правовой базы, необходимой для внедрения в практику мореплавания такого принципиально нового навигационного оборудования, как "Электронная картографическая навигационная информационная система" (принятая английская аббревиатура – ECDIS). Резолюция ИМО А.817 (19), определяющая требования к её технико-эксплуатационным характеристикам, была принята ещё в 1995 г. Требования к цифровым картографическим материалам для ECDIS приведены в публикациях S-52 и S-57 Международной Гидрографической Организации (МГО).

В Правиле 2 новой редакции Главы 5 Конвенции СОЛАС-74 дается следующее определение термина "официальная морская навигационная карта" – "морская навигационная карта или соответствующая цифровая база картографических данных, изданная уполномоченной на то государственной гидрографической службой". Таким образом подготовка цифровых баз картографических данных, так же как и традиционных навигационных карт, объявляется прерогативой только соответствующих гидрографических служб.

Основным фактором, сдерживающим широкое внедрение в практику судовождения ECDIS, в настоящее время является недостаточное покрытие акваторий Мирового океана цифровыми картами. Гидрографии даже ведущих морских стран мира пока что имеют коллекции цифровых карт, составленных в международном обменном формате, объемом всего в несколько сотен адмиралтейских номеров. Образование двух региональных центров создания цифровых карт – Европейского (Северо-западного) и Японского пока существенных результатов в этом плане не дало из-за нерешенных финансовых отношений между предполагаемыми странами-участницами. Следует признать, что в отличие от традиционных карт цифровая база данных не защищена от несанкционированного копирования и её создатель может легко утратить контроль над своей собственностью. К сожалению, указанное обстоятельство не было учтено при разработке международных форматов обмена данными, что может привести к появлению "пиратской картографической продукции". Технические возможности контроля за тиражированием конечно существуют, но они должны быть регламентированы МГО.

Следует обратить внимание на то, что благодаря значительным успехам, достигнутым в развитии телекоммуникаций, сейчас значительно расширились возможности обмена цифровой информацией. Появилась возможность распространять ее среди широкого круга потребителей из одного центра. Указанное обстоятельство в принципе снимает ограничения, свойственные системам снабжения традиционными картами, поскольку исключает необходимость создания физической сети агентств, которые теперь могут быть виртуальными. Для наших условий это определяет возможность равноправного выхода отечественной цифровой картографической продукции на только что образующийся мировой рынок. Разумеется, на пустом месте реализовать

сказанное не удастся. Нужны серьезные затраты по созданию соответствующих сетей, но шансы здесь пока не утрачены.

Заканчивая обсуждение темы картографического обеспечения мореплавания, можно было бы заметить, что степень использования отечественных традиционных и цифровых картографических материалов в первую очередь будет зависеть от удобства предложенной системы обслуживания гражданских потребителей, т.к. воздействие с помощью директивных методов сейчас мало эффективно.

Представляется, что безусловным спросом будут пользоваться материалы на воды находящиеся под нашей юрисдикцией и, возможно, путевые карты по большинству акваторий Мирового океана. Ситуацию в отношении частных карт на зарубежные порты можно оценить как неопределенную.

Принимая во внимание все более широкое распространение мер по регулированию и контролю за движением судов во все большем числе акваторий, следует ожидать увеличения интереса мореплавателей к справочно-информационным картам (традиционным и в цифровом виде), на которых в компактном виде будет показана информация, относящаяся к условиям плавания в заданном районе.

В свете изложенного предпринятые 280 ЦКП ВМФ активные усилия по созданию обширной коллекции цифровых карт следует расценивать как весьма своевременные. Создаются реальные предпосылки к занятию лидирующих позиций на мировом рынке этого нового вида продукции. Однако для их реализации необходимо не упустить время на создание сети распространения таких материалов.

Средства навигационного оборудования. Навигационное оборудование морских путей производится с целью решения следующих задач:

- создания полей навигационной информации (полей навигационных параметров), необходимых для определения места судна;
- опознавания побережья при подходе с моря и плавании вдоль берега в тех районах, где нет естественных ориентиров;
- ограждения отдельно лежащих навигационных опасностей;
- обозначения на воде линий (полос) движения судов, границ фарватеров и каналов, а также их характерных точек для обеспечения управления движением судов лощманскими методами.

В течение всей многовековой истории мореплавания основную роль в навигационном обеспечении судоходства играли визуальные СНО и лишь во второй половине XX столетия заметное значение приобрели радиотехнические средства.

Последние десятилетия минувшего века ознаменовались появлением новых технических средств навигации – глобальных СНС сначала первого, а затем и второго поколений и электронных картографических навигационных информационных систем, дающих возможность практически непрерывного отображения текущих обсервованных координат на фоне электронного изображения морской навигационной карты.

Практика даже опытной эксплуатации среднеорбитных СНС убедительно показала их неоспоримые преимущества по сравнению со всеми другими

известными радиотехническими СНО (о чем свидетельствует непрерывно увеличивающийся действующий парк бортовой аппаратуры СНС, несмотря на то, что это оборудование пока еще не является обязательным). Ввод в действие среднеорбитных СНС и распространение в морских странах мира дифференциального режима их работы, обеспечивающего непрерывный, всегодный и высокоточный контроль места в водах, стесненных в навигационном отношении, дает достаточные основания для пересмотра многих установившихся положений в области создания и обслуживания СНО морских театров.

До последнего времени общие принципы создания систем СНО можно было сформулировать следующим образом:

- для обеспечения уточнения места судов, подходящих с моря, строилась достаточно редкая сеть маяков большой дальности видимости;
- далее, вдоль побережья устанавливалась более плотная сеть маяков и светящихся знаков меньшей дальности видимости, предназначенных для определения места хотя бы по двум пеленгам;
- на подходах к портам эта сеть сгущалась;
- при построении сети визуальных СНО не учитывалось существование рабочих зон РНС, перекрывающих те же акватории, и наличие на судах РЛС, т.к. приемоиндикаторы РНС не входили (и пока не входят) в состав обязательного судового оборудования, а судовые РЛС имели ограниченное распространение.

Представляется, что сейчас можно изменить сформулированные выше принципы построения систем СНО, предназначенных для обеспечения прибрежного плавания, полагая, что основной задачей их будет создание возможностей для навигационного ориентирования судов, плавающих по рекомендованным путям. Для решения этой ограниченной задачи вполне достаточно иметь в зоне видимости один навигационный знак или какой-либо ориентир естественного или искусственного происхождения. Непрерывный и высокоточный автоматический контроль за текущим местом на всех судах, в соответствии с требованиями Правила 20 новой редакции Главы 5 Конвенции СОЛАС–74, должен будет выполняться с помощью приемоиндикатора РНС или СНС. В качестве дублирующего средства контроля места следует рассматривать судовую РЛС, которая должна устанавливаться на всех пассажирских судах и судах валовой вместимостью 300 рег. т и более.

Ещё одним видом систем, возможности которых нужно учитывать при построении систем СНО, являются все более широко распространяющиеся сейчас системы управления движением судов (УДС), позволяющие выполнять активный контроль за перемещением всех подвижных объектов в обслуживаемом районе.

Известно, что содержание большого количества визуальных СНО и особенно плавучих средств навигационного оборудования требует очень больших затрат. Поэтому службы морских стран мира, занимающиеся в соответствии с обязательствами, принятыми на себя по Конвенции СОЛАС правительствами стран-участниц, навигационным оборудованием прибрежных морских путей, начинают обсуждение проблемы сокращения состава системы визуальных СНО. Цель – экономия расходов на их содержание при непрерывном условии сохранения достигнутого уровня обеспечения навигационной

безопасности плавания. При этом в качестве предпосылок принимаются следующие положения:

- СНС и РНС наземного базирования признаются основными средствами контроля места на всех этапах плавания;
- судовые РЛС являются действенными средствами наблюдения за обстановкой в районе нахождения судна при любых условиях видимости;
- в стесненных водах дополнительный контроль за безопасностью плавания осуществляется с помощью береговых систем УДС;
- визуальные СНО предназначаются главным образом для обеспечения навигационного ориентирования.

Практическое применение подобных соображений оказалось весьма результативным. Так при модернизации системы СНО на подходах к порту Галифакс удалось почти в два раза уменьшить расходы на её эксплуатацию [2].

Сказанное, разумеется, не относится к обеспечению плавания в стесненных водах на подходах к портам, где с помощью створного оборудования и плавучих СНО должны быть обозначены установленные пути движения судов и границы свободных для маневра акваторий.

Следует заметить, что хотя современные технические навигационные средства и дают возможность непрерывного контроля за фактическим перемещением судна на экране ECDIS и таким образом позволяют осуществлять "приборную навигацию", они, несмотря на значительное число выполненных успешных экспериментов, пока не получили широкого распространения. Видимо традиционные методы обеспечения плавания в стесненных акваториях еще надолго останутся в практике мореплавания, поскольку "всепогодное плавание" пока что необходимо лишь для паромов и других судов с жесткими графиками движения.

Несмотря на двойное, а в районах зон действия УДС тройное, резервирование возможностей СНО мореплавания, большинство морских стран мира считает необходимым продолжение эксплуатации действующих длинноволновых РНС наземного базирования в качестве дублирующих зоны действия СНС. Такое решение с технической точки зрения представляется слабо обоснованным, поскольку надежность получения спутниковой навигационной информации от двух функционирующих СНС и так достаточно велика, а её точность значительно выше точности, обеспечиваемой наземными РНС. Скорее всего основной причиной в данном случае является то, что обе СНС находятся в распоряжении правительств США и России, а политические интересы этих стран не всегда совпадают. Кроме того, в конгрессе США периодически возобновляется дискуссия о целесообразности продолжения эксплуатации на деньги американских налогоплательщиков национальной СНС в интересах всего мирового сообщества. Никаких практических последствий эти обсуждения пока не имеют, однако само по себе их наличие некоторое беспокойство все-таки вызывает.

Для нашей страны проблема наземных РНС имеет непосредственное практическое значение. Рабочие поля фазовых особо низкочастотных и импульсно-фазовых низкочастотных РНС у нас создавались в морях Северного Ледовитого и Тихого океанов главным образом в интересах Минобороны, однако при долевом участии бывшего Минморфлота. Дальневосточная цепочка

РНС типа LORAN-C получила наименование "Чайка" и работы по её доводке в период "разрядки и нового политического мышления" были включены в советско-американское межгосударственное соглашение. Ни тогда, ни тем более сейчас, острой необходимости создания такой цепочки в интересах морского транспорта не было и принятые по этому вопросу решения определялись отнюдь не его запросами.

Как известно, отечественный приемоиндикатор системы LORAN-C, отвечающий международным требованиям, так и не был доведен до серийного производства. Таким образом за счет своего бюджета мы создаем радионавигационное поле, использовать которое сможем только с помощью импортной аппаратуры. Такое вложение капитала вряд ли можно назвать разумным.

Почти все сказанное можно отнести и к Северной цепочке данной системы, строительство которой продолжалось более двух десятилетий. Учитывая возможности СНС следует признать, что у морского флота нет оснований для того, чтобы считать РНС типа LORAN-C, так же как и отечественный аналог РНС типа "Омега", перспективными системами навигационного обеспечения.

По нашему мнению, не требует доказательств и заключение о нецелесообразности развития фазовых РНС средней и малой дальности "Марс 75" и "Брас", рабочие зоны которых перекрывали все окраинные моря бывшего СССР (хотя бы потому, что они не пригодны для обеспечения плавания иностранных судов и, кроме того, даже в эпоху планового хозяйства, нам так и не удалось решить национальную проблему хронического недостатка бортовой аппаратуры отечественного производства для судов отечественного флота).

Мировой опыт показывает, что эффективное обеспечение плавания на подходах к берегу и в стесненных водах, включая сюда и прибрежные фарватеры, может быть организовано на основе применения дифференциальных режимов работы СНС, позволяющих непрерывно контролировать свое место с погрешностью порядка 10 м ($P = 0,95$). Сеть контрольных станций такой системы может быть создана на базе существующих морских радиомаяков, которые все равно придется вывести из эксплуатации, т.к. радиопеленгатор уже через несколько лет будет исключен из состава обязательного судового навигационного оборудования (следует заметить, что морские страны мира практически завершили построение сети контрольных станций вдоль своих побережий).

Для того, чтобы перекрыть прецизионным радионавигационным полем наши прибрежные воды на Балтийском, Черном и Белом морях, достаточно поставить на каждом из этих театров по две контрольные станции. По трассе Северного морского пути и на Дальнем Востоке общее число контрольных станций составит еще два десятка. При этом для обеспечения интересов морского транспорта никаких других радионавигационных средств устанавливать не нужно.

Предпочтительность выбора дифференциального варианта работы СНС, кроме высокой точности, надежности и универсальности использования, определяется еще и тем, что он должен служить опорой для построения систем "Автоматической Идентификации Судов" (английская аббревиатура "AIS"). В соответствии с новой редакцией Главы 5 Конвенции СОЛАС–74, установка на судах такого оборудования, предназначенного для обмена ин-

формацией с другими судами и береговыми центрами УДС о месте судна, параметрах его движения и характере груза, станет обязательной с 2002 г.

С учетом изложенного можно заключить, что достижения в развитии СНС дают возможность сократить число визуальных СНО, предназначенных для обеспечения прибрежного плавания и, по крайней мере для нашей страны, исключают необходимость использования РНС наземного базирования. Кроме того, сейчас можно признать полностью утратившим практическое значение такой вид навигационного оборудования, как визуальные мерные линии, поскольку скоростные испытания гораздо проще выполнять с помощью приемоиндикаторов СНС.

Обеспечение для судовладельцев возможности выбора навигационного оборудования, необходимого для оснащения судов в соответствии с международными и национальными требованиями. Решение этой задачи в настоящее время полностью перешло в область рыночных отношений. Государственная поддержка здесь давно прекратилась и отечественные производители навигационной аппаратуры оказались лицом к лицу с насыщенным рынком высококачественной зарубежной продукции, не имея к тому же собственной развитой системы сбыта. В результате российские судовладельцы практически полностью стали ориентироваться на иностранное оборудование, особенно в части радионавигационной техники. Однако поскольку качество навигационного обеспечения от выбора изготовителя судовых приборов прямо не зависит, то с таким положением до лучших времен придется смириться. Конечно выбор продавца и на рынке можно регулировать, но для этого нужны серьезные изменения в экономической политике самого государства. Будут ли они – покажет будущее. Вопросы такого плана очень важны, но интересы морского транспорта связаны с ними лишь косвенно и поэтому пока можно лишь ограничиться только констатацией сложившегося положения.

Заключение. На основании изложенного наиболее значительных изменений следует ожидать в организации рациональной системы снабжения судов гражданского флота картами и пособиями для плавания, а также в области совершенствования навигационного оборудования наших морей. Основополагающие решения здесь уже приняты на международном уровне и нам необходимо оперативно предпринять усилия по их реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Safety at Sea. February 1999, p.5.
2. Aids to Navigation Guide. IALA. 3 th Edition. 1998.

ГРНТИ 78.25.25.29.29.47.35

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛАВУЧИХ СРЕДСТВ
ОСВОЕНИЯ ОКЕАНА И КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА****В.П.ШОСТАК,
В.И.ГОЛИКОВ,
А.Е.ЕГАНОВ**
(УГМТУ, Николаев)

Предлагается нетрадиционный подход к проектированию сложных плавучих объектов для освоения океана и континентального шельфа. Отражены особенности формирования их математических моделей и процессов функционирования с учетом таких факторов как мореходность и надежность. Содержание и последовательность этапов начальной стадии разработки проекта отвечают требованиям исследовательского проектирования. В целом рассматриваемый подход направлен на повышение устойчивости оптимальных проектных решений.

Характерными особенностями плавучих средств освоения океана и континентального шельфа – буровых судов и платформ, научно-исследовательских и обеспечивающих судов – являются их относительно большая энерговооруженность, насыщенность сложным и дорогостоящим комплектующим оборудованием, работа в режиме позиционирования на траектории или в точке над скважиной, длительные экспедиционные рейсы, продолжительная работа на станциях при удалении от береговых баз, наличие на борту развитого жилого комплекса.

Перечисленное выше определяет стратегию создания таких средств с учетом повышенных требований к надежности энергетики, приборных средств и вычислительных комплексов системы позиционирования, маршевых движителей и подруливающих устройств, а также обязывает к строгому технико-экономическому анализу при выборе оптимального решения, что приводит к повышению достоверности и устойчивости проектных решений.

Надежность работы бортового оборудования и плавучего объекта в целом определяет эффективность его эксплуатации, т.к. является основой для успешной реализации соответствующих морских технологий и достижения запланированного хозяйственного или научного результата.

Весомость этого фактора проявляется различным образом в зависимости от характера отказов и их возможных последствий. Так одной из самых серьезных аварий в работе бурового судна является срыв со скважины в результате отказов в автоматической системе позиционирования, что приводит к поломке подводно-устьевого оборудования, возможной потере бурильной колонны, а с нею и к провалу экспедиционного рейса. Подобная авария также может вызвать непредсказуемые экологические последствия. Особенно опасен срыв при выполнении такой технологической операции как опробование скважины или при ином нефтегазопроявлении. Известен случай, когда в середине 80-х годов в результате срыва превентора с опорной плиты на морском дне при отказе в системе управления позиционированием бурового судна «Валентин Шашин», работавшего в Баренцевом море, скважина была раз-

герметизирована, а само судно отклонилось от точки бурения на большое расстояние. К счастью, этот срыв предшествовал операции опробования. В случае же нефтегазопроявления в такой момент и с учетом возможного давления во вскрытом продуктивном пласте, равном примерно 10 Мпа, расходы на задавливание и консервацию скважины цементным раствором из дополнительно пробуренной наклонной скважины, а также расходы на ликвидацию последствий аварии от вылитой нефти составили бы не менее 1 млн. дол. США.

Характеристика особенностей общего подхода к проектированию. Если даже считать невозможным неконтролируемое нефтегазопроявление или потерю бурового оборудования с нулевыми результатами экспедиционного рейса и ограничить вероятный ущерб от аварий простыми потерями времени на восстановление и ремонт бортового оборудования, то и тогда эффективность работы будет существенно снижена, в особенности при частых отказах.

Затраты на ликвидацию возможных аварий относятся к категории эксплуатационных расходов. Соответствующие потери рабочего времени сказываются на общем объеме “полезного продукта” экспедиционного рейса. Для буровых судов и платформ это непройденные метры пробуренных скважин, для научно-исследовательских судов – сокращение площади изучаемых океанических районов, потерянные массивы добываемой научной информации и, более того, срывы в работе вспомогательных средств, призванных обеспечить устойчивую работу основных. К таким вспомогательным средствам относятся суда снабжения, различные береговые службы, суда и станции, занятые в обеспечении решения комплексных задач исследований в океане и на шельфе.

Кроме аварийных ситуаций, на эффективность работы рассматриваемых плавучих средств оказывают большое влияние естественные погодные ограничения. Штормовые условия либо снижают работоспособность основного оборудования и плавучего объекта в целом, либо приводят к вынужденным простоям (т. н. штормовым отстоям) и, как следствие, потерям рабочего времени.

Целесообразно введение понятия обоснованного, определяемого ветроволновыми условиями, расчетного режима эксплуатации судна. Выбор его с учетом долговременного распределения параметров волнения предопределяет технические характеристики оборудования (производительность, мощность, грузоподъемность и пр.), обеспечивающего использование судна по прямому назначению, а, следовательно, связан с расходами на строительство – капитальными затратами.

В значительной мере работоспособность судна в целом определяется его мореходностью – реакцией на внешние воздействия в виде потерь скорости хода, качки и ускорений, слемминга и заливаемости, т.е. в конечном счете условиями для функционирования оборудования и экипажа.

Очевидно, что как уровень надежности объекта, так и расчетные режимы его эксплуатации влияют, во-первых, на величину общих расходов по его созданию, определяя некую долю капитальных вложений и, во-вторых, на характер циклограммы работ в виде того или иного распределения общерейсового времени (период перехода от базы в район работ, продолжительность выполнения технологических операций и штормовых отстоев или отстоев из-

за аварийных ситуаций). В принципе сужение области возможных курсовых углов и скоростей хода, обусловленное присущими рассматриваемому объекту мореходными качествами и предельными возможностями работы его оборудования в условиях качки, можно квалифицировать как зоны отказов. В этом плане надежность комплекса технических средств плавучего объекта и оборудования приобретает общее и универсальное значение.

Таким образом, учет надежности при проектировании таких плавучих объектов, как буровые суда и платформы, научно-исследовательские и обеспечивающие суда, становится средством повышения общей эффективности, т.к. имеет прямое отношение к затратам на их создание и решает главную задачу – организовать варианты исследования технических характеристик подобных комплексов, определить их оптимальное сочетание, руководствуясь уточненными затратами, и сделать выбор проектных решений устойчивым и адекватным реальным условиям эксплуатации.

Безусловно, учет надежности – не единственный путь повышения эффективности. Важную роль при проектировании сложных технических объектов играет учет предыдущего опыта их проектирования, строительства и эксплуатации, что позволяет применить проверенные типовые технические решения по составу и типам оборудования, использовать результаты научных исследований в области прочности конструкций и мореходных качеств плавучих объектов, передовую технологию и инструментарий освоения и изучения вод океана и океанического дна, разработать технологию постройки на базе современных технологических процессов, вооружить команду грамотными инструкциями по эксплуатации, исполнение которых повышает безаварийность и сроки службы оборудования.

Все перечисленное представляет базу, требующую совершенствования, которое достигается в ходе исследовательского проектирования и получения проектных решений с гарантированным качеством. При этом важно помнить, что процесс проектирования сложных объектов при всей его формализации сводится не только к выбору главных размерений и основных характеристик судна, но также направлен на взаимоувязку отдельных видов оборудования, их оптимальное сочетание, на изучение и учет различных физических процессов, связанных с особенностями эксплуатации и, в особенности, с работой обустроенных на борту технологических линий. Поэтому их общее проектирование уже в начальной стадии обращено к задачам статики и динамики, технологии и экономики, конструкции, прочности, мореходности, комплектации механизмами и системами, электрооборудованием и приборным оснащением, системами автоматического управления и контроля и пр.

Все это накладывает отпечаток на формирование математических моделей рассматриваемых объектов и процессов их функционирования и требует использования нетрадиционных подходов при проектировании. Его процесс в данном случае необходимо рассматривать как процесс исследования и обоснования условий эксплуатации и уровня надежности создаваемого объекта с позиции наибольшей эффективности его использования («характеристики решений – показатели надежности – показатели эффективности») [1].

Последовательность проектирования. С учетом изложенного может быть предложена следующая схема выбора главных размерений и характеристик объектов рассматриваемого назначения.

1. В рамках традиционного подхода – с учетом типовых технических решений и особенностей, вызванных назначением и функционированием судна – формируется его математическая модель. В данном случае к особенностям, которые необходимо учитывать, относятся применяемые технологии, реализующее их оборудование и режимы его эксплуатации (например, единая электроэнергетическая система, питающая судовые, технологические потребители и пропульсивный комплекс от одной электростанции; система позиционирования в точке или на заданной траектории движения; буксировка аппаратуры или работа с аппаратурой в дрейфе; бурение скважин и спуско-подъемные операции с бурильной колонной; перемещение тяжелых палубных грузов и проведение грузовых операций в море и т.д.).

При традиционном подходе сбалансированные главные размерения L, B, H и другие технические элементы судна определяются в результате решения системы уравнений и неравенств, отражающих основные физические условия равновесия между судном и окружающей средой. Минимальный перечень мореходных и эксплуатационных качеств учитывается зависимостями, описывающими плавучесть, остойчивость, ходкость и вместимость.

При определении массовых составляющих нагрузки, связанных с мощностью энергетической установки и запасами топлива, обычно рассматривается ходкость судна на тихой воде, а на дополнительную мощность или потерю скорости, связанные с морским волнением, дается статистическая поправка. Уравнение остойчивости, как правило, отражает только начальную остойчивость, а уравнение вместимости учитывает только подпалубную вместимость; положение центра тяжести судна по высоте представляется как доля высоты борта, определяемая по прототипу.

При проектировании сложных плавучих объектов, к которым относятся рассматриваемые технические средства, общие черты такого подхода сохраняются, но целесообразным оказывается усложнение модели в части варьируемого отбора мощности на движение, остойчивости на больших углах крена, учета в нормативной части уравнений мореходности, более строгого составления нагрузки масс и определения положения центра тяжести по высоте.

Оптимизация выполняется одним из известных методов. В результате образуется базовый вариант I-го этапа.

2. Следующим шагом расчетов является исследование мореходности этого базового варианта. Изменяется один из наиболее значимых для качки судна технических параметров – относительная ширина B/T . Для каждого из вариантов B/T производятся расчеты амплитуд, ускорений, слемминга и заливаемости, а также предельно достижимых скоростей хода на различных курсовых углах по отношению к главному направлению бега волн. Рассматривается качка на нерегулярном волнении для штормов различной интенсивности и повторяемости. На диаграммах мореходности наносятся нормиро-

ванные ограничения параметров качки (таблица) и устанавливаются зоны работоспособности судна.

Обобщенные результаты анализа этих диаграмм с учетом повторяемости штормов позволяют установить отношение B/T , соответствующее наилучшей мореходности, с позиций минимизации продолжительности переходов и увеличения тем самым времени нахождения на станции в районе работ, а также обеспечения оптимальных величин экономических показателей. Таким образом, формируется базовый вариант II-го этапа проектирования. Естественно, в процессе исследования качки должны быть откорректированы и сбалансированы главные размерения базового варианта I-го этапа. Эти изменения будут определяться отличающимися значениями B/T и запасами топлива в связи с уточнением скорости хода на волнении. Корректировка может быть выполнена пересчетом водоизмещения по коэффициенту Нормана.

Критерии мореходности

Отклики	Британские правила безопасности для рыбопромысловых судов [3]*	Рекомендации для боевых кораблей ВМС США [4]**	Предлагаемые критерии для среднеавтомных исследовательских судов [2]
Вертикальные ускорения на ходовом мостике, доля от g	—	0,4	0,4
Заливаемость палубы, число заливаний / ч ⁻¹	36	30	30
Слемминг, число ударов / ч ⁻¹	20	20	20
Значительная амплитуда бортовой качки, град.	10	8	10
Значительная амплитуда продольной качки, град.	—	3	5

3. Теперь необходимо исследовать базовый вариант с позиций эффективности и надежности основного комплектующего оборудования, эффективности технологических процессов и выбранных режимов эксплуатации.

Рассматривается связь этих качеств с комплектацией и характеристиками оборудования. Критерием оптимизации решений, как и в первом случае, служат экономические показатели, определяемые входящей в них стоимостью оборудования, объемами и качеством фактически выполняемой полезной работы.

* Согласно [2], приводимые в этой графе сведения относятся к английским судам охраны рыбных промыслов и приведены в работе [14] "Spouge J.R. The Prediction of Realistic Long-Term Ship Seaking Performance. Transactions, North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders, 1985. (Прим. редакции).

** Согласно [2], указанные в этой графе сведения приведены в работе [15] Kennel C., B.White and E.N.Comstock. Innovative Naval Designs for North Atlantic Operation, Transactions SNAME, Vol.93, 1985. (Прим. редакции).

При этом, в основном, корректировке подлежат стоимостная часть критериев и объемы работы. Нагрузка, как правило, остается неизменной. Неизменны и главные судовые размерения. Исключение составляют вариации с мощностью энергетической установки, вызванные, например, исследованием предельных условий ее работы в режиме стабилизации.

Ниже приводятся некоторые задачи исследований, соответствующие III-му этапу проектирования.

Влияние мореходности на эффективность эксплуатации буровых и научно-исследовательских судов. Специфика работы буровых и научно-исследовательских судов (БС и НИС) предъявляет к ним ряд требований, важнейшие из которых ориентированы на обеспечение их эффективной эксплуатации в течение всего программного рейса.

Такое обширное понятие, как эффективность, в данном случае связывается, с одной стороны, с приспособленностью судна к задачам рейса, т.е. гибкостью в отношении возможности выполнения планируемых научных программ за счет использования запасов остойчивости, позволяющих изменять нагрузку и положение центра тяжести судна в широких пределах; наличием удобных и достаточных площадей палуб для размещения сменных лабораторных модулей; обустроенностью развитых транспортных путей и удобным доступом с открытых палуб к помещениям с научным оборудованием. С другой стороны, эффективность определяется мореходностью, обуславливающей условия работы научного персонала, техническую возможность выполнения работ на станции и потери скорости на волнении, т.е. работоспособностью судна в целом.

Поэтому в процессе математического моделирования необходимо последовательно добиваться адекватности модели условиям эксплуатации и учитывать влияние мореходности в критерии оптимизации.

Л.Б.Бреслав еще в начале 80-х годов показал, что при определении полезного эффекта от эксплуатации БС и НИС логичнее всего принимать в качестве определяющего критерия экономической эффективности такой показатель как приведенные затраты, соответствующие законченному объему комплексной работы судна [5]. Тогда, построив циклограмму функционирования, можно определить рабочее время рейса, его использование с учетом мореходности и отразить это в критерии эффективности.

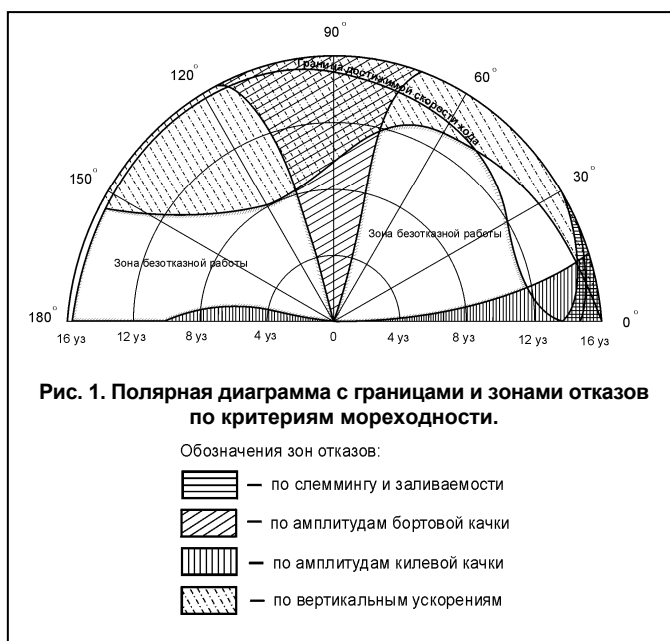
На эффективность НИС существенное влияние оказывают эргономические факторы и критерии мореходности, определяемые в соответствии с [2]. Этими критериями являются допускаемые вертикальные ускорения на ходовом мостике, заливаемость, слемминг, значения амплитуд бортовой и килевой качки. Определив параметры качки по методике ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова [6], а параметры заливаемости и слемминга по методике Д.В. Кондрикова [7], учитывая потери скорости на волнении в упомянутых выше критериях, можно сформировать общий коэффициент мореходности как показатель работоспособности и эффективного использования времени работы НИС с учетом повторяемости волнения.

Отображая на полярных диаграммах (рис.1), построенных для различной балльности волнения, ограничения по всем критериям, включая потери

скорости на волнении, слемминг и заливаемость, необходимо провести огибающую границу зоны, в которой судно работоспособно.

Эффективность использования рейсового времени судна, включая время работы на станции, может быть определена как соотношение соответствующих «площадей» подобной диаграммы.

Таким образом представляется возможность уточнить среднерейсовую скорость, распределение времени между переходами и работой на станции, использование рабочего времени и объемы полезной работы, необходимые запасы топлива в составе нагрузки масс судна, т.е. учесть влияние мореходности на приведенные затраты и выбор оптимальных технических параметров судна.



Следует отметить, что вводя понятие частичной работоспособности, когда некоторые критерии не соблюдаются, в общей схеме анализа мореходности можно по согласованию с заказчиком применить редуцированный коэффициент для зон с нарушением какого-либо из рассматриваемых критериев.

Оптимизация процесса динамического позиционирования судна при морском бурении. Тщательно отработанные алгоритмы управления в программном обеспечении позволяют существенно повысить надежность работы системы позиционирования БС. Совершенствование алгоритмов служит и другой цели – снижению энергозатрат.

Ниже приводятся основные положения по разработке некоторых алгоритмов управления, заслуживающих внимания с учетом обозначенных целей, и намечаются пути их реализации.

Случайные силовые факторы воздействия на судно имеют стационарный характер, при котором осредненные значения параметров длительное время остаются неизменными. В то же время в отдельные моменты времени возникают всплески нагрузок, на которые система обязана реагировать изменением тяги движителей.

Возможны две крайние ситуации при выборе принципа управления БС в режиме позиционирования:

- судно, подверженное динамическому воздействию, например, порыву ветра, предоставленное самому себе, приходит в движение с ускорением, а затем после исчезновения этой динамической нагрузки

притормаживается сопротивлением воды, не выходя при этом из «круга безопасности» (в пределах которого передвижение объекта не влечет за собой аварийного срыва работ). Энергетический уровень системы в этом случае должен быть достаточным для преодоления действия постоянных сил сопротивления при возвращении на исходную позицию до следующего порыва ветра;

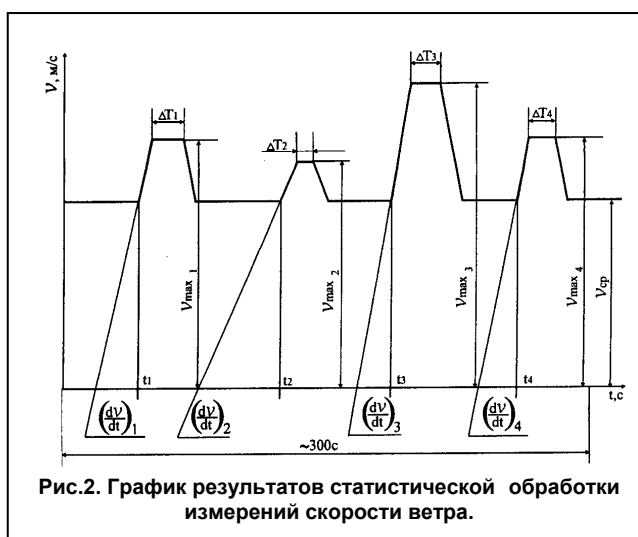
- судно, подвергнутое динамическому воздействию, остается на исходной позиции. При этом энергетический уровень системы таков, что всплеску нагрузки противопоставлен соответствующий всплеск реакции. Величина ее зависит от динамики воздействия внешней силы и может придти в противоречие с реальными энергетическими возможностями судна и его оборудования.

Выбор энергетического уровня загрузки активных средств управления – маршевых движителей и подруливающих устройств – в пределах установленной мощности зависит от погодных условий, ухудшение которых сопровождается увеличением воздействия всех силовых факторов, вызывающих перемещения судна. При этом решается задача минимизации отклонений судна от первоначально заданной точки позиционирования – уставки – при заданном уровне мощности. Обратная задача состоит в минимизации затрачиваемой мощности при заданных предельных отклонениях. Назначенные уровни мощности или отклонений эквивалентны термину «жесткость позиционирования» и регулируются оператором системы в зависимости от погодных условий.

В любом из вариантов рассматриваемой задачи важное место занимают алгоритм прогнозирования внешнего воздействия и алгоритм определения реакции противодействия, ее продолжительности и времени опережения или запаздывания по отношению к внешнему воздействию.

Незначительные линейные и угловые скорости перемещения судна в режиме позиционирования и стационарный характер внешних сил позволяют воспользоваться детерминированной зависимостью комбинации воздействий внешних факторов, включая ветер, волнение и течение, полученной на основе статистического анализа этих сил на некотором временном отрезке.

Для ветра, например, может быть характерна картина определенной повторяемости за период около 300 с. И результаты статистического анализа приборных измерений его параметров, в частности, скорости, за несколько таких периодов могут быть сведены к графику, вид которого представлен на рис.2. В этом случае при



известных аэродинамических характеристиках $C_y(\alpha)$, $C_x(\alpha)$, $C_m(\alpha)$ для надводной части судна не представляет труда переход к силовым воздействиям.

При построении математической модели движения судна учитываются силы вязкостного характера, происходящие от течения (они объединяются с такими же по природе силами сопротивления движению судна в спокойной воде), и волновое воздействие (спектральные плотности возмущающих сил и моментов со стороны взволнованного моря), так же как и течение приводящие к накапливаемому смещению судна от уставки. Расчет указанных сил производится на основе данных модельных испытаний [8, 9].

При назначении уровня располагаемой мощности двигателей в качестве нижней границы принимается мощность, соответствующая статическим условиям – отсутствию перемещений судна при постоянном среднем уровне внешних сил.

Сущность алгоритма опережения в сформулированной задаче оптимизации процесса позиционирования предполагает:

- формирование области независимых переменных, определяющих реакции судна на внешнее воздействия;
- вычисление перемещений и траектории судна для каждого из множества сочетаний независимых переменных и упомянутой детерминированной зависимости внешних воздействий от времени при заданной постоянной технической характеристике конкретного привода;
- анализ вариантов и поиск оптимального решения по упомянутым выше критериям.

Непрерывным условием решения является удовлетворение ограничения $G_k \geq 0$, где G_k – отстояние судна от границы “круга безопасности”.

Неадекватность математической модели движения судна реальным условиям требует проведения непрерывного контроля его положения, что реализуется функционированием целого ряда информационных подсистем непрерывного определения координат. В связи со случайным характером внешних сил и динамическим характером процесса позиционирования необходимо иметь информацию о возможном накопленном отклонении ε от уставки X_o, Y_o (рис.3).

Сведение ε к минимуму – одна из целей позиционирования. Мгновенным (непрерывным) измерениям координат сопутствуют ошибки, что приводит к необходимости фильтрации измерений, выполняемой по отдельному алгоритму.



Один из алгоритмов программного обеспечения должен учесть распределение мощности между двигателями носовой и кормовой групп подруливающих устройств БС. Поперечная тяга и создаваемый ею момент могут быть назначены заданием промежуточного модуля.

Таким образом, тщательно выполненные в процессе позиционирования измерения координат судна и параметров внешней среды, их статистический анализ совместно с применением алгоритма опережения и оптимизацией процесса по одному из названных критериев могут повысить эффективность эксплуатации БС и снизить вероятность аварийных ситуаций при отклонениях ведущего бурения объекта от уставки.

Обеспечение надежности системы управления динамическим позиционированием судна. Система динамического позиционирования обязана безупречно функционировать непрерывно в течение 2 – 3 мес.

Как показывают расчёты, вероятность безотказной работы системы в базовом варианте, т.е. без параллельного и перекрестного дублирования, но при обеспечении наличия нескольких вариантов функционирования, недопустимо мала. Это объясняется большим количеством последовательно включенных в цепочку управления элементов. Особенно снижается надежность в конце рейса при существенном росте показателя $\lambda \tau$ (λ – плотность отказов, τ – время непрерывной работы).

В связи с этим блоки информации и ЭВМ системы управления дублируются. При этом к параллельному резервированию добавляется перекрестное, что значительно повышает надежность системы в целом и доводит её до необходимого уровня.

Таким образом, отказ любого из информационных модулей (гировертикаль и др.) не влечет за собой выхода из строя любой из 2-х параллельных цепей управления, а при выходе из строя одного из первичных источников координат (например, гидроакустической системы) или одной из ЭВМ сохраняется высокая вероятность безотказной работы собственно системы управления с заданным качеством позиционирования в течении времени, достаточного для ремонта и восстановления аварийных ее элементов.

Если велика вероятность отказа элемента, включенного в прямую цепочку успешного функционирования системы, то эффективным мероприятием, повышающим общую ее надежность, оказывается простое одноступенчатое дублирование этого элемента, т.е. структурная параллельность двух одинаковых элементов, образующих информационный модуль (рис.4).

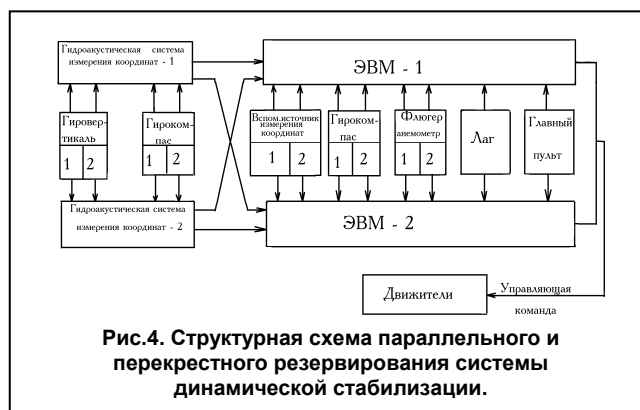


Рис.4. Структурная схема параллельного и перекрестного резервирования системы динамической стабилизации.

К способам повышения надежности средств обеспечения относится также ремонтоспособность, повышение которой достигается модульным построением системы. Причём, модульность касается как оборудования, выполняющего одинаковые функции, так и математического обеспечения. Модульный принцип математического обеспечения определяет преемственность между двумя ЭВМ в любой момент времени как в отношении накопленной и текущей информации, так и в части ее обработки, выработки управляющей команды и ее адаптации к конкретным движителям.

Таким образом в системе дублируются модули ЭВМ, модули источников информации о положении судна и об окружающей среде и модули интерфейса между ними. В целом перекрестное и параллельное дублирование основных цепей системы динамического позиционирования может повысить вероятность безотказной ее работы практически до единицы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нарусбаев А.А. Введение в теорию обоснования проектных решений. Л.: Судостроение. 1976.
2. Bruce L. Hutchison and Duane Laible. Conceptual Design of a Medium -Endurance Research Vessel Optimized for Mission Flexibility and Seakeeping // Marine Technology. Vol. 24, № 2, April 1987, p. 170–190.
3. Salvesson N., Tuck, E.O., and Faltinson O. Costs for Broad Beam Shelter Deck Design//San Diego:Scripps Institution of Oceanography, Oct. 1985.
4. Scientific Mission Requirements for Medium Endurance General Purpose Oceanographic Research Ship // University National Oceanographic Laboratory, System Fleet Replacement Committee. Jan. 17, 1985; revised Dec. 3, 1985.
5. Бреслав Л.Б. Техничко-экономическое обоснование средств освоения Мирового океана. Л.: Судостроение. 1982, 239 с.
6. Программа расчетов качки. ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова.
7. Липис В.Б., Ремез Ю.В. Безопасные режимы штормового плавания. М.Транспорт. 1982, 117с.
8. Технический отчет по работе: Методика исследования главной части возмущающих сил и моментов, действующих на судно, расположенное под произвольным курсовым углом к волне. – ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, вып. 16129, 1973.
9. Технический отчет по работе: Разработка математической модели и определение потребной эффективности средств активного управления. – ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, вып. 18685, 1978.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМЫ "ПАНОРАМА"
ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ТАКТИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ**

**В.А.АВДОНЫШКИН,
А.А.ЛАКУНИН**
(Гос.НИНГИ МО РФ),
**И.В.СТЕПАНОВ,
В.Ф.СИМОНОВ,
А.И.ФУРСА**
(Филиал СПб ВИУ)

Раскрывается перспектива использования геоинформационных систем при изучении тактических дисциплин в системе военного образования. Приведены основные задачи, решаемые в среде геоинформационной системы "Панорама" при моделировании боевых действий и прогнозировании их исхода.

Влияние физико-географических условий и состояния среды на характер современных боевых действий обуславливают определенные требования к информационному обеспечению деятельности командира при принятии решения. Существенную помощь в их удовлетворении могут оказать современные геоинформационные системы (ГИС), которые позволяют осуществлять автоматизированный сбор, хранение, обработку, анализ и отображение пространственной информации.

Использование подобных средств дает возможность быстро ориентироваться в оперативной обстановке, моделировать процессы эффективного использования сил и применения средств при различных состояниях среды и физико-географических условиях, выполнять необходимые расчеты, построения и измерения на электронных картах [1, 2].

Следует отметить, что в настоящее время в ВС РФ ГИС используются лишь частично. В то же время опыт армий зарубежных стран показывает, что их применение позволяет более точно и оперативно решать многие задачи, как в повседневной деятельности вооруженных сил, так и при планировании и ведении боевых действий [3, 4].

Поэтому одним из основных направлений повышения эффективности функционирования систем управления видов ВС, в том числе и ВМФ, является внедрение современных информационных технологий, в частности, с использованием ГИС [3, 5, 6]. Для его реализации необходимо проведение комплекса научных исследований, а также выполнение ряда организационно-технических мероприятий по материальному и программному обеспечению как деятельности войск и сил флота, так и системы подготовки военных специалистов. Актуальность последней задачи обосновывается поиском новых путей совершенствования учебного процесса в условиях реформирования высшей военной школы [7, 8].

Одной из основных военных дисциплин является тактика. При обучении для наглядно-образного представления модели боя в обычном случае в учебном процессе используются топографические карты, макеты местности,

схемы, плакаты и другие дидактические средства, которые не всегда обеспечивают полное восприятие действительности, особенно динамических процессов, происходящих при скоротечных боевых действиях. Кроме того, не всегда удается в полной мере установить двустороннюю связь с обучаемым и учесть его индивидуальные особенности восприятия информации.

Предполагается, что при внедрении в учебный процесс ГИС могут быть реализованы следующие обучающие функции [3, 5, 6, 7]:

- овладение новыми знаниями, понятиями, системами понятий;
- выработка навыков;
- овладение методами оперативной оценки и анализа;
- повторение и закрепление знаний;
- целенаправленное формирование интеллектуальных и других сложных умений;
- обучение с элементами игры.

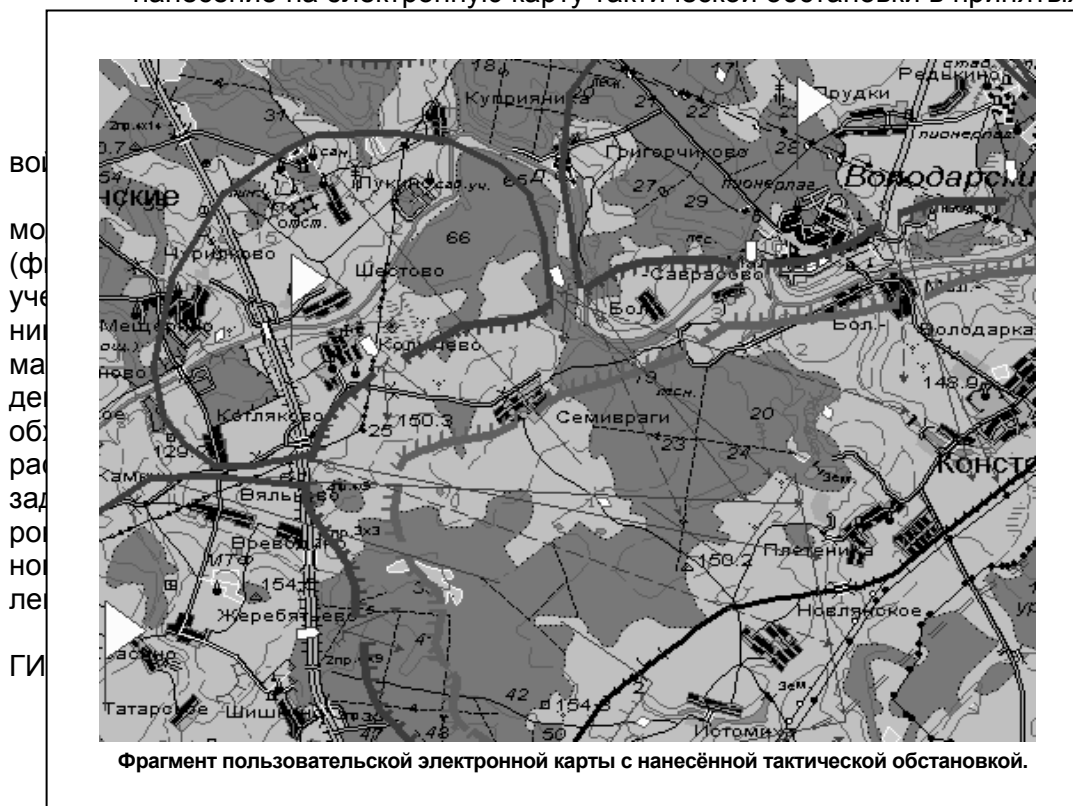
При соответствующих методиках ГИС в системе обучения тактике может приобрести также и контролирующую функцию. При традиционном обучении основная цель – получение знаний – достигается путём освоения материала, обеспечивающего выявление закономерных связей между событиями и явлениями, происходящими при подготовке и в ходе боевых действий. Применение ГИС позволит осуществить внедрение нового метода получения информации, её анализа, обеспечить принятие решений в сжатые сроки, прогнозировать возможный исход боевой деятельности. Обучение в среде ГИС позволит, в определённой степени, отказаться от дорогостоящих бумажных карт, заменив их на электронные карты.

Для создания и редактирования электронных карт, обработки специальной пользовательской информации, в том числе и по материалам воздушного (космического) фотографирования на кафедре фототопографии и фотограмметрии филиала Военно-инженерного университета (Санкт-Петербургского) установлена геоинформационная система «Панорама», разработанная специалистами Топографической службы ВС РФ.

Для анализа тактических и защитных свойств местности, при овладении методикой подготовки и ведения боевых действий с помощью наиболее современной версии ГИС «Панорама» («Панорама 99») могут быть решены следующие задачи [9]:

- изучение местности, а также расположения сил и средств по визуализированной цифровой информации в различных масштабах и с различной степенью детализации;
- выполнение расчётов по карте (определение площадей, длин, периметров объектов);
- выполнение построений по карте (профилей, зон, сечений рельефа);
- определение полей абсолютной и относительной видимости в заданном секторе;
- создание трехмерных моделей местности;
- формирование матричного представления различных свойств местности (матрица высот, матрица тех или иных участков местности, матрица проходимости местности и т. д.);
- поиск объектов с заданными характеристиками;

- ведение баз данных табличного типа с информацией об объектах местности, а также размещенных на них силах и средствах;
- нанесение на электронную карту тактической обстановки в принятых,



Представление данных о положении сил на местности для последующей обработки в «Панораме» может быть представлено в различном виде: векторном, растровом и матричном.

Цифровая векторная информация представляет описание метрических (пространственных) и семантических (атрибутивных) свойств объектов местности. Кроме того, векторная карта может содержать справочную текстово-табличную информацию и специальную пользовательскую информацию.

Цифровая растровая информация содержит описание заданного участка местности в виде двумерного массива значений яркости в соответствующих точках.

Матричные карты содержат данные в виде матриц свойств местности (матрицы высот и матрицы качеств).

Для хранения и обработки прикладных пользовательских данных, быстро меняющихся во времени (например, гидрометеорологической обстановки), «Панорамой» предусмотрено ведение пользовательских карт.

Пользовательская карта (рисунок) – это вспомогательный цифровой документ, используемый совместно с электронными картами, причем эти карты могут быть различного масштаба и на разную территорию. При переносе пользовательских данных с одной карты на другую происходит автоматическая трансформация, учитывающая разномасштабность документов.

Для отображения в ГИС необходимой информации используются типовые наборы условных знаков – электронные классификаторы. Типовые классификаторы можно редактировать или дополнять (и даже составлять собственные) при помощи редактора условных знаков, поставляемого совместно с «Панорамой». Таким образом, могут быть созданы самые различные системы условных знаков, например, отображающих гидрометеорологическую обстановку, изменения и разрушения на местности и др. Особое место в использовании ГИС при отображении тактической обстановки занимают *растрово-векторные пользовательские электронные карты*. В подобном электронном документе в качестве фона используется растровое изображение фотоснимка местности. Пользовательские данные, например, тактическая обстановка и некоторые элементы местности (гидрография, часть дорожной сети подписи и т.д.), целесообразно представить в векторном виде. В итоге обеспечивается высокая информативность фотографического изображения и достигается эффективное решение прикладных задач, а также возможность анализа пространственной и пространственно-временной информации с целью оперативной оценки обстановки и принятия решения.

В качестве исходной информации для построения таких карт могут использоваться космические фотоснимки, аэрофотоснимки, а также фотоснимки, полученные малогабаритными беспилотными летательными аппаратами.

Исходя из возможностей ГИС «Панорама» и перспективы ее использования в ВС РФ, целесообразно внедрение в учебный процесс ВУЗов специального курса по обучению слушателей обращению с этой системой. При этом возникает ряд проблем, которые в настоящее время затрудняют реализацию в ВУЗах МО РФ единого подхода к геоинформационным технологиям [8]:

- отсутствие разработок по определению оптимального типового состава ГИС для военных учебных заведений;
- недостаток наработок по типовому составу учебного комплекта электронных карт, предназначенного для решения расчетных задач при моделировании, прогнозировании и оценке обстановки;
- острая нехватка наглядных пособий, методической литературы и учебников по ГИС для ВУЗов.

Решение указанных проблем возможно только при выполнении целенаправленных разработок в рамках единой концепции обеспечения ВС РФ геопространственной информацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов В.М. О конструктивно-имитационном моделировании // Военная мысль, 1990. №2.
2. Просвилов В.П. О применении искусственных знаковых систем в моделировании процессов вооруженной борьбы // Военная мысль, 1989. №9.
3. Алчинов А.И., Филатов И.Д. Перспективы использования геоинформационных систем в работе штабов и войск // Военная мысль, 1997.–№5.– С. 49–53.
4. Armed Forces Journal International. – June, 1989.– P.128,130.
5. Анохин В.Н., Костин Ю.М., Шейко Б.Н., Шумахер Д.А. Геоинформационные системы и перспективы их использования в Военно-Морском Флоте // Записки по гидрографии, 1997. –N 240.–С. 8–11.
6. Елюшкин В., Поросков Н. ГИС – элемент автоматизированных систем управления войсками и оружием // Независимое военное обозрение. – 1998. –N8.
7. Разумовская Н.В. Использование геоинформационных технологий в системе высшего образования // Информационный бюллетень. ГИС–Ассоциация.–1997.– N 3(10). – С. 46 – 47.
8. Филатов В.Н. О необходимости единой военно-технической политики внедрения геоинформационных

- систем и технологий в учебный процесс заведений МО РФ // Информационный бюллетень.–ГИС–Ассоциация. – 1998. – №2(14) – С. 87.
9. ГИС «Панорама». Руководство пользователя. Ногинск, 1999.
 10. Алтухов П.К. Основы теории управления войсками. М., Воениздат, 1984.
 11. Кротов А.Г. Военное применение вычислительной техники и методов исследования операций. М., ВАХЗ, 1982.
 12. Юрков Б.Н. Исследование операций: М., ВИА, 1990.



МЕТОДЫ, ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВИГАЦИИ. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШТУРМАНА

ГРНТИ 78.25.31.35.29.29.29.39

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МЕР ВРЕМЕНИ И ЧАСТОТЫ

Б.И.ЛОБОЙКО
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Дан анализ теоретических и практических исследований в области мер частоты и времени. Показаны направления совершенствования квантовых мер частоты и времени, приведены достигнутые уровни стабильности этих мер.

Подробно изложена методика формирования высокоточных шкал времени нетрадиционным способом – путём использования для этих целей высокостабильного импульсного радиоизлучения галактических источников-пульсаров. Новая астрономическая шкала пульсарного времени сформирована как непрерывная последовательность интервалов времени между импульсами радиоизлучения пульсара, отсчитанная от начального момента. В качестве эталонной предложена групповая пульсарная шкала времени.

Процесс регистрации движения обязательно предусматривает наличие шкалы времени. В качестве таковой используется периодическая последовательность единичных временных интервалов, воспроизводимая часами. Естественно, что для повышения точности определения места положения точки в пространстве (аналогично определению момента события) необходимо повышать точность хода часов. Исторически сложилось так, что действие часов любого типа основано на использовании равномерных физических процессов, преимущественно периодических. В процессе развития теоретических и практических исследований сформировалась группа источников колебаний, имеющих сравнительно высокие метрологические характеристики.

В настоящее время достигли значительного совершенства и находят широкое применение квантовые меры частоты и времени, обеспечивающие

долговременную $5 \cdot 10^{-14} \div 10 \cdot 10^{-11}$ и кратковременную $3 \cdot 10^{-12} \div 5 \cdot 10^{-14}$ нестабильность (таблица).

Уровни стабильности квантовых мер частоты и времени

Тип квантовой меры	Нестабильность	
	долговременная	кратковременная
Водородная:		
активная	$5 \cdot 10^{-14}$	$4 \cdot 10^{-12}$
пассивная	$5 \cdot 10^{-14}$	$3 \cdot 10^{-12}$
На цезиевой АЛТ	$10 \cdot 10^{-13}$	$5 \cdot 10^{-12}$
Рубидиевый:		
газовая ячейка (пассивная)	$10 \cdot 10^{-11}$	$2 \cdot 10^{-12}$
генератор (активная)	$10 \cdot 10^{-11}$	$5 \cdot 10^{-14}$

Однако современная практика требует непрерывного повышения этих показателей. В связи с этим, совершенствование мер частоты и времени идёт и, видимо, будет идти в направлении создания:

- мер с целью их использования в эталонах частоты, требующих наивысшую достижимую точность определения частоты и времени. Для этого направления характерны исследования, обеспечивающие в первую очередь улучшение метрологических характеристик;
- мер частоты с целью их использования в различных радиотехнических измерительных системах с различными условиями эксплуатации. Для чего в первую очередь необходимы исследования, обеспечивающие улучшение эксплуатационных, конструктивных и экономических характеристик существующих мер частоты и времени;
- мер нетрадиционными способами, путём формирования измерительных шкал с помощью высокостабильного импульсного радиоизлучения галактических источников.
- Анализируя пути совершенствования мер частоты и времени, можно отметить, что, в частности, применительно к АЛТ оно осуществляется путем:
- улучшения характеристик источников атомов цезия (например, на основе применения печи из пористого вольфрама с рециркуляцией атомов цезия, обеспечивающей лучшую коллимацию пучков атомов цезия и существенное уменьшение интенсивности потоков атомов, что позволяет более эффективно использовать цезиевую навеску и снизить загрязнение АЛТ. При этом ожидается существенное повышение срока службы, надёжности);
- использования новых геттерных материалов с целью обеспечения возможности отказа от высоковольтных вакуумных ионных насосов, что позволило бы уменьшить габариты и упростить эксплуатацию АЛТ. (Наиболее перспективными в настоящее время считаются пористые неиспаряющиеся геттеры).

Ведутся также исследования по созданию стандарта частоты на АЛТ с оптической накачкой (этот тип стандарта рассматривается как новый) с существенным улучшением показателей. Одной из трудностей создания такой установки приемлемых габаритов являются неудовлетворительные спектраль-

ные характеристики диодных лазеров, что требует применения громоздких специальных схем для улучшения их характеристик.

Исследования и разработки, направленные на повышение характеристик рубидиевых стандартов частоты, ведутся с учётом специфики областей их применения, путем совершенствования характеристик традиционных источников света накачки и использования в качестве источников лазерных диодов.

Фактором, ограничивающим долговременную стабильность, являются случайные блуждания интенсивности света накачки, наличие спонтанных скачков частоты и случайных её изменений в течение длительного времени.

В последнее десятилетие с появлением новых методов спектроскопии высокого разрешения, основанных на нелинейном взаимодействии интенсивного излучения с газовой средой, был достигнут значительный прогресс в области стабилизации оптических квантовых генераторов (лазеров) и обеспечена основа для создания оптических мер частоты. (Стабильность и воспроизводимость частоты излучения лазера удалось повысить до $5 \cdot 10^{-13}$).

Качественные изменения как в совершенствовании первичных эталонов, так и мер частоты для различных применений возможны путем создания мер частоты на АЛТ с оптической накачкой и детектированием; с использованием принципа накопления ионов; на основе сверхпроводящих резонаторов.

Исследования по реализации стандарта частоты на АЛТ с оптической накачкой показывают, что повышение технических характеристик станет явным только после создания диодных лазеров с соответствующими габаритами.

В целом разработка и создание мер частоты и времени по традиционным классическим схемам могут только в некоторой степени улучшить их характеристики, однако они не смогут отвечать современным требованиям частотно-временного обеспечения.

В последнее время в этом направлении получили развитие работы по формированию временных шкал нетрадиционными способами, основанными на использовании характеристик галактических источников строго периодического радиоизлучения – пульсаров. Такие свойства последних, как высокая стабильность периодов и импульсная природа излучения, а также долговременность и надёжность, позволили предположить, что пульсары можно использовать в качестве хранителей независимой от земных условий шкалы времени, доступной в различных пунктах земной поверхности.

Новая астрономическая шкала времени – пульсарного времени, впервые предложенная в 1979 г. ФИАН и ВНИИФТРИ, это непрерывная последовательность интервалов времени между импульсами радиоизлучения пульсара, отсчитанная от начального момента t_o (т.е. мерными интервалами в этой шкале являются расстояния между импульсами, излученными пульсарами). Эта последовательность может быть представлена в виде

$$t_N = t_o + P_o M + 0.5 P_o \cdot \dot{P}_o M^2, \quad (1)$$

где P_o – период излучения в начальный момент времени t_o ;

M – текущий номер импульса (отсчет от начального момента времени t_o).

Образованная таким образом временная последовательность t_M неудобна для практического использования, т.к. интервалы времени $t_{M+1} - t_M$ не эквидистантны, различны для разных пульсаров и поэтому не выражаются в целых долях принятых стандартами единиц измерения времени. Для исключения этого неудобства целесообразно вводить пульсарную секунду S_{PSP} и определять её как некоторую долю основного интервала времени на начальную эпоху отсчета, причём доля эта должна быть выбрана так, чтобы продолжительность пульсарной секунды была близка к длительности атомной секунды.

Очевидно, что в качестве хранителей шкалы пульсарного времени необходимо использовать те пульсары, период которых менее всего подвержен случайным флуктуациям. Исследования вариаций в моментах прихода пульсарных импульсов показали, что наиболее стабильными периодами обладают миллисекундные пульсары, кроме того они могут быть отнесены к наиболее мощным по плотности потока излучения.

В связи со статической эквивалентностью отдельных стандартов частоты и связанных с ними шкал времени возникает вопрос о рациональном выборе эталонной системы, т.е. группы сравнимых по точностным характеристикам часов. Подобная групповая шкала времени, выступающая в качестве эталонной, должна обладать наибольшей стабильностью единицы измерения и характеризоваться наилучшей равномерностью по сравнению с образующими её отдельными шкалами времени.

При рассмотрении ансамбля из $N + 1$ индивидуальных пульсарных шкал одна из них выбирается в качестве опорной. Каждой шкале присваивается индекс $i = 0$ (опорная шкала), $1, \dots, N$. Разница между индивидуальными шкалами с индексами i и k , измеряемая в момент времени t , обозначается $\Delta T_{i-k}(t)$; положительное значение этой величины соответствует случаю, когда i -я шкала опережает шкалу с индексом k во времени.

Будем считать, что величина $\Delta T_{i-k}(t)$ – это оценка в момент t разницы между шкалой часов i и групповой шкалой времени.

В случае формирования групповой шкалы времени как арифметического среднего ансамбля пульсаров, оценка положения опорной шкалы относительно среднегруппового времени определится как

$$\Delta T_{o-r} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta T_{o-i}(t). \quad (2)$$

Приведённое соотношение является достаточным условием для формирования групповой пульсарной шкалы времени, если все пульсары, входящие в ансамбль, имеют одинаковые точностные характеристики, а также если пульсары из ансамбля не исключаются и новые пульсары не добавляются. При добавлении или исключении пульсаров возникают две противоречивые проблемы, первая из которых обусловлена разницей между индивидуальными шкалами пульсарного времени и групповой пульсарной шкалой времени. Для ее решения выражение (2) модифицируется к виду

$$\Delta T_{o-r} = \Delta T_{o-r}(t-1) + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\Delta T_{o-i}(t) - \Delta T_{o-i}(t-1)], \quad (3)$$

т.е. таким образом, чтобы использовались не разницы между пульсарными шкалами, а их приращения. В то же время выражение, заключённое в квадратные скобки, – это не что иное, как среднее относительное отклонение частоты пульсарной шкалы с индексом i , определённое относительно опорной пульсарной шкалы на интервале выборки τ между моментами $t-1$ и t , взятой с обратным знаком, умноженное на длину этого интервала

$$\Delta T_{o-i}(t) - \Delta T_{o-i}(t-1) = -[\bar{y}_i(t-1, t)] \cdot \tau.$$

Вторая проблема, касающаяся различия по частоте, обуславливает необходимость введения в расчеты корректирующих поправок по частотам. Для этого вводится понятие первичной средней частоты группы пульсарных шкал

$$\bar{f} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N f_{oi} = f_0 \left[1 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{oi} \right], \quad f_{oi} = f_0 [1 + y_{oi}],$$

где n – количество шкал;

f_0 – частота излучения в начальный момент времени t_0 .

Следовательно для первоначального формирования ансамбля пульсаров необходимо выполнить условие

$$\sum_{i=0}^N \frac{(f_{oi} - \bar{f})}{f_0} = 0,$$

но как только новые пульсары включаются в ансамбль или какие-либо пульсары из него исключаются, это условие перестаёт выполняться, если значение \bar{f} фиксируется, и ставится задача сохранить его прежнее значение.

С учётом вышеизложенного уравнение (3) преобразуется к виду

$$\begin{aligned} \Delta T_{o-r} &= \Delta T_{o-r}(t-1) - \frac{\tau}{N} \sum_{i=1}^N [\bar{y}_i(t-1, t)] + \frac{\tau}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{f_i(t) - \bar{f}}{f_0} \right) = \\ &= \Delta T_{o-i}(t-1) + \frac{\tau}{N} \left\{ \sum_{i=1}^N \left[\frac{\Delta f_{i-r}(t)}{f_0} - [\bar{y}_i(t-1, t)] \right] \right\}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\frac{\Delta t_{i-r}(t)}{f_0}$ – корректирующая поправка на частоту, равная значению вели-

чины $\frac{[\Delta f_i(t) - \bar{f}]}{f_0}$ смещения частоты с учётом дрейфа.

Если все $\frac{\Delta t_{i-r}(t)}{f_0}$ являются в достаточной степени точными оценками

поправок частот пульсаров, то

$$\left[\frac{\Delta f_{i-r}(t)}{f_0} - \bar{y}_i(t-1, t) \right] \approx \left[\frac{\Delta f_{k-r}(t)}{f_0} - \bar{y}_k(t-1, t) \right], \quad 1 \leq j, k < N.$$

Следствием достаточной строгости данного приближения является тот факт, что добавление или исключение из данного ансамбля отдельных пульсаров будет оказывать лишь незначительное воздействие на частоту моделируемой групповой шкалы.

При включении в ансамбль новых пульсаров их поправка должна определяться с учётом существующей шкалы времени. Перед исключением из ансамбля j -го пульсара система поправок также должна быть пересчитана, чтобы обеспечить достаточно строгое равенство

$$\frac{\Delta f_{i-r}(t)}{f_0} - \bar{y}_i(t-I, t) \approx \frac{1}{N} \sum_{i=1, j \neq k}^N \left[\frac{\Delta f_{i-r}(t)}{f_0} - \bar{y}_i(t-I, t) \right].$$

На групповую шкалу времени, формируемую согласно выражению (4), не будут оказывать неблагоприятного воздействия как добавляемые, так и исключаемые из ансамбля пульсары (при соответствующем регулировании и своевременной корректировке поправок $\frac{\Delta f_{i-r}(t)}{f_0}$). Тем не менее уравнение (4)

предусматривает равные веса $\frac{1}{N}$ для всех пульсаров, включённых в ансамбль. Для шкал времени, строящихся из пульсаров с характеристиками, заметно различающимися стабильностью, могут потребоваться различные весовые схемы. Так или иначе, учёт возможности неравных весов $m_i(t)$ приводит к основному уравнению шкалы пульсарного времени

$$\Delta T_{o-r} = \Delta T_{o-r}(t-I) + \tau \sum_{i=1}^N \left\{ m_i(t) \left[\frac{\Delta f_{i-r}(t)}{f_0} - [\bar{y}_i(t-I, t)] \right] \right\}, \quad (5)$$

где $\sum_{i=1}^N m_i(t) = 1$ и $0 < m_i(t) \leq 1$.

В этом случае $\bar{f} = \sum_{i=1}^N \frac{m_i(t)}{f_{i0}}$.

Формируемая таким образом групповая пульсарная шкала времени будет средневзвешенной шкалой ансамбля пульсаров. Уравнение (5) позволяет рассматривать положение опорной пульсарной шкалы времени относительно Государственного эталона времени и частоты ΔT_{0-r_3} , если получена достаточно точная оценка частотных поправок

$$\frac{\Delta f_{r-r_3}}{f_0} = \frac{(\bar{f} - f_{r_3})}{f_0},$$

где f_{r_3} – частота, хранимая Государственным эталоном времени и частоты, и произведена начальная установка ΔT_{0-r_3} .

Уравнение (5) в этом случае будет иметь вид

$$\Delta T_{o-r} = \Delta T_{o-r}(t-I) + \tau \sum_{i=1}^N \left\{ m_i(t) \left[\frac{\Delta f_{i-r}(t)}{f_0} - [\bar{y}_i(t-I, t)] + \frac{\Delta f_{r-r_0}(t)}{f_0} \right] \right\}.$$

Известно, что одним из преимуществ астрономических шкал является «окрашенность» моментов времени, но последовательность импульсов пульсара практически не отличается от столь же неокрашенных колебаний в атомном эталоне. Учитывая, что в барицентрической системе координат можно наблюдать события, заключающиеся в совпадении времени прихода импульсов от ряда пульсаров, в работах [1, 2] рассматривается принцип построения групповой пульсарной шкалы времени.

Такая шкала времени строится для взаимного исследования шкал и реализуется относительно атомной шкалы в виде средневзвешенного значения разности ΔT , определённой не менее чем по трём реперным пульсарам

$$\Delta T_{cp} = \frac{\sum \Delta T_i P_i}{\sum P_i}.$$

Исследования показывают, что целесообразно введение пульсарной шкалы времени с использованием излучения миллисекундных пульсаров. Наиболее перспективна групповая пульсарная шкала, как независимая от атомной и, возможно, более точная инерциальная шкала времени, пригодная для коррекции атомной шкалы на больших интервалах времени – порядка года и более.

На базе групповых пульсарных шкал времени возникает возможность создания групповой средневзвешенной пульсарной шкалы, т.е. связав пульсарные шкалы в общую систему посредством взаимного сравнения, получим групповую средневзвешенную шкалу. Математическая обработка результатов сравнения позволит получить, так называемые, фиктивные или средние шкалы, а это, естественно, даёт свои преимущества. Во-первых, уменьшается вариация изменения шкалы, сбой одной из шкал не нарушает непрерывности хранения интервалов времени. Во-вторых, круговые сравнения обеспечат надёжный контроль за поведением каждой отдельно взятой шкалы. В данном случае для формирования групповой шкалы необходимо использовать не менее трёх пульсаров с примерно равными параметрами радиоимпульсов, чтобы «сбой» импульсов в одной шкале не исключал возможности внутреннего контроля.

Сравнение пульсарных шкал, образующих групповую шкалу, можно производить несколькими способами: измерением интервалов времени между одиночными импульсами, непрерывным счётом биений и др. Эти способы, если исключить случайные ошибки счисления, могут дать принципиально идентичные результаты.

Для удобства математической обработки операцию сравнения всех пульсарных шкал целесообразно выполнить относительно одной из них, наиболее стабильной, которую правомерно называть опорной (эталонной). При этом возникает естественная необходимость проведения дополнительных сравнений, обеспечивающих круговой контроль. Например, если сравнивать пять пульсарных шкал времени, то должно быть выполнено четыре основных сравнения: (1-2), (1-3), (1-4), (1-5) и три контрольных – (2-3), (3-4), (4-5). При этом условия контроля будут выразиться как

$$\begin{aligned}(1-2) - (1-3) + (2-3) &= 0; \\ (1-3) - (1-4) + (3-4) &= 0; \\ (1-4) - (1-5) + (4-5) &= 0.\end{aligned}$$

Тогда под показаниями «фиктивной» средневзвешенной групповой пульсарной шкалы PT_t^o в момент времени t следует понимать среднее значение из показаний PT_t всех n шкал, входящих в групповые шкалы времени, в тот же момент t , т.е.

$$PT_t^o = \frac{1}{n} (PT_t^1 + PT_t^2 + \dots + PT_t^n).$$

Если в качестве эталонной шкалы выбрана первая и известны разности показаний ΔPT этой шкалы со всеми остальными для одного и того же физического момента, то показание «фиктивности» шкалы для этого момента будет иметь вид

$$PT_t^o = PT_t^1 + \frac{1}{n} (\Delta PT_t^{2.1} + \Delta PT_t^{3.1} + \dots + \Delta PT_t^{n.1}),$$

где $\Delta PT_t^{2.1} = \Delta PT_t^2 - \Delta PT_t^1$;

$$\Delta PT_t^{3.1} = \Delta PT_t^3 - \Delta PT_t^1;$$

$$\Delta PT_t^{n.1} = \Delta PT_t^n - \Delta PT_t^1.$$

При выходе из строя (сбое) эталонной пульсарной шкалы, в качестве опорной следует использовать наиболее стабильную из оставшихся. Для сохранения непрерывности показаний средневзвешенной групповой шкалы ее следует пересчитывать для новой опорной шкалы.

Групповая пульсарная шкала времени одновременно является и групповым хранителем частоты. Значение частоты группового хранителя для момента t определяется по аналогии с показаниями «фиктивных» шкал.

Таким образом, «фиктивные» средневзвешенные шкалы могут выступать в виде реальных – эталонных групповых шкал времени. Предлагаемая шкала пульсарного времени по сравнению со шкалами всемирного времени UT и эфемеридного ET времени будет иметь более высокую точность воспроизведения единицы интервала (погрешность 10^{-11}) и момента времени. Именно эти параметры существенно отличают эту шкалу от существующих астрономических шкал. По сравнению со шкалой атомного времени, она будет независимой от земных условий, долговременной и глобальной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лобойко Б.И. Определение времени прихода импульсов в местной шкале времени // Измерительная техника, 1990, №1.
2. Макода В.С., Лобойко Б.И. Навигация сверяет время по пульсарам. Гос.НИНГИ МО РФ, 1997, 194 с.

О РЕДУЦИРОВАНИИ GPS ИЗМЕРЕНИЙ И КОВАРИАЦИОННЫХ МАТРИЦ ИХ ОШИБОК НА ПЛОСКОСТЬ ПРОЕКЦИИ ГАУССА–КРЮГЕРА

**А.В.АСТАПОВИЧ,
М.Я.БРЫНЬ**
(Филиал ВИУ, СПб),
С.П.ИМШЕНЕЦКИЙ
(ГП “Аэрогеодезия”)

Преобразование топоцентрических координат в приращения координат на плоскости проекции Гаусса–Крюгера осуществляется путем редуцирования наклонного расстояния и геодезического азимута сначала на поверхность эллипсоида Красовского, затем с эллипсоида на плоскость проекции Гаусса–Крюгера. Редуцированные полярные координаты преобразуются в приращения координат. Погрешности редуцирования по приведенной методике для расстояний до 50 км менее 1 мм.

Рассмотренная методика позволяет произвести перерасчет ковариационных матриц ошибок из системы WGS-84 в систему СК-42 на плоскости в проекции Гаусса–Крюгера.

Традиционно координаты пунктов опорных геодезических сетей определялись на основе угловых и линейных измерений, объем которых резко возрастает с повышением требований к точности сети. Глобальная навигационно-геодезическая система принципиально изменяет существующую технологию, позволяя существенно сократить трудозатраты на развитие высокоточных геодезических сетей.

При совместном уравнивании спутниковых определений, угловых и линейных измерений возникает проблема приведения результатов измерений и ковариационных матриц их ошибок в единую систему координат. Существующие алгоритмы редуцирования координат из одной системы в другую не позволяют выполнять преобразования ковариационных матриц. Для перерасчета ковариаций ошибок спутниковых определений необходимо иметь алгоритм преобразования непосредственно измеренных разностей координат из системы WGS-84 в систему плоских прямоугольных координат Гаусса.

Алгоритм преобразования приращений координат из WGS-84 в систему плоских координат 1942 г. (СК-42) можно представить тремя блоками:

- преобразование приращений координат из системы WGS-84 в систему СК-42;
- преобразование приращений координат из СК-42 в топоцентрическую систему координат опорной станции;
- преобразование приращений координат из топоцентрической системы в систему координат на плоскости проекции Гаусса–Крюгера.

Для трансформирования приращений координат из системы WGS-84 в систему СК-42 целесообразно использовать глобальные параметры перехода, которые обеспечивают преобразование координат (не приращений) с точностью 3-5 м, или в относительной мере порядка 10^{-6} . Следовательно, по-

грешности преобразования приращений координат, обусловленные ошибками параметров преобразования, будут составлять порядка 1 мм на 1 км. Это значительно меньше ошибок взаимного положения пунктов Государственной геодезической сети (ГГС). В этой связи целесообразно отказаться от определения локальных параметров перехода, которые требуют наличия трансформационных точек.

Переход от системы WGS-84 к СК-42 выполняется поэтапно [1]. Сначала осуществляется переход к системе координат ПЗ-90

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{ПЗ-90} = R_{WGS \rightarrow ПЗ} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{WGS-84} = \begin{bmatrix} 1 & 1,0 \cdot 10^{-6} & 0 \\ -1,0 \cdot 10^{-6} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{WGS-84}, \quad (1)$$

затем к СК-42

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{СК-42} = R_{ПЗ \rightarrow СК-42} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{ПЗ-90} = (1 - dm) \begin{bmatrix} 1 & -\omega_z & +\omega_y \\ +\omega_z & 1 & -\omega_x \\ -\omega_y & +\omega_x & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{ПЗ-90}, \quad (2)$$

где $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ – приращения координат;

R – матрица;

$R_{WGS \rightarrow ПЗ}$ и $R_{ПЗ \rightarrow СК-42}$ – матрицы преобразований приращений координат соответствующих систем;

$\omega_x, \omega_y, \omega_z$ – угловые элементы ориентирования;

dm – масштабный коэффициент.

В формуле (2) угловые элементы трансформирования должны быть выражены в радианной мере.

Численные значения элементов ориентирования СК-42 относительно системы координат ПЗ-90 и их средние квадратические ошибки, согласно [1], составляют

$$\begin{aligned} dX_0 &= 25 \text{ м} \pm 2 \text{ м}; & \omega_x &= 0,00'' \pm 0,1''; \\ dY_0 &= -141 \text{ м} \pm 2 \text{ м}; & \omega_y &= -0,35'' \pm 0,1''; & dm &= (0,00 \pm 0,25) \cdot 10^{-6}, \\ dZ_0 &= -80 \text{ м} \pm 3 \text{ м}; & \omega_z &= -0,66'' \pm 0,1''; \end{aligned} \quad (3)$$

где dX, dY, dZ – линейные элементы ориентирования.

Для вычисления топоцентрических координат необходимо иметь широту и долготу опорной станции. Их можно получить в результате перевычисления исходных или предварительных координат Гаусса в эллипсоидальные координаты B и L СК-42.

Приращения координат в топоцентрической системе вычисляются по формуле

$$\begin{bmatrix} \Delta X' \\ \Delta Y' \\ \Delta Z' \end{bmatrix}_{\text{Опорной станции}} = A_{OC}^T \cdot \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{СК-42}, \quad (4)$$

$$\text{где } A_{OC}^T = \begin{bmatrix} -\sin B_{OC} \cdot \cos L_{OC} & -\sin B_{OC} \cdot \sin L_{OC} & \cos B_{OC} \\ -\sin L_{OC} & \cos L_{OC} & 0 \\ \cos B_{OC} \cdot \cos L_{OC} & \cos B_{OC} \cdot \sin L_{OC} & \sin B_{OC} \end{bmatrix};$$

B_{OC}, L_{OC} – широта и долгота опорной станции.

После таких преобразований исходные приращения будут трансформированы в систему координат, начало которой совмещено с опорной станцией, ось Z' направлена по нормали к эллипсоиду Красовского в зенит, ось X' лежит в плоскости меридиана опорной станции, ось Y' дополняет левую декартову систему координат.

Преобразование топоцентрических координат в приращения координат местной системы осуществляются путем поворота осей координат вокруг оси Z' на угол, равный сближению меридианов.

Для пунктов, расположенных на удалении до $3^{\circ}30'$ от осевого меридиана, сближение меридианов (в радианах) с ошибкой менее $0,001''$, согласно [2], определяется как

$$\begin{aligned} \gamma = l \cdot \sin B_{OC} + \sin B_{OC} \cdot \cos^2 B_{OC} \cdot \left(1 + 3 \cdot e'^2 \cdot \cos^2 B_{OC}\right) \frac{l^3}{3} + \\ + \sin B_{OC} \cdot \cos^4 B_{OC} \left(2 - \operatorname{tg}^2 B_{OC}\right) \frac{l^5}{15}, \end{aligned} \quad (5)$$

где e'^2 – квадрат второго эксцентриситета эллипсоида;

$l = L_{OC} - L_0$ – разность долгот опорной станции и осевого меридиана зоны.

Приращения координат в местной системе равны

$$\begin{bmatrix} \Delta x_m \\ \Delta y_m \\ \Delta z_m \end{bmatrix} = R_\gamma \cdot \begin{bmatrix} \Delta X' \\ \Delta Y' \\ \Delta Z' \end{bmatrix}_{\text{Опорной станции}} = \begin{bmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta X' \\ \Delta Y' \\ \Delta Z' \end{bmatrix}_{\text{Опорной станции}}. \quad (6)$$

Значения плоских координат мобильной станции в местной системе вычисляются по формулам

$$x_{m2} = x_{m1} + \Delta x_m; \quad y_{m2} = y_{m1} + \Delta y_m, \quad (7)$$

где x_{m1} и y_{m1} – координаты опорной станции в местной системе координат.

Переход от местной системы координат к системе СК-42 на плоскости проекции Гаусса–Крюгера осуществляется путем редуцирования полярных координат местной системы сначала на поверхность эллипсоида Красовского, а затем на плоскость проекции Гаусса–Крюгера.

Полярные координаты α_{12} и S_0 мобильной станции вычисляются по формулам

$$\alpha_{12} = \operatorname{arctg} \frac{\Delta y_m}{\Delta x_m}; \quad S_0 = \sqrt{\Delta x_m^2 + \Delta y_m^2 + \Delta z_m^2}.$$

Переход от наклонного расстояния S_0 к длине геодезической линии s осуществляется по формуле (8), ошибка которой менее 1 мм при расстояниях до 100 км [2]

$$s = S_0 \sqrt{\frac{1 - [(H_2 - H_1)/S_0]^2}{(1 + H_1/R_A)(1 + H_2/R_A)}} + \frac{S_0^3}{24R_A^2}, \quad (8)$$

где $R_A = \frac{N_1}{1 + e'^2 \cos^2 B_1 \cos^2 A_{12}}$. (9)

Геодезические высоты H_1 и H_2 можно получить из соотношений

$$\begin{aligned} H_1 &= H_1^\gamma + \zeta + i; \\ H_2 &= H_1 + \Delta z + \varepsilon_R, \end{aligned} \quad (10)$$

где N_1 – радиус кривизны первого вертикала в точке опорной станции;

B_1 – широта опорной станции;

A_{12} – азимут направления с опорной станции на мобильную;

H_1^γ – нормальная высота исходного пункта;

ζ – высота квазигеоида над эллипсоидом исходного пункта;

i – высота антенны над центром исходного пункта;

$\varepsilon_R = \frac{d_m^2}{2R_A}$ – поправка в превышение за кривизну Земли [3];

$d_m = \sqrt{\Delta x_m^2 + \Delta y_m^2}$ – расстояние между пунктами, приведенное к горизонту опорной станции.

Очевидно, что разность геодезических высот между пунктами сети определяется выражением

$$h = \Delta z_m + \varepsilon_R + i - \ell, \quad (11)$$

где ℓ – высота антенны над центром мобильной станции.

Последовательность редуцирования направления запишется как

$$\alpha'_{12} = \alpha_{12} + \Delta N_H + \Delta N_n + \delta_{12}, \quad (12)$$

где α'_{12} – дирекционный угол геодезической линии;

α_{12} – дирекционный угол направления в плоскости прямого нормального сечения;

ΔN_H – поправка за высоту наблюдаемого пункта;

ΔN_n – поправка за переход от нормального сечения к геодезической линии;

δ_{12} – поправка за изображение геодезической линии на плоскости проекции Гаусса.

Поправки ΔN_H и ΔN_n вычисляется по формулам [2]

$$\Delta N_H = 0,108'' H_2 \cos^2 B_1 \sin 2 A_{12}; \quad (13)$$

$$\Delta N_n = -2,82'' \cdot 10^{-6} s^2 \cos^2 B_1 \sin 2 A_{12}, \quad (14)$$

где H_2 – высота антенны мобильной станции в км;

s – длина геодезической линии в км.

Расчет поправки за кривизну изображения геодезической линии на плоскости для сторон сети до 50 км можно производить согласно [2] как

$$\delta_{12} = -\frac{I}{2R_m^2} \Delta x \left(y'_m - \frac{\Delta y}{6} - \frac{y'^3_m}{3R_m^2} \right) - \frac{e'^2 \sin 2B_m}{2R_m^3} y'^2_m \Delta y, \quad (15)$$

где $R_m = \frac{a \sqrt{1-e^2}}{1-e^2 \sin^2 B_m}$ – средний радиус кривизны;

Δx и Δy – приращения Гауссовых координат;

y'_m – средняя истинная координата опорной мобильной станции;

B_m – геодезическая широта, соответствующая средним значениям Гауссовых координат опорной мобильной станции.

Для определения δ_{12} применяются предварительные значения приращений координат. Они вычисляются следующим образом [4]. Сначала рассчитывают масштаб

$$m_1 = 1 + \frac{y'^2_1}{2R_1^2},$$

где y'_1 – истинная ордината опорной станции;

R_1 – радиус кривизны в точке опорной станции.

Далее определяется приближенное значение дирекционного угла геодезической линии

$$\alpha_{12_0} = \alpha_{12} - \frac{m_1 s \cos \alpha_{12}}{2R_m^2} y'_1. \quad (16)$$

Имея α_{12_0} , можно найти значения $\Delta x = m_1 s \cos \alpha_{12_0}$ и $\Delta y = m_1 s \sin \alpha_{12_0}$.

Геодезическая широта B_m соответствует средним значениям координат

$$x_m = x_1 + \frac{\Delta x}{2} \quad \text{и} \quad y_m = y_1 + \frac{\Delta y}{2},$$

где x_1 и y_1 – Гауссовы координаты опорной станции.

Переход от геодезической линии на эллипсоиде к прямой на плоскости проекции Гаусса–Крюгера может быть выполнен по формуле

$$d = s + s \left(\frac{y'^2_m}{2R_m^2} + \frac{\Delta y^2}{24R_m^2} + \frac{y'^4_m}{24R_m^4} \right). \quad (17)$$

Для перевычисления полярных координат α' и d в приращения координат на плоскости проекции Гаусса–Крюгера применяются соотношения

$$\Delta x' = d \cos \alpha'; \quad \Delta y' = d \sin \alpha'. \quad (18)$$

Погрешности редуцирования пространственных приращений координат СК-42 на плоскость проекции Гаусса–Крюгера по приведенной методике для расстояний до 50 км менее 1 мм. По сравнению с алгоритмом преобразования координат она имеет то преимущество, что позволяет выполнять перерасчет ковариационных матриц ошибок из системы WGS-84 в систему СК-42 на плоскости в проекции Гаусса–Крюгера.

Перерасчет ковариационных матриц ошибок приращений координат для базовой линии представим выражением

$$K_2 = k^2 R K_1 R^T, \quad (19)$$

где K_2 – ковариационная матрица ошибок приращений координат в системе СК-42 на плоскости;

k – масштабный коэффициент, учитывающий редуцирование приращений координат из местной системы в систему СК-42 на плоскости проекции Гаусса–Крюгера;

$R = R_\gamma \cdot A_{OC}^T \cdot R_{ПЗ \rightarrow СК-42} \cdot R_{WGS \rightarrow ПЗ}$ – матрица преобразования приращений координат из системы WGS-84 в местную систему координат на плоскости;

K_1 – ковариационная матрица ошибок приращений координат в системе WGS-84.

Изменение масштаба происходит в результате приведения длин линий на поверхность эллипсоида и редуцирования их на плоскость. Следовательно, коэффициент

$$k = k_1 \cdot k_2,$$

где k_1 – масштабный коэффициент за приведение длин линий на поверхность эллипсоида;

k_2 – масштабный коэффициент за редуцирование длин линий с эллипсоида на плоскость проекции Гаусса–Крюгера.

Учитывая, что ошибки измерений спутниковой аппаратурой находятся в сантиметровом диапазоне, для вычислений масштабных коэффициентов воспользуемся формулами, которые учитывают только линейные члены рядов

$$k_1 = 1 - \frac{H_{OC}}{R_m}; \quad k_2 = 1 + \frac{y'_m{}^2}{2R_m^2}.$$

При $H_{OC} = 5000$ м, $y'_m = 250$ км (что соответствует условиям измерений в высокогорных районах и на краю шестиградусной зоны) значения масштабных коэффициентов отличаются от единицы менее чем на 0,001. Очевидно, что для перевычисления ковариационных матриц масштабный коэффициент k целесообразно принимать равным единице.

Основным источником методических ошибок преобразования приращений координат из системы WGS-84 в систему СК-42 являются погрешности определения параметров преобразования $\omega_x, \omega_y, \omega_z, dm$. Для вычисления ковариационной матрицы методических ошибок будем рассматривать приращения координат функциями параметров $\omega_x, \omega_y, \omega_z, dm$

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}_{СК-42} = (1 - dm) \cdot \begin{bmatrix} \Delta X_{WGS} + \Delta Z_{WGS} \omega_y - \Delta Y_{WGS} \omega_z \\ \Delta Y_{WGS} - \Delta Z_{WGS} \omega_x + \Delta X_{WGS} \omega_z \\ \Delta Z_{WGS} + \Delta Y_{WGS} \omega_x - \Delta X_{WGS} \omega_y \end{bmatrix}. \quad (20)$$

Тогда искомая ковариационная матрица методических ошибок преобразования приращений координат для базовой линии, согласно [5], равна

$$K_\delta = F K_\omega F^T, \quad (21)$$

$$\text{где } F = \begin{bmatrix} 0 & (1-dm)\Delta Z_{WGS} & -(1-dm)\Delta Y_{WGS} & \Delta X_{CK-42} \\ -(1-dm)\Delta Z_{WGS} & 0 & (1-dm)\Delta X_{WGS} & \Delta Y_{CK-42} \\ (1-dm)\Delta Y_{WGS} & -(1-dm)\Delta X_{WGS} & 0 & \Delta Z_{CK-42} \end{bmatrix};$$

$$K_{\omega} = \begin{bmatrix} 0.0100 & 0.0010 & -0.0013 & 0.0000 \\ & 0.0100 & -0.0008 & 0.0000 \\ & & 0.0100 & 0.0000 \\ & & & 6,25 \cdot 10^{-14} \end{bmatrix} \text{ – ковариационная матрица}$$

ошибок параметров $\omega_x, \omega_y, \omega_z, dm$.

В системе плоских координат Гаусса ковариационная матрица методических ошибок будет равна

$$(K_{\delta})_{nl} = R_{\gamma} A_{oc}^T K_{\delta} A_{oc} R_{\gamma}^T.$$

Для проверки приведенной методики редуцирования приращений координат были использованы производственные GPS измерения на пунктах триангуляции 2-го класса в Новгородской области и на Карельском перешейке. Измеренные приращения координат редуцировались на плоскость проекции Гаусса и сравнивались с каталожными значениями (таблица).

Сравнение результатов замеров с расчетными данными

Базовая линия	Длина линии, м	$\delta_{\Delta x}, \text{ м}$	$\delta_{\Delta y}, \text{ м}$	СКО методических ошибок, м		
				m_x	m_y	m_z
Никиришино – Тухун	20299,930	-0,080	-0,096	0,005	0,009	0,009
Никиришино – Горюшка	22684,096	0,066	-0,006	0,009	0,008	0,011
В.Осельки – 22-ой км	12751,672	0,043	0,042	0,005	0,004	0,006
В.Осельки – Мендсары	12119,861	-0,018	0,098	0,004	0,005	0,006
В.Осельки – Мертушь	21337,090	-0,164	0,137	0,010	0,006	0,011
В.Осельки – Вуолы	11650,427	-0,073	0,092	0,004	0,005	0,006
22-ой км – Мендсары	15934,762	-0,077	0,063	0,007	0,004	0,008
22-ой км – Вуолы	17070,094	-0,114	-0,138	0,005	0,008	0,008
Мендсары – Мертушь	17268,207	-0,149	0,038	0,007	0,005	0,009

Из анализа полученных результатов следует:

- разность значений каталожных и измеренных GPS аппаратурой приращений координат находится в пределах точности взаимного положения пунктов государственной геодезической сети;
- методические ошибки, обусловленные точностью глобальных параметров $\omega_x, \omega_y, \omega_z, dm$, составляют приблизительно десятую часть от ошибок положения пунктов;
- применение опубликованных в [1] параметров связи между системами координат позволяет определять GPS приемниками местоположение точек относительно пунктов Государственной геодезической сети с субдециметровой точностью;

- для повышения точности и надежности привязки локальных геодезических сетей к системе координат исходных пунктов потребуется уравнивание спутниковых определений с учетом коррелированности их ошибок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Система геодезических параметров Земли " ПАРАМЕТРЫ ЗЕМЛИ 1990 года" (ПЗ-90). Справочное пособие. – М.: Координационный научно-информационный центр, 1998. – 37 с.
2. Герасимов А. П. Уравнивание Государственной геодезической сети. – М.: Картоцентр – Геодезиздат, 1996. – 216 с.
3. Яковлев Н.В. Высшая геодезия. Учебник для вузов. – М: Недра, 1989. – 446 с.
4. Красовский Ф.Н. Избранные сочинения, т.4. – М.: Геодезиздат, 1956. – 574 с.
5. Машимов М.М. Методы математической обработки астрономо-геодезических измерений. Учебник. – М., ВИА, 1990.
6. Батраков Ю.Г. Геодезические сети специального назначения. – М.: Картоцентр – Геодезиздат, 1999. – 406 с.

ГРНТИ 28.23.15

ЛОКАЛЬНО-ЭКСТРЕМАЛЬНЫЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ ЗВЕЗД

**Л.В.РОМАШИНА,
А.В.МУРАШКИН,
В.К.МАРИНОВ**
(ФГУП НПО автоматики)

Предложен локально-экстремальный метод обработки видеоизображений, предназначенный для автоматического обнаружения в реальном масштабе времени звезд на неоднородном флуктуирующем фоне. В его основу положена статистическая гипотеза о наличии сигнала от звезды в данном элементе видеоизображения. В зависимости от яркости звезды рассматриваются два способа обнаружения.

Для ярких звезд подход к обработке видеоизображения основан на анализе структуры оптического изображения точки. При наличии аберраций в оптической системе изображение имеет вид пятна, распределение энергии в котором представляет собой функцию рассеяния точки, специфичную для конкретной оптической системы. Критерием качества алгоритма принятия решения является заданная вероятность пропуска звезды, по которой вычисляется пороговое значение для сравнения с ним достаточной статистики. В способе обнаружения слабых звезд критерием качества алгоритма принятия решения является вероятность ложной тревоги, по которой вычисляется пороговое значение для сравнения с ним достаточной статистики.

Актуальной задачей в астронавигации, а также для раннего обнаружения опасных космических объектов, является автоматическая обработка в реальном масштабе времени видеоизображений, полученных астродатчиками на основе матричных ФПУ.

В НПО автоматики (НПОА) разработан локально-экстремальный метод обработки видеоизображений, предназначенный для автоматического обнаружения в реальном масштабе времени звезд на неоднородном флуктуирующем фоне. В его основу положена проверка статистической гипотезы о

наличии сигнала от звезды в данном элементе видеоизображения [1]. В зависимости от яркости звезды рассматриваются два способа ее обнаружения.

Для ярких звезд используется подход к обработке видеоизображения, основанный на структуре оптического изображения точки. Известно [2], что изображение точки в идеальной оптической системе представляет собой дифракционную картину, содержащую центральный светлый диск, окруженный темными и светлыми кольцами, причем в центральном диске сосредоточено около 84% всей световой энергии. Интенсивность ядра дифракционного изображения пропорциональна квадрату площади входного зрачка. Если оптическая система обладает волновой аберрацией, то лучи по выходе из системы не пересекутся в одной точке – изображение не будет стигматичным. При малых значениях волновой аберрации вид дифракционного изображения точки сохраняется, но часть световой энергии из центрального диска переходит в кольца, они становятся ярче и шире. При больших значениях волновой аберрации изображение точки получается в виде кружка рассеяния.

Кроме волновой аберрации существует ряд других аберраций оптической системы, всецело определяемых ее конструктивными элементами – радиусами кривизны и формой поверхностей линз и зеркал, воздушными промежутками между ними, а также толщинами и показателями преломления линз [3].

При наличии аберраций в оптической системе изображение точки имеет вид пятна, распределение энергии в котором представляет собой функцию рассеяния точки данной оптической системы. Рассмотрение фигур изображения точки [4] приводит к выводу, что изображение точки специфично для конкретной оптической системы, а распределение освещенности в изображении может быть рассчитано теоретически и подтверждено экспериментально.

Способ обнаружения ярких звезд состоит в проверке статистической гипотезы о соответствии распределения значений сигналов в окрестности некоторого элемента видеоизображения функции рассеяния точки данной оптической системы. Критерием качества алгоритма принятия решения является заданная вероятность P_{np} пропуска звезды, т.е. вероятность отвергнуть правильное решение о наличии звезды.

Достаточная статистика, исходя из значения которой принимается решение о соответствии распределения значений сигналов в окрестности элемента (i, j) функции рассеяния точки, определяется так

$$Y_{ij} = S_{ij} - K \times T_{ij},$$

где S_{ij} – сумма сигналов во “внутреннем окне объекта” размером $s \times s$ с центром в элементе (i, j) ;

T_{ij} – сумма сигналов во “внешнем окне объекта” размером $t \times t$ ($t > s$) с центром в элементе (i, j) ;

$0 < K < 1$ – константа, определяемая функцией рассеяния точки данной оптической системы.

Для принятия решения Y_{ij} сравнивается с пороговым значением

$$W = G \times \{D[V]\}^{1/2},$$

где $D[V]$ – дисперсия шума на видеоизображении;

$G > 0$ – константа, вычисляемая по заданной вероятности пропуска звезды P_{np} и размерам s и t “окон”.

Таким образом, решение о наличии яркой звезды принимается при выполнении условия

$$Y_{ij} < G \times \{D[V]\}^{1/2}.$$

Соответствие параметрам функции рассеяния точки может выполняться в нескольких соседних элементах изображения звезды. Для исключения этой неоднозначности определяются локальные максимумы сигналов, для чего формируется матрица признаков $B(i, j) = 0$ с теми же размерами, что и исходное видеоизображение $U(i, j)$.

Если для элемента (i^*, j^*) выполняется условие $Y_{i^* j^*} < W$, то $B(i^*, j^*) = 1$ и анализируются значения сигналов $U(i, j)$ в соседних элементах изображения. Если в элементе (i^*, j^*) имеет место локальный максимум сигналов, то для соседних с ним элементов изображения $B(i, j) = 0$, иначе $B(i^*, j^*) = 0$.

По окончании обработки всего видеоизображения элементы, для которых $B(i, j) = 1$, считаются центрами изображений звезд. Если значение сигнала максимально в нескольких смежных элементах видеоизображения, то среднее арифметическое их координат принимается в качестве центра изображения звезды. Координаты звезды вычисляются как энергетический центр изображения, размер которого определяется яркостью звезды.

Для ярких звезд определение локальных максимумов сигналов целесообразно проводить перед проверкой соответствия распределения значений сигналов функции рассеяния точки. Это позволяет значительно сократить общее время обработки видеоизображения без ухудшения параметров обнаружения звезд.

Часто возникает задача автоматического обнаружения на небесной сфере слабых звезд или светящихся точечных объектов, например, астероидов на максимальных расстояниях от Земли.

При обнаружении данных объектов критерием качества алгоритма принятия решения является заданная вероятность $P_{лм}$ ложной тревоги, т.е. вероятность принятия ошибочного решения о наличии в некотором элементе видеоизображения сигнала от слабой звезды, в то время как имеет место флуктуация фона. Значение вероятности ложной тревоги определяется с учетом допустимой вероятности пропуска звезды P_{np} .

Достаточная статистика, исходя из значения которой принимается решение о наличии в элементе (i, j) видеоизображения сигнала от слабой звезды, определяется как

$$Z_{ij} = A_{ij} - F_{ij},$$

где A_{ij} – среднее арифметическое значений сигналов в “окне объекта” размером $a \times a$, центральным или одним из элементов которого является элемент с координатами (i, j) ;

F_{ij} – среднее арифметическое значений сигналов от фона в элементах, расположенных в рамке шириной в 1 элемент около “окна объекта”.

Для принятия решения Z_{ij} сравнивается с пороговым значением

$$H = M[Z] + C \times \{D[Z]\}^{1/2} = M[Z] + C \times \sigma[Z],$$

где $M[Z]$ – математическое ожидание случайной величины Z ;

$D[Z]$ и $\sigma[Z]$ – дисперсия и среднее квадратическое отклонение величины Z ;

$C > 0$ – константа, определяемая заданной вероятностью ложной тревоги $P_{\text{лт}}$.

Определим в соответствии с [5] зависимость константы C от заданной вероятности $P_{\text{лт}}$ ложной тревоги. $P_{\text{лт}}$, соответствующая константе C , это вероятность попадания случайной величины Z на интервал от $\{M[Z] + C \times \sigma[Z]\}$ до $+\infty$.

Достаточная статистика Z_{ij} является линейной функцией измеренных в окрестности элемента (i, j) сигналов $U(m, n)$, значения которых, если сигналов от звезды нет, распределены по нормальному закону. Тогда Z – случайная величина, подчиняющаяся нормальному закону распределения с $M[Z] = 0$ и дисперсией

$$D[Z] = D[A] + D[F] - 2k[A, F] \times \{D[A]\}^{1/2} \times \{D[F]\}^{1/2},$$

где $D[A]$ – дисперсия случайной величины A , равная $(1/a^2) \times D[U]$;

$D[F]$ – дисперсия случайной величины F , равная $[1/4(a+1)] \times D[U]$;

a – размер стороны “квадратного окна объекта”;

$D[U]$ – дисперсия сигналов за счет флуктуаций фона в окрестности элемента (i, j) ;

$k[A, F]$ – коэффициент корреляции случайных величин A и F .

A_{ij} и F_{ij} являются выборочными значениями математического ожидания $M[U]$ сигналов в областях видеоизображения, непосредственно примыкающих друг к другу. В отсутствие сигналов от звезды они практически совпадают, т.е. коэффициент корреляции $k[A, F]$ равен единице. Тогда

$$D[Z] = \left[1/a - 1/(2\sqrt{a+1})\right]^2 \times D[U]$$

или

$$\sigma[Z] = \left[1/a - 1/(2\sqrt{a+1})\right] \times \sigma[U] = Qa \times \sigma[U].$$

Таким образом, вероятность ложной тревоги

$$P_{\text{лт}} = \int_{C\sigma_Z}^{\infty} f(Z) \times dZ = 0,5 \times \left[1 - \Phi\left(\frac{C}{\sqrt{2}}\right)\right],$$

где $\Phi\left(\frac{C}{\sqrt{2}}\right)$ – значение интеграла вероятностей попадания случайной величины Z на участок $C \times \sigma[Z]$, симметричный относительно $M[Z]$.

При практическом использовании метода обнаружения слабых звезд для вычисления порогового значения $H_a = C \times Q_a \times \sigma[U]$ используется выборочная дисперсия фона около “окна объекта” элемента (i, j) .

Применение данного метода осложняется тем, что в общем случае достаточная статистика превышает пороговое значение не только для элемента с максимальным сигналом от звезды, но и в соседних элементах. Для исключения этой неоднозначности введена дополнительная процедура – выделение локальных максимумов сигналов –, аналогичная представленной выше для способа обнаружения ярких звезд.

При обнаружении слабых звезд допустимость перестановки двух процедур – пороговой проверки достаточной статистики и выделения локальных максимумов сигналов – зависит от отношения сигнала к шуму и определяется путем математического моделирования.

Основное отличие представленных выше способов обнаружения звезд разной яркости состоит в процедуре принятия решения:

- для ярких звезд – это определение изображений, распределение значений сигналов в которых соответствует функции рассеяния точки данной оптической системы с точностью, определяемой заданной вероятностью пропуска звезды P_{np} ;
- для слабых звезд – это определение изображений, сигналы в которых удовлетворяют пороговому ограничению, соответствующему заданной вероятности ложной тревоги $P_{лт}$, определяемой с учетом вероятности пропуска звезды P_{np} .

При ориентации космического аппарата из первоначально неориентированного положения необходимо распознавание по звездному каталогу образа, наблюдаемого в поле зрения астродатчика. Так как в этом случае требуется обнаружение всех звезд, то сначала осуществляется проверка первым из представленных способов при размерах внутреннего s и внешнего t “окон объекта”, соответствующих самым ярким звездам. Если данная гипотеза отклоняется, то размеры s и t “окон” уменьшаются на единицу, пока размер s стороны “внутреннего окна объекта” остается больше a_1 .

При $s = a_1$ используется второй способ обработки с размером “окна объекта” $a = a_1$. Если решение об обнаружении звезды не принимается, то сторона “окна объекта” уменьшается на единицу, пока не станет равной a_0 . Размеры “окон объекта” a_0 и a_1 зависят от отношения сигнала к шуму на обрабатываемых видеоизображениях.

Используемые в настоящее время методы обработки видеоизображений звезд аналогичны методу ИКИ РАН [6] и основаны на локализации пространственно связанных областей. В этих методах для формирования изобра-

жений звезд используются элементы, яркости которых превышают пороговый уровень. При этом, если вся “надпороговая” информация не размещается в видеобufferе, то уровень порога повышается. Кроме того, в процессе выделения пространственно связанных областей исключаются изображения с числом элементов меньше N_{min} или имеющие интегральную яркость меньше S_{min} .

Метод, представленный в [6], не оптимален с точки зрения выполнения требований по вероятности захвата звезды ($P_{зз} = 1 - P_{np}$), т.к.:

- адаптивная (под объем видеобufferа) пороговая селекция элементов видеоизображения делает непредсказуемой фактически реализуемую вероятность захвата звезды;
- при адаптивной пороговой яркости невозможно заранее определить число N_{min} элементов изображения звезды и соответствующую им интегральную яркость S_{min} ;
- изображение звезды после пороговой селекции может быть из-за флуктуаций фона на видеоизображении разрезано на несколько частей, каждая из которых не пройдет ограничения по числу элементов или интегральной яркости.

Сравнительные расчетные данные по эффективности (т.е. вероятности захвата $P_{зз}$) и точности (определения координат звезды – $3\sigma_x$ и $3\sigma_y$) метода, основанного на пороговой селекции сигналов, и разработанного НПОА локально-экстремального метода, приведены в таблице.

Сравнение эффективности и точности метода пороговой селекции сигналов и локально-экстремального метода

Метод обработки видеоизображения	Отношение сигнал/шум											
	30			15			10			5		
	$3\sigma_x$, угл.с	$3\sigma_y$, угл.с	$P_{зз}$	$3\sigma_x$, угл.с	$3\sigma_y$, угл.с	$P_{зз}$	$3\sigma_x$, угл.с	$3\sigma_y$, угл.с	$P_{зз}$	$3\sigma_x$, угл.с	$3\sigma_y$, угл.с	$P_{зз}$
Пороговая селекция сигналов	6,4	7,2	1	8,6	7,4	0,92	14,1	13,9	0,63	19,9	11,8	0,25
Локально-экстремальный метод НПОА	0,9	0,9	1	1,8	1,7	1	1,6	1,7	1	3,2	3,0	0,92

Расчеты по методу, основанному на пороговой селекции сигналов, проведены при неизменной пороговой яркости, т.е. без учета ограниченности объема видеобufferа. Расчеты по локально-экстремальному методу НПОА проведены способом, соответствующим обнаружению ярких звезд, с размерами s и t “окон”, равными 3 и 5.

Для реализации локально-экстремального метода обработки в НПОА создана мультипроцессорная система обработки изображений (СОИ), включающая глобальную память на 1 Мбайт и 4 микропроцессора типа TMS320C50 или 1867 ВМ3.

Оптимальное использование вычислительных ресурсов СОО обеспечивается, если перед проверкой статистической гипотезы звезда предварительно выделяется по локальному максимуму сигналов. В этом случае видеоизображение размером 512×512 обрабатывается в СОО за 0,3 с.

При выделении максимума яркости изображения звезды после проверки статистической гипотезы продолжительность обработки увеличивается. Однако, если обработка проводится в нескольких заранее определенных зонах видеоизображения, то она осуществима в реальном масштабе времени.

Таким образом, локально-экстремальный метод обработки видеоизображений звезд достаточно эффективен. Реализация его возможна с помощью мультипроцессорной системой, построенной на основе быстродействующего микропроцессора. В зависимости от характера решаемой задачи может быть рекомендовано использование обоих представленных способа обнаружения звезд или выбран один из них. Последнее зависит как от яркости звезды, так и от уровня возмущающих воздействий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Б.Р.Левин. Теоретические основы статистической радиотехники. – “Радио и связь”, Москва, 1989.
2. А.Марешаль, М.Франсон. Структура оптического изображения. – “Мир”, Москва, 1964.
3. Н.Н.Михельсон. Оптические телескопы. – “Наука”, Москва, 1976.
4. И.А.Турыгин. Прикладная оптика. – “Машиностроение”, Москва, 1966.
5. Е.С.Вентцель. Теория вероятностей. – “Наука”, Москва, 1958.
6. Астродатчик. Материалы для эскизного проекта астросистемы управления ориентацией КА “ROS”, исх. ИКИ РАН 11204/074–92ф от 17.12.98, Москва, 1998.



СПУТНИКОВЫЕ И НАЗЕМНЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

ГРНТИ 78.25.31.35.29.31.29.33

РАСШИРЕНИЕ КРУГА НАВИГАЦИОННО-ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, ОЦЕНИВАЕМЫХ ПО ФАЗЕ СИГНАЛОВ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ю.И.НИКИТЕНКО
(ГМА им.адм.С.О.Макарова)

Обсуждаются возможности использования однозначных измерений фазы сигналов СНС ГЛО-НАСС, GPS для построения алгоритма определения разности длин намеченной и фактической траекторий подвижного объекта на базе алгоритма оценки положения и угловой ориентации в пространстве мгновенной оси вращения подвижного объекта.

Возможности (например, [1]) однозначных измерений фазы ВЧ-заполнения сигналов СНС (на время постоянства их параметров излучения, распространения и приема) позволят повысить на три–четыре порядка точности относительных местоопределений фазового центра приемных антенн. Фазовые измерения используются в аппаратуре потребителей АП пока для оценки вектора путевой скорости подвижного объекта. Они позволяют [2,3] найти пространственную угловую ориентацию объекта и стимулируют поиск возможностей расширения перечня его определяемых навигационно-динамических параметров. В [4] обсуждается возможность определения текущего расположения и ориентации мгновенной оси вращения судна. Ниже показано расширение возможностей алгоритма [4] с целью определения разницы длин намеченной и фактической траекторий движения судна.

Полагаем, что орты строительных осей симметрии судна направлены: \bar{a}_0 – по правому борту, \bar{e}_0 – по носу, \bar{h}_0 – вверх. На судне в выбранных точках установлены не менее трех антенн. Антенна с номером i имеет координаты

a_i, ϵ_i, h_i относительно судовой системы с началом в точке пересечения осей симметрии. В качестве неподвижной системы координат примем горизонтную, орт \bar{y}_0 которой направлен из начальной в конечную точку маршрута, орт \bar{z}_0 направлен вверх, орт \bar{x}_0 дополняет предыдущие до правого базиса; здесь предвычисляются текущие координаты ИСЗ. Однозначные фазовые отсчеты позволяют получить оценки координат x_i, y_i, z_i каждой антенны с погрешностью порядка миллиметров (хотя абсолютные местоопределения всех антенн могут характеризоваться одинаковыми погрешностями порядка метров).

В [4] решалась задача определения канонического уравнения прямой – мгновенной оси вращения судна. Такое векторное уравнение $\bar{r} - \bar{r}_\Pi = \bar{g}t$ в горизонтной системе имеет вид

$$(x - x_\Pi)/g_x = (y - y_\Pi)/g_y = (z - z_\Pi)/g_z,$$

где x, y, z координаты текущей точки прямой, определяющие радиус-вектор \bar{r} ;

искомые шесть параметров это: три направляющих косинуса g_x, g_y, g_z орта \bar{g} и три координаты x_Π, y_Π, z_Π фиксированной точки прямой (конец радиуса вектора \bar{r}_Π).

В судовой системе координат кроме уравнения оси вращения важно знать угловую ориентацию и модуль перпендикуляра, опущенного из начала координат на ось вращения.

Решение ведется в четыре этапа. На 1-ом необходимо найти пространственную ориентацию судовой системы координат относительно горизонтной. Полная информация об ориентации (и об истинном курсе, крене, дифференте) содержится в ортогональной матрице

$$T = \begin{bmatrix} \tau_{ax} & \tau_{ay} & \tau_{az} \\ \tau_{bx} & \tau_{by} & \tau_{bz} \\ \tau_{hx} & \tau_{hy} & \tau_{hz} \end{bmatrix}, \quad \text{причем} \quad \begin{bmatrix} \bar{a}_0 \\ \bar{b}_0 \\ \bar{h}_0 \end{bmatrix} = T \cdot \begin{bmatrix} \bar{x}_0 \\ \bar{y}_0 \\ \bar{z}_0 \end{bmatrix},$$

где девять элементов T суть направляющие косинусы (углов между соответствующими осями координат).

Матрица T обычно определяется [2] двухантенными интерферометрами, где разность одномоментных фаз колебаний, наведенных в приемных антеннах, измеряется без определения координат антенн. Роль интерферометра (без измерения указанной разности фаз) может выполнять и пара антенн с известными координатами. Такую пару антенн можно назвать квазиинтерферометром. Для упрощения формул далее используется совокупность пар с одной общей антенной, координаты которой $a_{o\bar{o}}, b_{o\bar{o}}, h_{o\bar{o}}$ или $x_{o\bar{o}}, y_{o\bar{o}}, z_{o\bar{o}}$. Тогда номер пары антенн совпадает с номером второй антенны. При известном модуле L_i базы антенн ее орт и направляющие косинусы равны в судовой системе координат

$$\bar{l}_i = \bar{a}_0 l_{ai} + \bar{b}_0 l_{bi} + \bar{h}_0 l_{hi}; \quad l_{ai} = (a_i - a_{o\bar{o}})/L_i; \quad l_{bi} = (b_i - b_{o\bar{o}})/L_i; \quad l_{hi} = (h_i - h_{o\bar{o}})/L_i,$$

а в горизонтной системе результатам измерений соответствуют оценки $\bar{l}_{\Gamma i} = \bar{x}_0 l_{xi} + \bar{y}_0 l_{yi} + \bar{z}_0 l_{zi}; l_{xi} = (x_i - x_{o0})/L_i; l_{yi} = (y_i - y_{o0})/L_i; l_{zi} = (z_i - z_{o0})/L_i$.

Искомая матрица T при трех парах антенн может быть выражена согласно [3] как

$$T = \begin{bmatrix} l_{a1} & l_{b1} & l_{h1} \\ l_{a2} & l_{b2} & l_{h2} \\ l_{a3} & l_{b3} & l_{h3} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} l_{x1} & l_{y1} & l_{z1} \\ l_{x2} & l_{y2} & l_{z2} \\ l_{x3} & l_{y3} & l_{z3} \end{bmatrix}.$$

А для двух пар антенн с острым углом γ между базами

$$T = P^T Q \text{Sin}^2 \gamma, \quad \text{где } P = \begin{bmatrix} l_{a1} - l_{a2} \text{Cos} \gamma & l_{b1} - l_{b2} \text{Cos} \gamma & l_{h1} - l_{h2} \text{Cos} \gamma \\ l_{a2} \text{Sin} \gamma & l_{b2} \text{Sin} \gamma & l_{h2} \text{Sin} \gamma \\ l_{b1} l_{h2} - l_{h1} l_{b2} & l_{h1} l_{a2} - l_{a1} l_{h2} & l_{a1} l_{b2} - l_{b1} l_{a2} \end{bmatrix}.$$

Причем вторая матрица Q выражается как P , но с заменой индексов a, b, h на x, y, z .

На 2-ом этапе находится ориентация орта \bar{g} оси вращения в интервале между моментами времени t_0 и t . Для этого необходимо зафиксировать матрицы $T(t) = T_t$ и $T(t) = T_0$ на границах этого интервала (обоснования длительности интервала заслуживают отдельного рассмотрения).

Неизменному орту $\bar{q}_c = \bar{a}_0 q_a + \bar{b}_0 q_b + \bar{h}_0 q_h$ судовой систем координат будут в моменты t_0 и t соответствовать разные орты горизонтной системы, причем

$$\bar{q}_{\Gamma}(t) = T_t^{-1} \bar{q}_c; \quad \bar{q}_{\Gamma}(t_0) = T_0^{-1} \bar{q}_c.$$

Преобразование орта $\bar{q}_{\Gamma}(t_0)$ в орт $\bar{q}_{\Gamma}(t)$ можно трактовать как поворот на угол $\delta = \Omega(t - t_0)$ вокруг искомой оси вращения с уже обозначенным выше ортом \bar{g} при угловой скорости Ω . Обозначив матрицу такого преобразования S , получим равенство $\bar{q}_{\Gamma}(t) = S \bar{q}_{\Gamma}(t_0)$, что с учетом предыдущих двух равенств приводит к простой формуле для матрицы вращения – $S = T_t^{-1} T_0$. Используя [5], можно развернуть левую часть последней формулы

$$\begin{bmatrix} g_x^2 + (1 - g_x^2) \text{Cos} \delta & g_x g_y (1 - \text{Cos} \delta) - g_z \text{Sin} \delta & g_x g_z (1 - \text{Cos} \delta) + g_y \text{Sin} \delta \\ g_x g_y (1 - \text{Cos} \delta) + g_z \text{Sin} \delta & g_y^2 + (1 - g_y^2) \text{Cos} \delta & g_y g_z (1 - \text{Cos} \delta) - g_x \text{Sin} \delta \\ g_x g_y (1 - \text{Cos} \delta) - g_z \text{Sin} \delta & g_y g_z (1 - \text{Cos} \delta) + g_x \text{Sin} \delta & g_z^2 + (1 - g_z^2) \text{Cos} \delta \end{bmatrix} = T_t^{-1} T_0$$

Приравнивание элементов левой матрицы элементам правой позволяет определить все направляющие косинусы орта оси вращения. Решение упрощается при малых углах поворота, когда можно считать $\text{Sin} \delta = \delta$, $\text{Cos} \delta = 1$.

На 3-ем этапе находятся оставшиеся три параметра оси вращения $(x_{\Pi}, y_{\Pi}, z_{\Pi})$. Необходимо использовать понятия дифференциальной геомет-

рии применительно к кривой, описывающей движение (траекторию перемещения) отдельной приемной антенны. Ежесекундные (или с другим дискретом) измерения трех координат антенны задают уравнение этой кривой в табличной параметрической форме относительно параметра времени t . После обработки табличных данных по методу наименьших квадратов (МНК) находится и непрерывная полиномиальная аппроксимация зависимостей $\bar{r} = \bar{r}(t)$ или $x = x(t), y = y(t), z = z(t)$. В каждой точке $\bar{r}(t)$ можно провести касательную и нормаль, через которые проходит соприкасающаяся плоскость (содержащая соприкасающуюся окружность – круг кривизны). В этой плоскости лежит и центр окружности (центр кривизны) – на пересечении нормали к кривой и мгновенной оси вращения судна. Координаты $x_{Ц}, y_{Ц}, z_{Ц}$ центра кривизны в векторной форме выражаются [5] как $\bar{r}_y = \bar{r} + \bar{n}\rho$, где \bar{n} – орт нормали, ρ – радиус кривизны. Последняя величина выражается через производные от координат точек траектории

$$\rho = \left| \frac{d\bar{r}}{dt} \right| / \left| \left(\frac{d\bar{r}}{dt} \right) \times \left(\frac{d^2\bar{r}}{dt^2} \right) \right|.$$

Для определения орта нормали $\bar{n} = n_x\bar{x}_0 + n_y\bar{y}_0 + n_z\bar{z}_0$ необходимо выражение для текущей истинной длины дуги s траектории. По оценкам координат в моменты времени, обозначенные индексами $j = 0, 1, 2, \dots, n$, эта длина

определяется как $s(t_n) = \sum_{j=1}^n \left| \bar{r}(t_j) - \bar{r}(t_{j-1}) \right|$. Если непрерывная полиномиальная

аппроксимация длины $s = s(t)$ находится по МНК относительно параметра t , то проекции орта нормали n_x, n_y, n_z выражаются одинаковыми по структуре формулами вида $n_x = (\ddot{x}\dot{s} - \dot{x}\ddot{s}) / (\dot{s})^3$.

Более компактные формулы получаются, если по МНК обработать три пары ансамблей чисел “координата – длина s ” и определить три непрерывные (например полиномиальные) функции $x = x(s), y = y(s), z = z(s)$ от аргумента s . Тогда $\rho^{-1} = \left| d^2\bar{r}/ds^2 \right|$; $\bar{n} = \rho d^2\bar{r}/ds^2$.

Небольшим (но достаточным для реализации численного дифференцирования) участкам траектории каждой из приемных антенн в процессе динамической эволюции (качки, циркуляции и т.п.) будет соответствовать свой центр кривизны. Если при идеально точных измерениях и вычислениях написать уравнение прямой, проходящей через один выбранный центр в направлении найденного выше орта оси, то эта прямая пройдет и через другие центры (соответствующие участкам траекторий перемещения других антенн). При наличии погрешностей наиболее правдоподобная точка на оси должна определяться по МНК из условия минимума суммы квадратов кратчайших расстояний всех центров до оси.

Оптимизация алгоритма вычислений центра кривизны заслуживает отдельного исследования. Возможно будет полезным вести выкладки во вспомогательной подвижной системе координат, базисные орты которой парал-

лельны ортам горизонтной системы, начало которой совпадает с наиболее правдоподобной текущей оценкой начальной точки судовой системы координат (т.е. точки пересечения строительных осей симметрии судна).

Горизонтные координаты этого условного геометрического центра судна X, Y, Z можно считать равными средним значениям оценок X_i, Y_i, Z_i , полученным в один момент времени по ансамблю приемных антенн

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} - T^{-1} \begin{bmatrix} a_i \\ b_i \\ h_i \end{bmatrix}.$$

На 4-ом этапе решения поставленной задачи находятся параметры положения оси вращения относительно судовой системы координат с использованием полученных следующим образом соотношений.

Обозначим радиус вектор усредненной по ансамблю антенн начальной точки судовой системы в горизонтной системе $\bar{r}_0 = \bar{r}_0(X, Y, Z)$. Кратчайшее расстояние D от этого центра судна до оси вращения судна равно [5] модулю векторного произведения направляющего орта оси вращения на вектор, соединяющий центр судна и фиксированную точку оси, т.е. $D = |\bar{g} \times (\bar{r}_0 - \bar{r}_\Pi)|$. Орт $\bar{d} = \bar{x}_0 d_x + \bar{y}_0 d_y + \bar{z}_0 d_z = \bar{D}/D$ перпендикуляра, опущенного из центра судна на ось вращения, находится на линии пересечения двух взаимоперпендикулярных плоскостей, выражаемых уравнениями

$$(x - X)g_x + (y - Y)g_y + (z - Z)g_z = 0; \quad \begin{bmatrix} x - X & y - Y & z - Z \\ x_\Pi - X & y_\Pi - Y & z_\Pi - Z \\ g_x & g_y & g_z \end{bmatrix} = 0.$$

Первая плоскость проходит через геометрический центр судна и перпендикулярна его оси вращения, т.е. характеризуется нормальным вектором (ортом) \bar{g} . Вторая плоскость проходит через тот же центр судна и ось вращения, имея нормальный вектор \bar{p} с координатами, равными соответственно алгебраическим дополнениям элементов первой строки определителя. Векторное произведение нормальных векторов определяет направление орта перпендикуляра, т.е. $\bar{d} = \bar{g} \times \bar{p}/p$.

Преыдущие параметры еще выражены в горизонтной системе координат. В судовой системе параметры оси вращения $(a - a_\Pi)/g_a = (b - b_\Pi)/g_b = (h - h_\Pi)/g_h$ и орта перпендикуляра \bar{d}_c , опущенного из начала координат на ось вращения (всего девять параметров), определяются с помощью преобразований

$$\begin{bmatrix} g_a \\ g_b \\ g_h \end{bmatrix} = T \cdot \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \\ g_z \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} a_\Pi \\ b_\Pi \\ h_\Pi \end{bmatrix} = T \cdot \begin{bmatrix} x_\Pi - X \\ y_\Pi - Y \\ z_\Pi - Z \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} d_a \\ d_b \\ d_z \end{bmatrix} = T \cdot \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \end{bmatrix}.$$

Перейдем теперь к построению алгоритма оценки разности длин фактической и намеченной траекторий движения геометрического центра судна.

Формула для определения горизонтных координат X, Y, Z этого центра (через координаты приемных антенн) получена выше. Для упрощения ограничимся рассмотрением перемещений лишь в горизонтной плоскости (переход к формулам для пространственных перемещений несложен). Истинные значения (координаты и длины) обозначим прописными, а их погрешности – строчными символами. Соседним целочисленным индексам $j = 0, 1, 2, \dots, n = 2m$ моментов времени соответствует фиксированный интервал, пусть – секунда. Измеряется четное количество секундных дуг с длинами $S_j + s_j$, где $j > 0$.

Под длиной $S_H + s_H$ участка намеченной траектории далее будем понимать результат измерения протяженности линейного отрезка между выбранными достаточно разнесенными двумя точками маршрута, преодолеваемого судном за интервалы времени, включающие несколько (пусть не менее $N = 6$), “периодов” T_p рыскания

$$S_H + s_H = \sqrt{(X_H + x_H - X_o - x_o)^2 + (Y_H + y_H - Y_o - y_o)^2} \cong \\ \cong S_H + (x_H - x_o)C_x + (y_H - y_o)C_y,$$

где $S_H = \sqrt{(X_H - X_o)^2 + (Y_H - Y_o)^2}$ – истинная длина намеченной траектории;

$C_x = (X_H - X_o)/S_H$ и $C_y = (Y_H - Y_o)/S_H$ – направляющие косинусы отрезка прямой, соединяющей выбранные точки пути.

Приближенное равенство справедливо в предположении малых погрешностей измерений.

Измеренная длина $S_\phi + s_\phi$ фактической траектории равна сумме из $n = 2m$ длин $S_j + s_j$ секундных дуг. Истинная длина секундной дуги S_j (при отсутствии погрешностей) равна корню из суммы квадратов секундных приращений истинных координат $X_j - X_{j-1}$ и $Y_j - Y_{j-1}$ (т.е. модулю вектора путевой скорости, который грубо определяется в штатном режиме по приращением фазовых сигналов всего одной антенны без учета параметров ориентации судна), а измеренная длина в линейном приближении равна $S_j + s_j = S_j + c_{xj}(x_j - x_{j-1}) + c_{yj}(y_j - y_{j-1})$, где правая часть содержит косинусы c_{xj} и c_{yj} углов между секундной линейной дугой и осями координат. Мысленно просуммируем подобные равенства для всех индексов от $j = 1$ до $j = n$ и вычтем измеренную длину намеченной траектории, получая (после исключения из левой и правой части равенства одинаковых величин $S_\phi - S_H$) погрешность $s_\phi - s_H = s_{\phi H}$, которая является линейной комбинацией некоррелированных погрешностей координат

$$s_{\phi H} = (c_{xn} - C_{xn})x_n + (c_{yn} - C_{yn})y_n - (c_{xo} - C_{yo})x_o - (c_{yo} - C_{yo})y_o + \\ + \sum_j [(c_{xj} - c_{x,j+1})x_{kj} + (c_{yj} - c_{y,j+1})y_j],$$

где под знаком суммы индекс j меняется от 1 до $n - 1$.

Полагая среднеквадратическое отклонение (СКО) погрешностей координат (от нулевого среднего) одинаковыми и равными СКО σ_M относительных местоопределений, можно легко найти выражение для квадрата отношения СКО $\sigma_{\phi H}$ погрешностей $S_{\phi H}$ к σ_M в виде

$$\left(\sigma_{\phi H} / \sigma_M\right)^2 = \left(c_{xn} - C_{xn}\right)^2 + \left(c_{yn} - C_{yn}\right)^2 + \left(c_{xo} - C_{\phi H}\right)^2 + \left(c_{yo} - C_{yo}\right)^2 + \sum_j \left[\left(c_{xj} - c_{x,j+1}\right)^2 + \left(c_{yj} - c_{y,j+1}\right)^2\right],$$

где первые 4 слагаемые незначительны, а индекс под знаком суммы меняется от $j=1$ до $j = n - 1$.

Измеритель разности длин фактического и намеченного пути $S_{\phi} - S_H$ должен удовлетворять условию: СКО $\sigma_{\phi H}$ погрешностей измерений должно быть существенно меньше истинных значений $S_{\phi} - S_H$. Достаточно проверить это условие при рыскании в предположении, что намеченная траектория совпадает с осью ординат горизонтной системы. При отсутствии рыскания фактическая траектория тоже совпадет с ординатой и все направляющие косинусы относительно ординаты будут равны единице, а относительно абсциссы равны нулю; поэтому и ожидаемая разность $S_{\phi} - S_H$ и погрешность измерения этой разности будут равны нулю. При рыскании траектория $x = x(y)$ может аппроксимироваться периодической функцией.

Синусоида $x = (b \cdot \operatorname{tgu}) \sin(y/b)$ характеризуется максимальным углом рыскания u и отмечаемым на оси y линейным периодом $2\pi b$. Длина синусоиды за N периодов рыскания равна

$$S_{\phi} = 4NE(u)b / \cos u,$$

где $E(u) = \int_0^{0,5\pi} (1 - \sin^2 u \sin^2 bt)^{0,5} dt$ – полный эллиптический интеграл второго рода.

Если количество местоопределений за период равно целому $M > 10$, то формула для СКО приводится к виду $\sigma_{\phi H} / \sigma_M = \pi(2N/M)^{0,5} \operatorname{tgu}$.

В случае пилообразной аппроксимации угол u не меняется в пределах плюс–минус четверти периода и $S = S / \cos u$. Поскольку все направляющие косинусы по отношению оси ординат одинаковы и равны $\cos u$, а разность одинаковых по модулю соседних значений c_x не равна нулю лишь вблизи двух точек экстремумов пилообразной функции, то $\sigma_{\phi H} / \sigma_M = (2N)^{0,5} \sin u$.

Учитывая параметры рыскания для судов среднего тоннажа при волнении 4–5 баллов можно для оценочных расчетов полагать, что $u = 5-10^\circ$, а на 1 км пути приходится $N = 6$ периодов рыскания. И синусоидальная, и пилооб-

разная аппроксимации на 1 км пути дают разность фактического и намеченного путей при отсутствии погрешностей измерений более 1,5м, а величина $\sigma_{\text{фн}}$ не превышает величины $\sigma_{\text{м}}$, имеющей порядок сантиметра, т.е. меньше измеряемой величины на два порядка. Таким образом есть веские основания полагать, что алгоритм измерения разности истинной и намеченной траекторий движения судна может обеспечить достаточно высокую точность.

Заключение. При оценке перспектив использования и развития СНС целесообразно учитывать наличие принципиальных возможностей реализации однозначных фазовых измерений и одномоментных и разномоментных относительных местоопределений приемных антенн с сантиметровыми точностями, что позволит получать текущую высокоточную информацию:

- о всегда оцениваемом в аппаратуре потребителей навигационно-динамическом параметре – векторе путевой скорости и, в некоторых образцах, о навигационных параметрах пространственной угловой ориентации осей симметрии судна (т.е. об истинном курсе, крене, дифференте);
- о двух дополнительных навигационно-динамических параметрах:
 - текущем расположении и ориентации мгновенной оси вращения судна;
 - разнице длин намеченной и фактической траекторий движения судна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипов М.А., Никитенко Ю.И., Чистяков В.В. и др. Местоопределение в среднеорбитальной СРНС с использованием принципов обработки фазы сигналов низкоорбитальной СРНС // Радионавигация и время. 1997, №1,2. С. 74–78.
2. Лукьянова М.А., Никитенко Ю.И. Геометрические особенности задачи ориентации интерферометра по одномоментным неоднозначным отсчетам фазы сигналов ССРНС // Радионавигация и время. 1997. №12. С.79–83.
3. Никитенко Ю.И., Устинов А.В., Лукьянова М.А. Определение угловой ориентации судна по ССРНС при неортогональных палубных интерферометрах // Тезисы юбилейной научно-технической конференции ГМА им. адм. С.О.Макарова. СПб. 1997.
4. Никитенко Ю.И. Возможности определения положения оси вращения судна по фазе сигналов СРНС // Проблемы развития морского флота. Сб. науч. трудов. ЦНИИМФ СПб. 1999, с.161–166.
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике М.: Наука.1984. 832 с.

СРАВНЕНИЕ ОДНОКАНАЛЬНОЙ И ДВУХКАНАЛЬНОЙ СХЕМ ИЗМЕРЕНИЯ ЗАДЕРЖКИ СИГНАЛОВ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ**И.А.КУРЧАНОВ**

(РИРВ),

Ю.И.НИКИТЕНКО

(ГМА им. адм. С. О. Макарова)

На основе известных соотношений теории оптимальных методов оценки временного положения сигналов известной формы получены аналитические соотношения для определения характеристик приемоизмерительных трактов. Эти соотношения реализуют режим измерения задержки огибающей бинарно фазокодированных сигналов спутниковых РНС при использовании либо общепринятой схемы с двумя корреляторами либо альтернативной (менее подверженной влиянию шумов и переотражений от местных предметов) схемы с одним коррелятором. Преимущество последней возрастет при использовании приемника прямого преобразования (исключающего влияние зеркальных помех).

Разработанные на базе научно-технических достижений 70-х годов алгоритмы первичной обработки сигналов в спроектированной аппаратуре потребителей (АП) после развертывания (в 90-х годах) и широкого использования спутниковых РНС обнаруживают необходимость их коррекции. Это необходимо либо из-за использования более совершенных схемотехнических решений, в частности, возможностей реализации приемника прямого преобразования [1, 2], либо для исключения выявившейся неоптимальности ключевых решений – в частности, двухканальной схемы слежения за задержкой (ССЗ) огибающей $s(t)$ сигналов [3]. Настоящая статья посвящена рассмотрению указанных частностей.

Следует отметить, что побудительной причиной к тому послужило и выступление Ю.С.Дубинко на проведенной в 1998 г. Гос.НИНГИ МО РФ конференции “Навигация и океанография – 98”, где он изложил выводы [3] и высказал свою идею дельта коррелятора.

Основная цель данной работы – получить аналитические соотношения для описания и сравнительной оценки вариантов алгоритмов ССЗ, соответствующих:

- теории оптимальных методов приема [4,5,6];
- вытекающей из этой теории одноканальной схемы ССЗ;
- обычно реализуемой двухканальной ССЗ.

Для достижения этой цели методически удобно использовать аналоговую структурную схему вариантов приемоизмерителя (рис.1), принципы функционирования отдельных узлов которой общеизвестны (см., например, [6]), а дополнительные особенности раскрываются ниже.

Сигнал СРНС в интервале постоянства символа информационного кода $C(t)$ представляется произведением монохроматического несущего колебания на имеющие длительность τ_Σ элементы бинарного (± 1) кода $G(t) = G_i[t - (i-1)\tau_\Sigma]$, причем в каждом периоде $T_G = m\tau_\Sigma$ кода элементы имеют номера $i = 1, 2, \dots, m$, а в каждом элементе аргумент времени t меняется от $(i-1)\tau_\Sigma$ до $i\tau_\Sigma$.

Радиоприемнику РПК соответствует либо один широкополосный УВЧ, либо широкополосный супергетеродинный тракт, содержащий УВЧ, УПЧ и смеситель, гетеродинные (опорные) непрерывные колебания которого не подвергаются бинарной фазовой манипуляции.

Схемы ССЗ функционируют после окончания операции поиска и после того, как изображенная сверху (см. рис.1) квадратурная схема слежения за несущей (СН) обеспечивает равенство текущих фаз (с точностью до постоянного слагаемого 180°) сигнального и опорного колебаний.

Алгоритмы идеально оптимальных корреляционных методов определения задержки $s(t)$ будут

адекватно описывать изображенную на рис.1 схему при соблюдении двух условий: исключения РПК и использования в ССЗ опорных стробов малой длительности $\tau_{cmp} \ll \tau_\Sigma$.

Одноканальная ССЗ соответствует приведенной на рисунке с ключем К в положении 1.

Двухканальная ССЗ соответствует схеме с ключем К в положении 2 (см. рис.1). Здесь следует заметить, что декодирование (снятие кода) в двух кор-

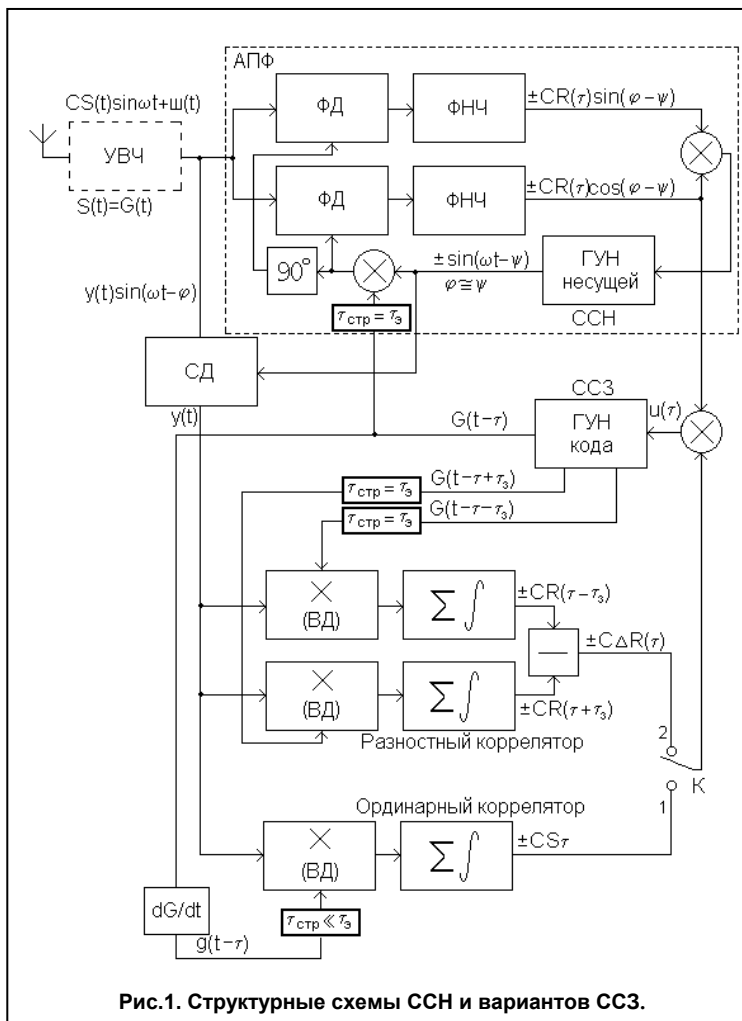


Рис.1. Структурные схемы СН и вариантов ССЗ.

релеяторах выпускаемой АП выполняется за счет соответствующей коду $G(t)$ бинарной манипуляции фазы опорного колебания через интервалы, кратные τ_ϕ – подобно тому, как это сделано в схеме ССН (см. рис.1). Поэтому рассматриваемая схема ССЗ с двумя корреляторами является эквивалентной схемам ССЗ выпускаемой АП лишь при условии, что на выходе синхронного детектора (СД) видеоимпульсы перемножаются с опорными видеоостробидами, имеющими длительность $\tau_{cmp} = \tau_\phi$ элемента кода.

Код $G(t)$ определяется m псевдослучайными параметрами. Упрощение выкладок достигается при использовании производного кода $g(t)$, определяемого $\mu = 0,5(m + 1)$ параметрами – сменами полярностей в моменты $i_{k-1}\tau_\phi$, где k – номера от 1 до μ . Пусть в начале периода T_G кода при $k=1$ имеет место смена полярности с «-» на «+». Нормированная относительно максимума (т.е. единичного уровня) огибающая $s(t)$ сигнала поэтому выражается линейной комбинацией не только из m элементов $G(t)$, но и из μ удвоенных единичных функции $I(t)$

$$s(t) = \sum_{k=1}^m G_i[t - (i-1)\tau_\phi] = -1 + 2 \sum_{k=1}^{\mu} (-1)^{k-1} I(t - i_{k-1}\tau_\phi). \quad (1)$$

Упрощению выкладок способствует и возможность использования метода низкочастотных эквивалентов, что, в частности, позволяет оперировать не с ВЧ сигналом, а лишь с огибающей $s(t) = G(t)$ сигнала в приемной антенне.

1. Теория оптимального оценивания искомой величины τ истинной задержки τ_{ucm} сигнала $s(t - \tau_{ucm})$ известной формы в шумах $w(t)$ с односторонней спектральной плотностью N_o позволяет использовать следующее положение.

Если не нарушая общности положить $\tau_{ucm} = 0$ и обозначить смесь сигнала и белого шума, как $e(t) = s(t) + w_u(t)$, оптимальная оценка τ должна обращать в ноль корреляционный интеграл $U(t)$ от произведения смеси $e(t)$ на производную $s'(t - \tau)$ копии сигнала за время, равное периоду $T_G = m\tau_\phi$ кода

$$U(t) = \int_0^{T_G} e(t)s'(t - \tau)dt = u(\tau) + w_u,$$

где $u(\tau) = \int_0^{T_G} s(t)s'(t - \tau)dt$;

$$w_u = \int_0^{T_G} w(t)s'(t - \tau)dt. \quad (2)$$

Пусть в окрестности каждого момента смены полярностей сигнал $s(t)$ имеет длительность фронта $\tau_\phi \ll \tau_\phi$. В пределах фронта производная $s'(t)$

должна иметь некоторое конечное среднее значение A . Поэтому производную можно заменить последовательностью прямоугольных стробов с амплитудой A , длительностью $\tau_{cmp} = \tau_\phi$ в пределах от $i\tau_\phi - 0,5\tau_{cmp}$ до $i\tau_\phi + 0,5\tau_{cmp}$ относительно моментов смены полярности фронтов огибающей и знаком $(-1)^{k-1}$ k -го элемента кода $g(t)$ в соответствии с (1). Такое же графически наглядное представление производной даже при прямоугольной форме огибающей $s(t)$ возникает, если воспользоваться приближением $s'(t - \tau) \approx [s(t - \tau + \tau_s) - s(t - \tau - \tau_s)] / (2\tau_s)$, где интервал $\tau_s = 0,5\tau_{cmp}$.

1.1. Непосредственно из (2), и в частности [6], вытекает реализация оптимального алгоритма в одноканальной нижней части приведенной на рис.1 схемы без РПК. В случае линейного фронта в каждом интервале от $t_k - 0,5\tau_\phi$ до $t_k + 0,5\tau_\phi$ при отсчете времени с момента t_k смены полярности справедлива формула $s_k(t) = (-1)^k A(t - t_k)$, где $A = 2/\tau_\phi$. Определяемая вторым интегралом в (2) сигнальная функция при больших $|\tau| > \tau_\phi$ равна $A\mu\tau_\phi$, а при малых $|\tau| < \tau_\phi$ выражается как $u(\tau) = 2A\mu\tau(1 - 0,5|\tau/\tau_\phi|)$. При малых τ эта функция линейна $u(\tau) \cong S_u\tau$, где $S_u = 2A\mu$ – крутизна соответствующей дискриминационной кривой однокорреляторного алгоритма.

Шумовая функция (третий интеграл в (2)) по существу равна сумме μ результатов стробирования шума. Среднее значение u_u равно нулю. Квадрат эффективного значения каждого стробирования равен произведению N_0 на эффективную шумовую полосу процесса стробирования $\Pi_{u_{cmp}} = A^2\tau_\phi$. Поэтому квадрат эффективного значения шумовой функции за период кода равен $\Pi_u^2 = N_0\mu A^2\tau_\phi$.

Среднеквадратическая погрешность (СКП) оптимальной оценки временного положения огибающей теперь легко выразить формулой

$$\sigma_o = \frac{\Pi_u}{S_u} = \sqrt{\frac{N_0\tau_\phi}{4\mu}} \cong \sqrt{\frac{N_0\tau_\phi}{2m}}, \quad (3)$$

в которой величина A отсутствует. Поэтому далее можно принять $A = 1$ с размерностью c^{-1} . Можно видеть, что СКП оказывается зависящей лишь от длительности интервала τ_ϕ существования производной, но не амплитуды A .

1.1.1. Рассмотрим схему без РПК при $\tau_{cmp} \neq \tau_\phi$, когда $\Pi_u^2 = N_0\mu\tau_{cmp}$.

Если $\tau_{cmp} > \tau_\phi$ и $|\tau| \geq 0,5(\tau_{cmp} + \tau_\phi)$, то сигнальная функция $u(\tau) = \mu\tau_{cmp}$.

Если $0,5(\tau_{cmp} - \tau_\phi) \leq |\tau| \leq 0,5(\tau_{cmp} + \tau_\phi)$,

то $u(\tau) = \mu \left\{ \tau_{cmp} - \tau_\phi^{-1} [0,5(\tau_{cmp} + \tau_\phi) - \tau]^2 \right\}$.

Если же $0 \leq |\tau| \leq 0,5(\tau_{cmp} - \tau_\phi)$, то сигнальная функция линейна, т.е.

$u(\tau) = S_u \tau$, где $S_u = 2\mu$.

Поэтому СКП оценки τ в ССЗ с одним коррелятором будет выражаться как и (3) после замены τ_ϕ на τ_{cmp}

$$\sigma_{ol} = \sqrt{\frac{N_0 \tau_{cmp}}{4\mu}} \cong \sqrt{\frac{N_0 \tau_{cmp}}{2m}}. \quad (4)$$

$$\text{Если } \tau_{cmp} = \tau_\ominus, \text{ то } \sigma_{o\tau_\ominus} = \sqrt{\frac{N_0 \tau_\ominus}{4\mu}} \cong \sqrt{\frac{N_0 \tau_\ominus}{2m}}. \quad (5)$$

Если $\tau_{cmp} < \tau_\phi$ и $0,5(\tau_{cmp} - \tau)_\phi \leq |\tau| \leq 0,5(\tau_{cmp} + \tau_\phi)$, то справедливо выражение

$$u(\tau) = \mu(1 + \tau_{cmp}/\tau_\phi) \cdot \tau [1 - |\tau|/(\tau_{cmp} + \tau_\phi)].$$

Сигнальная функция при малых τ , когда $0 \leq |\tau| \leq 0,5(\tau_{cmp} - \tau_\phi)$, будет линейна – $u(\tau) = S_u \tau$, где $S_u = 2\mu\tau_{cmp}/\tau_\phi$. Поэтому СКП определится как

$$\sigma_{ol} = \sqrt{\frac{N_0 \tau_\phi}{4\mu}} \cdot \sqrt{\frac{\tau_\phi}{\tau_{cmp}}} \cong \sqrt{\frac{N_0 \tau_\phi}{2m}} \cdot \sqrt{\frac{\tau_\phi}{\tau_{cmp}}}.$$

Таким образом, для алгоритма схемы, изображенной на рис.1, без УВЧ оптимально использование $\tau_{cmp} = \tau_\phi$.

1.2. Идеализированная схема ССЗ с двумя корреляторами (без РПК с ключом К в положении 2, см.рис.1) получается, если после замены производной в (2) приближенным двучленом $s'(t - \tau) \approx [s(t - \tau + \tau_\ominus) - s(t - \tau - \tau_\ominus)]/(2\tau_\ominus)$ представить интеграл двумя слагаемыми. При этом сигнальная функция выразится как

$$u(t) \approx [R(\tau + \tau_\ominus) - R(\tau - \tau_\ominus)]/(2\tau_\ominus),$$

где $R(\tau) = \int s(t)s(t - \tau)dt$ – автокорреляционная функция, симметричная относительно $\tau = 0$.

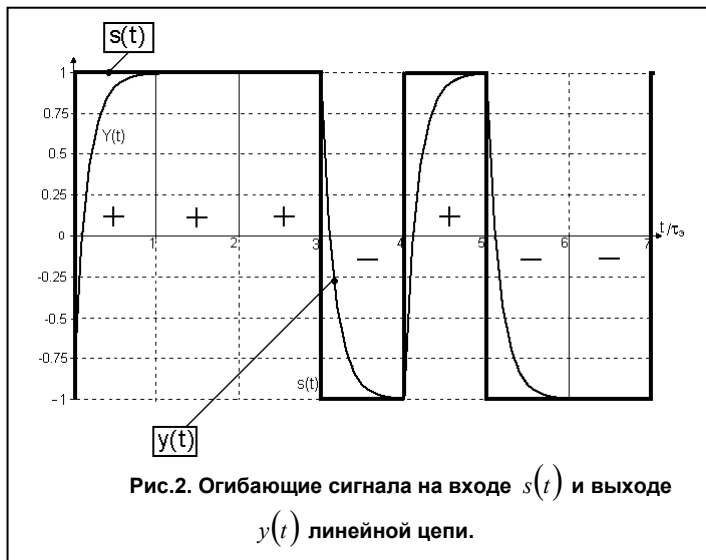
Если бы можно было пренебречь инструментальными погрешностями, то такая идеальная схема ССЗ с двумя корреляторами была бы эквивалентна рассмотренной в п.1.1 схеме с одним коррелятором при $\tau_{cmp} = \tau_\phi = 2\tau_\ominus$. Конкретная же реализация ССЗ с двумя корреляторами явно проигрывает ССЗ с одним коррелятором по критериям схемо-технических затрат (достаточно сравнить объем схемы при изменении положения ключа К). В двухканальной ССЗ должны проявляться погрешности и трудности, обусловленные неидентичностью и нестабильностью каналов [5], и это должно, по-видимому, усугубляться при малых τ_{cmp} . Отмеченные и другие факторы привели к тому, что в известных АП режим ССЗ пока [7] реализуется с двумя корреляторами при $\tau_\ominus = 0,5\tau_\ominus$, что в идеализированной схеме без РПК приводит к шумовой погрешности (5), соответствующей (3) с $\tau_\phi = \tau_{cmp} = 2\tau_\ominus = \tau_\ominus$.

2. Параметры ССЗ в АП с линейным РПК определяются по переходной характеристике $H(t)$ для огибающих от приемной антенны до временных дискриминаторов ВД (см.рис.1). Сигнал $y(t)$ (рис.2) на входе ВД после замены в (1) единичной функции $I(t)$ на $H(t)$ определяется как

$$y(t) = y_m = -1 + 2 \sum_{k=1}^{\mu} (-1)^{k-1} H(t - i_{k-1} \tau_s). \quad (6)$$

Параметры ССЗ зависят от протяженности $\tau_{\phi y}$ фронтов $y(t)$ и длительности опорных стробов ВД. Если $\tau_{cmp} \ll \tau_{\phi y}$, то к стробу применим термин “точечный”.

2.1. Особенно упрощается анализ модели ССЗ, когда РПК согласован с формой элементарного радиоимпульса (т.е. оптимален для режима поиска сигналов). Здесь



$h(t) = \frac{I(t) - I(t - \tau_s)}{\tau_s}$ и $H(t) = \int_0^t h(t) dt$ при $0 < t < \tau_s$ равна $H(t) = t/\tau_s$, а при $t \geq \tau_s$ равна $H(t) = I(t - \tau_s)$. Выкладки показали, что при таком РПК все варианты ССЗ (см.рис.1) как при $\tau_{cmp} = \tau_s$, так и при $\tau_{cmp} \ll \tau_s$ имеют СКП, выражаемую формулой (5). Поскольку декодирование принятых сигналов путем манипуляции фазы опорного колебания смесителя эквивалентно прохождению этих сигналов через оптимально согласованный фильтр, то и в таких схемах СКП должна соответствовать формуле (5).

2.2. Оптимальный же РПК для ССЗ должен при реализации алгоритма (2) иметь импульсную характеристику $h(t)$, по форме совпадающую с “зеркальным отражением” производной $s'(t)$, т.е. близкую к прямоугольному стробу длительности τ_{ϕ} .

Для оценки характеристик ССЗ на выходе реальных РПК следует воспользоваться известными выражениями для их $h(t)$. Ограничимся здесь РПК, эквивалентного последовательному соединению n одинаковых каскадов, каждый из которых имеет одиночный LCR-контур с полосой пропускания $\Pi_{0,7}^1$

по уровню 0,7, обеспечивая для всего РПК на том же уровне полосу пропускания $\Pi_{0,7} = \Pi_{0,7}^1 \sqrt{2^{1/n} - 1} \cong 0,5\sqrt{\pi/n} \cdot \Pi_{0,7}^1 = 0,886 \cdot \Pi_{0,7}^1 \cdot \sqrt{1/n}$, где $n > 1$.

В таком РПК

$$h(t) = \alpha(\alpha t)^{n-1} e^{-\alpha t} / (n-1)!, H(t) = 1 - \left[1 + \alpha t + (\alpha t)^2 / 2! + (\alpha t)^3 / 3! + \dots + (\alpha t)^{n-1} / (n-1)! \right] e^{-\alpha t}.$$

Уравнение одного из фронтов на участке смены полярностей (от «-» к «+») огибающей (6) в предположении окончания переходных процессов к концу предшествующего отрицательного элемента кода имеет вид $Y(t) = -1 + 2H(t)$. Момент t_0 смены полярности находится из уравнения $Y(t) = 0$, решение которого $t_{0n} \Pi_{0,7} \approx (n - 0,32) / \sqrt{4\pi n}$ позволяет определить крутизну $S = Y'(t) \Big|_{t=t_0} = 2h(t_0)$ фронта в момент смены полярности. Полезно ввести в рассмотрение понятие условной длительности фронта $\tau_{\phi y} = 2 / S$.

На рис.3 правая вертикальная шкала позволяет оценить $\Pi_{0,7} \tau_{\phi y}$.

Эффективная шумовая полоса Π_u (обратная интервалу корреляции τ_ρ шумового процесса на выходе эквивалентного полосового фильтра РПК) равна отношению взятого в пределах $[0, \infty]$ определенного интеграла от $h^2(t)$ к квадрату интеграла в тех же пределах от $h(t)$.

Для РПК с n одинаковыми одно-контурными каскадами

$$\frac{\Pi_u}{\Pi_{0,7}} = \frac{2^{1-2n} (2n-2)!}{[(n-1)!]^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{2^{1/n} - 1}} \approx 1 + \frac{1}{2n}.$$

Квадрат эффективного значения напряжения шумов (“мощность” шума) на выходе РПК определяется формулой $\Pi_u^2 = N_0 \Pi_u$.

2.3. На выходе ССЗ с одним коррелятором при точечном стробировании сигнальная функция (используемая для управления ГУН кода) при малых τ будет линейна – $u(\tau) \approx S_u \tau = 2\mu h(t_0)\tau$, а квадрат эффективного значения шума (после суммирования μ “точечных” выборок) равен $\Pi_u^2 = \mu \Pi_u^2$.

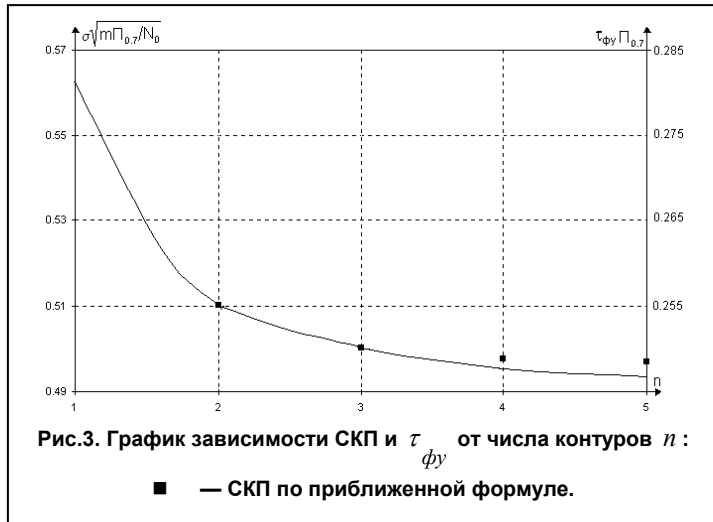


Рис.3. График зависимости СКП и $\tau_{\phi y}$ от числа контуров n :
■ — СКП по приближенной формуле.

СКП оценки временного положения всех фронтов (μ точек смены полярности) за период кода в одноканальной схеме (с одноканальным коррелятором, см. рис.1) теперь легко выражается как $\sigma = \frac{Ш_u}{S_u} = \frac{Ш}{S\sqrt{\mu}} \approx \frac{Ш}{S} \sqrt{\frac{2}{m}}$. Для

УВЧ с n одинаковыми каскадами получается иллюстрируемое рис.3 соотношение

$$\sigma = \frac{Ш}{S\sqrt{\mu}} = \sqrt{\frac{N_0}{m\Pi_{0,7}}} \cdot \sqrt{\frac{\sqrt{2^{1/n}-1} \cdot (2n-2)!}{\pi 2^{2n}}} \cdot \frac{e^{\alpha t_0}}{(\alpha t_0)^{n-1}} \approx \sqrt{\frac{N_0}{m\Pi_{0,7}}} \cdot \frac{1 - \frac{0,25}{n}}{\left[1 + \frac{0,68}{n-1}\right]^{n-1}} 0,693. \quad (7)$$

Как видно, СКП обратно пропорциональна корню из полосы пропускания РПК. При $n > 2$ множитель после первого корня примерно равен 0,5.

Заметим, что такой приемник (с одним точечным стробированием элемента кода) нельзя использовать в режиме поиска из-за ухудшения отношения сигнал/шум примерно в $(\Pi_{0,7} \tau_{\ominus})^{0,5}$ раз, что соответствует и оценкам [3].

2.4. В схеме ССЗ с двумя корреляторами (см.рис.1) использование $\tau_{cmp} = \tau_{\ominus}$ эквивалентно включению в широкополосный РПК более узкополосного линейного фильтра, согласованного с формой элемента кода, что позволяет в первом приближении полагать весь приемный тракт согласованным с формой элемента кода. Оценка, в соответствии с п.2.1, СКП такой ССЗ формулой (5) в $(2\Pi_{0,7} \tau_{\ominus})^{0,5}$ раз превышает СКП по формуле (7).

2.4.1. Рассмотрим, как изменится СКП такого двухканального ССЗ, если вместо $\tau_{cmp} = \tau_{\ominus}$ реализовать «точечные» стробы с $\tau_{cmp} \ll \tau_{\ominus}$. Каждый коррелятор формирует сумму $R_{\Sigma}(\tau_T)$ из m произведений ординат сигнала $y(t)$ (см.рис.2) и соответствующих стробов начальных меток элементов опорного кода $G(t - \tau_T)$. Оценивая результат суммирования при изменении τ_T можно установить, что $R_{\Sigma}(\tau_T) = -I$ вне интервала $0 < \tau_T < 2\tau_{\ominus}$. Внутри указанного интервала взаимокорреляционная сумма несимметрична относительно достигаемого при $\tau_T = \tau_{\ominus}$ максимума $R_{\Sigma mx} = m$, причем склоны его выражаются как $R_{\Sigma}(\tau_T) = \mu Y(\tau_T) + m - \mu$ при $0 < \tau_T < \tau_{\ominus}$ и $R_{\Sigma}(\tau_T) = -\mu Y(\tau_T - \tau_{\ominus}) + m - \mu$ при $\tau_{\ominus} < \tau_T < 2\tau_{\ominus}$.

Пусть $Y(\tau_T) = 0$ при $\tau_T = \tau_0$. Задаваясь $\tau_0 = 0,5\tau_{\ominus}$ можно выразить сигнальную функцию как $u(\tau) \cong R_{\Sigma}(\tau_T) - R_{\Sigma}(\tau_T - \tau_0) = 2\mu Y(\tau_T - \tau_0) \cong S_u(\tau_T - \tau_0)$, где в последнем линейном приближении $S_u = 2\mu S \cong mS$.

Квадрат мощности шума на выходе одного коррелятора равен $Ш_1^2 = N_0 \Pi_{ш} m = mШ^2$; два коррелятора создадут $Ш_u^2 = 2N_0 \Pi_{ш} m = 2mШ^2$, что определяет СКП как

$$\sigma = \frac{Ш_u}{S_u} = \frac{1}{S} \cdot \sqrt{\frac{2N_o \Pi_u m}{mS}} = \frac{Ш}{S} \cdot \sqrt{\frac{2}{m}} \cong \frac{Ш}{S\sqrt{\mu}}.$$

Полученное выражение совпадает с (7) для ССЗ с одним коррелятором, что указывает на ошибочность одного из утверждений [3]. Однако нецелесообразность использования двухканальной ССЗ по критериям, изложенным в п.1.2, сохраняется.

3. Кроме полезного ВЧ сигнала $y(t)\sin\omega t$ (пусть единичной амплитуды) на выход РПК может поступать и сумма сигналов, переотраженных от участков поверхностей местных предметов. Каждое слагаемое этой суммы имеет вид $\gamma y(t - \tau')\sin\omega(t - \tau') = \gamma y(t - \tau')\sin(\omega t - \varphi)$ с некоторой амплитудой γ , запаздыванием τ' и фазой $\varphi = \omega\tau'$. Значения параметров γ, τ', φ для других слагаемых могут отличаться.

Ограничимся пока рассмотрением одного синфазного полезному сигналу слагаемого, обусловленного отдельной (существенной для процесса отражения радиоволн) областью поверхности объекта. Переотраженный сигнал существует в любой момент времени, в том числе и всегда в моменты, предшествующие измерительным стробам. Причем используемый код никак не исключает влияния переотраженных сигналов от предыдущих примыкающих элементарных импульсов на примыкающие последующие элементарные импульсы.

При $\gamma = 0$ смена полярности происходит при $t = t_0$. Если же $\gamma \neq 0$, то смена полярности происходит в момент $t_n \neq t_0 + \Delta e$, определяемый из равенства $y(t_n) + \gamma y(t_n - \tau') = 0$. Ограничимся получением оценочных формул для случая $\gamma < 1$ и двух (малой и большой) запаздываниях τ' . Если $\tau' < 0,5\tau_{\phi y}$, т.е. запаздывание не выходит за интервал линейного участка фронта с крутизной S , то при определении Δt , решая уравнение $S\Delta t + \gamma S(\Delta t - \tau') = 0$, получаем $\Delta t = \frac{\gamma}{1 + \gamma} \tau'$. Видно, что малая погрешность не зависит от крутизны фронта S .

Второй вид помехи соответствует случаю, когда $\tau' \geq 0,5\tau_{\phi y}$ и максимум задержанного сигнала почти совпадает с точкой смены полярности фронта полезного сигнала. Уравнение для определения погрешности приобретает вид $S\Delta t + \gamma = 0$, то есть $\Delta t = -\gamma/S$. Чем больше крутизна S , тем меньше погрешность Δt . Структура этой зависимости характерна и для СКП, обусловленной совокупностью переотражений с такими запаздываниями $\tau' \geq 0,5\tau_{\phi y}$. Как установлено в п.2.2 крутизна S прямо пропорциональна полюсе $\Pi_{0,7}$ пропускания РПК, что соответствует и оценкам [3].

В двухканальной ССЗ при $2\tau_3 = \tau_3$ погрешность ориентировочно в $\Pi_{0,7}\tau_3$ раз больше, чем в одноканальной ССЗ.

4. Остановимся на оценке влияния ухода Δ_y нулевого уровня СД (и видеосуилителя, располагаемого между СД и ВД). Если бы в ССЗ за период, когда стробировались лишь $0,5\mu$ фронтов одинаковой направленности $Y_{-+} = Y(t)$ в окрестности малых значений $\tau = t - t_{ok}$ моментов t_{ok} смены полярностей, (где $Y_{-+} \cong S\tau$), то сумма $\delta\tau + \Delta_y$ приводилась бы в ССЗ к нулю, вызывая погрешность, равную $-\Delta_y / S$.

Т.к. кроме Y_{-+} стробируется и $0,5\mu$ фронтов $Y_{+-} = -S\tau$, то сигнальная функция на выходе одноканального коррелятора будет равна $0,5\mu$

$$\int_0^{m\tau_2} [y(t) + \Delta_y] g(t - t_{ok} - \tau) dt = \frac{\mu}{2} (S\tau + \Delta_y) - \frac{\mu}{2} (-S\tau + \Delta_y) = \mu S\tau.$$

Таким образом в линейном приближении должна иметь место компенсация ухода нулевого уровня Δ_y . Оценка влияния нелинейности фронта не представляет принципиальных трудностей.

Заключение. В результате трудоемкого детального анализа с использованием известных соотношений получены инженерные формулы для оценки реализаций приемоизмерительного тракта АП в режиме слежения за огибающей сигналов СРНС. ССЗ огибающей сигналов СРНС с одним коррелятором по сравнению с широко используемой ССЗ с двумя корреляторами обладает существенными преимуществами в условиях как воздействия шумов, так и переотражений от местных предметов.

Наиболее заманчива установка ССЗ с одним коррелятором на выходе приемника прямого преобразования, что исключает прием ложных сигналов на зеркальной и комбинационных частотах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малышев В.А. Бортовые активные устройства СВЧ. – Л.: Судостроение, 1990, 264 с.
2. Гасанов Л.Г., Липатов А.А. и др. Твердотельные устройства СВЧ в технике связи. – М.: Радио и связь, 1988, 288 с.
3. Кинкулькин И.Е. Совмещенная аппаратура потребителей спутниковых РНС. Радиотехника, 1996, №1, с.86–89.
4. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигнала. – М.: Радио и связь, 1983, 320 с.
5. Гришин Ю.П., Ипатов В.П., Казаринов Ю.М. и др. Радиотехнические системы. Под ред. Казаринова Ю.М. – М.: Высшая школа, 1990, 496 с.
6. Никитенко Ю.И., Быков В.И., Устинов Ю.М. Судовые радионавигационные системы. – М.: Транспорт, 1992, 336 с.
7. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС. Под ред. Харисова В.И., Перова А.И., Болдина В.А. – М.: ИПРЖР, 1998, 400 с.



СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГИДРОГРАФИИ, МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ

ГРНТИ 78.21.39.17.27

ДИСТАНЦИОННАЯ ПОСЛОЙНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ДОННЫХ ГРУНТОВ АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Е.А.ОСТРИАНСКИЙ
(ЦНИИ “Морфизприбор”),
А.И.СВЕЧНИКОВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Вводится понятие абсолютного коэффициента отражения слоя в стратифицированных донных грунтах. Этот коэффициент совместно с такими интервальными характеристиками, как коэффициенты акустической восприимчивости, шероховатости и затухания используется при решении задачи послойной классификации донных грунтов.

Результаты анализа материалов акустических исследований, полученных с помощью цифровых профилографов, построенных по схеме измерительного комплекса, позволили подойти к решению задачи послойной классификации донных грунтов акустическим методом. Основой для постановки и решения этой задачи послужили исследования, выполненные при разработке методики дистанционной классификации первого слоя донных отложений [1], а также геоакустическая модель донного грунта, предложенная для водонасыщенных донных грунтов [2].

Отличительной особенностью методики послойной классификации является переход от использования обобщенных признаков характеристик отдельной трассы к ее интервальным характеристикам. Таким образом, вместо признаков характеристик X_{jik} , где j – номер текущего цикла зондирования, k – номер вычисляемой признаковой характеристики, а 1 – признак первого слоя донного грунта, вычисляется характеристика X_{jik} , которая определяет i -ый интервал акустической трассы в каждом j -ом цикле зондирования.

Алгоритмы послойной дистанционной классификации донного грунта включают в себя следующие основные операции:

- обнаружение и поиск сигнального интервала в трассе;
- автоматизированное слежение за положением первых вступлений донного эхо-сигнала в процессе измерений;
- восстановление реальной динамики изменения амплитудных значений эхо-сигналов в трассе (учет геометрии расхождения фронта волны на приеме и при излучении);
- вычисление относительных коэффициентов отражения в трассе;
- вычисление диагностических признаков в трассе;
- анализ диагностических признаков и принятие решения о типе грунта анализируемого слоя.

Для построения устойчивого алгоритма послойной классификации, в системе признаковых описаний необходимо выделить основные диагностические признаки, к которым могут быть отнесены:

- абсолютный коэффициент отражения от слоя;
- интервальный коэффициент акустической восприимчивости;
- интервальный коэффициент шероховатости;
- коэффициент затухания в слое.

Выбор именно этих признаков обусловлен тем, что они наиболее тесно связаны с физико-механическими свойствами донных отложений и для них получен наиболее представительный экспериментальный материал.

Достоверность результатов послойной классификации во многом зависит от устойчивости процедур слежения и выделения сигнального интервала в трассе. Каждый сигнальный интервал, поступающий на классификацию, характеризуется положением в акустической трассе его левой – t_{1j} – и правой – t_{2j} – границ.

Определение положения первых вступлений последовательности донных эхо-сигналов, возникающих в результате взаимодействия зондирующего импульса с донным грунтом, является операцией поиска левой границы сигнального интервала. При этом часто используют пороговые методы обнаружения первых вступлений донного эхо-сигнала, которые при неправильном выборе порога обнаружения могут привести к ложным результатам классификации из-за пропуска полезного сигнала малой амплитуды или ложного срабатывания по помехе.

Устойчивость операции порогового обнаружения эхо-сигнала в значительной степени зависит от соотношения сигнал / шум на входе приемника донного эхо-сигнала. Оптимальным значением следует считать соотношение $A_{m1j}/y_s > 20\text{дБ}$ для жидких илов, где A_{m1j} – амплитудное значение первого эхо-сигнала в трассе, а y_s – средний уровень шумов на входе приемника. Когда это соотношение не соблюдается, необходимо применять корреляционные методы выделения сигнального интервала.

Поиск правой границы сигнального интервала выполняется с использованием пороговых или корреляционных методов. При этом поиск правой границы выполняется, начиная с конца трассы до левой границы. Положение

правой и левой границ сигнального интервала позволяет определить его длину в шагах квантования $l_j = t_{2j} - t_{1j}$.

Для повышения устойчивости работы операции выделения сигнального интервала дополнительно применяется процедура автоматизированного слежения за положением первых вступлений донного эхо-сигнала. Для ее реализации формируется окно слежения по трассе ΔT_j , середина которого определяет прогнозируемое положение первых вступлений донного эхо-сигнала в трассе в текущем цикле зондирования – t_{wj} , а размер выбирается исходя из условия

$$\Delta T_j = (4,8 \div 6) |\Delta h_m| / c_o,$$

где Δh_m – максимально возможное изменение рельефа при профильной съемке в исследуемом районе;

c_o – скорость звука в воде.

При этом $t_{wj} = t_{o,j-1}$, где $t_{o,j-1}$ – положение первых вступлений донного сигнала, обнаруженного в $j-1$ цикле зондирования. За счет изменения рельефа дна в текущем цикле зондирования j $t_{oj} \neq t_{wj}$, поэтому положение окна ΔT_{j+1} корректируется с учетом $t_{oj} t_{w,j+1} = t_{oj}$.

Таким образом, положение первых вступлений донного эхо-сигнала анализируется только в пределах окна слежения, что значительно повышает помехоустойчивость операции обнаружения.

Выделенный сигнальный интервал разбивается на совокупность отдельных интервалов i , в которых вычисляются интервальные диагностические признаки X_{jik} . Длина интервала i определяется из соотношения: $i = (3 \div 5)t_u$, где t_u – длительность зондирующего импульса. Длина сигнального интервала l_j определяет число I выделяемых в трассе интервалов.

Для обеспечения корректности решения задачи классификации необходимо выполнять нормирование акустических трасс – исключать зависимость динамических характеристик трассы от глубины места. Эта операция учитывает расхождение фронта акустической волны на приеме и при излучении. В акустических измерительных системах эта операция может быть решена аппаратно, путем изменения коэффициента усиления приемника по закону, определяемому нормирующим полиномом $C(h)$, где h – значение глубины места, либо программно. После операции нормирования цифровые выборки трассы $y_j(t)$ имеют размерность относительных амплитудных коэффициентов отражения.

Акустическая трасса $y_j(t)$ может быть получена как результат свертки зондирующего импульса $s(t)$ с импульсным откликом среды

$$y_j(t) = r_{nj} \cdot s_j(t),$$

где $s_j(t)$ – значение цифровых выборок зондирующего импульса, приведенное к границе раздела вода–донные осадки;

r_{nj} – относительные значения амплитудных коэффициентов отражения для n -го слоя донных осадков.

Импульсный отклик среды r_{nj} в нормированной акустической трассе представляет собой последовательность относительных коэффициентов отражения в слоистой среде.

Полученные значения r_{nj} являются основой для вычисления значений кажущейся плотности p_{nj} по разрезу донного грунта. При вычислении значений p_{nj} используется геоакустическая модель среды, разработанная применительно к рыхлым водонасыщенным донным грунтам [2]

$$p_{nj} = p_{n-1,j} \cdot (1 + r_{nj}) / (1 - r_{nj}),$$

где $p_{n-1,j}$ – значение кажущейся плотности для слоя с номером $n - 1$.

Введем понятие абсолютного коэффициента отражения слоя, определяемого по формулам Френеля как

$$R_{nj} = (p_{nj}c_{nj} - \rho_o c_o) / (p_{nj}c_{nj} + \rho_o c_o),$$

где c_{nj} – скорость звука в n -ом слое;

ρ_o – плотность воды.

Учитывая, что $c_{nj} \approx c_o$, а $\rho_o = 1 \text{ г/см}^3$, получим

$$R_{nj} = (p_{nj} - 1) / (p_{nj} + 1).$$

Значения R_{nj} на этапе анализа и принятия решения о типе донного грунта служат для формирования границ раздела в толще грунта между разнородными литологическими классами. При этом используются сведения, полученные в результате экспериментальных исследований (таблица).

Для уточнения типа донного грунта в слоях, выделенных по результатам анализа распределений по разрезу значений R_{nj} , используются значения коэффициентов затухания β_{nj} , вычисленные в соответствии с методикой, предложенной в работе [3], и интервальные значения акустической восприимчивости и шероховатости, получаемые из следующих соотношений

$$b_{ij} = N_{ij};$$

$$W_{ij} = |N_{ij} - \bar{N}_{ij}| / N_{ij},$$

где b_{ij} и W_{ij} соответственно интервальные значения коэффициентов акустической восприимчивости и шероховатости;

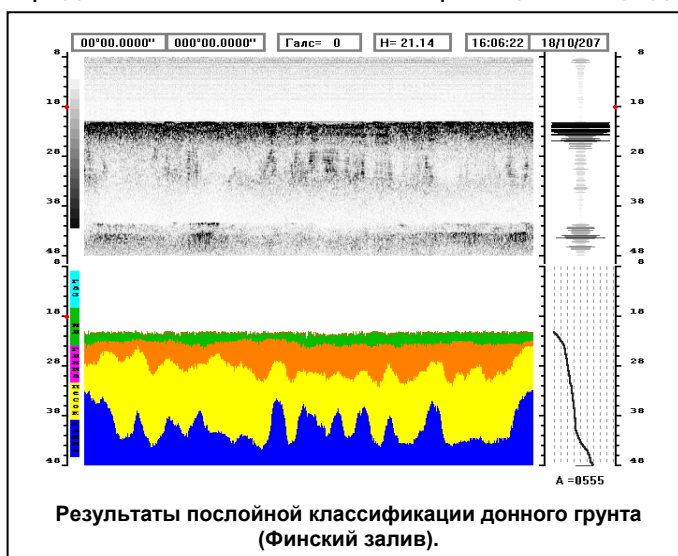
N_{ij} – количество акустических границ в i -ом интервале.

Основные акустические характеристики донных грунтов

Тип грунта	Коэффициент отражения	Плотность, г/см ³	Скорость звука, м/с	Затухание, дБ/км•Гц
Ил: газонасыщенный жидкий глинистый с алевритом и песком	-0,3–0,5 < 0,15 0,15–0,2 0,2–0,27	1,1–1,4 1,1–1,2 1,4–1,5 1,6–1,7	0,5–1,4 1,45–1,5 1,45–1,46 1,41–1,48	0,8–0,9 0,05 0,1–0,2 0,2–0,3
Пески: тонко и мелкозернистые крупнозернистые с гравием	0,27–0,30 0,30–0,35	1,95–2,03 1,86–2,11	1,55–1,60 1,515–1,557	0,4–0,5 0,7
Гравий	0,35–0,4	2,05–2,3	1,55–1,65	0,9
Глины: мягкопластичные плотные	0,25–0,30 0,3–0,42	1,5–1,88 1,82–1,98	1,4–1,6 1,52–1,59	0,2–0,4 0,48–0,61
Выходы коренных пород: скальные: кристаллические осадочного происхождения литоф.осад.породы	0,4–0,62	>2,9 2,35–2,9 2,4–2,7	>6,6 3,6–6,6 3,1–4,0	0,05–0,4

В результате использования предложенной методики послойной классификации при профильных исследованиях в реальном масштабе времени удалось получить устойчивое послойное разделение донного грунта по разрезу (рисунок).

Оценку погрешности определения местоположения границ в толще донных отложений, характеризующих смену типа грунта можно выполнить, учитывая как погрешность определения коэффициента отражения, так и погрешности, обусловленные принятой при решении задачи послойной классификации моделью среды. Погрешность вычисления коэффициента отражения в цифровом профилографе не превышает 5%. Среднее значение погрешности в определении скорости звука в водонасыщенных грунтах (за исключением коренных пород) составляет 3% (см. таблицу). Таким образом, средняя квадратическая погрешность определения положения границ при дистанционной послойной классификации акустическим методом не превышает 6%, а если учесть, что смена типа грунта в естественном залегании происходит скачком, то эта погрешность сводится к 3%.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свечников А.И. Дистанционная классификация первого слоя донных отложений акустическим методом// Зап. ЛГИ. – 1987. Т. 113. –С.41–47.
2. Свечников А.И. Обобщенная модель донного грунта при решении гидрографических задач// Навигация и гидрография – 1998, №6. –С.65-68.
3. Satchi Panda, Lester R. Leblance, Steven G. Sihock. Sediment classification based on impedance and attenuation estimation// J. Acoust.Soc., 96(5). №11, November, 1994.–P.3022–3035.

ГРНТИ 78.25.31.35.29.31.31

**КЛАССИФИКАЦИЯ ГРУНТОВ С ПОМОЩЬЮ ПЕРВОГО ОТЕЧЕСТВЕННОГО
ЛЧМ-ПРОФИЛОГРАФА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ**

**А.А.ВОЙТОВ,
Е.А.ОСТРИЯНСКИЙ**
(ЦНИИ “Морфизприбор”),
А.И.СВЕЧНИКОВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Анализируются особенности построения и реализации гидроакустического профилографа (ГП), работающего в режиме излучения и приема сложных линейно-частотно модулированных (ЛЧМ) сигналов. ГП рассматривается в качестве основного технического средства дистанционной грунтовой съемки.

Грунтовая съемка является составной частью морских гидрографических исследований. Объектом изучения при такой съемке является слой донного грунта, который относится к категории рыхлых, водонасыщенных донных осадков. Полнота и достоверность сведений об этом слое во многом определяет эффективность решения целого ряда народно-хозяйственных задач на прибрежных акваториях.

Глубинность исследования донного грунта определяется положением акустической границы, которая связывается либо с кровлей литофицированных осадков, либо с поверхностью коренных пород. Глубина залегания этой границы составляет 0–100 м от поверхности дна и определяет мощность толщи рыхлых осадков.

При грунтовой съемке, кроме данных о мощности и строении донного грунта, необходимы также сведения и о его физико-механических свойствах, среди которых наибольший интерес представляют:

- абсолютный коэффициент отражения слоя;
- акустический импеданс;
- коэффициент затухания энергии акустической волны в слое;
- плотность слоя.

Для получения информации о строении и физико-механических характеристиках донного грунта при гидрографических исследованиях наиболее эффективным техническим средством является гидроакустический профилограф. Он представляет собой активную гидролокационную систему, предна-

значенную для дистанционного профилирования (стратификации) морского дна и классификации морских осадков.

К числу основных задач, решаемых на акваториях с применением профилографа, можно отнести:

- выделение в разрезе донных осадков отражающих границ, разделяющих слои;
- непрерывное прослеживание отражающих границ по профилю ;
- оценку акустических и физико-механических характеристик донных отложений;
- послойную классификацию стратифицированной толщи грунта;
- определение мощности отдельных слоев;
- оконтуривание в пространстве положения объектов, однородных по физико-механическим свойствам.

Технология решения этих задач предусматривает следующие этапы:

- создание импульса упругой акустической волны с определенными параметрами, воздействующего на грунт для получения отраженного вторичного акустического поля;
- анализ вторичного акустического поля, осложненного влиянием слоистой структуры толщи донных отложений, с целью выявления этой структуры;
- вторичную обработку акустического поля и параметров выявленной структуры осадков для определения физико-механических свойств слоев, классификации и определения их мощности; комплексную обработку полученной информации с привлечением данных других систем для уточнения результатов вторичной обработки, а также определения площадного распределения классифицируемого слоя.

В результате выполнения первых двух этапов формируется объем данных, количественно и качественно характеризующих стратифицированную толщу донного грунта, решается задача стратификации. К основным техническим характеристикам ГП, которые определяют качество стратификации, относятся разрешающая способность по глубине и максимальная глубина зондирования донного грунта.

Итогом выполнения третьего и четвертого этапов является принятие решения о типе грунта, его характеристиках, достоверной мощности слоев, площадном распределении – т.е. круг вопросов, относящихся к задаче классификации. Для классификации типа грунта с помощью ГП последний должен обеспечивать количественную оценку параметров эхо-сигналов с достаточной точностью, с тем, чтобы на основе полученных данных можно было принять решение о типе грунта изучаемого разреза толщи донных осадков.

Для решения задачи стратификации и обеспечения разрешения слоев мощностью 0,2 – 0,4 м в традиционном тональном режиме ГП должен излучать достаточно короткий акустический импульс (0,3 – 0,6 мс) при относительно низкой центральной рабочей частоте (3 – 10 КГц). При этом энергия к излучателю подводится в течение 2 – 5 периодов, хотя пьезокерамическая антенная система резонансного типа выходит на режим номинального создаваемого звукового давления за время около 10 периодов. Таким образом, при уменьшении длительности зондирующего импульса и улучшении разрешающей способности падает акустическое давление, вследствие чего уменьшается глубина зондирования, ухудшается стабильность (повторяемость) ам-

плитуды импульсов. В таких условиях достаточно сложно обеспечить метрологические параметры ГП при измерении амплитудных значений эхо-сигнала, необходимых для оценки акустических характеристик донного грунта и его классификации (особенно для подповерхностных слоев).

Применение в ГП сложных линейно-частотно-модулированных (ЛЧМ) сигналов большой длительности основано на возможности их сжатия с помощью согласованной фильтрации (корреляционной обработки). После такой обработки длительность сигнала (по уровню 0,7) сокращается до величины $1/\Delta f$, а амплитуда (отношение сигнал/шум) возрастает на величину $10 \lg(\Delta t \cdot \Delta f)$, где Δt и Δf – эффективные длительность и ширина полосы частот ЛЧМ-импульса. Так, например, широкополосный ЛЧМ-импульс (ширина полосы частот 14 кГц) длительностью 20 мс (прямоугольная огибающая) после согласованной фильтрации сжимается в импульс длительностью 71,4 мкс (разрешение 5,5 см), а амплитуда его возрастет в 16,7 раз (на 24,5 дБ).

Таким образом, высокая разрешающая способность, хорошее соотношение сигнал/шум, возможность уменьшения нагрузки на излучатель при большой излучаемой энергии и высокой стабильности формы излучаемых сигналов – все эти факторы создают реальные предпосылки для решения задачи стратификации и получения измерительных характеристик вторичного акустического поля, необходимых для классификации донного грунта. Использование широкополосных сигналов на практике требует решения ряда технических проблем, связанных с согласованной фильтрацией акустической трассы. Для эффективного решения этой задачи необходима калибровка приемоизлучающей системы, которая позволяет сформировать опорный импульс для коррелятора. В процессе калибровки выполняется коррекция параметров излучаемого импульса, что возможно только в системах с цифровым синтезом и цифровым управлением приемным трактом для установки точных значений коэффициента усиления.

Следует отметить, что решение этих проблем стало возможным лишь в последнем десятилетии, когда появились высокопроизводительные компактные средства цифровой обработки сигналов в масштабе реального времени – сигнальные процессоры, интегральные аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, быстродействующие накопители цифровой информации. Прорыв в области цифровой обработки сигналов привел к появлению на рынке целого ряда образцов ЛЧМ-профилографов: CHIRP-II, X-STAR, BATY-2000P (таблица) [1, 2], работающих в масштабе реального времени и значительно превосходящих ранее использовавшиеся системы по таким основным параметрам как глубина зондирования, разрешающая способность, высокое соотношение сигнал/шум.

С учетом рассмотренных свойств широкополосных сигналов был разработан и отечественный профилограф (см. таблицу), использующий линейно-частотно-модулированные (ЛЧМ) широкополосные сигналы, изготовлен и испытан его макет.

Отечественная гидроакустика имеет большой опыт в части проектирования и изготовления антенных систем. При создании ЛЧМ-профилографа разработана обратимая приемоизлучающая антенная система, что само по себе является достаточно сложной задачей. Лучшие зарубежные образцы ЛЧМ-профилографов, например, имеют в своем составе две антенны – мало-

Основные технические характеристики современных ЛЧМ-профилографов

Модель (страна)	Глубинность по грунту, м	Разрешение по слоям, см	Акустическая мощность, кВт	Полоса частот, кГц	Длительность импульса, мс	Режим классификации
Chirp CAP6600 (США)	•	6–8	•	1–10 8–23	•	Нет
X-STAR SB-2160 (США)	10–200	4–16	2	2–16	20, 100	Есть
BATHY 2000P (США)	75	8	2	3–11	60	Есть
ЛЧМ-профилограф (Россия)	10–100	5,5	0,1–3	1–15	0,4–32	Есть

направленную излучающую (пьезокерамическое кольцо) и направленную приемную, выполненную в виде линейной решетки.

В составе профилографа работает обратимая широкополосная пьезокерамическая антенная система, которая осуществляет излучение зондирующих акустических ЛЧМ-сигналов и прием эхо-сигналов, отраженных от толщи донного грунта. Для коммутации режимов приема и излучения служит согласующее устройство. ЛЧМ-сигнал формируется с помощью цифрового синтезатора и через усилитель мощности и согласующее устройство в режиме излучения подается на антенную систему (рис. 1).

Эхо-сигналы, принятые антенной, в режиме приема через согласующее устройство поступают на усилительное устройство, в состав которого входят предварительный усилитель, полосовые фильтры и основной усилитель с программным управлением коэффициентом передачи. Основное требование к усилительному устройству – обеспечение метрологических характеристик профилографа. Усиленные эхо-сигналы через аналого-цифровой преобразователь поступают на цифровой сигнальный процессор. Это устройство выполняет в реальном масштабе времени корреляционную обработку акустической трассы, осуществляет сжатие эхо-сигналов и решает задачу стратификации донного грунта. Результаты обработки из сигнального процессора поступают на ПЭВМ, которая решает задачу классификации донного грунта и выполняет функции управления, отображения и регистрации результатов исследований на магнитооптическом накопителе. Управление работой профилографа ПЭВМ выполняет через контроллер управления и синхронизации (см.рис.1). Управление режимами работы осуществляется с клавиатуры пульта. Регистрируемая акустическая информация отображается на ЭЛТ-мониторе в цифровом и графическом виде.

В графическом виде представляется яркостная картина слоев дна, осциллограмма акустической трассы, распределение оценок физико-акусти-

ческих параметров по глубине (разрезу дна), цветное изображение результатов автоматической классификации.

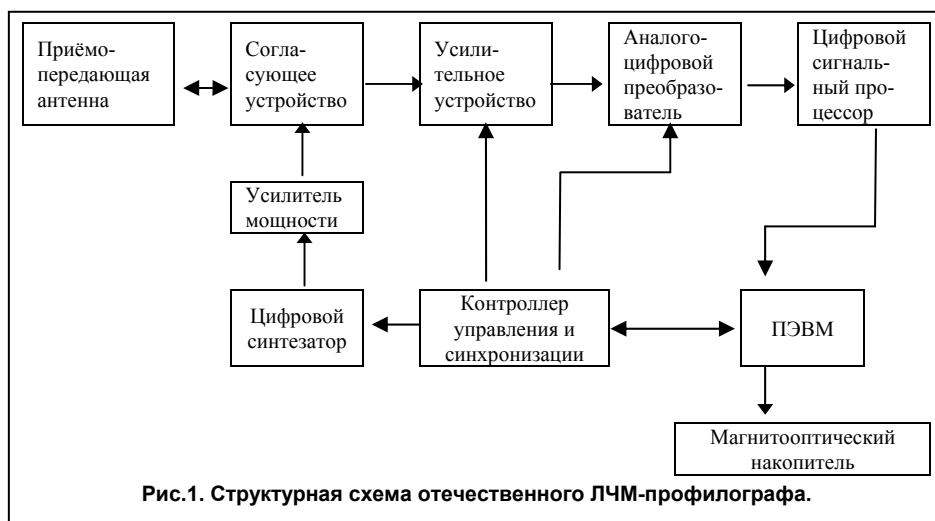


Рис.1. Структурная схема отечественного ЛЧМ-профилографа.

В цифровом виде представляются численные оценки характеристик грунта, классификационных признаков, глубины залегания плотного грунта, результаты автоматической классификации типа грунта, оценки достоверности автоматической классификации. ГП обеспечивает стратификацию осадочных слоев дна при движении судна-носителя со скоростью до 5 уз на глубинах от 5 до 400 м. При этом глубина исследования грунта по пескам достигает 10 м, а для илисто-глинистых разрезов – до 100 м, при разрешающей способности по слоям – до 5,5 м (см.таблицу).

Для решения задачи классификации донного грунта на 4 основных литологических класса:

- скальный грунт (грубообломочные отложения);
- илистый грунт;
- глинистый грунт;
- песок.

ГП обеспечивает оценку физико-акустических характеристик разрешаемых слоев донных осадков:

- коэффициента отражения;
- коэффициента акустической восприимчивости;
- коэффициента шероховатости;
- коэффициента поглощения;
- плотности;
- импеданса.

Следует отметить, что определение значений коэффициента отражения выполняется с погрешностью не более 5%.

В октябре 1999 г. на акватории Финского залива были выполнены натурные испытания макета ЛЧМ-профилографа на глубинах 10–20 м. При решении задачи стратификации макет обеспечил разрешение тонких слоев мощностью 0,2 м (рис.2).

По результатам автоматической классификации на контрольном участке разрез был представлен 4-мя слоями. Результаты пробоотбора, выполненные для 1-го слоя (длина грунтовой трубки 2 м), совпали с результатами дистанционной автоматизированной классификации, полученными в реальном масштабе времени.

В целом данные испытаний подтвердили, что разработчикам удалось создать современное техническое средство дистанционной грунтовой съемки, которое по целому ряду характеристик не имеет аналогов в мире.

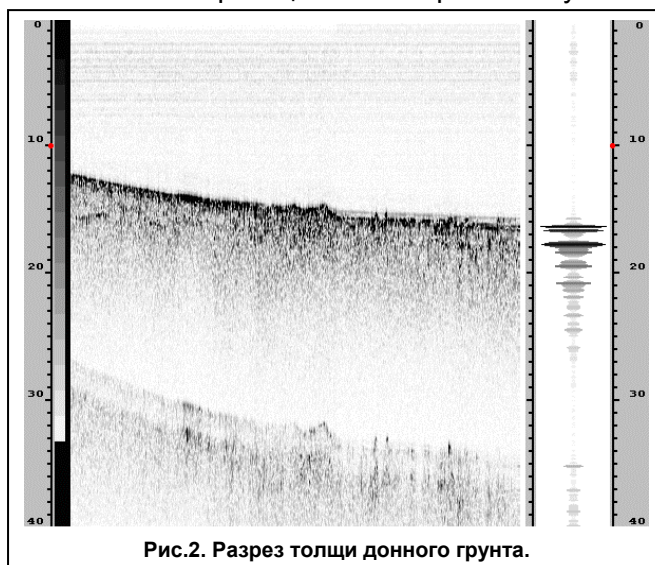


Рис.2. Разрез толщи донного грунта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Marc D. Parent, Thomas F. O'Brien. Linear-Swept FM (Chirp) Sonar Seafloor Imaging System// Sea Technology, June, 1993.
2. Daniel F. Lott, Roland H. Poeckert. Extending Cooperative Research // Sea Technology, September, 1996.

ГРНТИ 78.21.39.17.17.17

УСЛОВИЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОДВОДНОГО АППАРАТА КАК ЛИНЕЙНОЙ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В.Н.ЗАВГОРОДНИЙ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Найдены алгебраические условия для проверки стабилизации с заданным качеством подводного аппарата при съемке рельефа дна как робастной системы с интервальной неопределенностью параметров.

При съемке рельефа дна гидрографический комплекс бокового обзора можно рассматривать в качестве линейной динамической системы. При исследовании такой динамической системы приходится решать задачу обеспечения требуемых показателей качества переходного процесса при воздействии на нее внешних возмущений.

* См. также статью этого автора “О повышении точности и производительности съемки рельефа дна с помощью буксируемого подводного аппарата” в журнале “Навигация и гидрография” 1999, №8. (Прим. ред.).

При полиномиальном подходе динамическое качество гидрографических комплексов бокового обзора определяется областью расположения в комплексной плоскости корней характеристического многочлена, характеризующего динамическую систему. В исследовании непрерывных линейных динамических систем наибольшее применение нашла область расположения корней в виде трапеции. Параметры, связанные с её формой, определяют степень устойчивости η , инерционность ξ и меру колебательности φ свободной составляющей переходного процесса динамической системы [1].

Таким образом, нахождение условий расположения корней интервального характеристического многочлена линейной интервальной динамической системы в трапецеидальной области левой половины комплексной плоскости является важной задачей для повышения качества съёмки рельефа дна с использованием гидрографических комплексов бокового обзора.

Будем искать условия расположения корней семейства характеристических многочленов с интервальными действительными коэффициентами

$$P(s) = \left\{ p(s) = \sum_{k=0}^n a_k s^k (a_n \neq 0) \right\}, a_k \in [\underline{a}_k, \bar{a}_k] (k = 0, 1, \dots, n) \quad (1)$$

в трапецеидальной области Ω , образованной пересечением полосы $\Omega_1 = \{s : \text{Re } s \in (\xi, \eta)\}$ и сектора $\Omega_2 = \{s : |\pi - \arg s| < \varphi\}$.

Для того, чтобы анализировать относительную робастную устойчивость линейной интервальной системы в области Ω_1 по алгебраическим критериям, найдем отображенные многочлены при интервальной неопределенности коэффициентов исходного характеристического многочлена (1).

Отображенные многочлены получаются из исходного многочлена при отображении на плоскость z сдвига на расстояние, соответственно до правой η и левой ξ границ полосы плоскости s , с учетом изменения направления оси ординат на противоположное для левой стороны полосы.

Для заданной степени устойчивости η характеристический многочлен, отображенный на плоскость z , является смещенным на η многочленом вида

$$P(z - \eta) = a_0^* + a_1^* z + a_2^* z^2 + \dots + a_n^* z^n = \sum_{k=0}^n a_k^* z^k, \quad (2)$$

где $a_k^* = \sum_{i=k}^n (-1)^{i-k} \binom{i}{i-k} a_i \eta^{i-k}$.

Т.к. коэффициенты исходного характеристического многочлена являются интервальными, т.е. $a_i \in [\underline{a}_i, \bar{a}_i]$, то коэффициенты смещенного многочлена будут также интервальными, т.е. $a_k^* = [\underline{a}_k^*, \bar{a}_k^*]$. По правилам интервальной арифметики [2] имеем

$$\underline{a}_k^* = \sum_{\substack{i=k \\ \Delta_i=2}}^l \binom{i}{i-k} \underline{a}_i \eta^{i-k} - \sum_{\substack{i=k+1 \\ \Delta_i=2}}^m \binom{i}{i-k} \bar{a}_i \eta^{i-k}; \quad (3)$$

$$\bar{a}_k^* = \sum_{\substack{i=k \\ \Delta_i=2}}^l \binom{i}{i-k} \bar{a}_i \eta^{i-k} - \sum_{\substack{i=k+1 \\ \Delta_i=2}}^m \binom{i}{i-k} a_i \eta^{i-k},$$

где $\Delta_i = 2$ означает, что суммирование берется с шагом, равным 2 до l и m , соответственно:

при четном n $l = n$, $m = n - 1$;

при нечетном n $l = n - 1$, $m = n$;

$\binom{i}{i-k}$ – число сочетаний из i элементов по $(i-k)$.

Найдем коэффициенты обращенного со сдвигом многочлена, полученного отображением характеристического многочлена (1) на комплексную плоскость z , с учетом сдвига его на ξ и поворота мнимой оси на 180° для перевода корней в правую полуплоскость относительно ξ

$$P(-z + \xi) = a_0^{**} + (-1)a_1^{**}z + a_2^{**}z^2 + \dots + (-1)^n a_n^{**}z^n = \sum_{k=0}^n (-1)^k a_k^{**} z^k, \quad (4)$$

где $a_k^{**} = \sum_{i=k}^n (-1)^{i-k} \binom{i}{i-k} a_i \xi^{i-k}$.

Т.к. $a_i \in [\underline{a}_i, \bar{a}_i]$, то $a_k^{**} = [\underline{a}_k^{**}, \bar{a}_k^{**}]$. По правилам интервальной арифметики [2] имеем

$$\begin{aligned} \underline{a}_k^{**} &= - \sum_{\substack{i=k \\ \Delta_i=2}}^l \binom{i}{i-k} \underline{a}_i \xi^{i-k} + \sum_{\substack{i=k+1 \\ \Delta_i=2}}^m \binom{i}{i-k} \bar{a}_i \xi^{i-k}; \\ \bar{a}_k^{**} &= - \sum_{\substack{i=k \\ \Delta_i=2}}^l \binom{i}{i-k} \bar{a}_i \xi^{i-k} + \sum_{\substack{i=k+1 \\ \Delta_i=2}}^m \binom{i}{i-k} \underline{a}_i \xi^{i-k}. \end{aligned} \quad (5)$$

Тогда условия относительной робастной устойчивости системы, когда корни её характеристического многочлена (1) расположены в полосе Ω_l ($\xi < Re s < \eta$), могут быть получены из теорем 1 и 2 В.Л.Харитонова [3].

Для нахождения условий расположения корней интервального характеристического полинома в полосе Ω_l , рассмотрим два семейства из четырех точечных многочленов Харитонова каждое для правой и левой границ полосы устойчивости.

Устойчивость первого семейства харитоновских многочленов означает расположение корней исходного многочлена (1) слева от прямой, проходящей через η ; второго семейства – справа от прямой, проходящей через ξ . Устойчивость обоих семейств Харитонова означает, что корни исходного интервального полинома (1) расположены в полосе Ω_l .

Таким образом для относительной робастной устойчивости в полосе Ω_l достаточно, чтобы восемь многочленов Харитонова были гурвицевы. Каждое семейство точечных многочленов Харитонова состоит из четырех многочле-

нов с точечными коэффициентами, полученных из смещенного и обращенного со сдвигом многочленов соответственно для левого и правого края полосы устойчивости исходной системы.

Для нахождения алгебраических условий попадания корней интервального характеристического многочлена непрерывной линейной интервальной динамической системы в сектор Ω_2 комплексной плоскости, который определяет заданную колебательность, используем следствие из теоремы В.Л.Харитонова об устойчивости семейства интервальных многочленов с комплексными коэффициентами [4].

Отображение сектора в левой половине комплексной плоскости s на всю левую половину комплексной плоскости z означает, что прямая

$$l_1 = \left\{ s : s = \omega \left(-\cos \frac{\varphi}{2} + i \sin \frac{\varphi}{2} \right) = -\omega e^{-i\frac{\varphi}{2}}, \omega \in (0, \infty) \right\} \quad (6)$$

отобразится на положительную мнимую полуось $z = i\omega$, а прямая

$$l_2 = \left\{ s : s = \omega \left(-\cos -\frac{\varphi}{2} + i \sin -\frac{\varphi}{2} \right) = -\omega e^{i\frac{\varphi}{2}}, \omega \in (0, \infty) \right\} \quad (7)$$

отобразится на отрицательную мнимую полуось $z = -i\omega$.

Поскольку на границе области устойчивости Ω_2 корни характеристического многочлена образуют сопряжённые комплексные пары на l_1 и l_2 , будем рассматривать условия нахождения корней только для l_1 .

После замены $s = e^{i\left(\frac{\pi-\varphi}{2}\right)} z$ в семействе интервальных характеристических многочленов с действительными коэффициентами (1) получим семейство преобразованных многочленов с комплексными коэффициентами, отображенных с поворотом на левую полуплоскость z

$$P \left(z e^{i\left(\frac{\pi-\varphi}{2}\right)} \right) = \left\{ p \left(e^{i\left(\frac{\pi-\varphi}{2}\right)} z \right) = \sum_{k=0}^n a_k e^{i\left(\frac{\pi-\varphi}{2}\right)} z^k = \sum_{k=0}^n (a_k^* + i b_k^*) z^k, (a_n \neq 0) \right\}, \quad (8)$$

где коэффициенты являются комплексными интервальными величинами

$$a_k^* + i b_k^* = \left[\underline{a}_k e^{i\left(\frac{\pi-\varphi}{2}\right)}, \overline{a}_k e^{i\left(\frac{\pi-\varphi}{2}\right)} \right]. \quad (9)$$

Следовательно, с учетом следствия теоремы Харитонова [4] восемь угловых полиномов, принадлежащих преобразованному интервальному многочлену (8), обеспечивают достаточные условия расположения корней в секторе φ , определяющем колебательность переходного процесса стабилизации при возмущающих воздействиях.

Достаточность условий является следствием того факта, что коэффициенты харитоновских многочленов, полученные из исходного уравнения движения для заданной трапецеидальной области, являются зависимыми.

Покажем применение найденных условий относительной робастной устойчивости и динамического качества линейных интервальных динамических систем с заданной колебательностью и степенью устойчивости применительно к стабилизации курса подводного аппарата по рысканию для повышения точности и производительности съемки рельефа дна гидрографическими комплексами бокового обзора на примере системы стабилизации курса типа "Самшит", устанавливаемой на морских подвижных объектах небольшого водоизмещения [5]. Для рассматриваемых морских подвижных объектов слабо проявляется взаимное влияние бортовой качки, перемещений в горизонтальной (рыскание) и продольной плоскостях (дифферент) [6]. Поэтому движение аппарата в горизонтальной плоскости допустимо анализировать отдельно от движений в продольной и поперечной плоскостях.

Динамическое качество морских подвижных объектов с системой стабилизации курса по рысканию, определяемое при анализе характеристического уравнения (1), оценивается степенью устойчивости, инерционностью, колебательностью и временем переходного процесса. Результаты моделирования нескольких вариантов интервальной системы стабилизации, полученные с использованием найденных алгебраических условий для проверки стабилизации курса с заданным динамическим качеством, сведены в таблицу.

В нашем примере характеристическое уравнение такой системы с точечными коэффициентами (вариант I) имеет вид

$$\begin{aligned} p(s) &= a_5s^5 + a_4s^4 + a_3s^3 + a_2s^2 + a_1s + a_0 = \\ &= 62,5s^5 + 150s^4 + 238s^3 + 100s^2 + 6,9s + 0,3 = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

Для системы с интервальной неопределенностью параметров (вариант II) коэффициенты $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ характеристического уравнения движения (10) в этом случае будут интервальными:

$$\begin{aligned} a_0 &=[0,25; 0,4]; \quad a_1=[6,6; 7,2]; \quad a_2=[55; 68]; \\ a_3 &=[206; 218]; \quad a_4=[185; 193]; \quad a_5=[50; 85]. \end{aligned}$$

По результатам моделирования интервальной системы стабилизации были выбраны из интервалов неопределенности оптимальные точечные коэффициенты характеристического уравнения модели (10) в качестве номинальных (вариант III).

Технические показатели, полученные с помощью модели с интервальной неопределенностью, с учетом ошибок моделирования не хуже полученных для реальных параметров авторулевого, а время стабилизации курса по рысканию в 1,86 раза меньше. В то же время, найденные интервалы коэффициентов гарантированно обеспечивают стабилизацию в более широком диапазоне возмущающих воздействий и нечувствительность к неучтенным при разработке нелинейностям поведения подводного аппарата. Более того, с помощью найденных интервалов коэффициентов характеристического уравнения, описывающего поведение подводного аппарата, можно выбрать в качестве номинальных их оптимальные точечные значения. Для рассматриваемой модели это улучшает качество стабилизации в 2,94 раза по сравнению с реальной системой.

Результаты моделирования степени устойчивости, колебательности, инерционности и времени переходного процесса

Вариант	Коэффициенты a_k	Степень устойчивости, η	Показатель инерционности, ξ	Мера колебательности, φ^o	Длительность переходного процесса, с
I – точечный реальный авторулевой	$a_0 = 0,3$ $a_1 = 6,9$ $a_2 = 100$ $a_3 = 238$ $a_4 = 150$ $a_5 = 62,5$	0,036	0,54	56,13	82,0
II – интервальная модель	$a_0 = [0,25; 0,4]$ $a_1 = [6,6; 7,2]$ $a_2 = [55; 68]$ $a_3 = [206; 218]$ $a_4 = [185; 193]$ $a_5 = [50; 85]$	0,067	2,38	60,49	44,7
III – точечная оптимальная модель	$a_0 = 0,3$ $a_1 = 6,9$ $a_2 = 61$ $a_3 = 212$ $a_4 = 190$ $a_5 = 77,5$	0,106	0,526	41,29	28,3

Анализ робастной относительной устойчивости и динамического качества линейных интервальных динамических систем как основа метода повышения точности и производительности съемки рельефа дна гидрографическими комплексами бокового обзора, показанный на примере моделирования стабилизации курса по рысканию, применим также к анализу устойчивости и динамического качества стабилизации крена, дифферента и глубины погружения подводного аппарата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев Ю.М., Ефанов В.Н., Крымский В.Г., Рутковский В.Ю. Анализ и синтез линейных интервальных динамических систем (состояние проблемы) // Техническая кибернетика, 1991, №1.
2. Калмыков С.А., Шокин Ю.И., Юлдашев З.Х. Методы интервального анализа. Новосибирск: Наука, 1986.
3. Харитонов В.Л. Об асимптотической устойчивости положения равновесия семейства систем линейных дифференциальных уравнений // Дифференциальные уравнения, 1978, т. XIV, №11, с.2086–2088.
4. Харитонов В.Л. Об одном обобщении критерия устойчивости // Известия АН Казахской ССР. Серия физ.-мат., 1978, №1, с.53–57.
5. Суевалов Л.Ф., Данилин В.А. Теория корабельных автоматических систем управления. Л., ВМА, 1978.
6. Агеев М.Д., Касаткин Б.А., Киселев Л.В. и др. Автоматические подводные аппараты. Л.: Судостроение, 1981.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРЕПЛАВАНИЯ

ГРНТИ 78.21.37.15.15

К ПРОБЛЕМЕ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОГНОСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

**Б.Н.БЕЛЯЕВ,
В.Г.ДМИТРИЕВ**
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Рассматриваются погрешности прогнозирования состояния морской среды, возникающие при использовании процедур прогноза на основе гидродинамических моделей. Показывается, что наличие погрешностей свойственно всем методам прогнозов, причем можно выделить «стандартные» причины возникновения погрешностей. С практической точки зрения перспективы совершенствования методов моделирования состояния морской среды определяются возможностью уменьшения погрешностей прогноза. Такие возможности существуют не всегда, что является причиной появления так называемого предела предсказуемости. Наиболее подробно данная проблема обсуждается применительно к погрешностям, обусловленным неточным знанием значений коэффициентов турбулентности.

Океанографию, по меткому выражению Н. Винера [1], можно назвать метеорологией гидросферы, и неудивительно, что, как и в метеорологии, в ней наиболее распространенными оказываются методы прогнозов, основанные на положениях гидродинамики. Как и любой метод прогноза, гидродинамический метод не позволяет получить абсолютно точного значения прогнозируемой величины. Результат прогнозирования в общем случае будет содержать погрешность, дисперсию которой $\sigma_{пр}^2$ можно выразить следующим образом

$$\sigma_{пр}^2 = \sigma_{мод}^2 + \sigma_{выч}^2 + \sigma_{исх}^2 + \sigma_{пост}^2, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{мод}}^2$ – дисперсия погрешности, обусловленной неполной адекватностью прогностической модели реальному физическому процессу;

$\sigma_{\text{выч}}^2$ – дисперсия погрешности, обусловленной особенностями вычислительных процедур;

$\sigma_{\text{исх}}^2$ – дисперсия погрешности, обусловленной неточностью исходных (фактических) данных;

$\sigma_{\text{пост}}^2$ – дисперсия погрешности, обусловленной неточностью значений параметров, принимаемых в данной модели за постоянные величины.

Прикладное значение гидродинамических моделей непосредственно зависит от величины их погрешности. В аспекте практического использования представляются приемлемыми те прогностические модели, которые при использовании в качестве начальных и краевых условий данных от реальных систем освещения гидрометеорологической обстановки дают значимый выигрыш в достоверности прогнозов по сравнению с маргинальными прогнозами равной заблаговременности (т.е. инерционными и климатическими) с учетом реальных экономических затрат. Более того, в ряде случаев недостаточно знать прогностические оценки самих гидрометеорологических параметров, необходимо располагать значениями показателей точности этих величин (причем показателей, которые могут быть использованы в дальнейших расчетах, например, условных вероятностей, среднеквадратических погрешностей).

Перспективы совершенствования гидродинамических моделей определяются возможностью уменьшения погрешностей прогноза. Такие возможности существуют не всегда, что является причиной появления так называемого предела предсказуемости состояния морской среды. В настоящей статье приводится краткий обзор компонентов погрешности моделирования гидродинамической среды. Более подробно данная проблема обсуждается применительно к погрешностям, обусловленным неточным знанием значений условно постоянных величин (на примере коэффициентов турбулентности).

Общий анализ компонентов дисперсии погрешности. Первое из этих слагаемых – дисперсия $\sigma_{\text{мод}}^2$ – определяет, по сути дела, принципиальные ограничения применимости гидродинамического метода прогнозирования. Даже если не принимать во внимание вполне обоснованные сомнения в самом существовании в определенных условиях решения уравнений Навье-Стокса [2], следует иметь в виду, что эти уравнения описывают идеальные, а не реальные процессы в сплошных средах. «И сейчас имеется немало работ, содержащих сложные и пространные результаты точной теории решений дифференциальных уравнений гидродинамики, весьма далекие от действительности. На наш взгляд, практическая ценность этих работ снижается простым замечанием, что сами-то уравнения гидродинамики лишь весьма приближенно отражают многие фактические явления. Поэтому некоторые результаты так называемой точной теории по бессмысленности напоминают выкладки с огромным числом знаков над величинами, только очень грубо приближающими точные» [3]. К этому стоит добавить, что в океанологии при построении модели процесса для замыкания гидродинамических уравнений

используют приближенные или даже гипотетические соотношения, единственным доводом в пользу которых является отсутствие явных противоречий здравому смыслу (типичный пример – так называемое приближение Буссинеска).

С целью повышения степени соответствия модели описываемому ею процессу (степени «адекватности модели») многие авторы просто увеличивают число переменных, стараясь учесть как можно большее число факторов, формирующих рассматриваемый процесс. Нетрудно заметить, что все сказанное выше сохраняет силу, в связи с чем таким путем кардинального решения проблемы достичь нельзя. Более того, включение в модель переменных, значения которых зачастую известны с большими погрешностями, может привести к дополнительному шуму, уровень которого превысит уровень шума при отсутствии учета этих переменных. К тому же стоит иметь в виду, что «как правило, степень понимания явления обратно пропорциональна числу переменных, фигурирующих в его описании» [4]. В итоге, поскольку отмеченные выше усложнения далеко не всегда способствуют уменьшению погрешности, наблюдается эффект «засорения науки множеством моделей» [5].

Представляется очевидным, что дисперсия $\sigma_{\text{мод}}^2$ априорному определению (т.е. без прямого сопоставления прогностических и фактических значений) не поддается.

Второе слагаемое в соотношении (1) – дисперсия $\sigma_{\text{выч}}^2$ – чаще всего обязано своим происхождением замене точного решения гидродинамических уравнений их численным интегрированием. Способов такого интегрирования множество и естественно стремление авторов моделей выбрать наиболее точное из них, придав ему наиболее соответствующие конкретным условиям задачи свойства. К сожалению, в некоторых работах этой, собственно говоря, вспомогательной процедуре придается такое большое значение, что такие работы становятся похожими на упражнения по вычислительной математике. Существенно однако, что величина $\sigma_{\text{выч}}^2$ в принципе может быть оценена известными в математике методами.

Третье слагаемое – значение дисперсии $\sigma_{\text{исх}}^2$ – является функцией f нескольких величин, характеризующих точность исходных данных, а именно

$$\sigma_{\text{исх}}^2 = \sum_{i=1}^n f_i (\sigma_{1i}^2, \sigma_{2i}^2, \sigma_{3i}^2, \sigma_{4i}^2), i = 1, 2, \dots, n, \quad (2)$$

где σ_{1i}^2 – дисперсия погрешностей i -ой измерительной аппаратуры, значение которой может быть определено на основе данных, приводимых в паспорте (аттестате) соответствующего измерительного устройства;

σ_{2i}^2 – дисперсия погрешностей, возникающих в результате асинхронности измерений. Может быть оценена на основе анализа характеристик временной изменчивости (структурных функций) измеряемой величины;

σ_{3i}^2 – дисперсия погрешностей восстановления значений поля в узлах равномерной сетки по значениям, измеренных в узлах нерегулярной сетки. Может быть оценена на основе анализа пространственной изменчивости измеряемой величины с учетом того, что восстанавливаемые поля являются

существенно неоднородными по дисперсии и, следовательно, значение σ_{3i}^2 должно характеризовать среднюю по данной области дисперсию погрешностей объективного анализа (аналогичная задача в одномерном случае рассмотрена в работе [6]);

σ_{4i}^2 – дисперсия погрешностей, возникающих из-за искажения конфигурации (дифференциальных и топологических характеристик) поля рассматриваемой величины. Имеются достаточные основания полагать, что эта дисперсия может принимать заметные значения [7, 8, 9], однако априорной оценке она не поддается;

n – число переменных в модели.

Таким образом, из четырех аргументов функции (2) возможно получение оценки трех из них и вместо выражения (2) можно написать

$$\sigma_{ucx}'^2 = \sum_{i=1}^n f_i (\sigma_{1i}^2, \sigma_{2i}^2, \sigma_{3i}^2), \quad (3)$$

причем

$$\sigma_{ucx}'^2 \leq \sigma_{ucx}^2. \quad (4)$$

Явная форма соотношения (3) может быть получена для данной модели F различными способами, в том числе с помощью известного в теории вероятностей метода линеаризации неслучайной функции случайных переменных [10], общая формула которой в данном случае имеет вид

$$\sigma_{ucx}'^2 = \sum_{k=1}^3 \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)_m^2 \sigma_{ki}^2 + 2 \sum_{i < j}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right) \left(\frac{\partial F}{\partial x_j} \right)_m \sigma_{ki} \sigma_{kj} r_{kij} \right]. \quad (5)$$

Здесь x_i – переменная модели, r_{kij} – коэффициент корреляции, m – значок, означающий, что частные производные вычисляются при значениях переменных, равных их математическим (для данной ситуации) ожиданиям.

В рассматриваемом случае коэффициенты корреляции r_{kij} очевидным образом равны нулю, и формула (5) упрощается и выглядит как

$$\sigma_{ucx}'^2 = \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)_m^2 \sigma_{ki}^2. \quad (6)$$

Если модель не отличается особой сложностью и громоздкостью, то применение формулы (6) обычно не составляет большого труда. При сложных моделях приходится вычислять производные $\left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)_m$ численно, причем в

отдельных случаях вычисления могут оказаться весьма затруднительными или даже невозможными. Альтернативой рассматриваемому подходу в таких случаях является метод Монте-Карло, применимый всегда, но требующий большого объема вычислений и знания (хотя бы гипотетического) закона распределения соответствующих погрешностей.

Анализ вклада условно постоянных величин. Последнее слагаемое в соотношении (1) характеризует чаще всего точность, с которой известны коэффициенты турбулентного обмена. Из многих литературных источников известно, что эти коэффициенты, обладающие существенной пространственной и временной изменчивостью (см., например, [11–17]), измеряются неточными методами (чаще всего косвенными). К тому же коэффициенты турбулентного обмена представляют собой усредненные величины, период усреднения которых не поддается объективному и однозначному определению. Все это позволяет рассматривать эти коэффициенты как случайные величины, влияние которых на модельные расчеты должно оцениваться с вероятностно-статистических позиций. Именно последнего не хватало в предпринимавшихся ранее попытках оценить указанное влияние, что, по-видимому, и привело к противоположным заключениям о зависимости результатов модельных расчетов от погрешностей в значениях коэффициентов турбулентного обмена – от сильной [18] до слабой [17] степени такой зависимости.

Наибольшую трудность при реализации подобного подхода представляет собой отсутствие оценок даже простейших вероятностных характеристик коэффициентов турбулентного обмена – математического ожидания и дисперсии. В литературе приводятся лишь отдельные неравноточные значения коэффициентов, полученных различными авторами в разных географических условиях в разное время года. Сами по себе эти значения непригодны для получения искомых характеристик обычными методами статистики, не позволяют они также судить о наличии какой-либо закономерности распределения значений коэффициентов по пространству и времени. Единственной возможностью получить хотя бы грубую оценку вероятностных характеристик коэффициентов турбулентного обмена является следующая. Предположим, что наименьшее значение коэффициента, известное из публикаций, составляет μ_{min} , а наибольшее значение – μ_{max} . Тогда в качестве оценки математического ожидания коэффициента естественно принять величину

$$\bar{\mu} \approx \frac{\mu_{max} + \mu_{min}}{2}, \quad (7)$$

а оценку среднего квадратического отклонения получить из соотношения, вытекающего из известного в теории вероятностей «правила 3σ »

$$\sigma_{\mu} \approx \frac{\mu_{max} - \mu_{min}}{k}, \quad k = 6 \quad (8)$$

Дальнейшее использование найденных таким путем оценок вполне аналогично выше предложенному для оценок дисперсий погрешностей σ_{ij} . В частности, оценка $\sigma_{пост}^2$ в случае, когда в модели используется лишь один коэффициент турбулентного обмена, может быть рассчитана по формуле, вытекающей из соотношения (6) при $n = k = 1$, а именно

$$\sigma_{пост}^2 = \left(\frac{\partial F}{\partial \mu} \right)^2 \sigma_{\mu}^2. \quad (9)$$

В случае сложных моделей можно, как и в предыдущем случае, использовать метод Монте-Карло.

Пример практических расчетов. Проиллюстрируем порядок расчета значений σ_{nocm}^2 примером, основанным на использовании простейшей модели течения Экмана (поверхностное течение, наклон уровня океана отсутствует [16]). Для определения проекций вектора скорости имеем систему уравнений

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{1}{2\rho_0\sqrt{\mu\omega\sin\varphi}}(\tau_x + \tau_y) \\ v &= \frac{1}{2\rho_0\sqrt{\mu\omega\sin\varphi}}(\tau_x - \tau_y) \end{aligned} \right\}. \quad (10)$$

Здесь u, v – проекции вектора скорости течения на меридиан и параллель соответственно, ρ_0 – плотность воды, φ – широта места, ω – угловая скорость вращения Земли, τ_x, τ_y – составляющие трения ветра, μ – коэффициент вертикальной турбулентной вязкости.

Применяя к уравнениям (10) формулу (9), получим

$$\tilde{\sigma}_{u_{nocm}} = \tilde{\sigma}_{v_{nocm}} = \frac{\tilde{\sigma}_\mu}{2}, \quad (11)$$

где знак тильды означает так называемую вариацию, т.е. среднее квадратическое отклонение, нормированное на математическое ожидание.

Анализ многочисленных публикаций ([11–18] и др.) позволяет принять $\mu_{min} = 1\text{см}^2\text{с}^{-1}$, $\mu_{max} = 100\text{см}^2\text{с}^{-1}$. В соответствии с равенствами (7), (8) имеем

$$\bar{\mu} \approx 4,95\text{см}^2\text{с}^{-1}, \quad \sigma_\mu \approx 16,7\text{см}^2\text{с}^{-1}, \quad \tilde{\sigma}_\mu \approx 0,34.$$

Тогда согласно соотношению (11) получим

$$\tilde{\sigma}_{u_{nocm}} = \tilde{\sigma}_{v_{nocm}} = 0,17.$$

Таким образом, только из-за того, что за постоянную принимают величину, фактически не являющуюся коэффициентом, результат вычислений каждой проекции вектора скорости течения содержит погрешность, составляющую в среднеквадратическом 18% от значения самой составляющей. Если же интерес представляет модуль скорости вектора течения, то его погрешность, очевидно, составит $\tilde{\sigma}_{nocm} = 1,41\tilde{\sigma}_{u_{nocm}} = 1,41\tilde{\sigma}_{v_{nocm}} = 24\%$.

Заключение. Полученные оценки вряд ли можно считать завышенными. Скорее наоборот, поскольку «правило 3σ » является перестраховочным и вполне возможно, что значение n в соотношении (8) следовало бы взять меньшим. В этом случае, очевидно, рассмотренные погрешности будут больше.

Из всего изложенного выше следует, что априорное получение оценки дисперсии погрешности прогноза σ_{np}^2 невозможно. Рассмотренные в настоящей работе методы позволяют найти лишь величину

$$\sigma_{np}^2 = \sigma_{выч}^2 + \sigma_{исх}^2 + \sigma_{пост}^2, \quad (13)$$

причем

$$\sigma_{np}^2 < \sigma_{np}^2. \quad (14)$$

«Теоретические модели остаются гипотетическими, пока не выполнена их проверка и не доказана их обоснованность в пределах точности измерений и четко установленного диапазона условий» [19]. Однако полная проверка, предполагающая сбор и обработку большого объема прогностических и соответствующих им фактических данных, требует больших материальных затрат. Вряд ли такие затраты возможны, особенно если иметь ввиду большое число моделей, предлагаемых различными авторами. Поэтому представляется, что проверка каждой модели должна, прежде всего, состоять в расчете дисперсии σ_{np}^2 . Если эта величина превосходит некоторое допустимое значение, то модель бракуется без полной проверки, ибо, в силу неравенства (14), фактическая достоверность (точность) прогноза может быть только хуже той, которая определяется соотношением (13). Если значение σ_{np}^2 находится в допустимых пределах, то это не означает, что в этих же пределах будет находиться дисперсия σ_{np}^2 – необходима проверка с использованием экспериментальных (натурных) данных. Таким образом, оценка дисперсии σ_{np}^2 , хотя и не позволяет получать окончательное суждение о пригодности модели (пригодности метода прогноза), но тем не менее с ее помощью осуществляется предварительная селекция моделей, и тем самым появляется возможность избежать больших затрат на полную проверку заведомо непригодных из них.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. –М.: «Сов. Радио», 1968. –328 с.
2. Ладженская О.А. Математические вопросы динамики вязкой несжимаемой жидкости. –М.: «Наука», 1970. –288 с.
3. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Проблемы гидродинамики и их математические модели. –М.: «Наука», 1977. –407 с.
4. Акоф Р., Сасиени М. Основы исследования операций. –М.: «Мир», 1971. –536 с.
5. Налимов В.В. Теория эксперимента. –М.: Наука, 1971. –207 с.
6. Беляев Б.Н., Свердлов А.Я. К вопросу о выборе темпа дискретных измерений гидрометеорологических элементов // Методы океанологических исследований. Межведомственный сборник. – 1976. – Вып. 59. – С. 99–106.
7. Беляев Б.Н. Прикладные океанологические исследования. –Л.: Гидрометеоздат, 1986. –144 с.
8. Беляев Б.Н., Сорокин А.И. Методологические аспекты экспериментальных океанологических исследований // Метеорология и гидрология, 1982. – № 10. – С. 71–78.
9. Дмитриев В.Г. Об одной особенности оптимальной (и других видов линейной) интерполяции гидрометеорологических процессов и полей // Навигация и гидрография, 1995. – № 1. –С. 93–95.
10. Беляев Б.Н., Кузнецова Л.Н. О некоторых возможностях проверки математических моделей океанологических процессов и явлений // Метеорология и гидрология, 1982. – № 9. – С. 62–68.
11. Богуславский С.Г. Температурные поля тропической Атлантики. – Киев: «Наукова думка», 1977. –164 с.
12. Богуславский С.Г., Иващенко И.К. Вертикальная микроструктура глубинных вод Черного моря // Морской гидрофизический журнал, 1989. – № 5. – С. 25–32.
13. Динамика океана. –Л.: Гидрометеоздат, 1980. –304 с.
14. Доронин Ю.П. Взаимодействие атмосферы и океана. –Л.: Гидрометеоздат, 1981. –288 с.
15. Егоров Н.И. Физическая океанография. –Л.: Гидрометеоздат, 1974. –456 с.
16. Жуков Л.А. Общая океанология. –Л.: Гидрометеоздат, 1976. –376 с.
17. Саркисян А.С. Численный анализ и прогноз морских течений. –Л.: Гидрометеоздат, 1977. –184 с.

18. Демьшев С.Г. Чувствительность результатов численного моделирования циркуляции в экваториальной области Атлантического океана к вариациям коэффициента турбулентности // Морской гидрофизический журнал, 1989. – № 6. – С. 3–9.
19. Вудс Дж. Теория информации в приложении к экспериментам в верхнем слое океана. В кн. Моделирование и прогноз верхних слоев океана. –Л.: Гидрометеиздат, 1979. –368 с.

ГРНТИ 37.21

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ КАТЕГОРИЧЕСКИХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ В ВЕРОЯТНОСТНОМ ВИДЕ

В.Г.ДМИТРИЕВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Предложена формула расчета вероятностей попадания фактических значений гидрометеорологических параметров в произвольные интервалы при известном категорическом прогнозе. Этот метод позволяет осуществить представление категорических прогнозов непрерывных величин в вероятностной форме, что имеет важное прикладное значение. Теоретические положения подтверждаются численными экспериментами на основе фактических данных. Приведены формулы для определения математического ожидания и дисперсии случайных величин с плотностью распределения погрешностей прогноза. Особое внимание уделено качественному анализу параметров плотности распределения погрешностей прогнозов и особенностям их определения. Статья содержит обширный иллюстративный материал.

Введение. По крайней мере с конца прошлого века в специальной литературе широко обсуждается проблема оценки качества, точности и роли гидрометеорологических прогнозов для пользователей (к первым работам по этой теме можно отнести, например, [1, 2]). Исследования информационных потребностей, возникающих при оптимизации использования прогнозов в практической деятельности, разработка методов верификации прогностических процедур, изучение возможностей объективного оценивания качества прогнозных данных постепенно определили в качестве основного теоретического аппарата теорию вероятностей и математическую статистику. Кроме того, постепенно сформировалась концепция вероятностного представления прогностических данных как наиболее перспективного направления формирования прогностических сообщений ([3, 4] и многочисленные последующие публикации) взамен традиционных категорических форм.

В отличие от категорических прогнозов, дающих потребителю лишь один вариант прогнозируемой ситуации (что ставит потребителя перед альтернативой – принимать/не принимать прогноз) вероятностный прогноз предоставляет ряд распределений вероятностей осуществления полного набора событий, который может быть эффективно использован пользователем для выбора стратегии поведения. Строго говоря, категорический прогноз, снаб-

женный вероятностями осуществления альтернатив, также представляет собой вероятностный прогноз противоположных событий, однако в настоящее время категорический прогноз не включает такие данные.

Вероятностная интерпретация прогноза в случае прогнозирования значений непрерывных величин естественным образом приводит к необходимости указания функций распределения или их плотностей, которые будут определять вероятности осуществления прогнозов при использовании конкретной прогностической методики, соблюдении указанных временных, пространственных и других ограничений.

Наиболее полное развитие теоретико-вероятностного подхода применительно к прогностическим задачам гидрометеорологии было достигнуто при решении проблем верификации методов прогноза (см., в частности, [5–9]). Однако, поскольку цель верификации состоит в оценке прогностической методики в целом, а вероятностную интерпретацию необходимо давать каждому конкретному прогнозу, полученные в верификационных исследованиях результаты применения теории вероятностей и математической статистики лишь в самых общих чертах могут быть применимы к проблеме формирования вероятностного прогноза (в аспекте вероятностной оценки индивидуального прогноза). Действительно, согласно концепции вероятностной верификации, наиболее полную информацию дает совместное распределение прогнозируемой и наблюдаемой величины [10, 11]. Проблема определения указанных совместных распределений относится к так называемому классу задач большой размерности (числа параметров), что в случае значительного числа наблюдений приводит к нереализуемости построений, а в случае малого числа наблюдений не имеет практической значимости ввиду неинформативности результатов.

Как следствие рассмотрения совместных распределений, в работе [12] был предложен способ оценки ожидаемого фактического значения гидрометеорологической величины x , $E(x/f)$ при условии известного прогноза f на основе регрессионного соотношения

$$E(x/f) = a + bf,$$

где $a = \bar{x} - b\bar{f}$, $b = (\sigma_x / \sigma_f) r_{xf}$. (Здесь \bar{x} и \bar{f} суть выборочные средние наблюдений и прогноза соответственно, σ_x и σ_f – выборочные отклонения, r_{xf} – коэффициент корреляции между x и f).

Хотя приведенное выражение и удобно тем, что не использует явного вида закона условного распределения, получение которого в случае непрерывных гидрометеорологических величин представляет определенную сложность [13, 14], одного лишь регрессионного отношения недостаточно для получения вероятностного прогноза.

Задача вероятностной интерпретации категорического прогноза. В сугубо прикладном аспекте интерес для пользователей представляет вероятностный ряд распределения фактических значений гидрометеорологических величин по градациям. Действительно, оценка влияния гидрометеорологических факторов на эффективность тех или иных мероприятий зачастую фор-

мулируется в виде перечисления свойств, проявляющихся при попадании значений гидрометеорологических параметров в указанные диапазоны. Многочисленными примерами могут служить различные ограничения в авиации (запрет выполнения отдельных мероприятий при достижении определенных значений видимости, скорости ветра и т.п.), ограничения на применение технических средств в строительных организациях в зависимости от скорости ветра, указания по выбору режима технологических процессов с учетом температуры воздуха в организациях энергетического комплекса, на транспорте, на предприятиях газовой промышленности, в муниципальных службах, в садово-парковых хозяйствах и т.д.

Современное состояние методической базы формирования вероятностных прогнозов в ряде случаев не позволяет отказаться от традиционных методов составления прогнозов в категорической форме. Более того, заложенный в основу численных методов прогнозов принцип статистического осреднения (в частности, при формировании гидродинамических уравнений) ограничивает получение успешного прогноза в нетипичной гидрометеорологической обстановке (см., в частности, результаты исследований National Weather Service Forecast Office, Albany, New York, 1998). Известный тезис о том, что прогнозирование погоды относится не только к науке, но и обладает элементами искусства, сохраняет свою актуальность.

Разделение гидрометеорологических условий на градации, для которых формулируются конкретные рекомендации по выбору режима функционирования тех или иных средств, широко применяется и, по всей видимости, будет применяться во многих отраслях деятельности человека. При этом, поскольку на этапе планирования действий режим функционирования выбирается заранее на основе прогнозов значений гидрометеорологических параметров, для принятия научно обоснованных и оптимизированных решений актуальна задача определения вероятностей попадания фактических значений в заданный интервал при условии известного категорического прогноза.

Эта задача может быть решена на основе условной плотности распределения фактических значений прогнозируемых величин при условии известного прогноза [14].

Настоящая статья ограничивается рассмотрением вероятностной трактовки категорических прогнозов непрерывных гидрометеорологических величин.

Условная плотность распределения погрешностей прогноза непрерывных гидрометеорологических величин. В работе [14] в аналитическом виде предложена условная плотность распределения погрешностей прогнозистического значения при известном тексте прогноза. В качестве дополнительных условий могут применяться пространственные и временные локализации (другими словами, ограничения по территориальным признакам, по климатическим временным интервалам: сезонам, месяцам, декадам и т.д.), а также атрибуты прогностических процедур (метод прогноза, заблаговременность, срок действия и пр.). Чем больше условий соблюдено, тем выше адекватность условного распределения погрешностей, однако этот тезис носит в известной мере умозрительный характер, поскольку объем наблюдений, необ-

ходимых для определения параметров распределений, экспоненциально растут с ростом числа дополнительных условий.

Пусть ξ – прогнозируемая ограниченная или неограниченная непрерывная случайная величина, $\xi \in [R, S]$, $R, S \leq \infty$, w – некоторое фиксированное прогностическое значение гидрометеорологической величины ξ , μ – случайная величина, генеральная совокупность реализаций которой сформирована подмножеством значений ξ , наблюдаемых при прогнозе w , а ε_w обозначает погрешность прогноза w , т.е. $\varepsilon_w = w - \mu$. В качестве плотности распределения величины μ в работе [14] предлагается функция вида (в случае конечных границ не умаляя общности можно положить $R = 0, S = 1$)

$$f_{\mu}(x) = \begin{cases} \alpha\gamma_1 f_1(x) + (1 - \alpha)\gamma_2 f_2(x), & x \in [0, 1], \\ 0, & x \notin [0, 1], \end{cases} \quad (1)$$

где $f_1(x), f_2(x)$ – плотности распределения минимального и максимального значения с одинаковыми параметрами, заданные на всей числовой оси [15];

$\alpha \in [0, 1]$ – коэффициент асимметрии;

$\gamma_1(b), \gamma_2(b)$ – коэффициенты усечения плотностей $f_1(x)$ и $f_2(x)$, зависящие от параметра b .

Согласно данным работы [15], выражение для функции $f_1(x)$ имеет вид

$$f_1(x) = \frac{1}{b} e^{(x-w)/b} e^{-e^{(x-w)/b}},$$

где w мода, $b > 0$ – параметр формы.

Для получения выражения для функции $f_2(x)$ достаточно поменять знак у разности $x - w$.

Можно показать, что

$$\gamma_1 = \frac{1}{F_1(1) - F_1(0)},$$

где F_1 – функция распределения минимального значения;

$$F_1(x) = 1 - e^{-e^{(x-w)/b}}.$$

Аналогичное выражение легко может быть получено и для величины γ_2 .

Поскольку $\mu = w - \varepsilon_w$, переход к переменной μ означает лишь выбор новой шкалы отсчета для погрешности. Плотности распределений величин μ и ε_w (обозначим их через f_{μ} и f_{ε} соответственно) совпадают с точностью до линейного преобразования аргумента: $f_{\mu}(x) = f_{\varepsilon}(w - x)$.

Анализ, выполненный в работе [14], позволяет следующим образом сформулировать основные свойства условного закона распределения погрешностей прогноза применительно к плотности распределения величины μ (при этом в состав условий входит, помимо перечисленных выше ограниче-

ний, также и само прогнозируемое значение w). А именно, плотность распределения f_μ , по крайней мере, должна быть:

- усеченной (в случае ограниченной величины);
- унимодальной (причем мода совпадает с прогнозируемым значением);
- асимметричной (за исключением случая w – середины интервала $[R, S]$, причем асимметрия зеркально меняется при перемещении моды от одного конца интервала $[R, S]$ к другому).

Заметим, что характер асимметричности рассматриваемой плотности распределения подтверждается также и данными работы [10].

Исходя из того, что имеется достаточно представительная выборка значений величины μ , позволяющая с удовлетворительной для практики точностью вычислить выборочные среднее \tilde{m} и дисперсию $\tilde{\sigma}^2$, определение параметров α и b согласно методу моментов выполняется на основе следующих соотношений

$$\begin{cases} m = \tilde{m}, \\ \sigma^2 = \tilde{\sigma}^2, \end{cases} \quad (2)$$

где $m = m(\alpha, b)$ и $\sigma^2 = \sigma^2(\alpha, b)$ – математическое ожидание и дисперсия случайной величины с плотностью (1). Общий вид выражений в равенствах (2) приводится в приложении А.

В качестве начального приближения для численного решения системы (2) можно принять решение (α_0, b_0) системы (2) при $R = -\infty, S = +\infty$.

Тогда очевидно $\gamma_1 = \gamma_2 = 1$ и система (2) принимает вид

$$\begin{aligned} M\mu_0 &= \tilde{m}; \\ M(\mu_0 - M\mu_0)^2 &= \tilde{\sigma}^2, \end{aligned}$$

где символом M обозначен оператор усреднения по всей числовой оси, а случайная величина μ_0 имеет плотность

$$\alpha_0 f_1(x) + (1 - \alpha_0) f_2(x)$$

с заменой b на b_0 .

В работе [14] приводятся схема вычислений и формулы для расчета величин (α_0, b_0) .

Базовая формула для расчета ряда распределения. Очевидно, что вероятность попадания величины μ в любой интервал $[p, q] \subseteq [R, S]$, $P(\mu \in [p, q])$, которая и формирует вероятностное представление прогноза, определяется соотношением

$$P(\mu \in [p, q]) = \int_p^q f_\mu(x) dx. \quad (3)$$

Интегрирование функции f_μ в заданных пределах позволяет получить явное выражение для величины $P(\mu \in [p, q])$

$$P(\mu \in [p, q]) = \alpha \gamma_1 \left[e^{-e^{(p-w)/b}} - e^{-e^{(q-w)/b}} \right] - (1-\alpha) \gamma_2 \left[e^{-e^{(w-q)/b}} - e^{-e^{(w-p)/b}} \right]. \quad (3')$$

Задавая произвольные наборы интервалов $[p, q]$, с помощью формулы (3') можно вычислять произвольные ряды распределения величины μ .

Примеры практических расчетов. На основе экспериментальных данных, использованных в работе [14], были выполнены сопоставительные расчеты теоретических (по формуле (3')) и эмпирических вероятностей превышения прогнозируемого значения. Результаты расчетов приведены в таблице.

Сравнение эмпирических и расчетных вероятностей превышения прогнозируемого значения гидрометеорологической величины

Прогнозируемый параметр	Прогнозируемое значение параметра	Вероятность превышения прогнозного значения параметра		Параметры плотности условного распределения		Срок прогноза	Объем выборки
		эмпирическая	расчетная	α	b		
Скорость ветра, м/с	4,5	0,38	0,44	0,930	0,054	День	167
	5,5	0,61	0,61	0,120	0,049	День	835
	8,5	0,62	0,60	0,110	0,076	День	990
	9,5	0,72	0,62	0,096	0,088	День	298
	10,5	0,64	0,62	0,040	0,072	День	250
	5,5	0,50	0,51	0,568	0,045	Ночь	983
	8,5	0,61	0,60	0,150	0,072	Ночь	820
	9,5	0,47	0,47	0,710	0,102	Ночь	350
Температура воздуха, °С	10,5	0,49	0,50	0,570	0,103	Ночь	320
	20,5	0,34	0,37	1,000	0,037	День	90
	0,0	0,45	0,37	0,996	0,034	День	261
	1,5	0,30	0,37	0,990	0,027	День	204

Результаты расчетов показывают вполне удовлетворительное соответствие расчетных и экспериментальных данных. При этом отчетливо видно, что сохраняется соотношение асимметрии распределения величины μ .

Приложение А. Уравнения для параметров условных плотностей. Приведем аналитические выражения для основных моментов плотности (1). Поскольку

$$m(\alpha, b) = \int_0^l x f_\mu(x) dx, \quad (4)$$

интегрирование правой части равенства приводит к соотношению

$$m(\alpha, b) = \alpha \gamma_1(b) \left\{ -e^{-e^{(l-w)/b}} + b \left[Ei(-e^{(l-w)/b} + b) - Ei(-e^{-w/b}) \right] \right\} + (1-\alpha) \gamma_2(b) \left\{ e^{(w-l)/b+b} \left[Ei(-e^{(w-l)/b}) - Ei(-e^{w/b}) \right] \right\}, \quad (5)$$

где $Ei(z) = -\int_{-z}^{\infty} \frac{e^{-t}}{t} dt$ – интегральная функция Эйлера.

Для вычисления дисперсии $\sigma^2(\alpha, b)$ можно воспользоваться известным соотношением

$$\sigma^2(\alpha, b) = \int_0^1 x^2 f_\mu(x) dx - m(\alpha, b)^2. \quad (6)$$

Интеграл в правой части равенства (6) имеет вид

$$\int_0^1 x^2 f_\mu(x) dx = \alpha \gamma_1(b) - \left\{ 1 - e^{-e^{(1-w)/b}} + 2 \left\{ w - b \left[\Gamma(0, e^{(1-w)/b}) - \Gamma'(1) - b \left[e^{(1-w)/b} {}_3F_3(1, 2, -e^{(1-w)/b}) - e^{-w/b} {}_3F_3(1, 2, -e^{-w/b}) \right] \right] \right\} \right\} + (1-\alpha) \gamma_2(b) \left\{ 1 - e^{-e^{(w-1)/b}} + 2 \left\{ w + b \left[\Gamma(0, e^{(w-1)/b}) - \Gamma'(1) - b \left[e^{(1-w)/b} {}_3F_3(1, 2, -e^{(1-w)/b}) - e^{w/b} {}_3F_3(1, 2, -e^{w/b}) \right] \right] \right\} \right\}, \quad (7)$$

где $\Gamma(x, y)$ – гамма-функция;

$\Gamma'(1)$ – значение ее производной в точке 1 (константа Эйлера);

$${}_3F_3(a, b, z) = {}_3F_3(\{(a)_1, \dots, (a)_p\}, \{(b)_1, \dots, (b)_q\}, z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(a_1)_k \dots (a_p)_k z^k}{(b_1)_k \dots (b_q)_k k!} \quad - \text{ обобщенная гипергеометрическая функция;}$$

где $(c)_k = c(c+1)(c+2)\dots(c+k-1)$.

В нашем случае

$${}_3F_3(1, 2, z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{k!(k+1)^3}.$$

Таким образом, соотношения (5) и (7) дают аналитические зависимости для определения математического ожидания m и дисперсии σ^2 как функций от α и b .

Следует, однако, оговориться, что приведенные выше выражения носят, в основном, формальный характер и мало пригодны для практических расчетов, поскольку при выполнении вычислений возникают определенные трудности расчета гипергеометрических слагаемых в выражении (7), особенно при больших значениях степеней экспонент. При решении системы (2) рекомендуется применять численное интегрирование выражений (4) и (6).

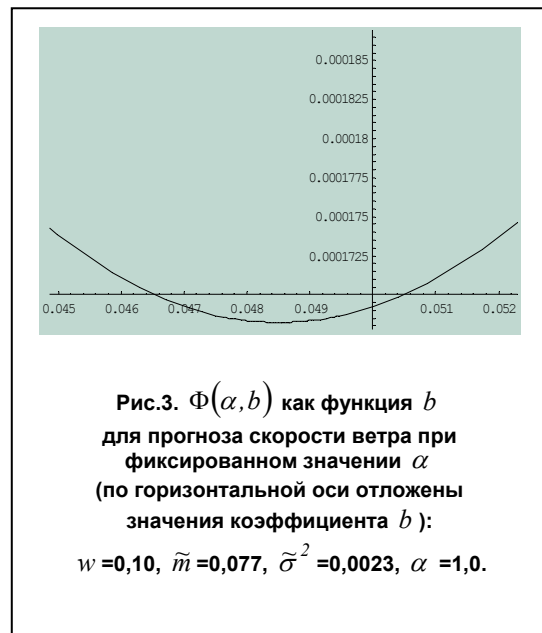
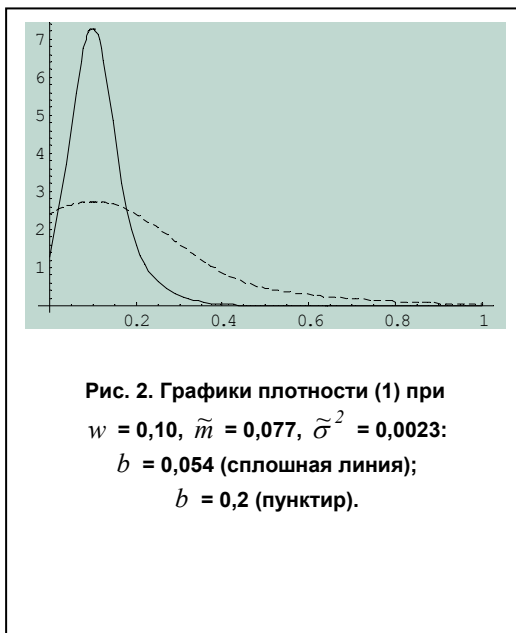
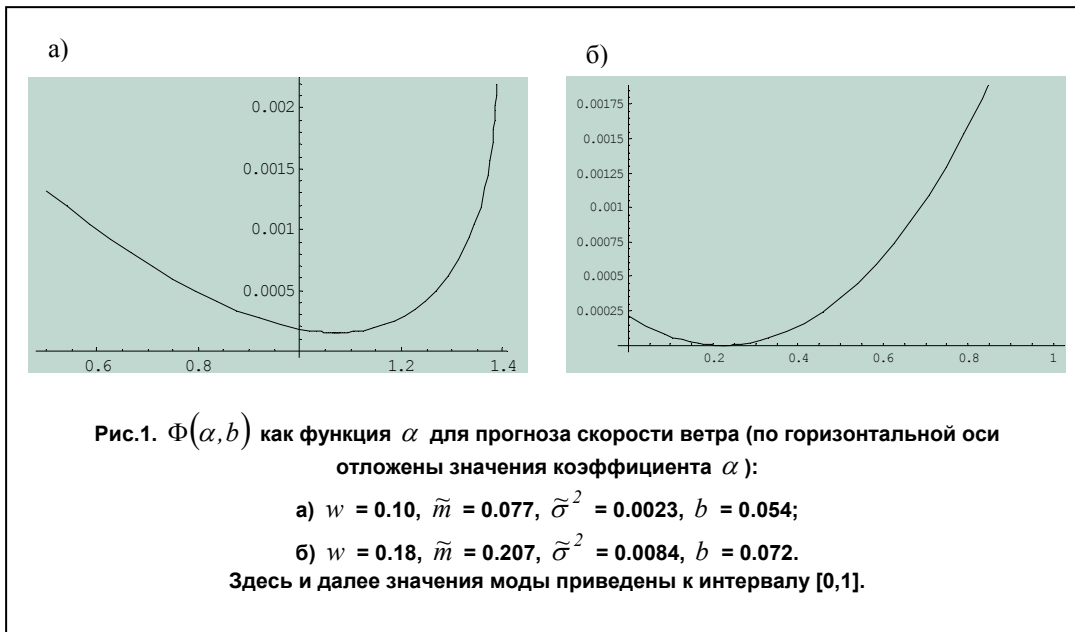
Приложение Б. Некоторые замечания о параметрах α и b . Как было отмечено в работе [14], параметр α определяется свойствами метода прогноза и характеризует скорость убывания плотности распределения погрешностей прогноза при отклонении от моды. В предельных случаях при $\alpha = 1$ ($\alpha = 0$) плотность (1) вырождается в усеченную плотность распределения максимального (минимального) значения [15], что может иметь место для прогнозирования значений ограниченной величины в окрестностях границ диапазонов их изменений. При $\alpha > 0,5$ в выражении (1) доминирует плотность f_1 , что соответствует случаю метода прогноза с превышением ошибок слева от прогнозируемого значения, а при $\alpha < 0,5$ преобладает плотность f_2 ,

что означает превышение ошибок справа. В общем случае коэффициент α определяет вид асимметрии плотности (1).

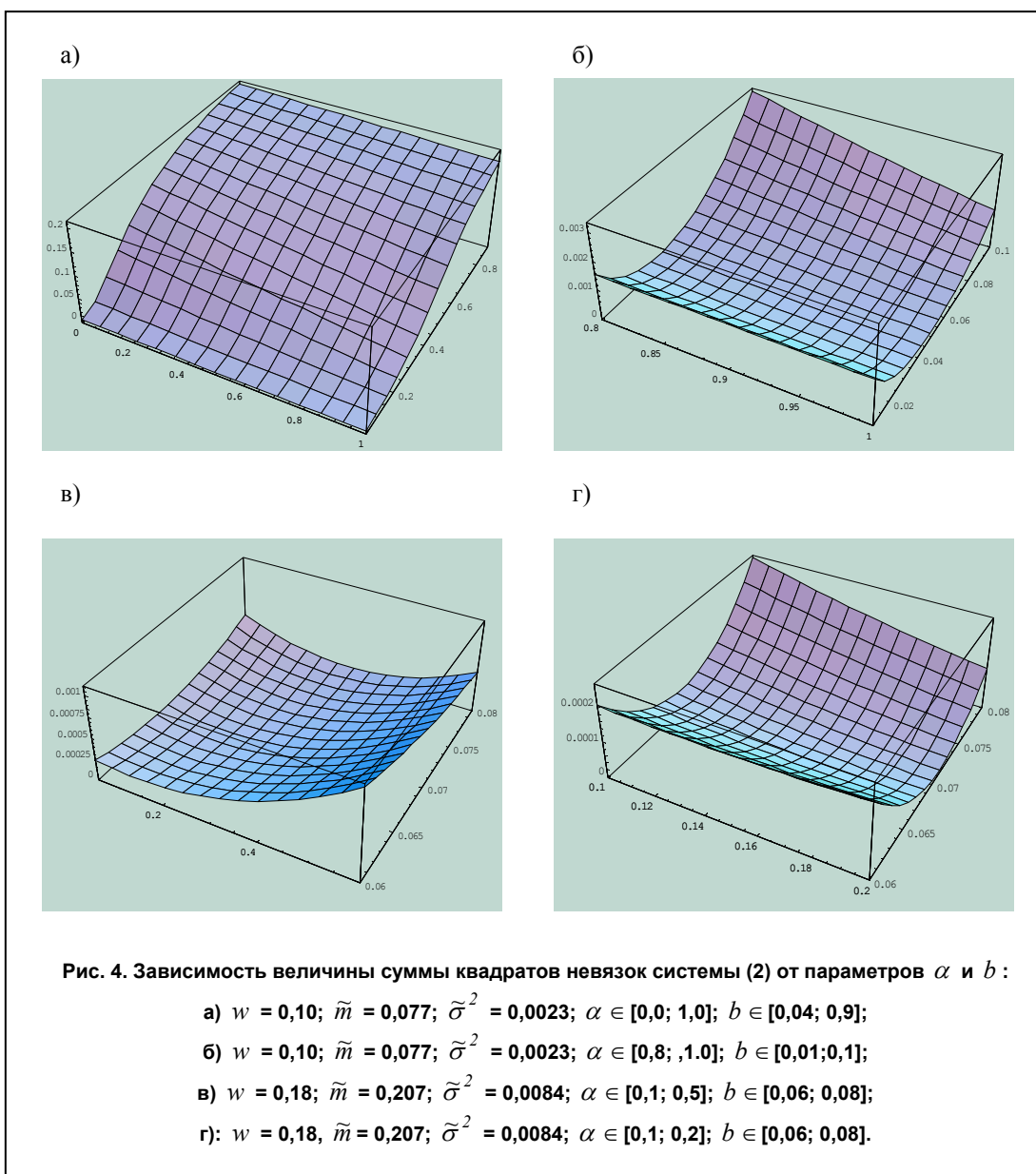
Для получения представления о влиянии коэффициента α на точность решения системы (2) ниже приводятся примеры графиков зависимости суммы квадратов невязок

$$\Phi(\alpha, b) = [m(\alpha, b) - \tilde{m}]^2 + [\sigma(\alpha, b) - \tilde{\sigma}]^2,$$

как функции α при фиксированном значении b для различных вариантов прогноза скорости ветра.



Анализ приведенных примеров показывает (рис.1), что в случае а) минимум функции $\Phi(\alpha, b)$ достигается при $\alpha > 1$, вследствие чего следует принять $\alpha = 1$ (ибо в противном случае функция (1) теряет свойства плотности), а для варианта б) минимум суммарной квадратичной невязки существует внутри области допустимых значений коэффициента α и достигается в интервале $0,2 \div 0,3$ (точное значение равно $0,224$). Второй пример плотности (1), параметр формы b , зависит от достоверности прогноза: чем чаще фактические значения попадают в малую окрестность моды (т.е. прогнозируемого



значения), тем меньше величина b . На рис.2 показано изменение вида плотности (1) в зависимости от выбора значений параметра формы b .

Характер функции $\Phi(\alpha, b)$ как функции b для прогноза скорости ветра при фиксированном значении α демонстрирует рис.3.

Наконец, рис.4 дает представление об общем виде зависимости суммы квадратов невязок уравнений (2) как функции переменных α и b .

Заключение. Формула плотности распределения погрешности прогноза непрерывных гидрометеорологических величин, впервые предложенная в работе [14], позволяет решить одну из важных практических задач гидрометеорологии – осуществить переход от категорического прогноза к вероятностной форме, которая лежит в основе методов принятия оптимизированных решений с учетом влияния гидрометеорологических факторов. Кроме того, зависимость (1) может быть использована в задачах верификации прогностических методик, в частности, при оценке качества индивидуальной деятельности прогнозистов (путем сопоставления соответствующих параметров плотности распределения погрешностей прогнозов α и b).

В качестве перспективного направления можно поставить задачу оценки вероятностей возникновения гидрометеорологических явлений на основе прогнозов отдельных величин как прямых произведений диапазонов гидрометеорологических факторов, определяющих явление. В первом приближении можно считать, что погрешности прогнозов различных величин не зависят друг от друга, что позволяет легко определить совместную плотность распределения как произведение частных плотностей.

К общим дискуссионным вопросам относится проблема выбора маргинальных значений ограниченных гидрометеорологических величин. В то время как одни ограничения достаточно понятны (например, скорость ветра не может быть меньше нуля), указание на предельные значения в ряде случаев не поддается строгому обоснованию (например, для диапазона температур). Завышение границ приводит к тому, что плотность распределения погрешностей положительна на интервале, где она заведомо должна быть равна нулю. В случае плотности (1) подобные эффекты не имеют практического значения ввиду быстрого убывания плотности на границах области задания (см. примеры в работе [14]). Однако для других возможных видов функций плотности распределения погрешностей эта проблема может быть значимой (см., в частности, [13]).

Универсальность предложенного закона распределения погрешностей, основанная на предположении о том, что специфика распределения прогнозируемой величины учтена в самом прогнозе, а характер возникновения погрешностей (как вторичных величин) вполне определяется параметрами плотности, позволяет считать возможным применение зависимости (1) и для прогнозов величин в других областях деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Clayton. H. H. Verification of weather forecasts // Amer. Meteor. J. – 1889. – № 6. – P. 211–219.
2. Cooke. W. E. Forecasts and verifications in Western Australia // Mon. Wea. Rev. – 1906. – № 34. – P. 23–24.
3. Sanders. F. On subjective probability forecasting // J. Appl. Meteor. – 1963. – № 2. – P. 191–201.
4. Murphy. A.H. and R.L. Winkler. Forecasters and probability forecasts. Some current problems // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 1971. – № 52. – P. 239–247.
5. Wilks. Daniel S. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. An Introduction. Academic Press. New York. – 1995. – 467 pp.
6. Murphy A.H., R.L. Winkler. Probability forecasting in meteorology // J. Amer. Stat. Assoc. – 1984. – № 79. – P. 489–500.
7. Murphy A.H. Probabilities, odds and forecasts of rare events // Wea. Forecasting. – 1991. – № 6. – P. 302–307.
8. Murphy A.H. Forecast verification. Its complexity and dimensionality // Mon. Wea. Rev. – 1991. – № 119. – P. 1590–1601.
9. Murphy A.H. What is a good forecast? An essay on the nature of goodness in weather forecasting // Wea. Forecasting. – 1993. – № 8. – P. 281–293.
10. Harold E. Brooks, Charles A. Doswell III. A Comparison of Measures–Oriented and Distributions–Oriented Approaches to Forecast Verification // Wea. Forecasting. – 1996. – № 12. – P. 288–303.
11. Murphy A.H. The Finley affair: a signal event in the history of forecast verification // Wea. Forecasting. – 1996. – № 11. – P. 3–20.
12. Murphy A.H., B.G. Brown and Y.–S. Chen. Diagnostic verification of temperature forecasts // Wea. Forecasting. – 1989. – № 4. – P. 485–501.
13. Галахов В.Л., Дмитриев В.Г. О законе распределения погрешностей гидрометеорологических прогнозов // Навигация и океанография. – 1996. – Вып. 2. – С. 136–140.
14. Дмитриев В.Г. Плотность распределения погрешностей прогноза непрерывных гидрометеорологических величин // Метеорология и гидрология. – 1997. – № 6. – С. 33–42.
15. Хастингс Н., Пикок Дж. Справочник по статистическим распределениям. – М. «Статистика». 1980. – 95 с.

ГРНТИ: 37.21

**О СПОСОБЕ ТОЧЕЧНОЙ ДЕТЕРМИНАЦИИ ИНТЕРВАЛЬНОГО
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА**

В.Г.ДМИТРИЕВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Предложен способ детерминации интервальных гидрометеорологических прогнозов, под которой понимается сопоставление прогностическому диапазону точечной оценки значения гидрометеорологической величины, отнесенной к определенным пространственно-временным условиям. Такая задача возникает каждый раз при необходимости применения функций влияния, аргументами которых выступают гидрометеорологические параметры. Та же задача возникает при оценке моды условного распределения погрешностей конкретного интервального прогноза. Предложенный способ основан на методе оптимальной интерполяции и обобщает известные ранее способы. Дополнительно приведен способ уточнения детерминации в случае регулярно составляемых прогнозов. Теоретические выкладки иллюстрированы численными расчетами на основе фактических данных.

Введение. В соответствии с принятой в настоящее время терминологией категорические гидрометеорологические прогнозы формулируются в виде интервальной оценки возможного диапазона изменения прогнозируемых значений величин [1, 2]. Однако методы количественного учета влияния природных факторов на эффективность тех или иных мероприятий, основанные на использовании функций влияния, требуют, как правило, точечной оценки зна-

чений прогнозируемых величин в виде [3]. Например, при расчете потребных запасов какого-либо ресурса как функции $F(\dots, f, \dots, t_0)$, в состав аргументов которой входят параметры среды и время, требуется оценка среднего (максимального, минимального и т.д.) значения гидрометеорологического параметра f в пункте A (пунктах B, C, \dots) в момент времени t_0 при наличии полусуточного (суточного, трехсуточного и т.п.) прогноза $[a, b]$ по территории Q . Следовательно, необходимо иметь возможность оценки значения $f(t_0)$ на основании прогноза $f(t_0) \in [a, b]$ с учетом указанных пространственных ограничений. Далее, методы оптимизации экономических решений, как правило, оперируют с вероятностными распределениями фазовых прогнозов, при этом а priori не предполагается совпадения фаз с прогнозируемыми диапазонами [4, 5], что влечет необходимость специального пересчета категорического прогноза в вероятностную форму. Способ пересчета, предложенный в работе [6], также требует точечной детерминации интервальных прогнозов для определения моды плотности погрешностей прогнозов. Здесь и далее под детерминацией понимается сопоставление прогностическому диапазону точечной оценки значения гидрометеорологической величины, отнесенной к определенным пространственно-временным условиям.

Задача однозначной детерминации интервальных прогнозов впервые была поставлена, по-видимому, в работе [7]. В этой работе, а также в [8], были предложены частные решения отображения прогнозируемого интервала на точечное множество прогнозируемых значений. В настоящей работе предлагается общее решение задачи, основанное на использовании метода интерполяции случайных процессов [9].

Разумеется, простейшим способом могло бы быть использование в качестве однозначного представления интервального прогноза середины прогностического интервала (метод «середины отрезка»), однако в этом случае могут возникнуть дополнительные погрешности, особенно для прогнозов крайних диапазонов (экстремальных условий), для которых характерна тенденция завышения (занижения) прогнозируемых значений. Более подробно эта проблема рассмотрена в работе [8]. Простое среднее целесообразно применять в случаях практического отсутствия статистически значимых выборок.

Постановка задачи. Введем следующие обозначения. Пусть $[a_i, b_i]$ – i -ый прогнозируемый интервал возможных значений гидрометеорологической величины f в некоторой совокупности прогнозов, f_i – наблюдаемое фактическое значение величины f при прогнозе $[a_i, b_i]$, $i = 1, 2, \dots$. Следует сразу оговориться, что процедура отображения прогнозируемого интервала на точечное множество прогнозируемых значений предполагает либо локализацию пространственно-временного распределения прогнозируемой величины (т.е. f_i – это значение величины f в конкретный момент времени в конкретной пространственной точке, отвечающее условиям срока и места действия прогноза), либо рассмотрения какого-либо обобщения значений прогнозируемого параметра (например, осреднения значения за срок прогноза и/или

по территории, на которую распространяется действие прогноза). Также предполагается, что прогноз выполняется некоторым регулярным образом, так что имеется достаточно представительный ряд значений $[a_i, b_i]$ и f_i . Дополнительно будем считать, хотя в общем случае это и не требуется, что ряды прогностических и фактических значений сформированы с учетом условия климатической однородности гидрометеорологической обстановки, т.е. отнесены, например, к однотипным синоптическим ситуациям, или распределены по сезонам и т.п. Как правило, этим условиям отвечает обычная практика функционирования стационарных прогностических центров.

С учетом приведенных ограничений можно в качестве модели считать, что в нашем распоряжении имеется три случайных величины: a , b – концы прогностических интервалов и f – фактическое значение прогнозируемой величины, отнесенное к прогнозу. Будем искать однозначную детерминацию прогноза $[a, b]$ в виде величины y такой, что

$$y = \alpha a + \beta b, \quad (1)$$

где α и β – коэффициенты однозначной детерминации интервального прогноза.

Для определения коэффициентов детерминации естественно потребовать минимизацию математического ожидания квадрата разности величин y и f . Иначе говоря, искомые коэффициенты α_0 и β_0 должны удовлетворять соотношению

$$\{\alpha_0, \beta_0\} = \arg \min_{\{\alpha, \beta\}} M(y - f)^2, \quad (2)$$

где символом M (здесь и далее) обозначен оператор осреднения.

Общее решение. Не умаляя общности, можно считать, что $Ma = 0, Mb = 0, Mf = 0$. Тогда, в соответствии с работой [9], нетрудно показать, что

$$\alpha_0 = \frac{R_{af}\sigma_b^2 - R_{bf}R_{ab}}{\sigma_a^2\sigma_b^2 - R_{ab}^2}, \quad \beta_0 = \frac{R_{bf}\sigma_a^2 - R_{af}R_{ab}}{\sigma_a^2\sigma_b^2 - R_{ab}^2}. \quad (3)$$

Здесь R_{vw} – коэффициент корреляции величин v и w , σ_w^2 – дисперсия w .

Рассмотрим два частных случая. Предположим сначала, что прогностический интервал $[a, b]$ фиксирован. Другими словами, выборка наблюдений $\{f_i\}_{i=1,2,\dots}$ относится к одному и тому же тексту прогнозу. Тогда величины a и b можно считать неслучайными, и выражение для величины (1) при условии (2) примет вид

$$y = Mf. \quad (4)$$

Этот случай соответствует способу однозначной детерминации интервальных прогностических оценок, предложенному в работе [7].

Следует заметить, что ситуации с представительным набором наблюдений, соответствующих одному и тому же тексту прогноза (в нашем случае одному и тому же прогнозируемому интервалу), могут встречаться не часто. Более того, подлежащий детерминации текст прогноза может вообще не

иметь аналогов в прошлом. Эти обстоятельства существенно ограничивают область применения метода [7].

Теперь предположим, что длина интервала $b - a = const$. Этот случай отвечает требованиям составления гидрометеорологических прогнозов (см., например, [1, 2]), согласно которым длина прогностический градации фиксирована. Тогда выражение (1) при условии (2) приобретает вид регрессионного соотношения

$$y = \frac{R_{af}}{\sigma_a^2} a, \quad (5)$$

которое в обобщенном виде приводится в работе [10].

Таким образом, решение задачи (1), (2) в случае ограниченного количества различных текстов прогноза с большим числом повторения отдельных прогностических интервалов дается выражением (4), в тех случаях, когда тексты не факторизируются в представительные группы, но длина прогностического интервала постоянна, детерминация выполняется на основе зависимости (5), а в общем случае произвольных прогностических диапазонов и неповторяемости прогнозов – выражением (3).

Пути уточнения однозначной детерминации. Регулярность составления прогнозов в прогностическом центре предоставляет возможность корректировки получаемых на основе формул (3)–(5) точечных детерминаций интервальных прогнозов на основе экстраполяции будущих невязок [11]. Действительно, пусть $\{y_l\}_{l=1,2,\dots,k}$ – последовательные значения прогноза, полученные в моменты времени t_1, t_2, \dots, t_k , и пусть $\{f_l\}_{l=1,2,\dots,k}$ – соответствующие наблюдаемые значения прогнозируемой величины. Располагая последовательностью невязок

$$\delta_i = y_i - f_i, \quad i = 1, 2, \dots,$$

с помощью процедуры статистической экстраполяции можно оценить будущее значение невязки δ_{k+1} в момент времени t_{k+1} , а в качестве уточненного значения детерминации \tilde{y}_{k+1} в момент времени t_{k+1} принять

$$\tilde{y}_{k+1} = y_{k+1} + \tilde{\delta}_{k+1}, \quad (6)$$

где $\tilde{\delta}_{k+1}$ – оценка истинного значения δ_{k+1} .

В качестве экстраполяционной формулы для расчета значения $\delta(t + \tau)$ с упреждением τ можно в простейшем случае принять линейную зависимость от предыдущего значения $\delta(t)$. Тогда

$$\tilde{\delta}(t + \tau) = R_\delta(\tau)\delta(t),$$

где $R_\delta(\tau)$ – нормированная по дисперсии σ_δ^2 корреляционная функция процесса $\delta(t)$.

Как известно [9], средний квадрат ошибки экстраполяции σ_e^2 определяется соотношением

$$\sigma_e^2 = M[\tilde{\delta}(t + \tau) - \delta(t + \tau)]^2 = \sigma_\delta^2[1 - R_\delta^2(\tau)].$$

Следовательно, при $\tau = t_{k+1} - t_k = h$

$$M(\tilde{y}_{k+1} - f_{k+1})^2 = M(\tilde{\delta}_{k+1} - \delta_{k+1})^2 = \sigma_\delta^2[1 - R_\delta^2(h)]. \quad (7)$$

Анализ выражения (7) показывает, что в силу свойств корреляционной функции уточнение значения детерминации \tilde{y}_{k+1} не может уменьшить точность величины y_{k+1} . В практически значимых случаях (при $R_\delta(h) \neq 0$) детерминация \tilde{y}_{k+1} более точна.

В общем случае, по мере увеличения величины упреждения h , качество уточнения падает, что следует учитывать при практической реализации предложенного метода. Кроме того, статистическая экстраполяция целесообразна при соблюдении условий статистической однородности, вследствие чего уточнение следует проводить в относительно однородные по синоптическим признакам периоды.

Примеры практических расчетов. Ниже в таблицах 1, 2 приводятся результаты экспериментального сопоставления среднеквадратических отклонений от наблюдаемых значений гидрометеорологических величин детерминаций интервальных прогнозов по методу (1) и на основе середины прогностического интервала. Расчеты проводились по результатам синоптического прогноза скорости ветра и температуры воздуха для пункта вблизи г. Санкт-Петербурга и фактическим наблюдениям в синоптические сроки. Рассматривались ежедневные данные по полусуточным прогнозам с заблаговременностью 6 ч за период 1990–1992 гг. (октябрь–апрель). Отклонения вычислялись для данных, не использованных при определении коэффициентов α и β . Относительная величина повышения точности детерминации $\varepsilon = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{\varepsilon_2}$, где ε_1 и

ε_2 – среднеквадратические отклонения оптимизированного метода и метода «середины отрезка» соответственно, дана в процентах.

Одновременно в этих же таблицах приводятся коэффициенты автокорреляции невязок и значения теоретических погрешностей, согласно формуле (7), уточнения детерминации (6).

Анализ результатов экспериментальной проверки метода (1) показывает, что во всех двенадцати он оказывается точнее метода «середины интервала», что полностью соответствует теоретическим положениям. Повышение точности колеблется в пределах от нуля до 54.8%, в основном принимая значение около 30%. Эксперименты по уточнению детерминации по формуле (6), подтверждая правомерность вывода о принципиальном увеличении точности, лишь в половине случаев демонстрируют заметные результаты (при значениях коэффициента автокорреляции невязок $\geq 0,29$). По-видимому, для использования коэффициентов автокорреляции невязок по формуле (6) существенна синоптическая однородность выборочных данных.

Таблица 1

Сопоставление среднеквадратических отклонений от наблюдаемых значений гидрометеорологических величин детерминаций интервальных прогнозов по методу (1) и по методу «середины отрезка».
Прогноз температуры воздуха

Срок наблюдений, ч	ε_1	ε_2	ε , %	Коэффициент автокорреляции невязок	Теоретическая погрешность, °С	Объем контрольной выборки
Прогноз на день						
09	1,9	4,2	54,8	0,22	1,86	150
12	2,0	2,6	25,1	0,03	1,99	150
15	2,1	2,3	5,6	-0,08	2,09	149
18	2,2	2,5	10,9	0,00	2,19	148
Прогноз на ночь						
21	3,9	5,7	31,8	0,64	2,28	146
00	2,9	4,2	31,0	0,45	2,03	142
03	2,6	3,5	27,1	0,23	1,92	145
06	2,5	3,1	21,3	0,33	1,88	149

Таблица 2

Сопоставление среднеквадратических отклонений от наблюдаемых значений гидрометеорологических величин детерминаций интервальных прогнозов по методу (1) и по методу «середины отрезка».
Прогноз скорости ветра

Срок наблюдений, ч	ε_1	ε_2	ε , %	Коэффициент автокорреляции невязок	Теоретическая погрешность, м/с	Объем контрольной выборки
Прогноз на день						
09	3,2	4,0	19,3	0,16	3,14	121
12	3,1	4,2	27,4	0,02	3,03	122
15	2,9	4,6	36,9	-0,16	2,89	132
18	3,0	4,3	30,9	0,05	2,99	128
Прогноз на ночь						
21	4,1	4,1	0,0	0,34	3,60	125
00	2,9	3,7	20,3	0,11	2,88	116
03	2,6	3,8	30,1	0,34	2,46	115
06	2,8	4,1	31,4	0,29	2,68	119

Заключение. Предложенный метод однозначной детерминации интервальных прогнозов значений гидрометеорологических величин, применимый практически для всех возможных вариантов состояний массивов прогностических текстов, позволяет замкнуть проблему определения параметров плотности погрешностей прогнозов непрерывных величин, предоставляя возможность определения моды распределения [12] в тех случаях, когда она явно не задана. Таким образом, создаются обоснованные предпосылки для использования способов вероятностной интерпретации категорических прогнозов, в частности, способа [6]. Кроме того, решается проблема применения количественных методов учета гидрометеорологических факторов при принятии управленческих решений, основанных на применении функций влияния, аргументами которых, в частности, выступают прогнозируемые значения гидрометеорологических параметров.

Предложенный метод, который можно интерпретировать и как метод уточнения категорического прогноза, легко реализуем в любом регулярно функционирующем прогностическом центре, однако требует систематизации и архивации не только наблюдаемых значений гидрометеорологических величин, но и прогностических текстов. Заметим, что формирование прогностических архивов нельзя считать новой задачей. Так, например, Национальная метеорологическая служба США выполняет архивацию прогностических данных с конца 80-х годов, однако эти данные собираются, в основном, для выполнения научных исследований в области верификации прогностических методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наставление по службе прогнозов. Раздел 2. Части III, IV, V. – М.: Гидрометеиздат, 1981. – 56 с.
2. Инструкция по терминологии и оценки оправдываемости метеорологической обстановки и предупреждений об опасных и особо опасных метеорологических явлениях для Военно-Морского Флота. – Б.м.: ГУНиО МО, 1981. – 40 с.
3. Беляев Б.Н. Прикладные океанологические исследования. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 144 с.
4. Жуковский Е.Е. Метеорологическая информация и экономические решения. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 304 с.
5. Покровский Ю.В. Гидрометеорологическое обеспечение ВМФ. Часть 1. Методы учета влияния гидрометеорологических условий на действия сил, применение оружия и использование технических средств. – СПб.: ВВМУ, 1997. – 153 с.
6. Дмитриев В.Г. К вопросу о возможностях представления категорических гидрометеорологических прогнозов в вероятностном виде // Навигация и гидрография. В печати.
7. Беляев Б.Н., Иванов Ю.М., Полозов В.В. Об эффективности морских гидрометеорологических прогнозов и возможности их корректуры в судовых условиях // Труды ГГО им.А.Е.Воейкова. – 1971. – Вып. 274. – С. 83–87.
8. Дмитриев В.Г. Методы однозначного представления гидрометеорологических прогнозов. Деп. рукопись, УПИМ № 1 (23), сер. А. – 1990.
9. Яглом А.М. Введение в теорию стационарных случайных функций // УМН. – 1952. – Т. 7. – № 5 (51). – С. 3–162.
10. A.H. Murphy, B. G. Brown and Y.–S. Chen. Diagnostic verification of temperature forecasts // Wea. Forecasting. – 1989. – № 4. – Pp. 485–501.
11. Дмитриев В.Г. Уточненный метод статистического комплексирования прогнозов гидрометеорологических величин // Метеорология и гидрология. – 1991. – № 1. – С. 16–20.
12. Дмитриев В.Г. Плотность распределения погрешностей прогноза непрерывных гидрометеорологических величин // Метеорология и гидрология. – 1997. – № 6. – С. 33–42.



МОРСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

ГРНТИ 78.21.43.15

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЙ В НЕВСКОЙ ГУБЕ

С.И.МАСТРЮКОВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Представлена гидродинамическая модель расчета течений и колебаний уровня в Невской губе. На основании результатов расчетов сделан вывод о необходимости совершенствования численной схемы решения системы уравнений, выявлены условия пригодности численной схемы при информационном обеспечении проектных работ в рассматриваемой акватории.¹

Информационное обеспечение ряда проектных работ на морских акваториях, связанное с оценкой гидрологических, литодинамических, экологических и ледовых условий, может быть выполнено только с применением методов численного моделирования. В основе моделирования всех этих условий лежат гидродинамические модели той или иной степени сложности.

В мореведческих организациях страны накоплен значительный опыт построения численных моделей природной среды. Применительно к рассматриваемой акватории в настоящее время наиболее продвинутой в теоретическом и практическом отношении является программная система CARDINAL, разработанная К.А.Клеванным [1]. Эта система, по существу, является автоматизированной системой проектирования моделей природной среды, которые реализуются на криволинейной сетке, что позволяет достаточно подробно учитывать морфометрические особенности того или иного бассейна. В моделирующую систему включены блоки переноса загрязнения и транспорта наносов, разработанные зарубежными специалистами.

¹ См. статью этого же автора “Моделирование циркуляции воды и переноса примеси в мелководных бассейнах”, Навигация и гидрография, 1996, №2, с.152–159. (Прим.ред.).

Анализ существующих гидродинамических моделей показывает, что они способны отражать реальную картину колебаний уровня, но их практическое использование наталкивается на трудности, связанные в первую очередь с неэффективностью обычно используемых явных конечно-разностных схем решения уравнений гидродинамики и необходимостью задания устойчивых и диссипативных граничных условий. Ранее автором была показана пригодность использования неявной конечно-разностной схемы для расчета колебаний уровня моря и течений в Невской губе и других акваториях на основе применения допущений теории мелкой воды [2].

Модель Невской губы была реализована на разнесенной сетке с шагом 1000 м, расчет выполнялся при шаге по времени 20 мин. Показано, что в современном состоянии защитные сооружения затрудняют водообмен Невской губы с открытой частью залива, но не обеспечивают защиту Санкт-Петербурга от наводнений. Уменьшение величины нагона происходит только при наводнениях с периодом менее 12 ч. Однако при выбранном шаге сетки не удалось учесть влияние водопропускных отверстий, а также наличие морского канала. Эти обстоятельства побудили выполнить моделирование на сетке с меньшим шагом.

Для расчета колебаний уровня и циркуляции воды в Невской губе использована система уравнений движения и неразрывности, которая в приближении теории мелкой воды имеет вид [3]

$$\partial U / \partial t + U(\partial U / \partial x) + V(\partial U / \partial y) - fV + g(\partial \xi / \partial x) = \tau_x / \rho H - k_2 U(U) / H ; (1)$$

$$\partial V / \partial t + U(\partial V / \partial x) + V(\partial V / \partial y) + fU + g(\partial \xi / \partial y) = \tau_y / \rho H - k_2 V(U) / H ; (2)$$

$$\partial \xi / \partial t + \partial(HU) / \partial x + \partial(HV) / \partial y = 0 , (3)$$

где оси x, y направлены соответственно на восток и север;

t – время;

U, V – осредненные по глубине горизонтальные компоненты скорости течений;

ξ – возмущение уровня свободной поверхности моря;

$H = h + \xi$ – глубина места;

h – расстояние от дна до некоторой поверхности, характеризующей средний уровень моря;

$f = 2\omega \sin \varphi$ – параметр Кориолиса;

g – ускорение свободного падения;

ρ – средняя плотность морской воды;

τ_x, τ_y – компоненты тангенциального напряжения ветра;

$|U|$ – модуль вектора осредненного по глубине течения;

k_2 – коэффициент трения о дно.

Для численного решения системы (1–3) выбраны граничные условия в виде:

- на твердой границе Γ_c (состоящей из участков суши) – условие непротекания $U_n |_{\Gamma_c} = 0$, где U_n – составляющая вектора скорости на внешнюю нормаль;

- на жидкой границе $\Gamma_{жс}$ (левая граница расчетной области) $\xi|_{\Gamma_{жс}} = F(t)$ задавался ход колебаний уровня при нагоне, а при его отсутствии – условие излучения $U_n|_{\Gamma_{жс}} = \xi(g/h)^{0.5}$, $V_n|_{\Gamma_{жс}} = 0$;
- на участках впадения рек $\Gamma_p - U_n|_{\Gamma_p} = Q/(\Delta x H)$, $U_t|_{\Gamma_p} = 0$, где Δx – шаг расчетной сетки, Q – расход речного стока.

В качестве начальных условий задавалось отсутствие движений воды. Решение задачи осуществлялось по неявной схеме интегрирования с применением метода переменных направлений (неявного метода чередующихся направлений) [4, 5]. Наличие в уравнениях (1–2) адвективных членов потребовало, в соответствии с [4], для обеспечения устойчивости вычислительного процесса введения коэффициентов при адвективных членах, которые линейно изменяются от нуля на границе расчетной области до единицы на некотором удалении от нее.

Моделирование производилось на сеточной области с шагом 150 м, что позволило удовлетворительно учесть морфометрические особенности всего рассматриваемого бассейна и комплекса защиты Санкт-Петербурга от наводнений. Поле глубин снималось с карты масштаба 1:25 000. Размер сеточной области составил 253x235 узлов. Вид расчетной области и характеристики судопропускных и водопропускных отверстий на современном этапе строительства защитных сооружений представлены на рис.1. Расход Большой Невы, Малой Невы и Большой Невки задавался равным среднесуточному. Шаг по времени был принят равным 8 мин. Отметим, что выбранный шаг более чем на порядок выше допустимого шага по времени при использовании явных численных схем интегрирования системы (1–3).

Изменение с широтой параметра Кориолиса не учитывалось. Коэффициент трения принят равным 0,0026, что соответствует обычно используемым значениям.

Ход колебаний уровня на западной (жидкой границе) аппроксимировался в виде

$$F(t) = A/2[1 - \cos(2\pi t/T)],$$

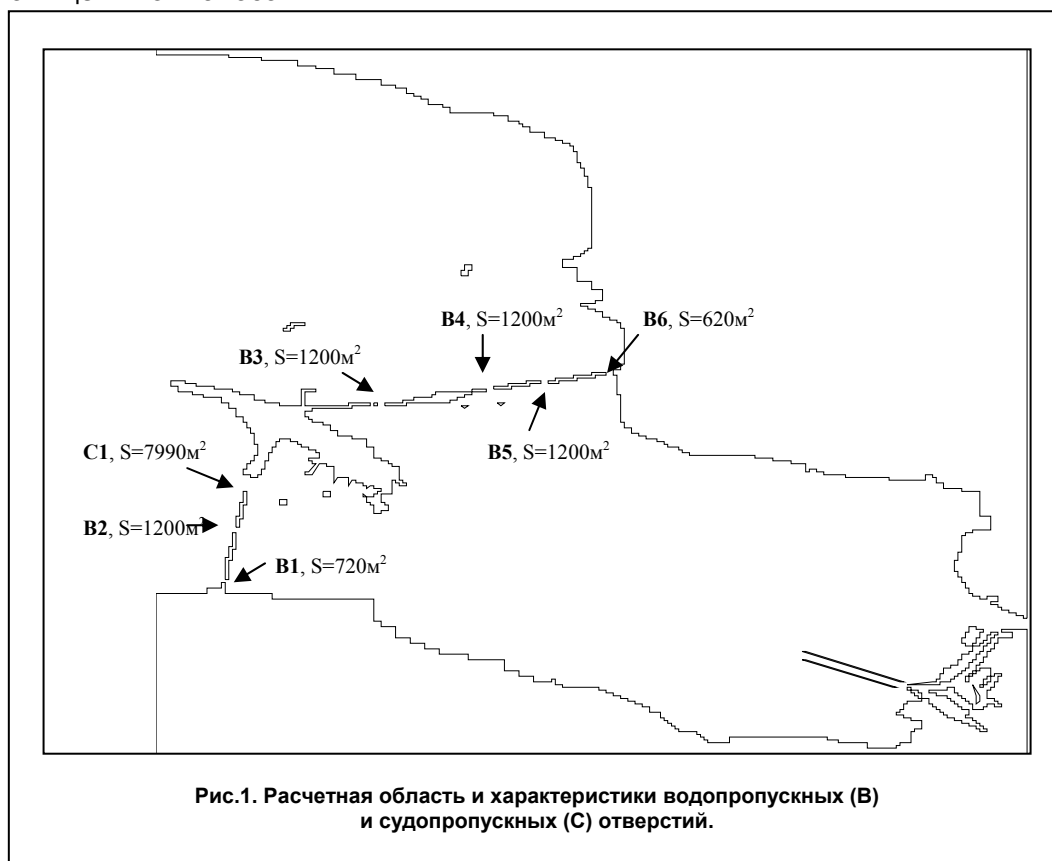
где A – амплитуда нагона;

T – период нагонной волны.

Период нагона задавался в интервале 24 – 36 ч. Расчеты проводились для различных внешних воздействий. Выявлено, что время установления ветровой циркуляции при скоростях ветра в диапазоне 5–15 м/с не превышает 30 ч.

На рис.2 и 3 представлены схемы установившейся ветровой циркуляции в районе Морского канала при западном (рис.2) и восточном (рис.3) ветре скоростью 12 м/с. (Здесь и далее на всех схемах течения со скоростью 5 см/с не показаны). Обращает на себя внимание интенсификация течений в районе Морского канала. При этом течения в обоих случаях ориентированы вдоль

канала и достигают 25 см/с. Особенно интересно то, что при восточном ветре на фоне течений, направленных на запад, перенос водных масс вдоль канала направлен в противоположную сторону. Это свидетельствует о существенной роли компенсационных течений, распространяющихся в канале под поверхностным слоем воды, что должно создавать благоприятные условия для его очищения от наносов.



На рис.4 показана схема циркуляции воды при сгоне и нагоне амплитудой 1 м в районе южных водопропускных и судопропускного отверстий. В этом случае скорости течений вблизи отверстий превышают 1 м/с, достигая в самих отверстиях 1,5 м/с. Это не может не приводить к размыванию грунта и деформации дна в этих районах.

Аналогичная картина наблюдается в районе северных водопропускных отверстий (рис.5). Полученные оценки скоростей течений в районе водопропускных отверстий соответствуют результатам наблюдений. Расчеты максимального возвышения уровня в устье Большой Невы при нагонах амплитудой до 2 м подтвердили сделанный ранее вывод о том, что в настоящем состоянии комплекс защиты Санкт-Петербурга от наводнений свои функции не выполняет.

Изначально можно было ожидать, что уменьшение шага сетки до 150 м и учет водопропускных отверстий с характерными размерами, близкими пространственному шагу сетки при тех же внешних воздействиях, приведет к изменению роли отдельных членов уравнений движения в этих районах. При

этом неучет сил трения на твердых границах для тангенциальной составляющей скорости течения может повлиять на устойчивость численного решения задачи. Представляет интерес оценить, как изменение роли отдельных членов уравнения движения скажется на устойчивости расчетной схемы в целом.



Рис.2. Ветровая циркуляция при западном ветре 12 м/с .

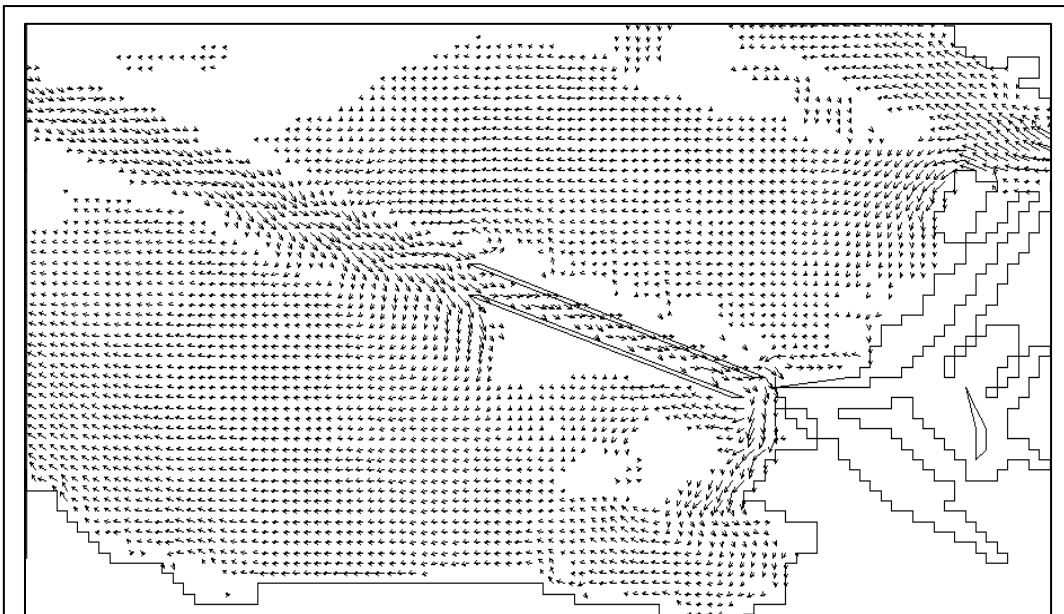
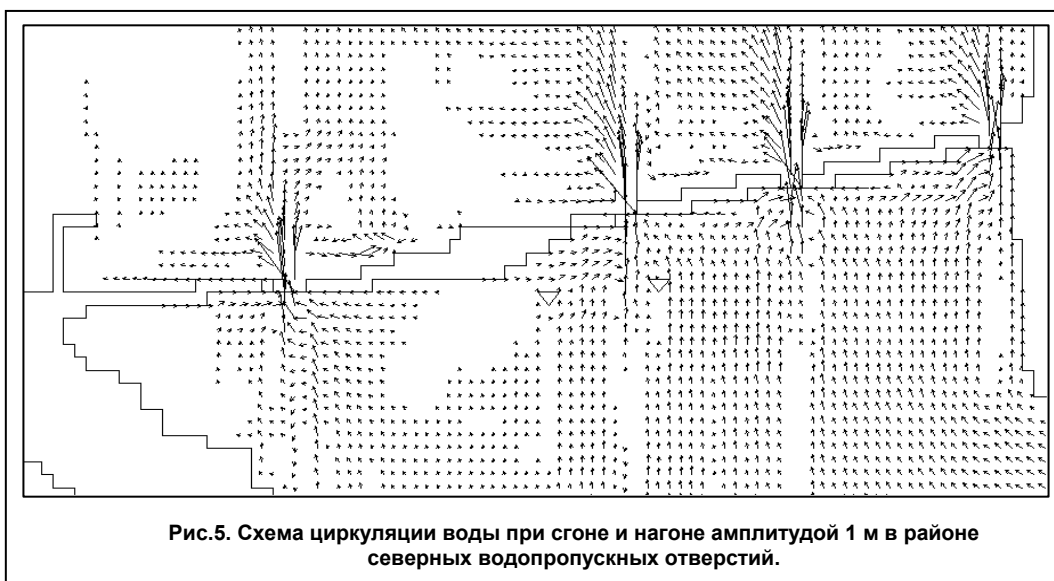
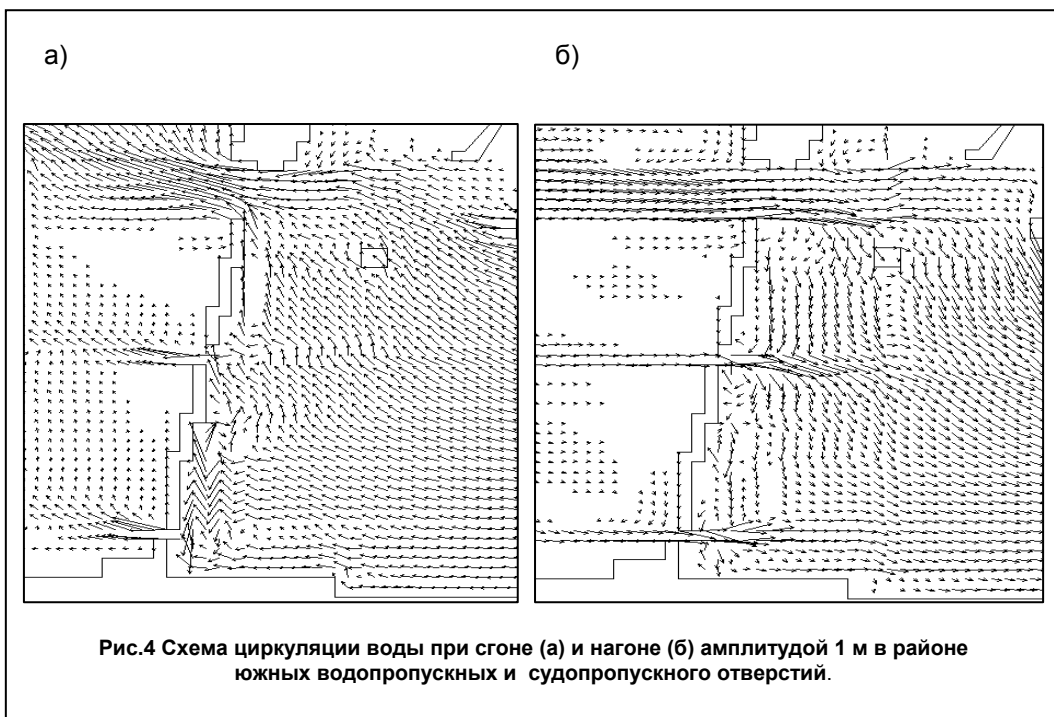


Рис.3 Ветровая циркуляция при восточном ветре 12 м/с.



Выполнение численных экспериментов позволило выявить неустойчивость расчетной схемы при заданном шаге расчетной сетки и при возмущениях уровня на жидкой границе, близких к катастрофическим (с амплитудой 2 м и более), когда скорости течений в районе водопропускных отверстий превышают несколько метров в секунду. Представляется, что основными причинами этого может быть неучет трения для тангенциальных компонент скорости течения на твердых боковых границах (особенно вблизи водопропускных отверстий), и, возможно, непригодность неявных схем для адекватного описания адвективных членов уравнения движения.

Таким образом, численные модели природной среды позволяют оценивать динамические условия и прогнозировать их изменения с высоким пространственным разрешением при изменении морфометрии бассейна, строительстве и реконструкции гидротехнических сооружений, что делает их незаменимыми при обосновании тех или иных проектных решений, связанных с освоением морских акваторий. При этом сами модели представляются достаточно развитыми для их использования в прикладных целях, однако численные схемы их реализации, как и использованная в настоящей работе, нуждаются в совершенствовании.

Отметим, что для целей мониторинга и гидрометеорологического обеспечения судоходства в Невской губе задание граничных условий жидкой и речной границах расчетной области должно осуществляться, строго говоря, с учетом атмосферных процессов над всей системой Балтийское море–Финский залив–Ладожское озеро.

В заключение автор выражает благодарность сотрудникам Гос.НИНГИ МО РФ Моревой Н.А. и Нестерчук О.А. за техническую помощь при построении модели Невской губы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клеванный К.А., Матвеев Г.В. Моделирование воздействия гидротехнических сооружений на гидрологический режим восточной части Финского залива с помощью программной системы CARDINAL. Международный научно–практический симпозиум «Финский залив–96». СПб: «Балтвод», 1996, с.51–58.
2. Матрюков С.И. Математическая модель, как ядро системы гидрологического и экологического мониторинга бассейна Невской губы // «Мониторинг» 1996, №1, с.5–9.
3. Вольцингер Н.Е. Длинные волны на мелкой воде, Л.: Гидрометеоиздат, 1985, 160 с.
4. Баклановская В.Ф., Пальцев Б.В., Чечель Н.И. О краевых задачах для системы уравнений Сен–Венана на плоскости // Журнал вычислительной математики и математической физики, 1979, т.19, №3, с.708–725.
5. Пейре Р., Тейлор Т.Д. Вычислительные методы в задачах механики жидкости. Л.: Гидрометеоиздат, 1986, 352 с.



СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

*55-летию Победы в Великой Отечественной войне
посвящается*

ГРНТИ 78.25.25.01.09

ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ СУДА ВМФ СССР, ПОГИБШИЕ В ПЕРИОД ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ 1941 – 1945 гг.

К.Б. СТРЕЛЬБИЦКИЙ
(МКИФ, Москва)

*Приводятся сводные данные по потерям
плавсредств отечественной Гидрографической
службы на всех морских военных театрах. Указаны
причины и места их гибели.*

В 2000 г. исполняется 55 лет победе советского народа в Великой Отечественной войне 1941 – 1945 гг. Эта война стала суровым испытанием для советского Военно-Морского Флота, понёсшего в ходе неё тяжёлые потери в корабельном и судовом составе. Часть из них приходится на суда и плавучие средства Гидрографической службы ВМФ.

Ниже вниманию читателей предлагается первый в своём роде полный список потерь советских гидрографических судов в 1941 – 1945 гг. Материал расположен по отдельным флотам и флотилиям в хронологическом порядке. Краткая справка по каждой погибшей единице содержит её класс и название (обозначение, номер), дату, причину и место (координаты) гибели. После каждого раздела приведены необходимые примечания.

Северный флот

Гидрографический катер (мотобот) «**ГО–6**» – в конце 06.1941 (точная дата не установлена) потоплен немецкой авиацией в Мотовском зал. Баренцева моря.

Гидрографическое судно «**Меридиан**» – 24.07.1941 потоплено немецким эскадренным миноносцем «Германн Шёманн» («Hermann Schoemann») в районе б. Восточная Лица.

Гидрографический катер (мотобот) «**ГО–12**» – 24.06.1942 потоплен не-

мецкой авиацией в районе м. Мишуков (Кольский зал. Баренцева моря).

Гидрографическое судно **«Норд»** – 26.08.1944 потоплено немецкой подводной лодкой «U 957» в Карском море в районе шхер Минина, в точке с координатами 75° 35' северной широты, 89° 50' восточной долготы.

Примечание : погибшие на Севере еще два гидрографических научно-исследовательских судна – «Персей» и «Академик Шокальский» принадлежали гражданским организациям и в состав Северного флота не входили.

Краснознамённый Балтийский флот

Плавающий маяк **«Хийумадал»** – 23.06.1941 потоплен вместе с буксировавшим его пароходом «Альф» немецким торпедным катером «S 44» в районе м. Тахуна (о. Даго / Хийумаа).

Гидрографическое судно **«Вест»** – 27.06.1941 погибло, подрывавшись на немецкой мине в районе банки Нордвейн, в точке с координатами 59° 08' северной широты, 23° 02' восточной долготы.

Гидрографическое судно **«Вал»** (тральщик № 76) – 08.08.1941 потоплено немецкой авиацией в Менто / Мынту (п-ов Сворбе / Сырве о. Эзель / Сааремаа).

Плавающий маяк **«Овизи»** – 11.08.1941 погиб вместе с буксировавшим его минным заградителем «Суруп», подрывавшись на немецких минах в Моонзундском проливе в районе Куйвасту (о. Моон / Муху).

Гидрографическое судно **«Норд»** – 21.08.1941 погибло, подрывавшись на финской мине в районе м. Юминданина, в точке с координатами 59° 42' северной широты, 25° 29' восточной долготы.

Плавающий маяк **«Восток»** – 29.08.1941 потоплен немецкой авиацией в Финском зал.

Гидрографическое судно **«Астроном»** – 29.08.1941 повреждено немецкой авиацией в Ручьях; при буксировке село на банку в Лужской губе и оставлено там в полузатопленном состоянии, но 02.06.1942 взорвано советской стороной во избежание использования противником.

Гидрографический катер типа **«КМ»** (обозначение не установлено) – 06.09.1941 потоплен немецкой авиацией в Рижском зал. в районе Кейгусте (о. Эзель / Сааремаа).

Гидрографическое судно **«Вежа»** – 20.09.1941 погибло, подрывавшись на финской мине в районе п-ва Ханко.

Гидрографическое судно «Гидрограф» – 20.09.1941 года затонуло в Морском канале Ленинграда в результате столкновения с линейным ледоколом «Ермак».

Гидрографическое судно **«Базис»** – 21.09.1941 потоплено немецкой авиацией в Ораниенбауме.

Гидрографический катер типа **«КМ»** (обозначение не установлено) – 05.10.1941 интернирован правительством Швеции в шведских территориальных водах в районе о. Готланд.

Гидрографическое судно **«Волна»** – 15.10.1941 погибло в результате навигационной аварии у о. Оденсхольм / Осмуссаар.

Гидрографическое судно **«Азимут»** – 22.11.1941 погибло, подорвавшись на финской мине в районе банки Калбодагруд, в точке с координатами 59° 56' северной широты, 25° 32' восточной долготы.

Черноморский флот

Гидрографическая баржа **№ 122** – 13.08.1941 взорвана на р. Южный Буг в Николаеве.

Гидрографические суда **«Голик»**, **«Долгота»** – 05.09.1941 затоплены своими экипажами в Днепровском лимане.

Гидрографическое судно **«Гроза»** – 08.09.1941 потоплено немецкой авиацией в Чёрном море в районе о.Первомайский.

Гидрографическое судно **«Градус»** – 30.10.1941 затоплено своим экипажем в Ак-Мечети (Крым).

Гидрографическое судно **«Гидрограф»** – 04.11.1941 при переводе из Севастополя в Новороссийск потоплено немецкой авиацией в море в точке с координатами 44° 31' северной широты, 34° 26' восточной долготы.

Гидрографическое судно **«Дельфин»** – 05.11.1941 потоплено немецкой авиацией в Керчи.

Военно-лоцманский бот **«XVII партсъезд»** – 05.11.1941 поврежден огнем немецких бронемашин в бухте Ласпи (Крым) и окончательно уничтожен там советским сторожевым катером типа «МО».

Гидрографический промерный бот **«ГО-13»** – 23.03.1942 потоплен немецкой авиацией в Туапсе.

Военно-лоцманский бот **«Чехонь»** (катер-тральщик «КАТЩ-608») – 05.04.1942 погиб на немецкой мине в Керченском прол., в точке с координатами 45° 14' северной широты, 36° 27' восточной долготы.

Гидрографический промерный бот **«ГО-12»** – 12.05.1942 потоплен немецкой артиллерией в Севастополе.

Гидрографическое судно **«Гюйс»** – 08.06.1942 потоплено немецкой авиацией в Севастополе.

Гидрографический катер **«Д-4 Дождь»** – 18.06. 1942 потоплен немецкой авиацией в Камышовой (по другим данным – Артиллерийской) бухте Севастополя.

Гидрографические суда **«Горизонт»**, **«Черноморец»**, **«Юлий Шокальский»**, плавучая база гидрографических судов (баржа) **«Тузлинская»** – 30.06.1942 затоплены своими экипажами в Казачьей бухте Севастополя.

Гидрографический катер **«ГК-32»** (он же военно-лоцманский бот № 5869) – 02.08.1942 погиб в море (точное место гибели не установлено) в результате столкновения с **неизвестным судном**.

Гидрографический бот «Вал» – 08.08.1942 взорван своим экипажем в устье р. Кубань.

Гидрографическое судно **«Красногвардеец»** – 15.08.1942 потоплено немецкой авиацией в районе м. Каменный (Темрюкский зал. Азовского моря).

Гидрографическое судно **«Дефлектор»** – 17.08.1942 уничтожено немецкой артиллерией на мели в Тузлинской промоине Керченского прол.

Гидрографическое судно **«Норд»** – 20.08.1942 потоплено немецкой авиацией в Темрюке (Азовское море).

Гидрографическое судно **«Ост»** (тральщик «Т-514», он же № 66) – 04.03.1943 погибло на немецкой мине в районе м. Дооб.

Военно-лоцманский бот **«Шквал»** – 24.08.1943 потоплен немецкой подводной лодкой «U 23» у м. Кадор (район Сухуми)

Гидрографическое судно **«Орёл»** – 28.10.1943 погибло на немецкой мине в Анапе.

Примечания : кроме того, в течение 1941 – 1942 гг. немецкой авиацией были потоплены 3 гидрографических катера (2 типа «Финн» и 1 типа «Лимузин»), однако их точные обозначения, даты и места гибели не установлены ; погибшие в бассейне Чёрного моря лоцмейстерское судно №29 «Сечь» и лоцманский бот «Сталинец» принадлежали гражданским организациям и в состав Черноморского флота не входили.

Тихоокеанский флот

Гидрографическое судно **«Чукча»** – после 25.05.1943 пропало без вести на переходе из б.Тетюхе (Приморье) в Петропавловск-Камчатский; предположительно погибло, подрывавшись на сорванной с якоря советской мине.

Примечание: в 1945 г., но уже после окончания Великой Отечественной войны, на Тихом океане были потеряны гидрографическое судно «Партизан» и два гидрографических катера – «ГОК-22» (по другим данным «ГОК-0222») и один без обозначения.

Днепровская военная флотилия

Гидрографический моторный **катер** (без обозначения) – 28.06.1944 потоплен немецкой полевой артиллерией на р. Припять в районе Скрыгалово.

Таким образом, всего в годы Великой Отечественной войны 1941 – 1945 гг. советский Военно-Морской Флот потерял 44 плавучих единицы Гидрографической службы, в том числе 26 гидрографических судов, 10 гидрографических катеров и ботов, 3 военно-лоцманских бота, 3 плавучих маяка и 2 прочих гидрографических плавсредства. Из общего числа потерянных 13 ед. (или 30 %) потоплено авиацией противника, 3 ед. (7%) – полевой артиллерией, по 2 ед. (по 5%) – подводными лодками и надводными кораблями, 8 ед. (18%) погибли на минах, 10 ед. (23%) выведены из строя (взорваны или затоплены) своими экипажами, а остальные 6 ед. (12%) потеряны по различным причинам небоевого характера.



ЗАРУБЕЖОМ

ГРНТИ 78.25.31.35.29.31.29.33

АНАЛИЗ ОПЫТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ

В.С.БОЛДЫРЕВ
(ЗАО "ЦНИИМФ"),
В.П.ЗАКОЛОДЯЖНЫЙ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Рассмотрены примеры применения за рубежом спутниковой навигационной системы GPS, которые существенно повышают эффективность вооруженных сил и способствуют экономии расходов на оборону.

Зарубежные военные теоретики считают, что главным изменением в характере войн будущего станет отказ от стратегии ядерной войны, переход на ведение военных действий с использованием обычного, однако высокоточного оружия (ВТО), но при сохраняющейся угрозе применения ядерного. Непременным условием реализации таких изменений является повышение результативности функционирования средств разведки, целеуказания и наведения. И здесь космические (спутниковые) системы будут играть все более важную роль. Это подтверждается первым опытом их задействования в ходе локальных военных конфликтов 90-х годов.

Во время войны в зоне Персидского залива войска НАТО впервые широко использовали еще не вошедшую тогда в штатную эксплуатацию американскую спутниковую навигационную систему (СНС) GPS. Это позволило авиации блока круглосуточно успешно действовать независимо от погодных условий, которые в этом районе были наихудшими за последние 10 лет. Использование СНС наземными войсками для ориентирования в пустыне было настолько важным, что военнослужащие сами стали закупать приемники GPS, когда снабжающие органы не смогли их поставить в необходимом количестве. Эта технология помогла выиграть войну [1].

В ходе военных действий на Балканах США и НАТО использовали около 120 спутников различного назначения, в том числе 36 спутников связи, 35 – разведывательных, 27 – навигационных и 19 – метеорологических. Все военнослужащие в зоне боевых действий имели приемоиндикаторы СНС, позволяющие точно определять свое местонахождение в любых условиях. Впервые СНС использовалась в таких масштабах для наведения ВТО на цель независимо от погоды и времени суток. Все это с достаточным основанием позволяет считать, что на первые позиции сегодня выходят высококомобильные силы, оснащенные ВТО, интегрированным во взаимодействие с космическими системами [2].

Особо важную роль при этом играет СНС, обеспечивающая надежное построение общих, жестко связанных в единый боевой порядок воздушных, наземных и морских ударных группировок, в свою очередь включающих в себя отдельные боевые единицы – носители оружия. Как известно, американская СНС GPS была принята в штатную эксплуатацию в составе 24 ИСЗ в 1995 г. В 1993 г. российская СНС ГЛОНАСС была принята в эксплуатацию в составе 12 ИСЗ, а в 1995 г. определено ее использование в составе 24 ИСЗ. Первые приемники потребителей СНС появились более 10 лет назад. В настоящее время свыше 70 фирм выпускают приемники СНС GPS. Производится более 400 типов подобной аппаратуры, из них не менее 100 типов – военного назначения*. Уже к 1997 г. в мире насчитывалось около 150 000 приемников СНС [3].

Аппаратура потребителей СНС совершенствуется путем расширения круга решаемых задач, миниатюризации, сопряжения с другой малогабаритной аппаратурой, изменения формы представления потребляемой информации для создания дополнительных удобств пользователю. Габариты приемников таковы, что позволяют устанавливать их на любом объекте или даже носить в кармане [3]. Так, один из наименьших в мире японский микроприемник JRL 702A с вмонтированной в его корпус антенной имеет ширину 57 мм, глубину 64 мм, высоту 23 мм и массу – 65 г.

В настоящее время правительства ведущих стран пересматривают свою военную политику в связи с кардинальным изменением геополитической обстановки. Реорганизация вооруженных сил повсеместно предусматривает создание постоянных, но меньших по численности формирований, способных к быстрому наращиванию до требуемых масштабов, сокращенное военное присутствие в мирное время, сниженный до разумных пределов уровень общей боевой готовности. Важную роль при реформировании вооруженных сил должны сыграть СНС, глубокая интеграция которых в систему оборонного комплекса открывает широкие возможности всестороннего повышения эффективности подготовки войск и ведения боевых действий.

Испытания новой техники. Разработка и создание новой военной техники включает в себя ее многократные испытания. Традиционно они про-

* См. статью "Динамика разработки зарубежной навигационной аппаратуры потребителей спутниковых навигационных систем" в журнале "Навигация и гидрография", 1998, №6, с.110–114. (Прим. ред.).

водятся на испытательных полигонах. В процессе испытаний необходим жесткий текущий контроль за опытовыми объектами. Чтобы четко отслеживать пространственное положение и поведение каждого из них в процессе испытаний, на полигонах обычно устанавливают кинотеодолиты и радары автоматического сопровождения. А это приводит к необходимости:

- использования для наблюдений за каждым объектом не менее 2–3 теодолитов, которые должны располагаться достаточно близко к объектам испытаний. Положение каждого объекта определяется триангуляцией, а результат получают по завершении последующей громоздкой обработки наблюдений;
- учета уменьшения точности определения местоположения объекта радаром автоматического сопровождения с увеличением расстояния до него;
- больших затрат из-за использования многочисленных кинотеодолитов и радаров (разовые расходы на эту технику в 0,5 – 1 млн. дол. – не исключение).

До недавнего времени все это существенно удорожало создание новой техники. К настоящему времени быстрый прогресс в коммерческой доступности приемников GPS и ЭВМ позволил осуществить разработку инструментальных систем, которые обеспечивают испытания новой военной техники менее трудоемко и более эффективно.

Уже к середине 90-х годов в США была создана одна из первых таких систем получения, регистрации и отображения данных (СПРОД), основанная на использовании GPS. Собранные из имеющейся в продаже коммерческой аппаратуры, легко модифицируемая для проведения различных испытаний, она может обеспечить высокоточное, в реальном масштабе времени одно-временное определение пространственного положения, времени и места 10 наземных, морских и воздушных объектов испытаний. В ее состав входит базовая станция и несколько мобильных инструментальных комплектов (МИК), устанавливаемых на испытываемых объектах.

Каждый МИК заключен в портативный алюминиевый контейнер для защиты от электромагнитных помех и содержит приемник GPS, ультракоротковолновую радиостанцию, одноплатный компьютер, программируемое запоминающее устройство, батареи питания. Стоимость его около 20 тыс. дол.

Во время испытаний компьютер передает по УКВ данные из приемника GPS на базовую станцию, где данные каждого МИК корректируются дифпоправками, определенными контрольным приемником GPS базовой станции. Полученная информация фиксируется и отображается на двухкоординатном экране, по которому руководители испытаний контролируют нахождение носителей МИК в пределах отведенного района. Если это предусматривается программой испытаний, то она может сразу обрабатываться. Впервые СПРОД была испытана в 1994 г., когда возникла необходимость испытать установленные на дирижабле радиолокационный и электронно-оптический комплексы обнаружения целей. Необходимо было определить, сможет ли дирижабль, используя эти средства, своевременно обнаружить атакующие скоростные цели и вовремя оповестить наземные средства ПВО. Требовалось также оценить, насколько удачно предложенное размещение этих датчиков. В июле 1994 г. МИК были установлены на дирижабле и самолетах,

имитированных управляемых ракет. Испытания заняли всего две недели и прошли успешно. Точность определения местоположения объектов была не хуже 5 м.

В 1995 и 1996 гг. с помощью СПРОД были обеспечены испытания для оценки возможности определения ориентации корабля фазовым методом. В их обеспечение на корабельной мачте были установлены на квадратной раме на расстоянии в 1 м друг от друга четыре антенны приемника Magnavox GPS 4200.

Теперь СПРОД является основой используемой в США инструментальной испытательной технологии, которая дает возможность улучшить точность данных, повысить эффективность руководства и контроля за ходом испытаний, сократить их продолжительность и уменьшить стоимость. Подобные системы созданы и в Великобритании [4, 5].

Боевая подготовка. Для обучения личного состава в настоящее время широко используется компьютерная техника. Однако существенным недостатком построенных на основе ЭВМ тренажеров, особенно комнатного типа, считается фактическое отсутствие имитации динамики действий военнослужащего, т.к. на них нельзя воспроизвести характерные при стрельбе реальными боеприпасами условия: дымообразование, запахи и такие реакции обучаемого, как нервное возбуждение и страх. Утрачивается также возможность наблюдать воздействие реального боеприпаса на цель или использовать трассер для пристрелки [7].

После войны в зоне Персидского залива официальные власти США признали необходимость обеспечить подготовку резервистов во время их краткосрочных сборов наиболее эффективными методами. Поэтому в 1995 г. была разработана новая система тренажерной аппаратуры физического моделирования. Во время одного из ежегодных учений, которые продолжались, как всегда, месяц, команда испытателей установила специальные измерительные комплекты (СИК) этой системы на 66 танках и 9 БМП, а также на других машинах (бронемшины, БТР, джипы, топливозаправщики). На полную установку одного комплекта требовалось менее 1 ч.

СИК такой системы, установленный на танке для имитации встречного боя, включал: металлический шаблон, устанавливаемый на орудийный ствол, устройство для создания дымового облака во время имитации выстрела, антенну для обмена данными между участниками боя и командным пунктом (базовой станцией) системы, индикатор поражения, мигающий при "попадании", и дающий возможность всем другим участникам "боя" увидеть, что танк-противник "подбит". Внутри боевой машины устанавливался компьютер, приемник GPS (в танковом комплекте их два), быстродействующий приемопередатчик, интерфейс для подсоединения к другим электронным устройствам боевой машины и транслятор всех сообщений о характере повреждений, передаваемых по внутренней связи танка.

Характерной особенностью нового оборудования является наличие шаблона длиной 1 м с GPS антеннами на каждом его конце. Шаблон плотно прилегает к стволу танкового орудия. Две антенны используются для измерения фазы несущей сигнала GPS с целью определения направления ствола (азимута и угла возвышения) с точностью порядка 0,1 .

На протяжении всех маневров СИК отслеживает местонахождение всех боевых единиц, оборудованных рассматриваемой системой. Когда экипаж одного из танков "стреляет" из своего орудия, компьютер СИК "прочерчивает" воображаемую траекторию снаряда через все поле "боя", определяет наиболее вероятную цель (если их более, чем одна) и вычисляет – попал ли в нее снаряд.

Система связи передает команду бортовому СИК цели, чтобы он подсчитал полученные повреждения. Этот подсчет производится с учетом точности выстрела на базе статистических данных специальных таблиц о вероятности поражения. Эти таблицы, разработаны армией США. Их данные загружены в память бортового СИК и содержат характеристики оружия и защиты американской и зарубежной бронетехники, данные о живучести различной бронетехники и степенях ее поражения в зависимости от точности имитированного выстрела. Основанные на реальном боевом опыте, они учитывают вид используемого снаряда, бронезащищенность цели, расстояние между целью и стреляющим орудием. Во время описываемых учений обе стороны использовали американские танки M1A1, но с помощью этих таблиц можно имитировать любой тип боевой единицы (например, российский T-72 и др.).

Базовая станция описываемой системы играет роль командного пункта проводимых учений. Она состоит из двух рабочих блоков, построенных на основе процессора Pentium каждый, которые нужны для слежения и управления имитируемым боем, и двух персональных компьютеров. На мониторе одного рабочего блока постоянно высвечивается карта района действий, показывается в реальном масштабе времени расположение сил обеих сторон, их передвижение, действия и их результаты (все это очень напоминает видеоигру с высвечиванием маленьких значков танков на мониторе). С помощью второго рабочего блока обеспечивается настройка всей системы в целом. Встроенный контрольный приемник GPS этого блока используется для вычисления дифференциальных поправок GPS и передачи их всем участникам маневров. Координаты перемещения каждой боевой единицы и все их радиопереговоры запоминаются для последующего анализа.

Два раза в секунду на базовую станцию поступают данные о местоположении и скорости, а также направлении орудия каждой из участвующей в маневрах боевой единицы. Эти данные поступают также на бортовые комплекты СИК всех участников маневров. Когда СИК обнаруживает, что произведен выстрел, то в составе следующего сигнала со стреляющего объекта передается информация о цели и типе выстреленного по ней снаряда. СИК также дает соответствующую команду устройству, которое запускает дымшашку или мигающий луч света, а также обеспечивает имитацию звука выстрела по внутренней связи.

Информация экипажу выдается в виде текстовых сообщений на бортовой дисплей. В них содержатся данные о выбранном типе снаряда, количестве оставшегося боезапаса, степени полученных повреждений и поступающих командах извне (типа: "Остановитесь") или из бортового компьютера. Например, если танк "красных" выстрелил первым, дисплей в танке "синих" выдаст сообщение о промахе (типа "не попал") или о степени поражения в результате попадания ("потеря подвижности в результате попадания" или "полное повреждение"), исходя из статистических таблиц. Когда страсти на поле "боя"

стихают, экипажи боевых машин прибывают на базовую станцию в специально оборудованный трейлер для просмотра хода "боя", обсуждения его результатов, получения оценок и рекомендаций. В трейлере есть дисплей с 37-дюймовым экраном. Во время просмотров по просьбе участников можно изменять скорость просмотра, применять стоп-кадр и т.п.

Рассматриваемая система прошла испытания в 1995 г. в течение месяца. В их ходе выяснилось:

- в отличие от прежней лазерной системы новой системе не мешают туман, пыль, дым и т.п.;
- возможная дальность "стрельбы" танков увеличилась до 4000 м, что значительно больше, чем при использовании маломощного (для безопасности глаз участников) лазера;
- отсутствует необходимость калибровки (в лазерной системе она занимает 4ч);
- обеспечивается безопасность испытаний (в то время, как настоящие снаряды могли бы залететь за пределы полигона);
- система может использоваться и при фактической стрельбе – для контроля за направлением стволов орудий и передвижения танков в ограниченных пределах полигона;
- в ходе "боя" руководитель может увидеть ошибки экипажей (например, если атакующий танк остановился по какой-либо причине и может быть "расстрелян" артиллерией противника, то руководитель может дать команду артиллерии открыть "огонь на поражение" этого танка и т.д.).

В июне 1996 г. были проведены интенсивные 4-х недельные учения, которые подтвердили высокие качества новой тренажерной системы, позволяющие в короткие сроки достигать наибольшего эффекта в боевой подготовке [8]. Нет необходимости доказывать, что подобные системы могут быть использованы и в других родах войск.

Обеспечение боевых действий. Сокращение численности ВС приводит к необходимости повышения возможностей гибкого оперативного наращивания сил в заданном районе. Как следствие, возникает потребность в надлежащем обеспечении, во-первых, по возможности безопасного развертывания резко увеличившегося по численности военного контингента и, во-вторых, его надлежащем снабжении расходными материалами. Кроме военных нужд при чрезвычайных обстоятельствах или нарушении транспортных коммуникаций могут возникать потребности в оперативном обеспечении мирного населения продовольствием, медикаментами и другими грузами в гуманитарных целях. Рассмотрим последовательно возможности GPS для решения обеих этих задач.

Снабжение ВС расходными материалами. Одним из важных методов быстрой доставки снаряжения и запасов является сброс их с воздуха.

Ранее для доставки грузов использовались неуправляемые (круглые) парашюты, которые обладали малой способностью изменять направление полета после сбрасывания, что обуславливало низкую точность приземления при сбросе с большой высоты. Успешность доставки можно было бы повы-

силь, если бы было известно пространственное распределение скорости ветра. Но даже при этом условии самолету пришлось бы сбрасывать груз в строго определенной точке, что далеко не всегда возможно.

Для обеспечения безопасности транспортного самолета приходилось подходить к заданному району на малой высоте, снижаясь иногда до верхушек деревьев, и затем резко набирать ее, чтобы после сброса парашютная система успела стабилизироваться для обеспечения сохранности груза. Однако такой "подскок" давал противнику возможность определить место приземления груза, а его разброс в этом случае был достаточно велик (например, при сбросе таким образом с одного носителя 100 парашютов их грузы могут оказаться на площади радиусом более 5 км). При сбрасывании грузов группой самолетов, т.к. они должны быть удалены друг от друга, зона приземления еще более увеличивается. Ночью возникали дополнительные ошибки.

Продолжая совершенствовать возможности сброса грузов с воздуха, ВС США увеличивают грузоподъемность неуправляемых парашютных систем и разрабатывают серию управляемых парашютных систем, в том числе и планирующие парашютные, обычно управляемые человеком, платформы (парафойлы) с большой загрузкой, которые можно сбрасывать с больших высот на большом расстоянии от точки приземления. Основное их преимущество – возможность управления горизонтальным движением (скольжением). Парафойлы обычно имеют два управляющих троса, которые подсоединены к внешним сторонам ("крыльям") прямоугольного полотнища парашюта. Поворот производится путем подтаскивания тросом края крыла, что создает дополнительную его тягу в эту сторону. Парафойлы можно также тормозить путем подтягивания обоих управляющих тросов. При правильном управлении такой маневр позволяет приземлить груз на пониженных вертикальных и горизонтальных скоростях.

В середине 90-х годов в американской печати появились сообщения о разработке системы APADS (Advanced Precision Airborne Delivery System) – доставки грузов с воздуха с повышенной точностью. Она состоит из парафойла, оснащенного модулем управления и навигации, построенного на базе приемника GPS, ИНС и вычислительного устройства. В последнее перед выбросом вводятся координаты заданной точки приземления и после сброса скольжение парафойла автоматически направляется в эту точку. Доставку груза таким способом можно производить ночью, в тумане, в тяжелых погодных условиях.

APADS позволяет сбрасывать грузы с высоты до 7500 м над уровнем моря и со сдвигом до 20 км от места приземления, что уменьшает уязвимость транспортного самолета. Испытания показали, что достижима точность приземления с отклонением не более 100 м от намеченной точки [9].

Обеспечение развертывания ВС (противоминная безопасность плавания). Печальный опыт последнего времени показывает, что военноморскому флоту в ходе локальных войн и после них приходится решать задачу обеспечения противоминной безопасности плавания. Обеспечение противоминных действий (ПМД) всегда было одной из наиболее трудных задач навигационно-гидрографического обеспечения. Усовершенствование неконтактных мин и их противотральных свойств привело к созданию вертолетов

ПМО, а также тральщиков-искателей мин (ТЩИМ), вооруженных не только тралами, но и гидроакустическими станциями миноискания (ГАСМ), противоминными подводными аппаратами (ПМПА). Место искателя мин при тралении определяется с погрешностью не более 10–20 м. Обнаруженные "новые" предметы идентифицируются и, если нужно, уничтожаются. Последнее возлагается либо на боевых пловцов-минеров, либо на ПМПА.

Впервые в боевых условиях ТЩИМ были применены в ходе войны в зоне Персидского залива (1990–1991 гг.). Навигационно-гидрографическое обеспечение ПМД осуществлялось с предпочтительным использованием СНС GPS в дифференциальном режиме, что позволяло определять место с точностью 5–10 м. Это позволило боевым пловцам, используя в свою очередь миниатюрные приемники GPS, точно выходить на обнаруженные с помощью ГАСМ мины, что существенно ускорило и упростило их ликвидацию. В результате использования подобной технологии 21 ТЩ и 9 вертолетов ПМО за 3 мес. смогли обезвредить все 1200 мин, выставленных Ираком в Персидском заливе. Командующий ВМС США на Ближнем Востоке отметил, что даже при недостаточности противоминных сил, благодаря использованию СНС в протраленных зонах не осталось ни пропусков, ни разрывов, ни пятен.

Применение СНС вносит существенные изменения и в тактику ПМД. Так, при разведывательном тралении в этом случае, установив с высокой точностью кромку опасного района, можно не смещать "про запас" его границу относительно фактического места обнаруженной мины (или смещать на небольшую величину). Это в свою очередь позволяет не увеличивать "для гарантии" площадь объявляемого миноопасного района, что оставляет больше свободы для мореплавания и не влечет за собой бесполезной траты сил и времени при организации последующего траления или при "охоте за минами". Кроме того можно обойтись более узкими фарватерами, а следовательно, меньшими силами контролировать их состояние. И здесь использование СНС дает существенную экономию времени, сил и средств [10].

Топогеодезическая подготовка. Современный опыт военных конфликтов показал, что эффективность применения систем управления и оружия находится в прямой зависимости от состояния их информационного обеспечения и, в частности, от полноты и достоверности используемой геопространственной информации. Эта информация представляет собой совокупность сведений о характеристиках местности (рельеф, контур и т.д.) и объектах на ней, которая достаточна для решения задач, стоящих перед войсками. Основой геопространственной информации, придающей ей системную форму, является координатно-временное обеспечение в единой для всей Земли высокоточной пространственной системе координат. Обеспечивая многие практические потребности экономики и обороны, существующие наземные геодезические методы по точности, оперативности, экономической эффективности не соответствуют тем не менее некоторым крайне важным современным требованиям. Удовлетворить их оказывается возможным только с использованием спутниковых систем.

Основные преимущества спутниковой технологии координатных определений перед традиционной:

- не требуется взаимная видимость между смежными геодезическими пунктами и, следовательно, отсутствует необходимость строительства дорогостоящих геодезических знаков (сигналов), на создание которых затрачивалось до 80% расходов при развертывании опорных геодезических сетей;
- определение координат возможно практически при любой погоде;
- высокая точность и оперативность;
- автоматизация полевых и камеральных работ [11].

Геодезическое использование системы GPS приняло массовый характер практически во всем мире. Точность современных геодезических спутниковых определений взаимных пространственных положений пунктов составляет несколько миллиметров за несколько десятков минут статических наблюдений, первые единицы сантиметров в кинематике при условии предварительной статической привязки, дециметры и первые метры при отсутствии такой привязки. Это позволяет использовать систему GPS при решении широкого круга научных и прикладных геодезических задач.

Равная точность "с опорой" на общеземную систему координат позволила положить координатно-временную информацию СНС GPS в основу создаваемых в США оперативно-тактических командно-управляющих систем во всех родах вооруженных сил, что способствует эффективному их взаимодействию, не требуя предварительного обустройства топогеодезических структур в нужном районе земного шара.

Создается система глобальной геопространственной информации (СГГИ). Пользователь ее сможет связываться с единым источником данных. Полевой компьютер может отображать существующие цифровые карты и наносить на них символы нужных элементов нагрузки [12, 13]. Хранилища цифровой информации планируется связать с единой системой управления воинскими контингентами на ТВД вплоть до роты. (В базах данных СГГИ информация должна постоянно поддерживаться на современном уровне). В обеспечение этих работ в 1996 г. только американская фирма Trimble выпустила 7 новых геодезических и картографических моделей аппаратуры потребителей СНС GPS, в том числе для сбора картографической информации применительно к СГГИ. По заявлению фирмы, эта аппаратура обеспечивает точность 5 см и способна пересылать информацию непосредственно в СГГИ.

В целом, использование спутниковой технологии в топогеодезическом обеспечении повседневной и боевой деятельности ВС имеет революционное значение в смысле точности, всепогодности, оперативности, удобств для потребителя и при этом обходится значительно дешевле, чем применение традиционных методов [14].

Заключение. Анализ зарубежного опыта показывает, что:

- к настоящему времени на базе глобальных СНС созданы технические средства и технологии, которые революционным образом меняют методы координатно-временного обеспечения как для производственно-научных, так и для военных целей. Особое значение имеет экономия времени и средств в результате применения этих методов;

- развитие СНС естественно привело к расширению сферы их применения и к появлению новых способов решения самых различных военных задач: обеспечения войск геопространственной информацией, снабжения войск, управления высокоточным оружием, испытания вооружения и военной техники, боевой подготовки и др.;
- преимущества спутниковых методов координатно-временного обеспечения столь велики, что в настоящее время для решения многих задач им нет альтернативы.

Называют разные цифры, характеризующие экономию сил и средств, получаемую за счет использования спутниковых технологий в военном деле. О количественных показателях можно спорить, но неоспоримо, что эффективность действий ВС в результате использования СНС существенно возрастает, а затраты на них уменьшаются. И хотя априорная количественная оценка экономии средств представляет собой сложную задачу, но экономия эта очевидна. Нет необходимости доказывать, насколько важно учитывать это в ходе реформирования ВС России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морской сборник, 1995, №3, с.76–80.
2. Сафронов И. Успех войны на Балканах определялся в космосе // Коммерсант, 87(1731), 25 мая 1999 г.
3. Морской флот, 1998, №5–6, с.9–12.
4. GPS World, 1997, №10, p.47.
5. GPS World, 1997, №6, p.29–38.
6. GPS World, 1997, №8, p.58.
7. Военная мысль, 1997, №1, с.76–80.
8. GPS World, 1997, №11, p.22–31.
9. Proceedings of the Institute of Navigation 52-nd Annual Meeting, Cambridge, MA, June 1996.
10. Морской сборник, 1994, №8, с.74–78.
11. Геодезия и картография, 1998, №3, с.1–5.
12. Заруб.воен. обозрение, 1998, №6, с.9–13.
13. GPS World, 1997, №9, p.76.
14. Геодезия и картография, 1999, №8, с.1–5.



КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ, СЕМИНАРЫ

ГРНТИ 78.21.41.79

4-я РОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ “НО–2001”

6–9 июня 2001 г. в Государственном научно-исследовательском навигационно-гидрографическом институте Министерства обороны РФ (Гос.НИНГИ МО РФ) состоится очередная Российская научно-техническая конференция “Современное состояние, проблемы навигации и гидрографии” (“НО–2001”). Ее организаторы – Гос.НИНГИ МО РФ совместно с Научно-техническим обществом судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, Институтом прикладной механики РАН, Российским общественным институтом навигации, Российским гидрографическим обществом и Межгосударственным советом «Радионавигация». На конференцию приглашаются представители органов власти и управления г. Санкт-Петербурга и Ленинградской области, представители заинтересованных министерств и ведомств, руководители промышленных предприятий, проектных и научно-исследовательских институтов, ученые и специалисты, работающие в области тематики конференции.

Планируется проведение пленарного заседания и работа 8 тематических секций:

1. Методы, точность и эффективность навигации.
2. Автономные навигационные системы и комплексы.
3. Спутниковые и наземные радионавигационные системы.
4. Средства навигационного оборудования.
5. Средства, методы и технологии гидрографии и морской картографии.
6. Средства и методы морской геофизики.
7. Океанографические исследования.
8. Гидрометеорологическое обеспечение морской и воздушной навигации.

Доклады участников конференции предполагается опубликовать до ее начала в виде отдельного сборника. Весь период работы конференции будет функционировать выставка технических средств навигации и гидрографии.

Регистрационный взнос для каждого участника конференции – 40 у.е. (при условии перечисления денег до 20.03.2001 г.) и 50 у.е. – позже. Стоимость 1 м² выставочной площади – 10 у.е.

Культурная программа организуется за отдельную плату и по предварительным заявкам в день регистрации. Оргкомитет обеспечит размещение участников конференции «НО–2001» в гостиницах Санкт-Петербурга по предварительным заявкам.

Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, Кожевенная линия, д.41. Оргкомитет конференции “НО-2001”.

Контактные телефоны: +(812)323-9707, 323-9776.

Факс+7 (812) 322-3319.

E-mail: gningi @ navy.ru.

ВСЕРОССИЙСКИЙ СЪЕЗД ГЕОЛОГОВ

В период 2–6 октября 2000 г. в Санкт-Петербурге в рамках Всероссийского съезда геологов, посвященного 300-летию Горно-геологической службы России, намечено проведение Международной Геофизической конференции, а также Международной выставки “Геологоразведка–2000” и Научно-практической геологической конференции.

Ожидается, что в работе съезда и проводимых по его программе мероприятий примут участие свыше 2000 делегатов и приглашенных специалистов из всех регионов России, а также из-за рубежа. Будут заслушаны проблемные доклады по истории, современному состоянию, перспективам и основным направлениям развития минерально-сырьевой базы и Геологической службы России.

На международной Геофизической конференции предусматривается:

- обсудить актуальные геолого-геофизические проблемы научного, научно-организационного и производственного характера;
- оценить роль геофизических методов в повышении ресурсного потенциала России, в том числе за счет расширения объемов изучения и использования ресурсов шельфа и Мирового океана, путем усиления геолого-геофизических исследований, совершенствования геологоразведочного процесса на основе разработки и внедрения новых прогрессивных технологий поисков, разведки, добычи и переработки полезных ископаемых, реализации принципов рационального природопользования;
- рассмотреть проблемы подготовки кадров с учетом перспектив развития геофизических исследований в XXI столетии.

Предусматривается проведение пленарных заседаний, а также заседаний по секциям с устными и стендовыми докладами по следующим направлениям:

- геофизические методы при региональных и глубинных исследованиях земных недр и геологосъемочных работах;
- полевые геофизические исследования на нефть и газ (сейсморазведка 2D, 3D, 4D, сбор и визуализация данных, комплексные геолого-геофизические технологии, электроразведка, гравимагнитные методы);

- геофизические исследования на твердые полезные ископаемые (комплексные геолого-геофизические и геохимические технологии при поиске и разведке рудных и других полезных ископаемых, гравиразведка, магниторазведка, электроразведка, сейсморазведка, петрофизика);
- морские геофизические работы (сейсмические 2D и 3D на морских акваториях и в переходных зонах, комплексные геолого-геофизические технологии, геоэкологический мониторинг);
- геофизические и петрофизические методы исследования нефтегазовых скважин (исследования в открытом стволе скважин, работы по контролю за разработкой месторождений, работы по вскрытию и испытанию нефтегазоносных объектов на стадии геологоразведки);
- геолого-геофизическое моделирование нефтегазовых месторождений (комплексное использование данных 3D сейсморазведки, ГИС, геологических и промысловых данных);
- новые компьютерные технологии по комплексной обработке и интерпретации геофизических данных, банки геофизических данных и баз знаний;
- инженерная геофизика, геоэкология, геофизическое обеспечение гидрогеологических работ.

Предполагается заслушать более 90 устных докладов. Количество стендовых докладов не ограничено.

На Международной выставке “Геологоразведка–2000” будут представлены:

- технологии, аппаратура и результаты геофизических методов поисков и разведки нефтегазовых, рудных и других месторождений полезных ископаемых;
- результаты морских геологоразведочных работ, аэрокосмических исследований; геологические карты и литература;
- технологии и оборудование для исследования минерального сырья; горно-обогатительное оборудование;
- оборудование и технологии геологоразведочного бурения скважин на твердые полезные ископаемые, нефть, газ и воду;
- инвестиционные проекты освоения месторождений полезных ископаемых, предлагаемых для совместного использования;
- камнесамоцветное сырье и изделия из него; оборудование для обработки камня;
- полевое снаряжение и транспорт.

На научно-практической Геологической конференции “Геологическая служба и минерально-сырьевая база России на пороге XXI века” планируется обсудить проблемы геологической службы и минерально-сырьевой базы России по направлениям:

- региональная геология, глубинное строение и металлогения;
- минерально-сырьевая база России;
- Мировой океан, Арктика и Антарктика – основные проблемы геоло-

гии и минерагении;

- состояние и перспективы развития сырьевой базы углеводородов России;
- геофизическое и геохимическое обеспечение региональных геологических и прогнозно-минерагенических исследований;
- дистанционные методы в региональных геологических и прогнозно-минерагенических исследованиях, мониторинге и охране окружающей среды;
- компьютерные технологии в геологическом картографировании, прогнозе и поисках месторождений полезных ископаемых;
- проблемы техногенного воздействия на окружающую среду, экология урбанизированных территорий и агломераций;
- техника и технологии геологоразведочного бурения.

Предполагается заслушать более 90 устных докладов.

Все эти мероприятия пройдут в СКК “Петербургский”, ВСЕГЕИ им.А.П.Карпинского и других научных и учебных организациях города на Неве.

37-й МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОНГРЕСС ПОДВОДНИКОВ

С 30 мая по 4 июня 2000 г. в Санкт-Петербурге состоялся 37-й Конгресс Международной ассоциации подводников, в котором приняли участие более 400 моряков из различных городов России, а также из 15 стран ближнего и дальнего зарубежья. В их числе около 150 ветеранов-подводников и членов их семей из США, Великобритании, Франции, Италии, Польши, Германии, Швеции, Норвегии, Индии, Чили и Израиля. Среди зарубежных гостей немало ветеранов Второй Мировой войны, включая наших бывших союзников и противников. Ожидалось прибытие военно-морских атташе ряда стран, проявивших подчеркнутое внимание к идее проведения Конгресса в России. Почетным председателем Конгресса был Герой Советского Союза Адмирал Флота Г.М.Егоров.

В соответствии с распоряжением губернатора Санкт-Петербурга № 27-р от 17.01.2000 г. подготовкой и проведением Конгресса занимался городской Организационный комитет под председательством вице-губернатора, начальника управления административных органов, адмирала В.В.Гришанова. Его заместителями были назначены командир ленинградской военно-морской базы вице-адмирал А.И.Корнилов и вице-губернатор, председатель комитета по внешним связям Г.И.Ткачев.

В рамках проведения Конгресса работал семинар “Среда обитания – подводная лодка: технические и гуманитарные аспекты профессиональной деятельности подводников” (SEMETECH–2000). Из доложенных на нем материалов наиболее оживленную дискуссию вызвали доклады “Проблемы аварийности атомных подводных лодок СССР и РФ”, “Опыт использования госпитальных судов в медицинском обеспечении аварийных ситуаций на подводных лодках” (РФ) и “Международное сотрудничество в области обитаемо-

сти и обеспечения жизнедеятельности экипажей при создании подводной лодки нового поколения (проект Viking)” (Швеция). С большим интересом участники семинара заслушали также выступления ветеранов-подводников России, США и Великобритании.

Культурная программа Конгресса позволила его участникам ознакомиться с достопримечательностями Санкт-Петербурга, посетить его пригороды, Центральный Военно-морской музей и крейсер “Аврора”. К наиболее значимым событиям встречи подводников следует отнести совместное богослужение в Николо-Богоявленском Морском кафедральном соборе, возложение венков на Пискаревском мемориальном кладбище и на могиле немецких подводников ПЛ И-250 в Кронштадте.

Нет сомнения, что проведение Конгресса в Санкт-Петербурге является признанием международного авторитета российских моряков и должно способствовать укреплению деловых и дружеских связей между подводниками разных стран.

В период проведения Конгресса по инициативе Санкт-Петербургского Клуба моряков-подводников и Объединенного совета ветеранов-подводников ВМФ была организована научно-практическая конференция «Столетие подводного флота России: задачи и основные направления совместной деятельности морского сообщества при подготовке к юбилею». Ее цель – свободный, широкий обмен мнениями по обозначенной теме, обсуждение предложений в проект программы совместной деятельности и формирование рабочих органов по организации подготовки к знаменательной дате в истории Российского флота.

Принимая во внимание, что для участия в работе Международного конгресса подводников наряду с официальными представителями ВМФ и государственных учреждений, прибыли представители многочисленных общественных морских организации России, предполагалось, что такой представительный форум будет способствовать консолидации национального морского сообщества и формированию эффективных моделей сотрудничества государства с общественностью в интересах организации всенародной помощи подводному флоту, пропаганды его истории и лучших традиций, а также достижений отечественного подводного судостроения. В свою очередь представители национальных организаций США и Великобритании смогли бы поделиться опытом проведения подобных юбилейных мероприятий.

На обсуждение участников научно-практической конференции были вынесены следующие вопросы:

1. Оценка роли и значения подводных сил в истории Российского флота.
2. Оценка роли и значения подводных сил в современных военно-политических и экономических условиях.
3. Научно-методические проблемы изучения истории подводного флота.
4. Опыт взаимодействия и сотрудничества ВМФ, государственных учреждений и морских общественных организаций в решении задач военно-патриотического воспитания молодежи, оказания шефской помощи флоту, а также при осуществлении культурно-исторических проектов, связанных с изучением и пропагандой истории подводного флота России.
5. Опыт освещения истории, современных проблем и достижений под-

водного флота в средствах массовой информации.

6. Предложения в программу организации подготовки 100-летнего юбилея подводного флота.

7. Предложения по структуре и персональному составу рабочих органов, необходимых для подготовки и осуществления программы подготовки к юбилею подводного флота, а также для координации деятельности региональных морских организации, учреждений ВМФ и государственных административных органов.

Оживленная двухдневная дискуссия по рассматриваемой проблеме позволила наметить ряд конкретных организационных мероприятий, реализация которых безусловно позволит существенно продвинуться в решении поставленных на этой конференции вопросов.

На заключительном заседании конференции было принято обращение к Президенту и Правительству России, депутатам Государственной думы, командованию ВМФ с просьбой поддержать предложение о принятии Президентской программы по подготовке к 100-летию подводного флота России и деятельность Общественного юбилейного комитета, единогласно избранного участниками Конференции.

7-я САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ИНТЕГРИРОВАННЫМ СИСТЕМАМ

Конференция прошла 29–31 мая 2000 г. в ГНЦ РФ–ЦНИИ “Электроприбор”. Традиционно она была организована Научным Советом РАН по проблемам управления движением и навигации совместно с ГНЦ РФ–ЦНИИ “Электроприбор”. В работе конференции приняли участие 155 специалистов из 15 стран, в том числе США, ФРГ, Франции, Великобритании, Канады, Италии, Нидерландов, КНР, ЮАР и др. Всего было заслушано 49 докладов (в т.ч. 23 от России, не считая двух совместных), из них 22 – стендовых.

Работа конференции строилась по тематическому принципу:

- интегрированные системы навигации – 14 докладов;
- комплексирование ИНС/GPS – 7 докладов;
- инерциальные датчики и системы – 15 докладов;
- спутниковая навигация – 13 докладов.

Конференцию открыл председатель ее Программного комитета, Президент Академии навигации и управления движением, директор ЦНИИ “Электроприбор”, академик РАН В.Г.Пешехонов. Он подчеркнул увеличение интереса специалистов к этому ежегодному форуму – на рассмотрение Программного комитета в этом году было представлено около 60 докладов, что более чем в 2 раза превысило число докладов предыдущей конференции. Поэтому было принято решение о переводе части из них в стендовые, но при этом Программный комитет предоставил возможность авторам стендовых докладов двухминутные выступления.

С приветственным словом к участникам конференции от имени Администрации Санкт-Петербурга обратился и.о. Председателя комитета экономи-

ки и промышленной политики А.А.Алексахин, отметивший серьезное значение подобных мероприятий для развития экономики города.

К началу работы конференции был выпущен сборник докладов на английском языке, а также специальный номер институтской газеты “Электроприбор сегодня”.

При закрытии конференции отмечался ее высокий научно-технический уровень и актуальность рассматриваемых вопросов.

5-я НАУЧНАЯ ШКОЛА “АСТРОНАВИГАЦИЯ–2000”

21 марта 2000 г. в Государственном научно-исследовательском навигационно-гидрографическом институте Министерства обороны РФ (Гос.НИНГИ МО РФ) прошла очередная Научная школа “Астронавигация–2000” (“АН–2000”). Ее организаторы – Гос.НИНГИ МО РФ совместно с Ленинградским областным правлением НТО судостроителей им. акад.А.Н.Крылова, Институтом прикладной астрономии РАН, Главной астрономической обсерваторией РАН, Институтом прикладной механики РАН, Государственным научным центром РФ–ЦНИИ “Электроприбор” и Научно-производственным концерном “Промэлектроника”.

В работе Школы приняли участие более 60 специалистов 28 родственных организаций. На обсуждение было представлено 42 доклада (в том числе 8 специалистов Института). Наиболее интересные из них были рекомендованы для публикации в журнале “Навигация и гидрография”.³

К началу работы Школы Гос.НИНГИ МО РФ выпустил сборник “Материалы научной школы Астронавигация–2000”, куда вошли все материалы, представленные ее участниками.

В принятых по результатам работы “АН–2000” рекомендациях отмечена актуальность подобного рода мероприятий, проводимых Гос.НИНГИ МО РФ, подчеркнута важность главенствующей роли Института в их организации как головного в стране учреждения, отвечающего за формирование национальной технической политики в области навигации. Институту рекомендовано продолжить работу по координации действий отечественных организаций и проводимых в области астронавигации исследований.

Очередное заседание Школы планируется провести в 2003 г.



³ См., в частности, в этом номере журнала: Алексеев С.П. Современное состояние и перспективы развития фундаментальной и прикладной астрономии для обеспечения навигации подвижных объектов различного назначения (с.27–31); Лобойко Б.И. Состояние и перспективы развития мер времени и частоты (с.59–66).

ABSTRACTS

S.P.Alekseyev. *Strategy of Development of the State Research Navigation-Hydrographic Institute (MoD RF)*. Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.7–15.

Qualitative evaluation of the state characteristics of the Institute's activities are given. The views on the strategy of its development and the main trends in research and work for the middle-term period are expressed. Aspects of social policy are analysed.

A.A.Komaritsyn, V.G.Dmitriyev. *On the Problems of Creating the Information Support System for the Baikal region*. Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.15–26.

The article deals with the problems of creating the information support system for preservation of the natural resources of Baikal Lake (including the near-Baikal territory) as a Nature's Object of the World Heritage. Baikal is of interest to many ministries, departments and international organisations which have been collecting various data on the Baikal natural zone in the course of many decades. The information resources concerning the Baikal natural territory serve as a basis necessary to solve the problems of drawing the close attention of the public and fostering the careful handling of the unique natural territories that are of everlasting historic, cultural, biological, ecological, scientific and aesthetical value. Analysis of the current state of the information support for the Baikal territory is given. Proposals to create the modern information system of the lake, including the electronic encyclopaedia of the Baikal natural resources based on the up-to-date information technologies, are expressed. In order to meet the requirements of the World community in creating the single system of description of the unique Earth's natural areas, it seems expedient to establish the International Scientific Information Centre "Baikal", as a specialised organization intended to form the information resources concerning the natural objects of the World Heritage.

S.P.Alekseyev. *Present State and Prospects of Development of Fundamental and Applied Astronomy to Provide the Navigation of Movable Objects Intended for Different Purposes*. Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.32–36.

The state of satellite navigation systems is analysed. The necessity to develop, in addition to them, the facilities and methods of navigation, using the astronomical reference points is underlined. The main ways of their development in prospect are characterised.

V.S.Boldyrev, V.I.Peresypkin. *Evaluation of Development Prospects of Means and Methods in Navigation-Hydrographic Support for Sailing in the Russian Federation Waters*. Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.36–46.

An attempt is made to analyse the changes in the field of organizing the navigation-hydrographic support for the seaborne transportation, taking place due to the implementation of achievements in radioelectronics development and change of economic relations character in our country.

V.P.Shostak, V.I.Golikov, A.E.Yeganov. *Some Features of Designing the Vessels and Objects for the Ocean and Continental Shelf Development*. Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.47–57.

Nontraditional approach to designing the complicated floating objects for development of the ocean and continental shelf is suggested. The main features of forming their mathematical models and operations processes are given, taking such factors as seaworthiness and reliability into account. The content and sequence of the stages of the initial project design phase meet the requirements of intended to research designing. On the whole, the considered approach is intended to increase the stability of optimum design decisions.

V.A.Avdonyushkin, A.A. Lakounin, V.F.Simonov, A.I.Foursa. *Employment of "Panorama" Geoinformation System in Modelling the Tactical Situation.* Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.58–62.

The prospect of employing the geoinformation system (GIS) when studying the tactical disciplines in the military education system is shown. The main tasks solved by the "Panorama" GIS when modelling the combat operations and predicting their outcome are given.

B.I.Loboyko. *State and Prospects of Time and Frequency Measures Development.* Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.63–70.

Analysis of theoretical research and practical investigations in the field of time and frequency measures is given. Directions of improving the quantum time and frequency measures are shown; the achieved stability levels of these measures are given.

The method of forming the high-accuracy time scales by nontraditional technique – by using the high-stability radio radiation of galactic pulsar-sources is described in details. The new astronomic scale of pulsar time has been formed as a continuous series of time intervals between the pulsar radio radiation pulses that is read out from the initial moment. Group pulsar time scale is suggested as a reference.

A.V.Astapovich, M.Ya.Bryn, S.P.Imshenetsky. *On Reduction of GPS Measurements and Covariance Matrices of Their Errors on the Gauss-Kruger Projection Plane.* Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.71–78.

Transformation of topocentric coordinates into coordinate increment on the Gauss-Kruger projection plane is carried out by reducing the slant range and geodetic azimuth first on the surface of Krasovsky ellipsoid, then from the ellipsoid on the Gauss-Kruger projection plane. The reduced polar coordinates are transformed into the coordinate increments. When the method described here is used the reduction error for distances up to 50 km is less than 1 mm. The considered method allows to recalculate the covariance matrices of errors from WGS-34 system into the SK-42 system on the plane in the Gauss-Kruger projection.

L.V.Romashina, A.V.Murashkin, V.K.Marinov. *Local-Extreme Method of Processing the Stars Video Images.* Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.78–84.

The local-extreme method of processing the video images is suggested. It is intended for automatic detection of stars in real time on the heterogeneous fluctuating background. It is based on the statistic hypothesis of the presence of a signal from a star in the given video image element. Depending on the brightness of a star, two ways of detection are considered.

For bright stars, the approach to video image processing is based on the analysis of the optical image structure of a point. In the presence of aberration in the optical system, the image looks like a spot, whose energy distribution is the dissipation function of a point that is specific for the particular optical system. Quality criterion of the decision algorithm is the set probability of missing the star, by which the threshold value is calculated ; this value is used for comparison of the sufficient statistics with it.

In the method of detecting the faint stars, the quality criterion of the decision algorithm is the false alarm probability, by which the threshold value is calculated; this value is used for comparison of the sufficient statistics with it.

Yu.I.Nikitenko. *Widening the Scope of Navigational-Dynamic Parameters Evaluated by the Phase of Satellite Radio Navigation Systems Signals.* Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.85–92.

Possibilities of using the unambiguous phase measurements of GLONASS, GPS SNS signals in order to construct the algorithm for determining the length difference of the

planned and actual trajectories for the movable object, based on the algorithm of evaluating the position and attitude in space of the instantaneous rotation axis of a movable object, are discussed.

I.A.Kourchanov, Yu.I.Nikitenko. Comparison of Single-channel and Dual-channel Schemes for Measuring the Signals Delay in Satellite Radio Navigation Systems. Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.93–102.

Based on the well-known relationships of the optimum methods theory of evaluating the time position of signals with a known form, the analytical relationships for determining the reception-measurement channel characteristics have been obtained. These relationships realize the measurement mode of envelope delay of binary phase-coded signals in SNS when using either the conventional scheme with two correlators or the alternative (less susceptible to noise and backreflection from the local objects) scheme with one correlator. The advantage of the latter increases when using the direct conversion receiver (excluding the influence of mirror noise).

E.A.Ostriyansky, A.I.Svechnikov. Remote Sediment Layers Classification of the Bottom Soils Using the Acoustic Method. Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.103–108.

The notion of the absolute reflection coefficient of the layer in the stratified bottom soils is introduced. This coefficient, together with such internal characteristics as the coefficients of acoustic susceptibility, roughness and attenuation is used when solving the problem of the sediment layers classification of the bottom soils.

A.A. Voitov, E.A. Ostriyansky, A.I. Svechnikov. Classification of the Bottom soil by the First National Linearly-Frequency Modulated High-Resolution Profilograph. Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.108–113.

Specific features of scheme implementation of hydroacoustic profilograph operating in the mode of transmission and reception of complex linearly-frequency modulated signals are analysed. The hydroacoustic profilograph is considered as the main technical facility of the remote soil survey.

V.N.Zavgorodny. Conditions of Stabilizing an Underwater Vehicle as a Linear Interval Dynamic System. Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.113–118.

The algebraic conditions for checking the stabilization with specified quality of an underwater vehicle as a robust system with interval parameter uncertainty.

B.N.Belyaev, V.G.Dmitriyev. On the Problem of Evaluating the Hydrodynamic Prognostic Models Accuracy. Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.119–126.

The errors of predicting the marine environment state that arise when using the prediction procedures based on hydrodynamic models are considered. It is shown that such errors are peculiar to all the methods of prediction; however, it is possible to single out the "standard" causes of the errors. From the practical point of view, the prospects of improving the methods of modelling the marine environment state are determined by the possibility to decrease the prediction errors. Such possibilities are not always available, which is why the so-called predictability threshold appears. This problem is discussed in every detail as applied to the errors caused by the insufficient knowledge of the turbulence coefficients values.

V.G.Dmitriyev. Presentation of Categorical Hydrometeorological Forecasts in Probabilistic Form. Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.126–136.

The formula of calculating the probabilities of the cases when the actual values of hydrometeorological parameters fit into the arbitrary intervals at a known categorical fore-

cast is suggested. This method enables the categorical forecasts of the continuous values to be presented in the probabilistic form which is of great importance for practical applications. The theoretical results are confirmed by the numerical experiments based on the actual data. Formulas for determining the mathematical expectation and variance of random variables with distribution density of the forecast errors are given. Special attention is paid to the qualitative analysis of the distribution density parameters of the forecast errors and to the specific features of their determination. The article contains extensive illustration material.

V.G. Dmitriyev. *On the Method of Pointing Determination of Interval Hydrometeorological Forecast.* Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.136–142.

The method of determination of the interval hydrometeorological forecasts is suggested. By this kind of determination is meant the comparison of the point estimate of hydrometeorological value related to definite spatial-temporal conditions, with prognostic range. Such a problem arises every time when it is necessary to use the influence function whose arguments are the hydrometeorological parameters. The same problem arises when evaluating the mode of conditional error distribution for specific interval forecast. The suggested method is based on the optimum interpolation method and summarizes the methods that had been known before. In addition, the method of making the determination more exact in the case of regularly made forecasts is given. The theoretical results are illustrated by the numerical calculations based on the actual data.

S.I. Mastryukov. *Modelling the Currents in the Gulf of the Neva River.* Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.143–149.

The hydrodynamic model of calculating the currents and level fluctuations in the Gulf of the Neva river is presented. Based on the results of calculations, the conclusion is drawn about the necessity to improve the numerical scheme of solving the equations system; the conditions of numerical scheme suitability for information support of design work in the Gulf of the Neva, are ascertained.

K.B. Strelbitsky. *Survey Vessels of the USSR Navy Lost in the Period of the Great Patriotic War (1941–1945).* Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.150–153

Summary of the losses of the national Hydrographic Service vessels and boats on all theatres of naval operations is given. Causes of disaster and coordinates of wrecks are pointed out.

V.S. Boldyrev, V.T. Zakolodyazhny. *The Analysis of Exploitation Experience of Satellite Navigation Systems for securing of the Armed Forces Operations.* Navigation and Hydrography, 2000, №10, p.154–163.

Examples of new employment variants of GPS satellite navigation system, which considerably increase the Armed Forces effectiveness and contribute to the economy of defence expenditures are considered.



АВДОНИЮШКИН ВИКТОР АЛЕКСЕЕВИЧ, начальник управления Гос.НИНГИ, капитан I ранга. Окончил ВВМУ им. М.В. Фрунзе (1975) и ВМА (1991). До 1989 г. служил в Гидрографической службе Северного флота, принимал участие в исследованиях в Белом и Баренцевом морях. Специализируется в области гидрографии и картографии. Участник работ по проекту освоения Штокмановского месторождения, обустройству портов на Балтике.

АЛЕКСЕЕВ СЕРГЕЙ ПЕТРОВИЧ, начальник Гос.НИНГИ, председатель СПб регионального отделения Российского общественного института навигации (РОИН), руководитель НИОКР по навигационно-гидрографическому обеспечению работ по освоению Приразломного нефтяного месторождения, капитан I ранга, д.т.н. Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе (1972) и ВМА (1983). Автор более 40 печатных трудов.

АСТАПОВИЧ АНАТОЛИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, старший преподаватель СПб филиала Военно-инженерного университета (ВИУ). Окончил Военно-инженерную академию (ВИА) им.В.М.Куйбышева (1986). Специализация – геодезия.

БЕЛЯЕВ БОРИС НИКОЛАЕВИЧ, главный научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан II ранга (в отставке), д.т.н., профессор. Окончил Каспийское ВВМУ (1950), ВСОК ВМФ (1953), ВМА (1962). Специализация – гидрометеорология. Автор более 90 печатных трудов.

VICTOR A. AVDONYUSHKIN, Gos.NINGI chief of department, I-st rank captain. Graduated from Frunze's High Naval School (FHNS,1975) and Naval Academy (NA,1991). Up to 1989 he had served in the North Fleet Hydrography Service and had participated in the survey works in the White and Barents Seas. Scientific direction: hydrography and cartography, particularly in Stochman oil/gas field project and new Baltic ports development.

SERGEI P. ALEKSEYEV, Gos.NINGI chief, regional chief of Russian Public Institute of Navigation (RPIN St-Petersburg department), R&D chief of navigation-gydrography support of Prirazlomnoye oil field deployment, I-st rank captain, ScD. Graduated from FHN (1972) and NA (1983). Author more than 40 publications.

ANATOLY V. ASTAPOVICH, SPb Branch of Military Engineering University (MEU) senior teacher. Graduated from Kuybishev's Military Engineering Academy (KMEA, 1986). Specialty – geodesy.

BORIS N. BELYAEV, Gos.NINGI chief scientist, II-d rank captain (ret.), ScD, professor. Graduated from Caspian High Naval School (1950), Navy High Officer Courses (NHOC, 1953), NA (1962). Specialty – hydrometeorology. Author more than 90 publications.

БОЛДЫРЕВ ВЛАДИМИР СЕРГЕЕВИЧ, ведущий научный сотрудник ЗАО "ЦНИИМФ", капитан I ранга (в отставке), д.т.н., доцент. Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе (1948) и ВМА. Специализируется в области навигации и гидрографии. Автор более 120 печатных трудов.

VLADIMIR S. BOLDYREV, leading scientist of JSCo. "Central Research Institute of the Merchant Marine", I-st rank captain (Ret.), ScD, assistant professor. Graduated from FHNS (1948) and NA. Specializes in the field of navigation and hydrography. Author more than 120 publications.

БРЫНЬ МИХАИЛ ЯРОСЛАВОВИЧ, старший преподаватель СПб филиала ВИУ, подполковник. Окончил ВИА им.В.М.Куйбышева (1989). Специализация – астрогеодезия. Имеет печатные труды.

MICHAIL Ya. BRIN, SPb Branch of MEU senior teacher, lieutenant-colonel. Graduated from KMEA (1989). Specialty – geodesy. Author some publications.

ВОЙТОВ АЛЕКСАНДР АНАТОЛЬЕВИЧ, начальник отдела ФГУП ЦНИИ "Морфизприбор". Окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения (1984). Специализация – гидроакустика. Имеет печатные труды.

ALEXANDER A. VOJTOV, Central Scientific Research Institute (CSRI) "Morphispribor" chief of section. Graduated from Leningrad's Institute of Aviation Instrumental-making (1984). Specialty – hydroacoustics. Author some publications.

ГОЛИКОВ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ, доцент Украинского Государственного Морского Технического университета (УГМТУ), к.т.н. Окончил Николаевский кораблестроительный институт (НКИ, 1976). Специализация – проектирование судов. Автор более 40 печатных трудов.

VLADIMIR I. GOLIKOV, Ukrainian State Marine Technology University (USMTU) assistant professor, PhD. Graduated from Nikolaev's Shipbuilding Institute (NSI, 1976). Specialty – ship designer. Author more than 40 publications.

ДМИТРИЕВ ВИКТОР ГЕОРГИЕВИЧ, начальник лаборатории Гос.НИНГИ, полковник, к.т.н. Окончил ЛГУ (1972). Специализация – математика, военная гидрометеорология, менеджмент по информационным технологиям. Автор более 40 печатных трудов.

VICTOR G. DMITRIYEV, Gos.NINGI laboratory chief, colonel, PhD. Graduated from LSU (1972). Specialty – mathematics, military hydrometeorology, management of information technologies. Author more than 40 publications.

ЕГАНОВ АЛЕКСАНДР ЕФИМОВИЧ, проректор УГМТУ, к.т.н. Окончил НКИ (1976). Специализация – теория кораблей. Автор около 50 печатных трудов.

ALEXANDER E. EGANOV, USMTU prorector, assistant professor, PhD. Graduated from NSI (1976). Specialty – ship's theory. Author about 50 publications.

ЗАВГОРОДНИЙ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ, начальник отдела Гос.НИНГИ, капитан I ранга. Окончил ВВМУРЭ им. А.С.Попова (1979) и ВМА (1991). Специализация – устойчивость динамических систем.

ЗАКОЛОДЯЖНЫЙ ВИТАЛИЙ ПАВЛОВИЧ, старший научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан I ранга (в отставке), к.т.н. Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе (1948) и ВМА (1957). Специализируется в области спутниковых навигационных систем, Автор более 30 печатных трудов, включая одну монографию.

КОМАРИЦЫН АНАТОЛИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, начальник ГУНиО МО РФ, адмирал, к.т.н. Окончил ТОВВМУ им.адм.С.О.Макарова (1969), ВМА (1981), Академию Генерального штаба (1986). По специальности штурман. Автор ряда печатных трудов.

КУРЧАНОВ ИГОРЬ АЛЕКСАНДРОВИЧ, м.н.с. Российского института радионавигации и времени, к.т.н. Окончил ГУТ (1996). Специализация – радионавигация. Автор 14 печатных трудов.

ЛАКУНИН АНДРЕЙ АЛЬБЕРТОВИЧ, начальник отдела Гос.НИНГИ, капитан II ранга. Окончил ВВМУ им. Фрунзе (1981) и ВСОК ВМФ (1987). Специализация – гидрография. Автор 10 печатных трудов.

ЛОБОЙКО БОРИС ИВАНОВИЧ, с.н.с. Гос.НИНГИ, капитан I ранга (в запасе), д.т.н. Окончил ВВМУРЭ им. А.С.Попова (1968). Специализация – радиосвязь, навигация. Автор свыше 50 печатных трудов.

VLADIMIR N. ZAVGORODNY, Gos.NINGI chief of section, I-st rank captain. Graduated from Popov's High Naval Radioelectronic School (HNRES, 1979). Specialty – stability of dynamic systems.

VITALY P. ZAKOLODYAZHNY, Gos.NINGI senior scientist, I-st rank captain (Ret.), PhD. Graduated from FHNS (1948) and NA (1957). Specializes in the field of satellite navigation systems. Author more than 30 publications, including one monograph.

ANATOLY A. KOMARITSYN, chief of the Navy Hydrographic Service (RF MoD), admiral, PhD. Graduated from Makarov's Pacific Ocean High Naval School (1969), NA (1981), General Staff's Academy (1986). Specialty – navigator. Author many publications.

IGOR A. KURCHANOV, Russian Institute of Radionavigation and Time junior scientist, PhD. Graduated from STU (1996). Specialty – radionavigation. Author 14 publications.

ANDREY A. LAKUNIN, Gos.NINGI chief of section, II-d rank captain. Graduated from FHNS (1981) and NHOС, (1987). Specialty – hydrography. Author 10 publications.

BORIS I. LOBOIKO, Gos.NINGI chief scientist, I-st rank captain (Res.), ScD. Graduated from Popov's HNRES (1968). Specialty – radiocommunication, navigation. Author more than 50 publications.

МАРИНОВ ВИКТОР КОНСТАНТИНОВИЧ, ведущий научный сотрудник НПО автоматики (г.Екатеринбург), к.т.н. Окончил Уральский государственный университет (УГУ, 1956). Специализация – математика. Автор около 50 печатных трудов.

МАСТРЮКОВ СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ, начальник отдела Гос.НИНГИ, полковник, к.т.н. Окончил СПб гидрометеорологический институт (ГМИ, 1978). Специализация – океанология. Автор более 10 печатных трудов.

МУРАШКИН АЛЕКСАНДР ВАЛЕРЬЯНОВИЧ, начальник отдела НПО автоматики (г.Екатеринбург). Окончил УГУ (1956). Специализация – астрономия. Имеет печатные труды.

НИКИТЕНКО ЮРИЙ ИВАНОВИЧ, профессор ГМА им.адм.С.О.Макарова, д.т.н. Окончил Ленинградское высшее инженерно-морское училище (1949). Специализация – радионавигационные системы. Автор около 150 печатных трудов.

ОСТРИЯНСКИЙ ЕВГЕНИЙ АРКАДЬЕВИЧ, ведущий инженер ФГУП ЦНИИ “Морфизприбор”. Окончил Севастопольский приборостроительный институт (1982). Специализация – гидроакустика. Имеет печатные труды.

ПЕРЕСЫПКИН ВСЕВОЛОД ИЛЬИЧ, Генеральный директор ЗАО “ЦНИИ МФ”, вице-президент РОИН, зам. председателя подкомитета ИМО по безопасности мореплавания. Автор более 70 печатных трудов.

РОМАШИНА ЛАРИСА ВЯЧЕСЛАВОВНА, ведущий инженер НПО автоматики (г. Екатеринбург). Окончила УГУ (1968). Специализация – астрономия. Имеет печатные труды.

VICTOR K. MARINOV, SPE automation (Ekaterinburg) leading scientist, PhD. Graduated from Ural's State University (USU, 1956). Specialty – mathematics. Author about 50 publications.

SERGEI I. MASTRYUKOV, Gos.NINGI chief of section, conel, PhD. Graduated from SPb Hydrometeorological Institute (HMI, 1978). Spcialty – oceanology. Author more than 10 publications.

ALEXANDER V. MURASHKIN, SPE automation (Ekaterinburg) chief of section. Graduated from USU, (1969). Specialty – astronomy. Author some publications.

YURY I. NIKITENKO, Makarov's State Marine Academy professor, ScD. Graduated from Leningrad's High Marine Engineering College (1949). Specialty – radionavigation. Author about 150 publications.

EVGENY A. OSTRIYANSKY, CSRI “Morfizpribor” leading engineer. Graduated from Sebastopol's Instrumental-making Institute (1982). Specialty – hydroacoustics. Author some publications.

VSEVOLOD I. PERESYPKIN, Joint-Stock Co. “Central Research Institute of the Merchant Fleet” General director, RPIN vice-president, IMO subcommittee on navigation safety vice-chairman, ScD. Author more than 70 publications.

LARISA V. ROMASHINA, SPE automation (Ekaterinburg) leading engineer. Graduated from USU (1968). Specialty – astronomy. Author some publications.

СВЕЧНИКОВ АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ, ст. научный сотрудник Гос.НИНГИ, д.т.н. Окончил Ленинградский электротехнический институт (1965). Специализация – геофизика. Имеет печатные труды.

ANATOLY I. SVECHNIKOV, GosNINGI chief scientist, ScD. Graduated from Leningrad's Electrotechnical Institute (1965). Specialty – geophysics. Author some publications.

СИМОНОВ ВЛАДИМИР ФЁДОРОВИЧ, преподаватель кафедры фототопографии и фотограмметрии филиала ВИУ (СПб), подполковник. Окончил Ленинградское высшее военно-топографическое командное училище (ЛВВКУ, 1986) и ВИА им. В.В. Куйбышева (1997). Специализация – командно-штабная оперативно-тактическая топографической службы.

VLADIMIR F. SIMONOV, lieutenant-colonel, teacher of the chair of phototopography and photogrammetry of StP branch of Military Engineering University (MEU). Graduated from Leningrad's Military Topographical College (LMTC, 1986) and Moscow Military Engineering Kuibyshev's Academy (ММЕКА, 1997). Specialized in control of topographic and geodetic support.

СТЕПАНОВ ИЛЬЯ ВЛАДИМИРОВИЧ, преподаватель кафедры фототопографии и фотограмметрии филиала ВИУ (СПб), к.т.н., капитан II ранга (в запасе). Окончил ЛВВКУ (1980). Специализация: аэрофотогеодезия

ILJA V. STEPANOV, teacher of faculty of phototopography and photogrammetry of StP branch of MEU, II-nd rank captain (Res.), PhD. Graduated from LMTC (1980). Specialty – aerophotogeodezy.

СТРЕЛЬБИЦКИЙ КОНСТАНТИН БОРИСОВИЧ, вице-председатель Московского клуба истории Флота. Окончил МГУ. По специальности историк. Автор около 60 печатных трудов.

KONSTANTIN B. STRELBITSKY, Moscow Club of Fleet History, vice-chairman. Graduated from Moscow State University. Specialty – history. Author about 60 publications.

ФУРСА АЛЕКСЕЙ ИВАНОВИЧ, преподаватель кафедры фототопографии и фотограмметрии филиала ВИУ (СПб), подполковник. Окончил ЛВВКУ (1980) и ВИА (1990). Специализация – командно-штабная оперативно-тактическая топография.

ALEXEI I. FURSA, SPb Branch of MEU chief teacher of the chair of phototopography and photogrammetry, lieutenant-colonel. Graduated from LMTC (1980) and ММЕКА (1990). Specialized in control of topographic and geodetic support.

ШОСТАК ВАДИМ ПЕТРОВИЧ, профессор УГМТУ, д.т.н. Окончил НКИ (1959). Специализация – проектирование судов. Автор более 100 печатных трудов.

VADIM P. SHOSTAK, USMTU's professor, ScD. Graduated from NSI (1959). Specialty – ship designer. Author more than 100 publications.



**ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ,
НАПРАВЛЯЕМЫХ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ
«НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ»**

1. Объем статьи не должен превышать 8 с., для статьи обзорно-аналитического характера – до 15 с. Количество рисунков и таблиц – не более 5 (по каждой позиции).

2. Статья должна иметь индекс ГРНТИ, сопровождаться аннотацией (помещается после названия), рефератом, списком использованной литературы и актом экспертизы.

3. К статье следует приложить название статьи, аннотацию и реферат на английском языке, а также основные сведения об авторе(ах) на русском и английском языках.

4. Все рисунки или фотографии должны иметь порядковые номера и подрисуночные подписи, размер не более формата **A4 (297x210 мм)** и черно-белое исполнение. Не рекомендуется использование мелких штриховок и заливок (не читаемых сканером с разрешением 300 точек на дюйм).

5. Все числовые значения в тексте, на рисунках и в таблицах должны соответствовать единицам, принятым в системе СИ.

6. Список использованной литературы должен быть составлен на языке оригинала (исключение – языки с иероглифическим написанием слов, например, японский) в порядке ссылок на источники по тексту.

7. Материалы должны быть подготовлены в формате текстового редактора **MS Word for Windows**, а также других систем, для которых имеются стандартные конвертеры Word. При оформлении использовать только стандартные шрифты, поставляемые с системой Windows.

8. Для диаграмм и графиков предпочтительно использование **векторных форматов**, импортируемых в MS Word for Windows и одновременное представление оригинал-макета. Растровая графика (только черно-белая) может быть представлена в формате **TIFF** или **PCX** с разрешением **300 DPI**.

9. В редакцию представляются дискета 3,5" с текстом статьи, аннотации и рефератом и их распечатки через 2 интервала в 1 экз. (дискета возвращается автору).

10. К статье прилагается акт экспертизы.

11. Материалы, отправляемые посредством электронной почты, направлять на адрес **E-mail: editor@navy.ru** в виде предварительно компримированных архиваторами **ARJ** или **PKZIP**, присоединенных к письму файлов, закодированных **UUENCODE**.

Адрес редакции: Россия, 199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41.
Телефон: (812) 323-97-60, Факс: (812) 322-33-19 (в рабочее время).
E-mail: editor@navy.ru

ПОДПИСКА

Уважаемые читатели!

Продолжается подписка на журнал "Навигация и гидрография".

Юридические и физические лица могут приобрести издаваемый журнал, оформив подписку либо заказ на конкретный номер журнала, а также за наличный расчет. Время оформления подписки не ограничено.

В стоимость подписки входит оплата 2-х номеров журнала.

Цена одного номера – 100 руб. + 20% НДС. Для юридических и физических лиц стоимость подписки с учетом почтовых расходов – 280 руб.

Заполните приложенный в конце журнала бланк-заказ на оформление подписки и один его экземпляр вместе с копией исполненного платежного поручения перешлите в редакцию по адресу:

Россия, 199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия 41, Гос.НИНГИ.

Телефон: (812) 323–97–60

Факс: (812) 322–33–19 (в рабочее время).

Главному редактору
журнала "Навигация и гидрография"

Алексееву С.П.

199106, Санкт-Петербург,
Кожевенная линия, 41

Бланк-заказ

Просим оформить подписку на _____ экз. журнала "Навигация и гидрография"

Стоимость подписки в сумме _____

перечислена на расчетный счет ИНН 7801020940 – в/ч62728 Р/сч 4050281010000000107 БИК 044081002 ПУ ЦБ РФ Флагманское г. С.-Петербург.

Платежное поручение № _____ от " _____ " _____ 2000 г.

(Следует приложить к заказу копию платежного поручения).

Заказ направить по адресу:

индекс п/о _____, область (край, респ.) _____

город, улица, дом _____

Кому _____

(полное название организации или ФИО заказчика)

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ, 2000, №10

Редакторы: А.И.Баранов, С.А.Рудас

Компьютерное оформление: В.И.Скалон

Подписано в печать 28.06.2000

Заказ № 2510

Рег. №013267 от 26.01.95

Комитет РФ по печати

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