

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

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

Издается с 1995 года

**5
1997**

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санкт-Петербург

**Главный редактор
В.С.Макода**

Редакционная коллегия:

**С.П.Алексеев (заместитель главного редактора),
А.И.Баранов (секретарь), Б.Н.Беляев,
П.Г.Бродский, А.К.Воробьев, В.Л.Галахов,
А.А.Дадашев, Б.Н.Демин, В.Г.Дзюба, А.Н.Добротворский,
Г.И.Емельянцев, Б.Е.Иванов, И.В.Козырь, Н.М.Лец,
П.И.Малеев, А.П.Михайловский, Н.Н.Неронов,
А.Г.Панов, В.И. Пересыпкин, В.Г.Пешехонов,
В.Н.Раскатов, Ю.В.Румянцев,
С.А.Рудас (заместитель главного редактора),
А.Е.Сазонов, А.И.Сорокин,
А.В.Федотов, В.Н.Фрадкин**

Ответственный за выпуск В.О.Мятелков

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

1997

**THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC
INSTITUTE**

NAVIGATION AND HYDROGRAPHY

Published since 1995

**5
1997**

RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE

Saint Petersburg

Editor-in-chief
V.S.Makoda

Editorial board

S.P.Alekseev (vice editor-in-chief),
A.I.Baranov (secretary), B.N.Belyaev, P.G.Brodsky,
A.K.Vorobiev, V.L.Galakhov, A.A.Dadashev,
B.N.Demin, V.G.Dzyuba, A.N.Dobrotvorsky, G.I.Emeliyantsev,
B.E.Ivanov, I.V.Kozyr, N.M.Lez, P.I.Maleev,
A.P.Mikhaylovsky, N.N.Neronov,
A.G.Panov, V.I.Peresykin, V.G.Peshekhonov,
V.N.Raskatov, Yu.V.Rumyantsev,
S.A. Rudas (vice editor-in-chief),
A.E.Sazonov, A.I.Sorokin,
A.V.Fedotov, V.N.Fradkin

Responsible for the issue V.O.Myatelkov

© THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC INSTITUTE

1997

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

<i>Макода В.С.</i> Некоторые аспекты технической политики в области навигации и океанографии	9
<i>Красовский В.С.</i> Пути повышения эффективности технического обеспечения морских средств навигации.....	12
<i>Врубель Е.</i> Авиационно-климатическое районирование Центральной Европы.....	16

МЕТОДЫ, ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВИГАЦИИ. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШТУРМАНА

<i>Сазонов А.Е., Буканов И.П.</i> К определению времени поиска терпящих бедствие на море объектов	21
---	----

НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

<i>Резниченко В.И., Яценко С.В., Зувев В.Ф.</i> Алгоритм определения скорости судна аппаратурой спутниковых навигационных систем в условиях качки	30
<i>Резниченко В.И., Бродский П.Г., Мазин А.Л.</i> К вопросу комплексного использования измерений спутниковых навигационных систем и автономных средств навигации корабля для получения курсовой информации	34

СПУТНИКОВЫЕ И НАЗЕМНЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

<i>Бублик С.М., Шашков А.А.</i> Определение ориентации корабля по среднеорбитным спутниковым радионавигационным системам с использованием данных автономных средств	38
<i>Лобойко Б.И., Никитин О.В.</i> Прогнозирование ионосферных поправок в спутниковых радионавигационных системах	43

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГИДРОГРАФИИ, МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ

<i>Бабкин В.И., Биденко С.И., Фомин В.М.</i> Новый атлас Мирового океана	48
<i>Бахмутский В.Г.</i> Контроль полноты регистрации глубин при автоматизированной съемке рельефа дна.....	50
<i>Гидаспов Д.Д., Шеремет В.И., Малеев П.И.</i> Топография магнитного поля магнитных реперов различной формы и протяженности	53
<i>Коугия В.А.</i> Вычисление расстояний до гидроакустических маяков при вертикальной и горизонтальной неоднородностях водной среды.....	59
<i>Артамонов Л.В., Петрова И.М.</i> О возможностях аэроэлектромагнитных методов при решении гидрографических задач.....	65
<i>Зубченко Э.С.</i> Вычисление гармонических постоянных прилива	70

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРЕПЛАВАНИЯ

Мастрюков С.И., Шумахер Д.А., Кильдюшевский Ю.И. Макет электронного атласа гидрометеорологического режима Баренцева моря.....	79
Лаверенов И.В., Боков В.Н., Дымов В.И., Пасечник Т.А., Яковлева Н.П., Давидан И.Н. Оценка экстремальных высот ветровых волн в Печорском море (окончание).....	85
Кушнир В.М., Морозов А.Н. Использование данных профилографов для контроля динамики морской среды.....	94

МОРСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

Левин И.М., Осадчий В.Ю. Оптические характеристики воды в южной части Балтийского моря.....	102
Кондюрин В. Д., Мятелков В.О., Юшков Ю. В. Зависимость между относительной прозрачностью и показателем вертикального ослабления света в воде.....	105

КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ, СЕМИНАРЫ

Научно-практическая конференция “170 лет Российской гидрографии. Пройденный путь и перспективы развития”.....	108
--	------------

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

Неронов Н.Н. Гидрографическому управлению 170 лет.....	109
Иванов Б.Е. , Меркушов Н.С., Корякин В.И. К истории училища военных гидрографов.....	112
Федотов А.В. Научные результаты навигационного обеспечения похода атомной подводной лодки "Ленинский Комсомол" к Северному полюсу в 1962 году.....	116

АННОТАЦИИ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ.....	120
---	------------

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ.....	123
---------------------------------	------------

CONTENTS

GENERAL MATTERS

Makoda V.S. Some aspects of Technical Policy in the Field of Navigation and Oceanography.....	9
Krasovsky V.S. Increasing the Effectiveness of Technical Support for Marine Aids to Navigation	12
Vrubel E. Aviation-Climatic District Division of Central Europe	16

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

Sazonov A.E., Boukanov I.P. Integral Estimation of Sea Position Finding Systems Accuracy of Those in Distress at Sea.....	21
--	----

NAVIGATION AND INTEGRATED SYSTEMS

Rezsnichenko V.I., Yatsenko S.V. Zuyev V.F., Algorithm of Vessel's Speed Measurement by Satellite Navigation System Equipment under the Conditions of Ship's Oscillating Motions	30
Reznichenko V.I., Brodsky P.G., Mazin A.L. On the Integrated Employment of Satellite Navigation Systems and Ship's Self-Contained Navigation Aids Measurements to Obtain the Course Data.....	34

SATELLITE AND LAND-BASED RADIONAVIGATION SYSTEMS

Public S.M., Shashkov A.A. Determining the Ship's Attitude by Means of Medium-Altitude Satellite Radionavigation Systems, using the Data from Self-Contained Equipment	38
Loboyko B.I., Nikitin O.V. Prediction of Ionospheric Corrections in Satellite Radionavigation Systems.....	43

SATELLITE AND LAND-BASED RADIONAVIGATION SYSTEMS

Babkin V.I., Bidenko S.I., Fomin V.M. New Atlas of the World Ocean	48
Bakhmutsky V.G. Monitoring the Registration Plenitude of Depths in the Automated Bottom Relief Survey	50
Gidasov D.D., Sheremet V.I., Maleyev P.I. Magnetic Fields Topography of Magnetic Reference Marks Having Different Shapes and Length.....	53
Kougija V.A. Calculation of Distances to Hydroacoustic Beacons under the Conditions of Vertical and Horizontal Aqueous Medium Inhomogeneity.....	59
Artamonov L.V., Petrova I.M. To possibilities of airelectromagnetic methods in hydrographic problems solving	65
Zoubchenko E.S. Calculation of Harmonic Tidal Constants. Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.70–78	70

HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT OF MARINE NAVIGATION

<i>Mastryukov S.I., Shumakher D.A., Kildyushevsky Y.I.</i> Electronic Atlas Layout of the Barents Sea Hydrometeorological Regime.....	79
<i>Lavrenov I.V., Davidan I.N., Bokov V.N., Dymov V.I., Pasechnik T.A., Yakovleva N.P.</i> Estimation of Extreme Heights of Wind Waves in the Pechora Sea.....	85
<i>Kushnir V.M., Morozov A.N.</i> The Employment of Bottom Doppler Sonars to Monitor the Sea Environment Dynamics	94

MARINE ECOLOGY

<i>Levin I.M., Osadchy V.U.</i> Water Optical Characteristics in the South Part of the Baltic Sea	102
<i>Kondyurin V.D., Myatelkov V.O., Yushkov Y.V.</i> Relationship between the Relative Transparency and Index of Vertical Light Attenuation in the Water.....	105

CONFERENCES, SYMPOSIA, SEMINARS

Scientific-practical conference: “170 years of the Russian hydrography. The road has gone and perspectives of development”	108
--	------------

HISTORY PAGES

<i>Neronov N.N.</i> The Hydrographic Department is 170 Years Old.....	109
<i>Ivanov B.E., Merkushev N.S., Koryakin V.I.</i> On the History of the College of Naval Hydrographers	112
<i>Fedotov A.V.</i> Scientific Results of Navigation Support for the Cruise of the Submarine“Leninsky Komsomol” to the North Pole in 1962.....	116

ABSTRACTS OF PUBLISHED ARTICLES.....	120
---	------------

INFORMATION ABOUT AUTHORS.....	123
---------------------------------------	------------

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ГРНТИ 78.21.41.01: 78.21.37.15.01

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ В ОБЛАСТИ НАВИГАЦИИ И ОКЕАНОГРАФИИ

В.С.МАКОДА
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Рассматриваются некоторые вопросы технической политики в области навигации, гидрографии и океанографии в период реформирования ВС России. Подчеркивается необходимость укрепления ведущей роли Гос.НИНГИ как головной организации, ответственной за сбалансированное развитие средств и методов навигации, гидрографии и океанографии в интересах обороны и экономики страны.

С середины 1997 г. в соответствии с замыслом реформирования Вооруженных Сил России начаты глубинные процессы их преобразования, получившие нормативное закрепление в соответствующих Указах Президента и конкретизированные в Концепции строительства ВС РФ до 2005 г. В основу этих процессов Министерством обороны положена система мер, выражающаяся в осуществлении решительных практических шагов по приведению задач, структуры, состава и численности Вооруженных Сил, их систем управления, инфраструктуры, технического и тылового обеспечения в соответствии с современными военно-политическими и социально-экономическими изменениями, произошедшими в России в начале 90-х годов.

В рамках первого из двух этапов реформирования (1997–2001 гг.) должна быть завершена подготовка к планомерному повышению качественных параметров войск и сил за счет развертывания после 2005 г. серийных поставок новейших образцов вооружений и техники, повышения уровня оперативной и боевой подготовки, совершенствования системы руководства Вооруженными Силами и их обеспечения в новой структуре.

Важное значение в этом процессе занимает военная наука, призванная обеспечить создание эффективной системы вооружения России.

Качественное реформирование Военно-Морского Флота, как вида Вооруженных Сил России, предполагается осуществлять в соответствии с планом строительства ВМФ.

При реформировании ВМФ предусматривается исключить из боевого состава по истечении срока службы и по техническому состоянию ряд подводных лодок, надводных кораблей, часть самолетного парка. С учетом этого сократить численность частей обеспечения, военно-морских учебных заведений, центров, а также реорганизовать сеть научных учреждений. При этом, как указано Главнокомандующим ВМФ, должна быть повышена эффективность военно-теоретических и фундаментальных исследований, направленных на обоснование долгосрочных перспектив развития ВМФ, разработку новых научных идей и направлений по прогнозированию будущего качественного и количественного облика флота, повышению его боевых возможностей.

В этих условиях исключительное значение приобретает специальное постановление Правительства Российской Федерации "О совершенствовании научных исследований" от 19 июня 1994 г. №711, в котором Гос.НИНГИ МО РФ определен головной в стране научно-исследовательской организацией, ответственной за обоснование и разработку технической политики в области навигации, гидрографии, морской картографии, океанографического обеспечения обороны и экономики страны.

На Институт возложено решение общегосударственных научных и практических задач по обеспечению безопасности общего мореплавания, спасения жизни человека на мо-

ре, изучению и использованию Мирового океана. Фактически, Гос.НИНГИ МО РФ является единственным научным учреждением России, координирующим вопросы навигации подвижных объектов, гидрографии, морской картографии и океанографического обеспечения в интересах как военных, так и гражданских ведомств. Это соответствует исторически сложившейся практике, когда штурмана и гидрографы Военно-Морского Флота во все времена решали общегосударственные задачи навигационно-гидрографического обеспечения общего мореплавания. Существующие в настоящее время навигационно-гидрографическое и гидрометеорологическое обеспечение (НГО и ГМО) сложилось как система сбалансированного развития и взаимодействия наземных, космических и корабельных средств навигации, гидрографии и гидрометеорологии.

Большой вклад в ее создание внес Институт, которому под эгидой Главного управления навигации и океанографии и совместно с организациями промышленности удалось решить ряд крупных научно-технических проблем. Среди них можно отметить:

- * создание корабельных инерциальных навигационных систем и на их основе навигационных комплексов;
- * разработку и внедрение спутниковых навигационных систем, что позволило обосновать концепцию единого радионавигационного поля и перейти к ее практической реализации;
- * разработку абсолютных доплеровских гидроакустических лагов;
- * начало планомерной съемки геофизических полей Земли на основе разработки прецизионной съемочной аппаратуры и глобальных высокоточных средств определения места;
- * разработку и создание ряда автоматизированных комплексов площадной съемки рельефа дна и поиска подводных объектов с целью обеспечения безопасности мореплавания, изучения строения морского дна и разведки минеральных ресурсов в диапазоне глубин от 0 до 5000 м;
- * разработку и внедрение технических средств и методов, позволяющих представлять, хранить и обрабатывать картографическую информацию в цифровом виде.

В последние годы специалистами Института выявлены около 20 новых физических эффектов, явлений и технологий, на основе которых могут быть созданы принципиально новые средства навигации и океанографии. Возможности использования некоторых из них приведены в журналах "Навигация и гидрография" №1 и №2.

В качестве примера возьмем спутниковую навигационную систему. Как известно, одним из основных факторов, определяющих ее эффективность, является стабильность бортовых эталонов частоты и времени. Она определяет точность формирования шкал времени и, как следствие, точность синхронизации аппаратуры потребителя и точность определения места.

Обнаруженные в 1968 г. галактические высокостабильные источники радиоизлучения (пульсары) открыли возможность создания высокостабильных, независимых от земных условий шкал времени.

В настоящее время учеными Института теоретически разработаны способы и методы автономной синхронизации спутниковых навигационных систем по сигналам пульсаров, что повысит точность определения места, надежность и устойчивость системы в целом.

Подобная система могла бы служить базовой основой не только дальнейшего повышения безопасности маневрирования морских, воздушных и наземных подвижных объектов всех видов Вооруженных Сил, гражданских министерств и ведомств, но и основой для создания новой, подлинно оперативной системы глобального управления ими.

В качестве другого примера следует отметить область применения новейших технологий к изучению и освоению Мирового океана, роль которого неизмеримо возрастает как средства коммуникаций, источника энергетических, минеральных, биологических и других ресурсов. Никогда ранее человеческая деятельность не была в такой степени связана с океаном, как сейчас. Эта связь лежит как в экономической, так и оборонной

областях. 80 % мировых грузовых перевозок приходится на морской транспорт, перспективы добычи нефти и газа связывают в основном с освоением запасов шельфовой зоны, основная часть потребляемых протеинов также добывается в море. В оборонной области прогресс определяется не только созданием новых видов оружия и технических средств флота, но и углублением знаний о морской среде. В этих условиях океанографическая и океанологическая информация, требуемая для принятия эффективных политических, организационных, управленческих, военных и технических решений, приобретает все большее значение.

Сейчас около 60% населения планеты проживает в 60-километровой прибрежной полосе. По прогнозам ЮНЕСКО к 2100 г. доля населения в прибрежной зоне увеличится до 75%. В условиях все более интенсивного освоения океана и связанного с этим риска загрязнения прибрежных и морских акваторий проблема обеспечения экологической безопасности населения приобретает жизненно важное значение. Для планирования и выполнения тех или иных мероприятий по обеспечению экологической безопасности, как и для освоения океана в целом, требуется надежная информация о его текущем и ожидаемом состоянии.

Современные достижения в области повышения быстродействия компьютерных систем, пропускной способности наземных и космических средств связи, внедрение опто-волоконной техники, не говоря уже о расширении возможностей определения ряда элементов состояния среды со спутников, открывают реальные пути для создания оперативной океанографии и океанологии, основой которой явится динамически взаимосвязанная информационная система на базе спутниковых навигационных систем.

Приведенные примеры подтверждают возможность не только радикального усовершенствования, но и создания принципиально новых перспективных средств и методов навигации, гидрографии и океанографии XXI века.

Основные направления национальной технической политики в этой области для достижения качественно новых показателей, видимо, должны состоять в следующем:

1. В укреплении главенствующей роли Гос.НИНГИ МО РФ в определении перспективных направлений развития средств навигации и гидрографии, что будет способствовать ускорению внедрения новейших достижений науки и техники, ликвидации межведомственной разобщенности и параллелизма в работе.

2. В поиске нетрадиционных путей удовлетворения требований к НГО и ГМО со стороны перспективных средств и сил флота на основе разработки научно-обоснованных принципов технической политики в виде совокупности организационных, научно-технических и технологических подходов и методов, определяющих пути и способы разработки, проведения испытаний и использования морских средств навигации, гидрографии и гидрометеорологии с учетом экономических условий.

3. В осуществлении глубокой унификации и стандартизации аппаратных и программных средств навигации, гидрографии и океанографии.

4. В создании технических средств навигации и гидрографии общего пользования.

Научный потенциал Института (более 80 докторов и кандидатов наук), научно-технический задел и налаженные связи с ведущими научно-исследовательскими, учебными организациями и предприятиями Министерства обороны, Академии наук и промышленности вселяют уверенность, что при должной организации и достаточном финансировании поставленная задача по качественному оснащению реформируемого ВМФ техническими средствами навигации, гидрографии и океанографии будет выполнена.

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
МОРСКИХ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ**

В.С.КРАСОВСКИЙ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Показаны состояние и проблемы технического обеспечения современных морских средств навигации с учетом ограничения финансирования военных разработок. Рассмотрены перспективные и реально осуществимые в ближайшем будущем пути совершенствования системы их технического обеспечения на основе снижения затрат на эксплуатацию.

Создание эффективной системы технического обеспечения морских средств навигации (МСН), в состав которых входит вся номенклатура технических средств Главного управления навигации и океанографии МО РФ, является сложной организационно-технической задачей. Обоснованный выбор направлений формирования современной системы технического обеспечения предполагает использование комплексного подхода при решении данной проблемы, т.к. под системой технического обеспечения понимается достаточно большой комплекс мероприятий, включающий заказ на разработку, закупку и обеспечение вооруженных сил техническими средствами и техническим имуществом, накоплением и размещением нормативных запасов, организацию эксплуатации и ремонта, утилизацию и профессиональную подготовку специалистов в данной области. Поэтому перспективным направлением повышения качества технического обеспечения МСН является реализация принципа совместной разработки корабля и комплексов его радиоэлектронного вооружения (РЭВ) и системы их технического обеспечения в целом, начиная с начальных этапов проектирования. Это позволит обеспечить реализацию единых принципов технического обслуживания и ремонта разнородных средств, создание унифицированных средств технического обслуживания и ремонта (ТОиР), разработку единого методического и программного обеспечения органов управления техническим обеспечением и т.п. Совместная разработка МСН и их систем ТОиР даст возможность наиболее полно реализовать преимущества перспективных методов ТОиР, основанных на использовании гибких стратегий обслуживания, базирующихся на учете информации о фактическом техническом состоянии аппаратуры [1]. Их внедрение в практику эксплуатации навигационных комплексов (НК) сопряжено с решением целого ряда научно-технических и организационных проблем, связанных с необходимостью обеспечения сбора и обработки информации о техническом состоянии систем, создания высокопроизводительных (автоматизированных) средств диагностирования и т.д.

Исследования по обеспечению путей совершенствования организации ТОиР, оптимизации состава комплектов ЗИП, повышению эффективности диагностического обеспечения перспективных НК позволяют выделить следующие основные проблемы и направления развития системы технического обеспечения МСН в целом [2]:

1. Совершенствование организации и средств ТОиР.

а) Создание модульной контрольно-испытательной аппаратуры (МКИА) для ТОиР МСН [3].

В настоящее время проводятся исследования по унификации аппаратурных и программных средств контроля, а также по разработке унифицированной МКИА РЭВ. При этом МКИА будет объединять в единой базовой конструкции функциональные модули в виде плат единого стандартизированного формата и обеспечивать измерение практически любых параметров радиоэлектронной аппаратуры.

Требования пригодности МСН к контролю и диагностированию с помощью МКИА должны включаться в ТТЗ на ОКР (в требования к диагностическому обеспечению).

МКИА должна создаваться как специализированная система, действующая по программам, разрабатываемым на основе технологий диагностирования МСН и реализованным с учетом особенностей диагностируемого оборудования.

Создание аппаратуры типа МКИА обеспечит возможность:

- * проведения комплексного обследования МСН и его ЗИП с сокращением трудоемкости работ в 2 – 3 раза;
- * прогнозирования технического состояния МСН на определенный период времени;
- * перехода на проведение профилактических работ и ремонт составных частей МСН по состоянию;
- * сокращения или полной замены штатных КИП и др.

Переносная и стационарная МКИА в зависимости от назначения может включаться в состав МСН, например, навигационных комплексов, берегового ремонтно-технологического оборудования (РТО), оборудования плавмастерских и специализированных судов комплексного снабжения взамен или в дополнение к комплекту стандартизированных измерительных приборов, а также использоваться для отладки аппаратуры при проведении испытаний различного вида на этапе производства МСН и для проверки функционирования и ремонта их ТЭЗов (плат, блоков, приборов).

б) Повышение уровня унификации средств РТО корабельного РЭВ.

Анализ технической документации стендов и РТО, предназначенных для обслуживания корабельных РЭВ, показывает, что практически отсутствует РТО, решающее задачи определения технического состояния и диагностики неисправностей, – комплект РТО разрабатывается под конкретные изделия без попыток унификации или создания РТО на группу изделий. В результате коэффициент использования большинства комплектов РТО чрезвычайно мал, что вызывает "омертвление" средств, вложенных в оборудование. При этом приборы в составе РТО, в основном не позволяют производить поиск неисправности с точностью до элемента замены. Таким образом, существующая организация ТОиР РЭВ, в том числе и МСН, не соответствует современным технико-экономическим требованиям и нуждается в преобразовании.

С целью устранения названных недостатков целесообразно с участием заинтересованных организаций проведение исследований, направленных на:

- * определение возможных путей унификации РТО корабельного РЭВ с учетом особенностей его технического обслуживания (в части разработки диагностического обеспечения, создания экспертных систем, формирования технического облика унифицированных средств и др.);
- * разработку принципов организационно-технического взаимодействия предприятий промышленности и организаций МО при решении вопросов создания указанных средств;
- * формирование банка данных (технические параметры, классификация изделий и составных частей и т.п.) и обоснование требований к унифицированной системе РТО.

в) Совершенствование систем диагностического обеспечения перспективных МСН.

Возможными направлениями совершенствования диагностического обеспечения МСН и повышения уровня автоматизации процесса поиска и устранения неисправностей являются [4, 5]:

- * разработка алгоритмического диагностирования НК в форме ветвящихся технологий поиска неисправностей;
- * включение соответствующих методик в состав эксплуатационной документации;
- * организация специальной подготовки личного состава в области решения задач диагностики и ремонта;
- * одновременное решение задачи выбора структуры и состава системы диагностирования НК с задачей обоснования состава ЗИП;

* определение оптимального перечня диагностических параметров для обеспечения достоверности оценки технического состояния НК;

* разработка локальных технических устройств, механизмирующих операции поиска, и устройств сопоставления значений многих параметров, т.е. автоматизация принятия решения о состоянии объекта диагностирования.

г) Совершенствование организации технического обслуживания МСН.

Опыт эксплуатации и технического обслуживания современных НК показывает, что обеспечение необходимой степени их технической готовности достигается в основном за счет использования групп технического обслуживания (ГТО).

Вместе с тем в последние годы фактическая укомплектованность ГТО составляет только чуть более половины от необходимой, а потребности на поддержание системы эксплуатации МСН (в том числе в поставках серийных изделий) удовлетворяются примерно на треть. Поэтому для поддержания системы эксплуатации МСН на требуемом уровне, прежде всего с учетом названных обстоятельств, необходимо решение ряда организационно-технических проблем, а именно – реорганизация с учетом реформирования ВМФ системы технического обеспечения и эксплуатации в целом, а также повышение уровня материально-технического обеспечения (в том числе и ГТО).

2. *Совершенствование организации заказа и разработки МСН.*

Эффективность системы разработки и производства РЭВ, в том числе и МСН, а также повышение конкурентоспособности и сокращение сроков создания новых образцов РЭВ определяется качеством решения вопросов организации его заказа и аттестации. Поэтому основными направлениями совершенствования организации заказа и разработки перспективных МСН являются:

а) Создание МСН на конкурсных началах.

При этом, как показывает опыт конкурсной разработки МСН, целесообразно:

* ограничивать состав конкурсантов российскими организациями (в том числе отдельными творческими коллективами);

* предусматривать возможность организации конкурса при долевом участии Заказывающих управлений, подключения на различных этапах конкурса новых конкурсантов при условии выполнения ими требований программы в полном объеме, продления конкурса вплоть до этапа рабочего проектирования изделия;

* проводить рассмотрение рабочих материалов конкурсантов на каждом этапе с целью исключения организаций, не удовлетворяющих заданным требованиям, и корректуры "Программы и условий конкурса".

б) Проведение дальнейших исследований по каталогизации МСН как предметов снабжения ВС РФ.

Каталогизация МСН обусловлена необходимостью создания и ведения банка данных о предметах снабжения в интересах управления материально-техническим обеспечением вооруженных сил и решения задач управления оборонным заказом. Основными направлениями исследований по каталогизации МСН являются:

* разработка перечня групп однотипных изделий, подлежащих каталогизации в 1998–2000 гг.;

* разработка стандартных форматов описаний МСН;

* формирование разделов каталога предметов снабжения в части МСН;

* разработка предложений в программу работ по развертыванию и совершенствованию системы каталогизации предметов снабжения.

в) Создание организационных основ сертификации МСН.

В настоящее время внедрение сертификации в процесс создания образцов ВТ, в том числе и МСН, является одним из возможных направлений работ по повышению эффективности системы контроля качества изделий при их разработке, испытаниях и реализации, особенно для образцов "двойного" применения. При этом одним из наиболее предпочтительных вариантов, обеспечивающим минимизацию финансовых затрат, сроков определения организации работ и разработки необходимой документации, является создание специальной испытательной лаборатории по сертификации МСН (на базе Гос.НИНГИ МО).

3. Повышение обоснованности нормативных запасов ЗИП и их размещения.

Реальными путями повышения уровня обоснованности объемов и состава всех видов ЗИП НК являются :

а). Одновременное технико-экономическое обоснование разработки НК и системы его технического обслуживания, в том числе проведение технико-экономической оценки создания ЗИП, в частности:

- * обоснование структуры системы ТОиР (необходимость ГТО, БРТК, стоимость их содержания и т.п.);
- * определение перечня и организации ремонта восстанавливаемых ТЭЗов и трудоемкости разработки технологий поиска неисправностей;
- * возможность воспроизводства элементной базы;
- * возможность выполнения гарантийных обязательств;
- * предложения по унификации РТО и ЗИП комплексов РЭВ данного носителя и др.

б). Совершенствование методов оптимизации состава ЗИП на основе минимизации затрат на эксплуатацию с учетом возможности множественных неисправностей при боевых и аварийных повреждениях [6].

в). Перераспределение мест нахождения и объемов групповых комплектов ЗИП для технического обслуживания МСН в зависимости от изменения дислокации кораблей.

г). Исследование возможности создания общекорабельного ЗИП комплексов РЭВ корабля на основе повышения уровня внутривидовой и межвидовой унификации.

4. Организационно-техническое обеспечение утилизации МСН.

Решение данных вопросов должно осуществляться на основе :

- * включения в ТТЗ на ОКР по созданию новых (модернизируемых) МСН требований о разработке необходимой для их утилизации документации;
- * разработки в ходе рабочего проектирования образцов соответствующей документации, включаемой в ЭД, для утилизации изделий и их ЗИП;
- * создания на флотах организационно-производственных структур по утилизации комплексов РЭВ для снижения потерь от утраты драгоценных и цветных металлов.

5. Создание автоматизированной информационной системы.

Создание на предприятиях-разработчиках МСН, НИУ МО, ЦКБ-проектантах кораблей и в пунктах базирования информационно-справочных систем, обеспечивающих формирование банка данных и функционирование центров технической диагностики и обслуживания, на основе систематизации и обмена данными по техническому обеспечению, надежности и движению ЗИП изделий. Это позволит повысить достоверность контроля технического состояния и эффективность обслуживания комплексов РЭВ корабля в целом.

6. Повышение уровня ремонтной подготовки специалистов штурманских БЧ и ГС флотов путем:

- * создания специализированных стендов-тренажеров по диагностированию МСН;
- * создания специальных общевидовых центров подготовки специалистов по ремонту изделий ВТ и единых флотских центров по ремонту корабельных комплексов РЭВ, оборудованных стационарной МКИА;

* повышения уровня ремонтной подготовки (увеличение количества часов занятий по данной тематике, привлечение для проведения занятий высококвалифицированных специалистов промышленности и ВМФ, проведение практики слушателей на предприятиях-разработчиках, обучение на специализированных стендах тренажерах и т.д.).

Реализация вышеизложенных предложений позволит повысить эффективность функционирования системы технического обеспечения морских средств навигации на основе более рационального использования финансовых и материальных ресурсов на всех стадиях жизненного цикла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зеленцов В.А., Гагин А.А. Надежность, живучесть и техническое обслуживание сетей связи. МО СССР, ВИКА им.А.Ф.Можайского, 1991.– 169 с.
2. Красовский В.С. Проблемы развития и совершенствования системы технического обслуживания и ремонта навигационных комплексов // Тезисы докладов XXIII научно-практической конференции ВМА им. адм.Н.Г.Кузнецова “Флот и военно-морское образование конца XX–начала XXI в.”1997.
3. Красовский В.С. Использование модульной контрольно-испытательной аппаратуры для технического обслуживания и ремонта навигационных комплексов // Сб. реф. деп. рук., серия В, вып.38, 1997.
4. Развозов С.Ю., Красовский В.С., Моклокова Е.А. Современные подходы к решению проблемы диагностики МСН.// Записки по гидрографии, ГУНиО МО РФ, вып.238, 1996.
5. Ксенз С.П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств // М. “Радио и связь”, 1989.– 247 с.
6. Красовский В.С. К вопросу учета множественных неисправностей при определении состава одиночного ЗИП навигационных комплексов // Навигация и гидрография, Гос.НИНГИ МО РФ, 1996, №2.

ГРНТИ 78.21.43

АВИАЦИОННО-КЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЕВРОПЫ

Е. ВРУБЕЛЬ

(Высшая школа Военно-воздушных сил,
Демблин, Польша)

Предлагается оригинальный метод авиационно-климатического районирования территорий. Приводится краткая авиационно-климатическая характеристика Центральной Европы, полученная в результате применения разработанного метода.

Как известно, метеорологические условия оказывают существенное влияние на действия авиации, в значительной мере определяя эффективность ее использования, безопасность полетов, взлета и посадки летательных аппаратов.

В связи с этим при планировании действий авиации и управлении воздушными силами возникает необходимость получения информации о метеорологической обстановке в том районе, где предполагается использование авиации, и на тот интервал времени, когда намечается проведение мероприятий. Как правило, момент времени, когда необходимо знание метеорологических условий для принятия решений, упреждает время фактического использования авиации. Этот временной интервал может составлять от нескольких часов до нескольких недель и даже месяцев. Таким образом, для метеорологического обеспечения процесса планирования действий авиации и управления воздушными силами требуются прогностические данные о состоянии атмосферы.

Известно также, что современные методы метеорологических прогнозов обеспечивают приемлемую их достоверность при сроках действия, не превышающих нескольких суток. Поскольку потребности планирования действий авиации обуславливают необходимость знания метеорологических условий со значительно большей заблаговре-

менностью, то приходится прибегать к альтернативному способу получения требуемой информации.

Таким альтернативным способом является использование климатических данных, получаемых путем статистической обработки результатов метеорологических наблюдений. Однако климатическое описание метеорологических условий для обширных территорий, особенно в тех случаях, когда исследуются многие метеорологические параметры и требуются достаточно детальные характеристики их пространственного и временного распределения, как правило, приводит к необходимости обработки большого объема различных материалов, из которых обычно сложно составить цельное представление об особенностях той или иной территории. Поэтому для получения более компактной и целенаправленной климатической характеристики прибегают к районированию территории. Такой подход позволяет более четко выявить характерные черты климата каждого района и найти отличия в метеорологических условиях различных частей рассматриваемой территории. Кроме того, климатическое районирование обеспечивает направленность использования метеорологических данных в интересах народного хозяйства и оборонных отраслей. Принципы районирования должны исходить из потребностей какой-либо сферы человеческой деятельности.

При разработке метода авиационно-климатического районирования Центральной Европы учтен опыт предыдущих исследований [1, 2], показывающий что, во-первых, в методах климатического районирования допускается известная произвольность выбора метеорологических параметров и критериев районирования и, во-вторых, во всех случаях границы между климатическими областями и районами принимаются совпадающими с зонами сгущения изолиний статистических характеристик выбранных метеорологических параметров.

Предлагаемая статья имеет цель определить совокупность метеорологических условий, создающих благоприятную или неблагоприятную среду для использования авиации. В качестве основных метеорологических параметров были выбраны высота нижней границы облаков и видимость. Как известно, именно эти параметры при определенных значениях обуславливают появление сложных и особо сложных метеорологических условий, ограничивающих действия авиации. Особенно сильно сказывается совместное воздействие этих параметров.

В связи с этим для характеристики сложных и особо сложных метеорологических условий были применены комплексы выбранных параметров со следующими пороговыми значениями:

- комплекс, характеризующий сложные условия – высота нижней границы облаков 200 м и менее, видимость 2 км и менее, в дальнейшем обозначается 200/2;
- комплекс, характеризующий особо сложные условия – высота нижней границы облаков 100 м и менее, видимость 1 км и менее, в дальнейшем обозначается 100/1.

Авиационно-климатическое районирование основывается на анализе географического распределения статистических характеристик указанных комплексов по территории Центральной Европы. Для расчета статистических характеристик были выбраны данные наблюдений за период 1976–1988 гг. 191 метеорологической станции, равномерно распределенных по территории. Расстояние между станциями не превышало 10–150 км. В результате статистической обработки данных для каждой из них получены:

- среднемесячные и годовые повторяемости (в %) комплексов 100/1 и 200/2;
- годовой ход повторяемостей комплексов 100/1 и 200/2 в виде значения некоторого коэффициента K , который представляет собой отношение повторяемостей этих комплексов в летнее время (апрель–сентябрь) к повторяемости в зимнее время (октябрь–март);

– годовые амплитуды повторяемостей комплексов 100/1 и 200/2.

Кроме того, вычислены средние месячные повторяемости количества облачности по градациям: 0–3, 4–6 и 7–10 баллов, использованные при текстовом описании.

Учитывая сравнительно небольшие расстояния между выбранными станциями, было сделано допущение о том, что совокупности данных по ним могут достаточно удовлетворительно характеризовать непрерывные поля исследуемых климатических параметров на всей территории Центральной Европы. Вследствие этого вычисленные по каждой станции значения климатических параметров были нанесены на карту и проведены соответствующие изолинии. В качестве иллюстрации на рис.1 представлена одна из карт географического распределения климатических параметров для комплекса метеорологических условий 200/2.

Эти карты, а также аналогичные карты для комплекса 100/1 явились основой для осуществления климатического районирования. Границы между авиационно-климатическими районами были проведены по зонам сгущения изолиний с таким расчетом, чтобы внутри каждого района имели место квазиоднородные распределения повторяемостей климатических параметров и аналогичный годовой ход.

В результате удалось выявить 20 районов, каждый из которых имеет свои индивидуальные характерные черты (рис.2).

Рассмотрим возможность количественно, с помощью некоторых условных баллов, оценить степень благоприятствования каждого района для действий авиации.

Самой благоприятной принята обстановка, когда:

- годовая повторяемость особо сложных и сложных условий (т.е. комплексов 100/1 и 200/2) является малой;
- колебания повторяемости комплексов 100/1 и 200/2 в течение года от лета к зиме невелики, т.е. коэффициент K близок к единице;
- годовая амплитуда повторяемости комплексов 100/1 и 200/2 мала.

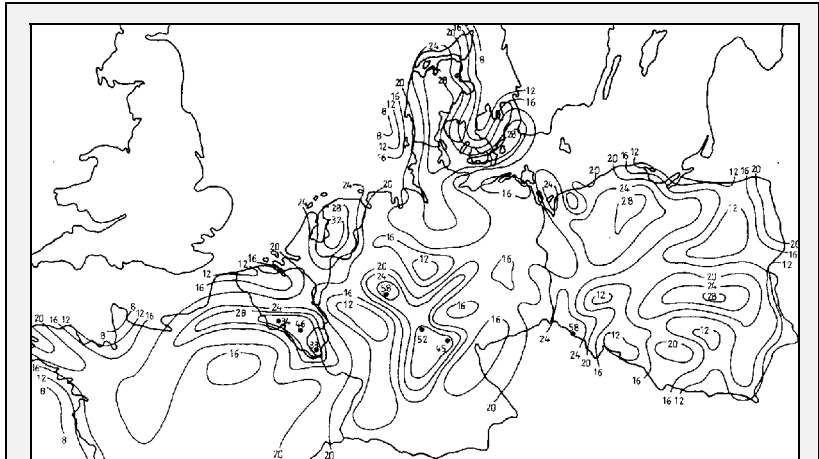


Рис. 1. Географическое распределение средних годовых повторяемостей (%) комплекса метеорологических условий 200/2.

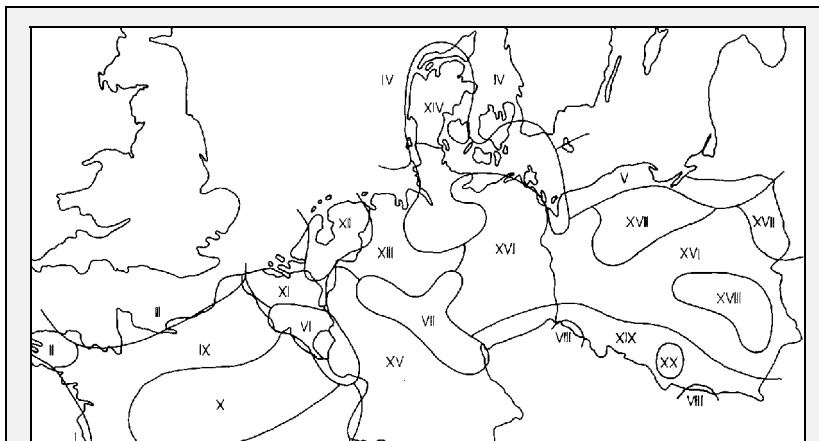


Рис. 2. Авиационно-климатическое районирование Центральной Европы.

Для проведения количественной оценки были разработаны шкалы баллов, которые приведены в табл. 1–3.

Таблица 1
Шкала оценок повторяемостей комплексов 100/1 и 200/2

Повторяемость, %	Балл
менее 10	10
от 10 до 19	8
от 20 до 29	6
от 30 до 39	4
от 40 до 50	2
более 50	0

Таблица 2
Шкала оценок значений коэффициента K

Величина K	Балл
менее 10	1
от 0,25 до 0,74	3
от 0,75 до 1,24	5
от 1,25 до 1,75	3
более 1,75	1

Сумма баллов для каждого климатического района характеризует в принятых условных единицах степень благоприятствования условий для действия авиации. Разумеется, что абсолютное значение суммы баллов не может характеризовать степень эффективности и безопасности действий авиации в натуральных размерных показателях, однако эта величина свидетельствует об относительной ценности метеорологических условий того или иного района. Географическое распределение суммы баллов оценки условий благоприятствования для комплекса 200/2 на территории Центральной Европы приведено на рис.3. Данная карта получена на основании расчетов баллов для каждой метеорологической станции и последующего проведения изолиний. На основе анализа карты выполнено ранжирование авиационно-климатических районов по уровням их ценности для успешного использования авиации. При этом, исходя из изложенного выше, районы с большей суммой баллов признаются более благоприятными для действий и безопасности авиации. Данные об относительной ценности авиационно-климатических районов приведены в табл. 4.

Таблица 3
Шкала оценок годовой амплитуды повторяемостей комплексов 100/1 и 200/2

Амплитуда, %	Балл
менее 10	5
от 10 до 19	4
от 20 до 29	3
от 30 до 39	2
от 40 до 50	1
более 50	0

ния для комплекса 200/2 на территории Центральной Европы приведено на рис.3. Данная карта получена на основании расчетов баллов для каждой метеорологической станции и последующего проведения изолиний. На основе анализа карты выполнено ранжирование авиационно-климатических районов по уровням их ценности для успешного использования авиации. При этом, исходя из изложенного выше, районы с большей суммой баллов признаются более благоприятными для действий и безопасности авиации. Данные об относительной ценности авиационно-климатических районов приведены в табл. 4.

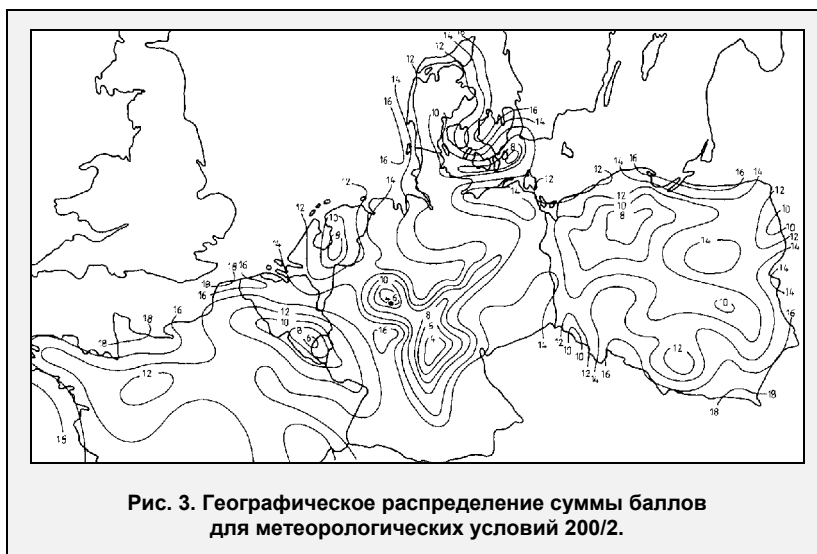


Рис. 3. Географическое распределение суммы баллов для метеорологических условий 200/2.

Проведенное районирование, а также сравнительная оценка метеорологических условий использования авиации позволяет выделить на территории Центральной Европы области с наиболее и наименее благоприятными условиями. Наиболее благоприятной является область, охватывающая юго-западное и западное побережья Франции, побережье п-ва Ютландия и прилегающие к нему острова, а также побережье Польши. Наименее благоприятными являются районы, охватывающие горные и возвышенные территории Европы. Остальные части территории Центральной Европы занимают промежуточное положение.

Ранжирование авиационно-климатических районов по степени благоприятности условий использования авиации

Сумма баллов	Авиационно-климатические районы	
	по данным для комплекса 100/1	по данным для комплекса 200/2
18-20	I, III, IV, V	I, III
15-17	II, XI, XIII, XV, XVI, XVIII, XIX, XX	IV, V, XI, XV
12-14	IX, X, XII, XIV, XVII	II, IX, X, XIII, XVI, XIX, XX
9-11	VI, VIII	VIII, XII, XIV, XVII, XVIII
6-8	VII	VI
3-5	—	VII

Таким образом, проведенное авиационно-климатическое районирование должно способствовать повышению качества метеорологического обеспечения авиации, особенно при введении автоматизированных систем управления, допускающих количественное усвоение метеорологической информации.

При подготовке статьи к публикации автор выражает глубокую признательность сотрудникам Гос.НИНГИ В.Л.Галахову и В.А.Катенину.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наровлянский Г.Я. Районирование территории США по характеру годового хода облачности - М.: Гидрометеиздат, 1979.
2. Дерюгина Т.М. Авиационно-климатическое районирование территории СССР по характеру годового хода облачности и горизонтальной видимости - М.: Гидрометеиздат, 1979.



МЕТОДЫ, ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВИГАЦИИ. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШТУРМАНА

ГРНТИ 78.25.31.35.29.31.29

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВРЕМЕНИ ПОИСКА ТЕРПЯЩИХ БЕДСТВИЕ НА МОРЕ ОБЪЕКТОВ

**А.Е.САЗОНОВ,
И.П.БУКАНОВ**
(ГМА им.адм.С.О.Макарова)

Вводятся критерий эффективности функционирования и характеристики точности средств местоопределения объектов, терпящих бедствие на море. Для специального случая поиска неподвижной цели одиночной поисковой единицей сформулированы и доказаны теоремы, связывающие среднее время поиска с дифференциальной энтропией плотности вероятности расположения поискового объекта.

Одним из основных эксплуатационных требований к глобальной морской системе связи при бедствии и обеспечения безопасности (ГМССББ) является получение достаточно высокой точности местоопределения объекта, терпящего бедствие. В то время как в нормальных эксплуатационных условиях стандарты точности судовождения при оценке эффективности работы систем, предназначенных для определения места судна, оговорены в резолюции ИМО А.529(13) [1], для случаев, когда судно (люди) терпят бедствие, получение подобных количественных оценок затруднено.

В ГМССББ не оговариваются критерии эффективности функционирования средств местоопределения. При этом очевидно, что они должны быть непосредственно связаны с эффективностью проведения поисково-спасательных операций. Как известно [2], основной задачей теории поиска является нахождение оптимальных стратегий, приводящих к минимизации времени (максимальной вероятности обнаружения) поиска при фиксации ряда параметров. Однако, даже для простейших видов распределения местоположения объекта поиска (цели) выполнить аналитический расчет оптимальной траектории движения поисковой единицы (ПЕ) не представляется возможным [3]. С нашей точки зрения, при выборе системной характеристики эффективности средств местоопределения целесообразно остановиться на среднем времени поиска, а оценки проводить для субоптимальных стратегий поиска, близких к рекомендуемым международными руководствами по проведению поисково-спасательных работ на море [4,5].

В настоящей работе в качестве характеристик точности определения местоположения терпящего бедствие на море объекта используется ряд интегральных характеристик от плотности вероятности (в частности, дифференциальная энтропия), на основе которых получены оценки среднего времени поиска.

Пусть цель неподвижна. Плотность вероятности расположения цели на плоскости имеет вид $p(x, y)$ и является гладкой унимодальной функцией. Поиск осуществляется одиночной ПЕ. Принимается, что ПЕ перемещается из начального пункта поиска (x_0, y_0) с постоянной линейной скоростью v по некоторой кривой γ , называемой траекторией. ПЕ, находясь в точке (x, y) прикладывает поисковые усилия таким образом, что если цель расположена на прямой, проходящей через точку (x, y) траектории и центр кривизны кривой в данной точке (на расстоянии не более чем D по обеим сторонам от траектории), то она будет обнаружена с единичной вероятностью. Таким образом, область обнаружения на плоскости, образованная движением ПЕ по траектории γ , представляет собой полосу S шириной $2D$.

Принимается, что полоса S осуществляет укладку плоскости, на которой выполняется операция поиска.

Пусть $\gamma(x_i, y_i, t_i)$ означает, что ПЕ в момент времени t_i находится в точке (x_i, y_i) . Опираясь на правило Блекуэла-Блека-Кадана [6] можно утверждать, что для обеспечения наименьшего времени поиска траектория γ должна быть такой, чтобы с перемещением ПЕ для двух любых моментов времени t_i и t_k , ($t_k > t_i$) выполнялось условие $p(x_i, y_i) \geq p(x_k, y_k)$. При этом начальный пункт поиска совпадает с максимумом унимодальной плотности $p(x, y)$. Определенную таким образом траекторию движения ПЕ назовем А-траекторией. Требуется оценить среднее время T , необходимое для обнаружения цели.

Теорема 1. Пусть движение поисковой единицы осуществляется по А-траектории, а плотность вероятности обнаружения цели есть $p(t)$. Тогда среднее время T обнаружения цели удовлетворяет неравенству

$$\frac{1}{e} e^{H_o \ln 2} \leq T \leq \frac{1}{2} e^{H_o \ln 2}, \quad (1)$$

где $H_o = - \int_t p(t) \log_2 p(t) dt$ - дифференциальная энтропия.

Доказательство. По известной кривой А-траектории выполняется функциональное преобразование плотности вероятности $p(x, y)$ в плотность вероятности $p(l)$ расположения цели по длине l траектории. Поскольку $l = vt$, то имеет место однозначное преобразование $p(l)$ в плотность вероятности обнаружения цели $p(t)$ как функцию от времени поиска. Тогда среднее время поиска

$$T = \int_t tp(t) dt. \quad (2)$$

Найдем плотность вероятности $p(t)$, доставляющую минимальное значение среднего времени поиска. Для чего решим вариационную задачу о нахождении функции $p(t)$, обеспечивающей минимум функционала $T = \int_0^\infty tp(t) dt$ при дополнительных

$$\text{условиях } \int_0^\infty p(t) dt = 1; \quad - \int_0^\infty p(t) \log_2 p(t) dt = H_o.$$

Решение соответствующего дифференциального уравнения Эйлера-Лагранжа

$$\frac{d}{d p(t)} [tp(t) + \lambda_1 p(t) - \lambda_2 p(t) \log_2 p(t)] = 0,$$

где λ_1, λ_2 – постоянные,

приводит к плотности показательного закона распределения

$$p(t) = a e^{-at}, \quad a = e^{1-H_o \ln 2}.$$

Непосредственный расчет по формуле (2) дает среднее время $T = \frac{1}{a} = \frac{1}{e} e^{H_o \ln 2}$, что и доказывает левую часть неравенства (1).

Для доказательства правой части неравенства (1) воспользуемся тем фактом, что плотность вероятности, доставляющая максимальное значение среднего времени при фиксированной энтропии, эквивалентна плотности, обеспечивающей минимальное

Методы, точность и эффективность навигации. Деятельность штурмана

значение энтропии при фиксированном среднем времени. Таким образом, ставится вариационная задача минимизации функционала

$$-\int_0^b p(t) \log_2 p(t) dt \quad (3)$$

при дополнительных условиях

$$\int_0^b p(t) dt = 1; \quad \int_0^b tp(t) dt = T. \quad (4)$$

Таблица 1

Среднее время обнаружения для различных законов распределения местоположения цели при постоянной энтропии

№	Закон распределения местоположения цели по длине траектории $p(t)$	Среднее время обнаружения цели T , с	Энтропия H_o	Относительное среднее время обнаружения цели $T \lambda$
1	$\lambda e^{-\lambda t}$	$\frac{1}{\lambda}$	$\log_2 \frac{e}{\lambda}$	1,000
2	$\begin{cases} 1/\Delta, 0 \leq t \leq \Delta; \\ 0, t < 0, t > \Delta \end{cases}$	$\frac{1}{\Delta}$	$\log_2 \Delta$	1,365
3	$\frac{\mu^2}{2} e^{-\mu\sqrt{t}}$	$\frac{6}{\mu^2}$	$\log_2 \frac{2e^2}{\mu^2}$	1,098
4	$\frac{t}{\sigma^2} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$	$\sigma \sqrt{\frac{\pi}{2}}$	$\log_2 \frac{\sigma}{\sqrt{2}} e^{\frac{c}{2}+1}$ $c = 0,5772\dots$	1,325
5	$\frac{\sqrt{2}}{\sigma\sqrt{\pi}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$	$\sigma \sqrt{\frac{2}{\pi}}$	$\log_2 \sigma \sqrt{\frac{\pi e}{2}}$	1,052
6	$\frac{4t^2}{\sqrt{\pi} (2\sigma^2)^{\frac{3}{2}}} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}}$	$\sigma \sqrt{\frac{8}{\pi}}$	$\frac{1}{2} \log_2 \frac{2\pi\sigma^2}{e} + c \log_2 e$	1,016
7	$\begin{cases} \left(\frac{4}{b} - \frac{6}{b^2}T\right) + \left(-\frac{6}{b^2} + \frac{12}{b^3}T\right)t; \\ 0 \leq t \leq b; \\ 0, t < 0, t > b; \end{cases}$ $b = 3T$	$\frac{b}{3}$	$\log_2 \frac{\sqrt{e}}{2} b$	1,102

Согласно определению А-траектории, решение вариационной задачи должно находиться в классе невозрастающих функций плотности вероятности. Используя из-

вестное неравенство $\ln x \leq (x-1)$ при $x > 0$, вариационную задачу (3) приводим к задаче обеспечения максимума функционала $\int_0^b p^2(t) dt$ при прежних дополнительных условиях (4).

Решение соответствующего дифференциального уравнения Эйлера-Лагранжа

$$\frac{d}{d p(t)} [t p(t) + \lambda_1 p(t) - \lambda_2 p(t) \log_2 p(t)] = 0$$

имеет вид

$$p(t) = \frac{4}{b} - \frac{6}{b^2} T_m + \left(-\frac{6}{b^2} + \frac{12}{b^3} T_m \right) t, \quad \left(-\frac{6}{b^2} + \frac{12}{b^3} T_m \right) \leq 0.$$

Приняв $b = 2T_m$, имеем равномерный закон распределения

$$p(t) = \begin{cases} \frac{1}{2T_m}, & 0 \leq t \leq 2T_m; \\ 0, & t < 0, t > 2T_m, \end{cases} \quad (5)$$

для которого из известного уравнения энтропии $H_o = \log_2 2T_m$ находится среднее значение времени $T_m = \frac{1}{2} e^{H_o \ln 2}$. Таким образом доказана правая часть неравенства (1), а следовательно, и теорема 1 в целом.

В табл.1 представлены расчеты среднего времени T обнаружения цели для различных законов распределения $p(t)$ при постоянном значении энтропии H_o . Среднее время поиска имеет максимальное значение, если плотность вероятности расположения цели распределена по равномерному закону (5), при этом поисковая площадь определяется как

$$S_e = 2vD 2^{H_o}, \quad (6)$$

которую для определенности назовем энтропийной.

Следствие 1. Среднее время обнаружения на энтропийной площади при условии равномерного распределения расположения цели на ней определяет верхнюю границу оценки среднего времени поиска, независимо от формы области поиска.

Поскольку плотность вероятности $p(t)$ и плотность вероятности $p(\rho)$ распределения радиус-вектора ρ при записи $p(x, y)$ в полярной системе координат связаны между собой соотношением $p(t) = p(\rho) \left| J \left(\frac{\rho}{t} \right) \right|$, где $\left| J \left(\frac{\rho}{t} \right) \right|$ – модуль якобиана преобразования, зависящий от формы кривой γ траектории, то согласно [7] $H_o = H(\rho) - \int p(\rho) \log_2 \left| J \left(\frac{\rho}{t} \right) \right| d\rho$, где $H_o = - \int_t p(t) \log_2 p(t) dt$. Следовательно, выражение (6) примет вид

$$S_e = 2vD 2^{H(\rho) - \int p(\rho) \log_2 \left| J \left(\frac{\rho}{t} \right) \right| d\rho}. \quad (7)$$

Исследуем более подробно класс круговых распределений $p(x, y)$.

Для обозначенного класса распределений кривая А-траектории с большой точностью представляет собой спираль Архимеда с шагом $2D$ и с центром в начальном пункте поиска. Расстояние l , пройденное ПЕ при перемещении из начального пункта поиска ($t = 0$) и до момента времени t , есть соответствующая длина дуги спирали

Архимеда. И можно показать, что приближенно $l = vt = \frac{\pi \rho^2}{2D}$, а относительная погрешность δ задается выражением

$$\delta = \frac{\left[\varphi \sqrt{\varphi^2 + 1} + \ln \left(\varphi + \sqrt{\varphi^2 + 1} \right) \right] - \varphi^2}{\left[\varphi \sqrt{\varphi^2 + 1} + \ln \left(\varphi + \sqrt{\varphi^2 + 1} \right) \right]},$$

где φ – угол поворота луча, и при $\varphi > 20$ рад. $\delta < 0,01$.

Таблица 2

Энтропийная площадь круговых распределений

№	Плотность распределения местоположения цели на плоскости $p(x, y)$	Закон распределения местоположения цели по длине траектории $p(t)$	Энтропия $H(x, y)$	Энтропия H_o	Энтропийная площадь S_e
1	$\frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$	$\frac{vD}{\pi\sigma^2} e^{-\frac{vD}{\pi\sigma^2}}$	$\log_2 2\pi\sigma^2 e$	$\log_2 \frac{\pi\sigma^2 e}{vD}$	$2\pi\sigma^2 e$
2	$\frac{\lambda^2}{2\pi} e^{-\lambda\sqrt{x^2+y^2}}$	$\frac{\lambda^2 vD}{\pi} e^{-\lambda\sqrt{\frac{2vDt}{\pi}}}$	$\log_2 \frac{2\pi e^2}{\lambda^2}$	$\log_2 \frac{\pi e^2}{\lambda^2 vD}$	$\frac{2\pi e^2}{\lambda^2}$
3	$\begin{cases} \frac{3}{\pi R^3} (R - \sqrt{x^2 + y^2}); \\ \sqrt{x^2 + y^2} \leq R; \\ 0, \sqrt{x^2 + y^2} > R \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{6vD}{\pi R^3} \left(R - \sqrt{\frac{2vDt}{\pi}} \right); \\ t \leq \frac{\pi R^2}{2vD}; \\ 0, t > \frac{\pi R^2}{2vD} \end{cases}$	$\log_2 \frac{1}{3} e^{\frac{5}{6}} \pi R^2$	$\log_2 \frac{e^{\frac{5}{6}} \pi R^2}{6vD}$	$\frac{e^{\frac{5}{6}} \pi R^2}{3}$
4	$\begin{cases} \frac{1}{\pi R^2}, x^2 + y^2 \leq R^2; \\ 0, x^2 + y^2 > R^2; \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{2vD}{\pi R^2}, t \leq \frac{\pi R^2}{2vD}; \\ 0, t > \frac{\pi R^2}{2vD} \end{cases}$	$\log_2 \pi R^2$	$\log_2 \frac{\pi R^2}{2vD}$	πR^2

Таким образом $\rho = \sqrt{\frac{2vDt}{\pi}}$, а модуль якобиана преобразования принимает вид

$$\left| J \left(\frac{\rho}{t} \right) \right| = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2vD}{\pi t}}. \quad (8)$$

Подставив выражение (8) в формулу (7), имеем

$$S_e = \pi 2^{H(\rho) + \int \rho(\rho) \log_2 \rho d\rho + I}.$$

В табл.2 представлены результаты расчетов энтропийной площади S_e для некоторых круговых распределений $p(x, y)$.

Следствие 2. Пусть $p(x, y)$ есть плотность расположения цели на плоскости с дифференциальной энтропией $H(x, y) = - \iint p(x, y) \log_2 p(x, y) dx dy$. Тогда для энтропийной площади справедливо равенство

$$S_e = 2^{H(x, y)}. \quad (9)$$

Справедливость формулы (9) подтверждается свойствами дифференциальной энтропии [7]. Действительно, представление поисковой области произвольной формы в виде полосы S приводит к перераспределению плотности $p(x, y)$ при сохранении множества дифференциальных вероятностей. Данное преобразование не изменяет масштаба переменных, следовательно сохраняется величина дифференциальной энтропии. В качестве подтверждающего примера в табл.2 для некоторых распределений $p(x, y)$ приведены формулы энтропий $H(x, y)$.

Сравнив данные табл.1 и табл.2, небезынтересно заметить, что при фиксации дифференциальной энтропии минимальное среднее время обнаружения достигается при поиске цели для круговой нормальной плотности вероятности расположения объекта.

При прежних требованиях относительно плотности вероятности $p(x, y)$ и характеристиках поисковой системы, опираясь на правило Блекуэла-Блека-Кадана, определим новый способ задания траектории движения ПЕ, названный В-траекторией. На поверхности $p(x, y)$ построим множество линий уровня. Поскольку рассматриваются унимодальные гладкие распределения, то линии уровня представляют собой некоторые замкнутые без пересечений кривые. Замкнутые кривые расположим таким образом, чтобы максимальное расстояние между любыми соседними кривыми равнялось $2D$.

Перемещение ПЕ в момент времени $t = 0$ начинается из начального пункта (x_0, y_0) , соответствующего максимуму унимодальной плотности $p(x, y)$. Движение происходит по замкнутым линиям уровня. После обхода некоторого контура с $p(x, y) = p_i$ имеет место мгновенный переход на соседнюю линию уровня с $p(x, y) = p_k$, причем $p_i \geq p_k$. Область обнаружения на плоскости, образованная движением ПЕ по В-траектории, представляет некоторое множество замкнутых полос S шириной $2D$. Данное множество полос осуществляет покрытие плоскости, на которой выполняется поиск.

Зададим полное множество $\{A_k\}$ несовместимых событий, заключающихся в том, что случайная точка на плоскости принадлежит некоторой линии уровня p_k . С каждой линией уровня p_k свяжем числовую величину S_k , определенную как площадь области Q_k , ограниченной замкнутой кривой G_k линии уровня $S_k = \iint_{Q_k} dx dy$, кото-

рую для определенности назовем площадью рассеивания. Тогда событие $A_k \in \{A_k\}$ можно трактовать как событие, при котором случайная точка имеет площадь рассеивания S_k . Для площади рассеивания определяется функция распределения и плотность вероятности

$$F(S) = P\{S_k \leq S\} = \iint_Q p(x, y) dx dy; \quad p(S) = \frac{dF(S)}{dS}.$$

Теорема 2. Пусть движение поисковой единицы осуществляется по В-траектории, а плотность вероятности площади рассеивания есть $p(S)$. Тогда среднее время T обнаружения цели удовлетворяет неравенству

$$\frac{S_c}{4vD} \leq T, \quad (10)$$

где $S_c = \int_S p(S) dS$ – средняя площадь рассеивания.

Доказательство. Принимая во внимание постоянство скорости v движения ПЕ, доказательство выражения (10) эквивалентно доказательству неравенства $\frac{S_c}{2D} \leq L$, где L – средняя длина пути, пройденная ПЕ к моменту времени обнаружения цели.

Зададим некоторую плотность вероятности $p(S)$ площади рассеивания со средней площадью рассеивания

$$S_c = \int_S p(S) dS = \int_S dF(S). \quad (11)$$

Пусть существует плотность вероятности $p(x, y)$ расположения цели, для которой

$$\iint_Q p(x, y) dx dy = F(S). \quad (12)$$

Очевидно, что преобразование, обратное интегральному преобразованию (12), является неоднозначным. Можно указать множество распределений $p(x, y)$, следовательно, и множество $\{G\}$ уравнений замкнутых кривых, приводящих к заданному формулой (12) результату. Из возможного множества $\{G\}$ выделим кривые G , обладающие для любого уровня p_k плотности вероятности $p(x, y)$ минимальной длиной при заданной площади S области Q , ограниченной данной кривой. Записав уравнение кривой G в полярной системе координат $r(\varphi)$, где $\varphi \in [0, 2\pi]$, приходим к взаимной классической изопериметрической вариационной задаче в узком смысле [8] – найти функцию $r(\varphi)$, обеспечивающую минимальное значение функционала

$$L = \int_0^{2\pi} \sqrt{r^2(\varphi) + \left[\frac{dr(\varphi)}{d\varphi}\right]^2} d\varphi \quad (13)$$

при условии фиксации площади $S = \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} r^2(\varphi) d\varphi$, ограниченной замкнутой кривой.

Решение вариационной задачи (13) приводит к экстремалиям $r(\varphi) = const$, являющимися семейством окружностей.

Таким образом распределение $p(x, y)$, обеспечивающее минимальное значение среднего пути при фиксированной функции $p(S)$, должно быть круговым. Введем переменную радиус-вектор ρ и, учитывая, что площадь, ограниченная окружностью радиуса ρ , равна $S = \pi\rho^2$, перепишем выражение (11) в новой форме

$$S_c = \int_{\rho} \pi \rho^2 p(\pi \rho^2) d(\pi \rho^2). \quad (14)$$

Для круговых распределений В-траекторию ПЕ можно представить функцией, описывающей спираль Архимеда с центром в максимуме унимодальной плотности вероятности $p(x, y)$ и шагом $2D$. Для данного случая непрерывная полоса S шириной $2D$ осуществляет укладку плоскости, на которой выполняется поиск. Принимается приближенное равенство длин одного витка спирали Архимеда и окружности соответствующего радиуса. Текущая длина l пути поисковой единицы равна длине дуги спирали Архимеда $l = \frac{\pi \rho^2}{2D}$. Без потери общности принимается $D = 0,5$, из чего следует

$l = \pi \rho^2$. Поскольку $L = \int_l p(l) dl$, где $p(l)$ – распределение вероятности обнаружения цели при движении ПЕ по траектории, описываемой спиралью Архимеда, то

$$L = \int_{\rho} \pi \rho^2 p(\pi \rho^2) d(\pi \rho^2). \quad (15)$$

Таблица 3

Средняя площадь рассеивания для некоторых круговых распределений местоположения цели

№	Плотность распределения местоположения цели на плоскости $p(x, y)$	Плотность распределения радиуса-вектора $p(\rho)$	Плотность площади рассеивания $p(S)$	Площадь рассеивания S_c
1	$\frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$	$\frac{\rho}{\sigma^2} e^{-\frac{\rho^2}{2\sigma^2}}$	$\frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{S}{2\pi\sigma^2}}$	$2\pi\sigma^2$
2	$\frac{\lambda^2}{2\pi} e^{-\lambda\sqrt{x^2+y^2}}$	$\rho\lambda^2 e^{-\lambda\rho}$	$\frac{\lambda^2}{2\pi} e^{-\lambda\sqrt{\frac{S}{\pi}}}$	$\frac{6\pi}{\lambda^2}$
3	$\begin{cases} \frac{3}{\pi R^3} (R - \sqrt{x^2 + y^2}); \\ \sqrt{x^2 + y^2} \leq R; \\ 0, \sqrt{x^2 + y^2} > R \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{6\rho}{R^3} (R - \rho); \\ 0 \leq \rho \leq R; \\ 0, \rho > R \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{3}{\pi R^3} (R - \sqrt{\frac{S}{\pi}}); \\ 0 \leq S \leq \pi R^2; \\ 0, S > \pi R^2 \end{cases}$	$\frac{3\pi R^2}{10}$
4	$\begin{cases} \frac{1}{\pi R^2}, x^2 + y^2 \leq R^2; \\ 0, x^2 + y^2 > R^2 \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{2\rho}{R^2}, 0 \leq \rho \leq R; \\ 0, \rho > R \end{cases}$	$\begin{cases} \frac{1}{\pi R^2}, 0 \leq S \leq \pi R^2; \\ 0, S > \pi R^2; \end{cases}$	$\frac{\pi R^2}{2}$

Сравнение формул (14) и (15) дает

$$L = S_c. \quad (16)$$

Примем распределение вероятности расположения цели в области, представляющей собой круг радиуса R_c площади S_c , равномерным

$$p(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{S_c}, & x^2 + y^2 \leq R_c^2; \\ 0, & x^2 + y^2 > R_c^2. \end{cases}$$

Тогда средняя длина пути до момента времени обнаружения цели $L_p = \int_0^{\pi R_c^2} \frac{l}{S_c} dl = \frac{S_c}{2}$, и, согласно (16), $L_p < L$. Сделав переход от длины пути к среднему времени T обнаружения для произвольного значения D , имеем неравенство (10), что и доказывает теорему 2.

В табл.3 представлены значения средних площадей рассеивания S_c для некоторых круговых распределений.

Следствие. Пусть $p(x, y)$ есть плотность вероятности расположения цели, а $p(S)$ – соответствующая плотность вероятности площади рассеивания. Тогда среднее время обнаружения на площади рассеивания S_c , при условии равномерного распределения расположения цели на ней, определяет нижнюю границу оценки среднего времени поиска, независимо от формы области поиска.

Для класса круговых распределений $p(x, y)$ имеет место совпадение A -траектории и B -траектории. Данное обстоятельство позволяет использовать совместно теоремы 1 и 2.

Практическая значимость представленных теорем и следствий заключается в том, что оценки значения границ среднего времени обнаружения цели, расположенной на плоскости с произвольной плотностью $p(x, y)$, можно получить, организовав поиск на энтропийной площади или средней площади рассеивания, где плотность вероятности расположения цели принимается равномерной. Причем для принятого распределения известны оптимальные траектории движения поисковой единицы [9]. Более того, фиксация площади S_e или S_c для равномерного распределения означает фиксацию через плотность вероятности $p(l)$ максимальной длины L_{max} пути ПЕ. Любое расположение на плоскости поиска кривой траектории ПЕ не повлияет на равномерный характер плотности $p(l)$. Следовательно, полученные оценки инвариантны к конкретному виду траектории движения ПЕ (и к форме области поиска) при условии фиксации длины L_{max} и допущении об укладке области поиска полосой S , и могут быть выбраны произвольно, исходя из специфики решаемых задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1.Зурабов Ю.Г., Мищенко И.Н. Требования морского флота к радионавигационному обеспечению // Навигация и гидрография.–1996, №2.
- 2.Хеллман О. Введение в теорию оптимального поиска.– М.: Наука, 1985, 248 с.
- 3.Альсведе Р., Вегенер И. Задачи поиска: Перев. с нем. М.: Мир,1982, 368 с.
- 4.Наставление для торговых судов по поиску и спасанию (MERSAR).– СПб.: АОЗТ ЦНИИМФ,1995, 139 с.
- 5.Руководство по поиску и спасанию на море (IMCOSAR).– М.: ЦРПА, "Морфлот",1982, 144 с.
- 6.Kadane J.B. Discrete Search and the Neyman–Pearson Lemma // Journal of Mathematical Analysis and Applications.–1968, v.22, №1.
- 7.Shannon C.E. A mathematical theory of communication//Bell System Techn. J.– 1948, v.27, №3.
- 8.Эльсгольц Л.Э. Вариационное исчисление.– М.: Гостехиздат,1952, 168 с.
9. Абчук В.А.,Суздаль В.Г. Поиск объектов.– М.: Советское радио, 1977, 336 с.



НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

ГРНТИ 78.25.31.35.29.31.29.33

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ СУДНА АППАРАТУРОЙ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ КАЧКИ

**В.И.РЕЗНИЧЕНКО,
С.В.ЯЦЕНКО**
(Гос.НИНГИ МО),
В.Ф.ЗУЕВ
(24 НИИ ВМФ)

Предлагается и обосновывается алгоритм определения скорости морского объекта аппаратурой спутниковых навигационных систем в условиях качки и маневрирования. Алгоритм учитывает отстояние антенны от центра масс судна и предполагает использование дополнительной информации датчиков угловой скорости.

Интенсивное применение аппаратуры потребителей спутниковых навигационных систем (АП СНС) на кораблях и судах различного назначения обуславливает необходимость поиска путей наиболее эффективного ее применения. АП СНС на борту морского объекта используется для решения широкого круга задач. Одна из них, как отмечается в работе [1], – определение вектора скорости судна.

Различные способы использования АП СНС в условиях качки и маневрирования судна рассматриваются в работах [2,3,4]. Однако все они обеспечивают определение скорости путем совместного использования аппаратуры СНС и автономных навигационных средств морского объекта. Тем самым в процесс вовлекаются дополнительные дорогостоящие технические средства (лаг, гирокомпас, инерциальная навигационная система), что снижает экономический эффект использования аппаратуры СНС.

Подобное применение АП СНС вполне приемлемо при ее наличии в составе штатной аппаратуры судового навигационного комплекса. Однако, отсутствие подобных комплексов на большинстве судов гражданского флота затрудняет эффективное использование АП СНС для определения скорости. В этом случае целесообразно дополнение судовой аппаратуры СНС недорогим вспомогательным автономным устройством-компенсатором качки [2]. Такое устройство будет выработать поправки к выходным данным спутниковой аппаратуры на основе измерений угловой скорости вращательного движения судна, курсовой информации и данных об углах качки. Рассмотрим принципиальные аспекты его построения.

Спутниковая навигационная аппаратура обеспечивает выработку составляющих вектора скорости фазового центра антенны (ФЦА). Однако при качке скорость движения ФЦА существенно отличается от скорости движения тех участков судна, где непосредственно расположены потребители информации СНС. Поэтому необходимо осуществлять пересчет скорости ФЦА в заданную точку судна.

Пренебрегая жесткостью несущих конструкций антенного устройства АП СНС, выражение для вектора скорости ФЦА можно записать в виде [3]

$$\bar{V}_A = \bar{V}_M + \bar{\omega}_K \times \bar{R}_A, \quad (1)$$

где \bar{V}_M – линейная скорость центра качаний (ЦК) судна;

$\bar{\omega}_k$ – угловая скорость вращения корпуса судна вокруг ЦК;

\bar{R}_A – радиус-вектор ФЦА относительно ЦК.

Аналогичное выражение можно использовать для описания скорости движения заданной точки судна

$$\bar{V}_N = \bar{V}_M + \bar{\omega}_K \times \bar{R}_N, \quad (2)$$

где \bar{R}_N – радиус-вектор заданной точки N относительно ЦК.

Из уравнений (1) и (2) имеем

$$\bar{V}_A - \bar{\omega}_K \times \bar{R}_A = \bar{V}_N - \bar{\omega}_K \times \bar{R}_N, \quad (3)$$

откуда следует, что

$$\bar{V}_N = \bar{V}_A + \bar{\omega}_k \times (\bar{R}_N - \bar{R}_A) = \bar{V}_A + \bar{\omega}_k \times \bar{r}_N. \quad (4)$$

где \bar{r}_N – радиус-вектор заданной точки N относительно ФЦА.

Выражение (4) отображает связь скорости движения заданной точки судна N с линейной скоростью ФЦА, вырабатываемой спутниковой аппаратурой, и угловой скоростью вращательного движения корпуса судна. Следовательно, для определения линейной скорости заданной точки судна по данным СНС, наряду со скоростью ФЦА необходимо знать текущую угловую скорость вращательного движения судна (ω_k) и положение антенны относительно заданной точки.

В качестве автономных измерителей угловой скорости вращательного движения судна могут быть использованы датчики угловой скорости (ДУС). Такие датчики разработаны и изготавливаются на отечественных предприятиях [4]. Эти приборы определяют абсолютную угловую скорость объекта, включающую скорость, вызванную суточным вращением Земли (табл.1).

Таблица1

Технические характеристики ДУС

Характеристики	Тип ДУС	
	трехкомпонентный ДУС–700	однокомпонентный ДУС–500
Диапазон измеряемых угловых скоростей, град./с	± 700	± 500
Систематическая составляющая дрейфа нуля, град./ч	50	2,0
СКО дрейфа нуля, град./ч	0,33	0,015
Масса изделия, кг	1,0	0,7
Объем изделия, дм ³	0,7	1,0

Вообще говоря, влияние движения Земли может быть учтено в выходных сигналах ДУС, но допустимые в рассматриваемом случае инструментальные погрешности измерителей угловой скорости существенно превышают ошибки пренебрежением суточным вращением Земли. Это позволяет применять ДУС для измерения угловой скорости вращения объекта относительно Земли.

АП СНС вырабатывает составляющие скорости ФЦА на оси, связанные с Землей, а измерители угловой скорости вращательного движения – на оси, связанные с корпусом судна. Таким образом, для определения составляющих скорости заданной точки в горизонтной системе осей необходим пересчет информации ДУС на оси горизонтного трехгранника $N_{\xi\eta\zeta}$. Для этой цели необходимы данные о текущих значениях углов качки и рысканья судна. Возможность измерения текущих значений составляющих вектора $\bar{\omega}_k$, равных $\omega_{kx}, \omega_{ky}, \omega_{kz}$, при наличии данных о начальной ориентации объекта позволяет вычислить текущие значения углов качки и рысканья. Алгоритм вычисления можно получить из известных уравнений [5]

$$\begin{aligned} \frac{d\gamma}{dt} &= \omega_{kx} \operatorname{tg} \nu \left(\cos \gamma \omega_{ky} - \sin \gamma \omega_{kz} \right); \\ \frac{d\nu}{dt} &= \sin \gamma \left(\omega_{ky} - \operatorname{ctg} \gamma \omega_{kz} \right); \\ \frac{d\psi}{dt} &= \frac{1}{\cos \nu} \left(\cos \gamma \omega_{ky} - \sin \gamma \omega_{kz} \right), \end{aligned} \quad (5)$$

где γ, ν, ψ – углы крена, дифферента и рысканья судна.

Интегрирование уравнений (5) позволяет получить текущие значения углов ориентации судна. Необходимо, однако, отметить, что при использовании данного алгоритма в условиях качки и маневрирования объекта трудно зафиксировать момент, соответствующий нулевым значениям углов ориентации. Это приводит к неопределенности начальных значений переменных в момент включения процесса интегрирования угловых скоростей. При отличных от нуля значениях углов качки и рысканья за счет систематической составляющей, включающей начальные отклонения объекта, погрешности вычисления углов значительно возрастают. Для устранения этого недостатка, предполагая априорные данные о средних значениях углов качки γ_{cp}, ν_{cp} известными, можно предложить охват интеграторов по всем каналам интегрирования (K_γ, K_ν, K_ψ) слабой отрицательной обратной связью по разности выходной переменной и ее априорного среднего значения в соответствии с уравнениями

$$\begin{aligned} \frac{d\gamma}{dt} &= \omega_{kx} - \operatorname{tg} \nu \left(\cos \gamma \omega_{ky} - \sin \gamma \omega_{kz} \right) - K_\gamma \left(\gamma - \gamma_{cp} \right); \\ \frac{d\nu}{dt} &= \sin \gamma \left(\omega_{ky} - \operatorname{ctg} \gamma \omega_{kz} \right) - K_\nu \left(\nu - \nu_{cp} \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Что касается канала выработки данных о значениях угла ψ , то его стабилизация может быть осуществлена путем охвата обратной связью по разности выходной переменной и соответствующего значения ψ_{eu} , вырабатываемого внешними измерителями (например, гирокомпасом)

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{1}{\cos \nu} \left(\cos \gamma \omega_{ky} - \sin \gamma \omega_{kz} \right) - K_\psi \left(\psi - \psi_{eu} \right). \quad (7)$$

Коэффициенты обратной связи K_γ, K_ν, K_ψ можно выбирать из условия компенсации начальных отклонений переменных на заданном интервале времени.

Для оценки эффективности предложенного метода компенсации начальных отклонений при интегрировании уравнений (6) и (7) выполнено математическое моделирование процесса выработки текущих значений углов ориентации с учетом обратных связей в условиях

нерегулярной качки судна. Коэффициенты K_γ, K_ν, K_ψ подбирались с таким расчетом, чтобы величины отклонений устранялись до 10% от своих начальных значений за 10 мин. Характеристики погрешностей

Погрешности вычисления углов

Таблица 2

Коэффициент обратной связи K	Расчетная погрешность					
	МО·10 ⁻² , рад			СКО·10 ⁻³ , рад		
	$\Delta\gamma$	$\Delta\nu$	$\Delta\psi$	$\Delta\gamma$	$\Delta\nu$	$\Delta\psi$
0	5,24	7,41	- 2,54·10 ⁻¹	6,12	5,38	2,33
0,02	9,53·10 ⁻²	-7,54·10 ⁻²	-6,21·10 ⁻²	5,53	3,73	4,79

вычисления углов качки и рысканья (МО, СКО) приведены в табл.2 и свидетельствуют о работоспособности алгоритма выработки углов в условиях качки при вводе об-

ратных связей в каналы интегрирования. Удовлетворительную точность обеспечивают связи с коэффициентом 0,02. Погрешности выработки углов в этом случае не превышают 20 угл. мин.

На основе анализа полученных данных (см. табл.2), раскрывая векторное уравнение (4), можно представить алгоритм определения составляющих вектора скорости заданной точки судна по данным спутниковой аппаратуры и блока ДУС в следующем виде

$$\frac{d\gamma}{dt} = \omega_{kx} - tg\upsilon (\cos\gamma \omega_{ky} - \sin\gamma \omega_{kz}) - K_{\gamma} (\gamma - \gamma_{cp});$$

$$\frac{d\upsilon}{dt} = \sin\gamma (\omega_{ky} + ctg\gamma \omega_{kz}) - K_{\upsilon} (\upsilon - \upsilon_{cp});$$

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{1}{\cos\upsilon} (\cos\gamma \omega_{ky} - \sin\gamma \omega_{kz}) - K_{\psi} (\psi - \psi_{su});$$

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

$$r_{NX} = R_{NX} - R_{AX}; \quad r_{NY} = R_{NY} - R_{AY}; \quad r_{NZ} = R_{NZ} - R_{AZ};$$

$$\begin{bmatrix} \omega_{k\eta} \\ \omega_{k\zeta} \\ \omega_{k\xi} \end{bmatrix} = B_T \begin{bmatrix} \omega_{kx} \\ \omega_{ky} \\ \omega_{kz} \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} r_{N\eta} \\ r_{N\zeta} \\ r_{N\xi} \end{bmatrix} = B_T \begin{bmatrix} r_{NX} \\ r_{NY} \\ r_{NZ} \end{bmatrix}; \quad \begin{aligned} V_{N\xi} &= V_{A\xi} + (\omega_{k\eta} r_{N\zeta} - \omega_{k\zeta} r_{N\eta}); \\ V_{N\eta} &= V_{A\eta} + (\omega_{k\zeta} r_{N\xi} - \omega_{k\xi} r_{N\zeta}); \\ V_{N\zeta} &= V_{A\zeta} + (\omega_{k\xi} r_{N\eta} - \omega_{k\eta} r_{N\xi}), \end{aligned}$$

где B_T – транспонированная матрица B ;

\bar{V}_A – скорость антенны приемного устройства;

ξ, η, ζ – индексы осей горизонтной системы координат с началом отсчета в центре масс судна.

О точностных характеристиках аппаратуры, реализующей приведенные уравнения, можно судить по данным выполненного в работе [6] расчета. Он выполнен для частного случая расположения антенны в точке с координатами $x = 30$ м, $y = 10$ м, $z = 5$ м при составляющих вектора скорости вращательного движения $\omega_{kx} = 9$ град./с; $\omega_{ky} = 0,4$ град./с; $\omega_{kz} = 3$ град./с. Точность выработки параметров углового движения судна характеризуется погрешностями (СКО) $\sigma_{\omega} = 0,52 \cdot 10^{-3}$ рад/с; $\sigma_{\psi} = 4 \cdot 10^{-3}$ рад; $\sigma_{\upsilon} = \sigma_{\gamma} = 2 \cdot 10^{-3}$ рад. Результирующая погрешность определения составляющей скорости $\sigma_v = 8,2 \cdot 10^{-1}$ см/с. Данные расчета свидетельствуют о приемлемой точности выработки скорости рассмотренным способом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баскин А.С. Диалектика развития навигации. Навигация и гидрография, 1995, №2. С.26–31.
2. Резниченко В.И. К вопросу использования приемоиндикаторов СНС для определения скорости судна. Навигация и гидрография, 1996, №3. С.67–68.
3. Зайцев А.В., Резниченко В.И. Особенности функционирования спутниковой навигационной аппаратуры на морском объекте // Навигация и гидрография, 1995, №1. С.56–60.
4. Технические характеристики датчиков угловой скорости ДУС–700 и ДУС–500. Пермь, АО Пермская приборостроительная компания, 1997.
5. Ривкин С.С. Определение линейных скоростей и ускорений качки корабля инерциальным методом. ЦНИИ "Румб", 1980.
6. Отчет по НИР "Спидометр". Определение вектора скорости подвижных объектов (судов) по сигналам среднеорбитных КНС. 9-й НИИ ВМФ, 1990.

**К ВОПРОСУ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ
СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ
И АВТОНОМНЫХ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ КОРАБЛЯ
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КУРСОВОЙ ИНФОРМАЦИИ**

**В.И. РЕЗНИЧЕНКО,
П.Г. БРОДСКИЙ,
А.Л. МАЗИН**
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Рассматриваются альтернативные пути получения основных параметров движения корабля за счет различных вариантов комплексирования аппаратуры потребителей спутниковых навигационных систем и автономных средств навигации. Применительно к кораблям с динамическими принципами поддержания определяются возможные погрешности определения курса. Выполненная расчетная оценка подтверждает целесообразность комплексирования спутниковой и автономной аппаратуры курсоуказания.

В настоящее время весьма актуальной является проблема комплексирования разнородных корабельных технических средств навигации с целью повышения точности и надежности выработки навигационных параметров.

К числу основных параметров, характеризующих положение и движение корабля относятся : курс (K), путевой угол ($ПУ$), угол сноса (C). Для их определения используется гирокомпасы ($ГК$), аппаратура потребителей наземных и спутниковых радионавигационных систем (АП РНС и АП СНС), двухмерные гидроакустические и радиодоплеровские лаги ($ДЛ$) и другая аппаратура.

Каждый из перечисленных навигационных измерителей позволяет определить одну из названных угловых величин. В тоже время совместная обработка выходных данных любой пары измерителей дает возможность в силу известной зависимости

$$ПУ = K + C \tag{1}$$

вычислить значение третьего неизвестного параметра.

Заложив этот принцип в основу комплексирования, нетрудно представить все возможные варианты комбинирования корабельных средств навигации (табл.1).

Как следует из табл.1, третий вариант комплексирования предоставляет возможность определения курса корабля при взаимодействии АП СНС с корабельными ДЛ без специальной доработки спутниковой аппаратуры.

Существенным достоинством корабельной аппаратуры среднеорбитных СНС является способность вырабатывать текущие значения северной и восточной составляющих вектора путевой скорости корабля с высокой точностью [1] и соответствующий путевой угол. Тот же вектор вырабатывается гидроакустическими лагами (ГАЛ) в виде продольной и поперечной составляющих скорости движения корабля. Радиодоплеровский лаг (РДЛ) измеряет продольную и поперечную составляющие вектора скорости относительно морской поверхности. Будучи векторно сложенными, эти составляющие характеризуют путевую скорость с точностью учета параметров течения (для РДЛ) и соответствующий угол сноса (рисунок).

Таблица 1
Возможности комплексирования различных технических средств навигации

№	Объединяемые измерители	Параметры	
		измеряемые	вычисляемые
1	$ГК+ДЛ$	K, C	$ПУ$
2	$ГК+АП КНС$	$K, ПУ$	C
3	$АП КНС+ДЛ$	$ПУ, C$	K

На основе геометрических соотношений, следуя уравнению связи угловых величин (1), можно записать формулу для вычисления курса корабля по данным о скорости, вырабатываемыми АП СНС и корабельными лагами

$$K = ПУ - C = \arctg \frac{V_E}{V_N} - \arctg \frac{V_y}{V_x} \quad (2)$$

Формула (2) позволяет оценить точность выработки курса рассматриваемым способом. Точность выработки курса зависит от погрешностей определения составляющих скорости V_N, V_E, V_x, V_y и условий движения. Связь погрешности выработки курса ΔK с погрешностями исходной информации и скоростью движения объекта можно получить путем несложных преобразований выражения (2) в виде

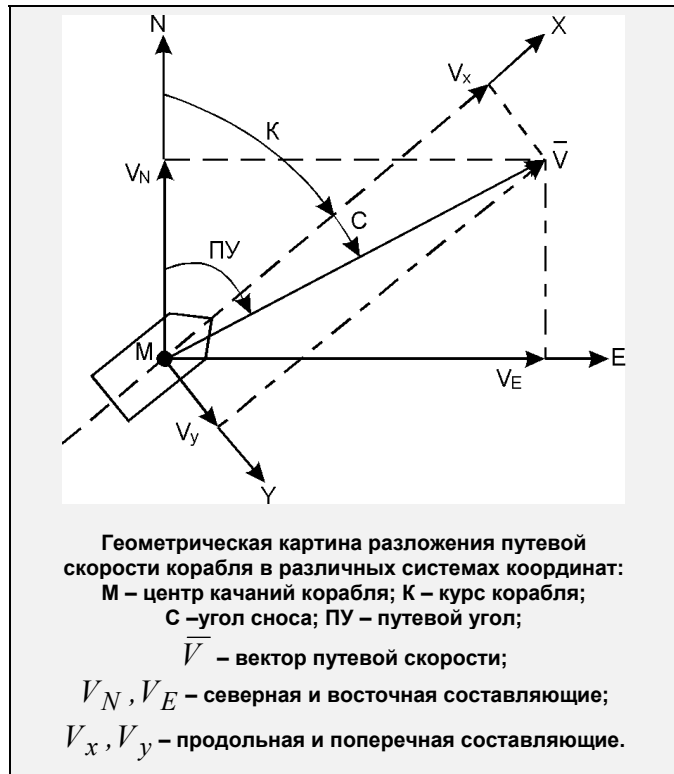
$$\Delta K = d \left(\arctg \frac{V_E}{V_N} - \arctg \frac{V_y}{V_x} \right) = \frac{V_N}{V_N^2 + V_E^2} \cdot \frac{V_N \Delta V_E - V_E \Delta V_N}{V_N^2} - \frac{V_x^2}{V_x^2 - V_y^2} \cdot \frac{V_x \Delta V_y - V_y \Delta V_x}{V_x^2} \quad (3)$$

Откуда, учитывая, что $V_N^2 + V_E^2 = V_x^2 + V_y^2 = |\vec{V}|^2$, получим

$$\Delta K = \frac{1}{|\vec{V}|^2} (V_N \Delta V_E - V_E \Delta V_N - V_x \Delta V_y + V_y \Delta V_x) \quad (4)$$

Погрешности выработки скорости аппаратурой СНС ($\Delta V_E, \Delta V_N$) и корабельными лагами ($\Delta V_x, \Delta V_y$) включают ошибки, порожденные факторами различной природы, в том числе инструментальные погрешности и погрешности учета скорости морских течений. Анализ выражения (4) показывает, что влияние погрешностей выработки составляющих скорости на погрешность определения курса обратно пропорционально квадрату абсолютной величины скорости движения объекта, т.е. с увеличением скорости погрешность ΔK уменьшается.

В работе [2] выполнена оценка точности определения курса рассматриваемым способом применительно к кораблям с динамическими принципами поддержания (КДПП). Если принять погрешность определения V_N и V_E аппаратурой потребителя СНС на порядок ниже погрешностей определения V_x и V_y радиодоплеровским лагом, то точность определения курса можно приближенно оценить величинами, приведенными в табл.2. Из ее данных следует, что с увеличением скорости КДПП погрешность курсоуказания уменьшается. Вместе с тем погрешность штатного курсоуказателя с увеличением скорости и широты плавания возрастает. Устанавливаемый на КДПП гидрокомпас ГКУ-2У при маневрировании в высоких широтах (до 80°) имеет погрешность выработки курса до 2° . Таким образом, количественная оценка точности свиде-



тельствует о целесообразности коррекции автономной аппаратуры курсоуказания КДПП по данным СНС.

Вместе с тем, отмеченное достоинство (повышение точности с ростом скорости) в условиях тихоходного или неподвижного объекта превращается в недостаток. Погрешность измерения скорости резко возрастает. Во избежание этого предложено определять курс корабля по сигналам СНС, принимаемым на антенну, движущуюся относительно корпуса объекта [3].

Таблица 2
Погрешности определения курса КДПП

Класс КДПП	Скорость хода, уз	Заданная погрешность определения составляющих скорости V_N и V_E , уз	Погрешность определения курса ΔK , угл.мин
КВП	50	0,1	6,0
		0,2	12,0
		0,4	25,0
Экраноплан	300	0,5	6,0
		1,0	12,0
		1,5	18,0

В основу этого способа положена отмеченная выше способность АП СНС вырабатывать текущие значения северной и восточной составляющих вектора скорости движения фазового центра антенны (ФЦА). Вместо измерений составляющих скорости с помощью лага используются параметры движения антенны относительно корпуса корабля. Соотношения между составляющими скорости, определяемыми АП СНС и относительным движением антенны, при неподвижном объекте полностью соответствует показанным на рисунке. При этом вектор V характеризует скорость перемещения ФЦА относительно корпуса объекта, а выражение (2) позволяет вычислить азимутальную ориентацию неподвижного объекта. Поскольку рассмотренный выше метод комплексирования и предлагаемый способ определения курса эквивалентны, можно ожидать подобия точностных характеристик и особенностей функционирования. Возникает однако сомнение в работоспособности штатной АП СНС в условиях высокой динамики движения антенны. При вращении ФЦА по окружности радиуса r линейная скорость $V = \omega r$. Для того, чтобы она достигла значений скорости КВП (см. табл.2), необходимо обеспечить вращение платформы радиуса $r=1$ м с угловой скоростью $\omega \approx 8 \pi$ рад/с. Эффективная работа АП СНС при этом невозможна без доработки контуров слежения за сигналом и алгоритмов вторичной обработки информации. Вместе с тем, при реализации данного способа есть возможность повышения точности измерения V_x и V_y , так как отсутствует влияние на них погрешностей корабельного лага и учета морских течений. Точность определения курса может быть повышена также за счет увеличения объема измерений в процессе вращения антенны (с последующей обработкой данных совместно с измерениями автономных средств курсоопределения).

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Комплексирование корабельной аппаратуры СНС и автономных навигационных средств обеспечивает расширение функциональных возможностей спутниковой аппаратуры.
2. Объединение АП СНС с двухмерными лагами, одновременно с определением координат места и вектора скорости, позволяет вырабатывать курс, путевой угол и угол сноса корабля.
3. Точность определения курса корабля комплексной навигационной системой, включающей АП СНС и двухмерный лаг, повышается с ростом скорости движения объекта и не зависит от широты плавания.

4. Для получения курсовой информации на тихоходных объектах необходимо осуществлять прием сигналов СНС на специальную антенну с подвижным ФЦА (при этом должна быть произведена доработка АП СНС).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайцев А.В., Резниченко В.И. Особенности функционирования спутниковой навигационной аппаратуры на морском объекте // "Навигация и гидрография, 1995. – №1. – С.56–60.
2. Дорошенко С.Ю., Кошкарев В.Н., Резниченко В.И. Принципы построения системы курсоуказания для кораблей с динамическими принципами поддержания / Депонированная рукопись А21785, 1989.
3. АС №206685, СССР, 1984. Резниченко В.И., Кошкарев В.Н. и др.



СПУТНИКОВЫЕ И НАЗЕМНЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

ГРНТИ 78.25.31.35.29.31.29.33

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ КОРАБЛЯ ПО СРЕДНЕОРБИТНЫМ СПУТНИКОВЫМ РАДИОНАВИГАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ АВТОНОМНЫХ СРЕДСТВ

**С.М. БУБЛИК,
А.А. ШАШКОВ**
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Предлагается метод определения ориентации корабля путем введения поправок к данным навигационных автономных средств (АС) по спутниковым радионавигационным системам (СРНС) ГЛОНАСС и НАВСТАР. Анализируются преимущества и недостатки такого подхода.

Определение ориентации корабля по данным СРНС имеет следующие преимущества:

- * относительно малые массогабаритные характеристики;
- * низкую стоимость;
- * отсутствие длительных регулировок;
- * сохранение точности в высоких широтах;
- * независимость от влияния динамических воздействий (например при плавании во льдах).

Немаловажными достоинствами аппаратуры потребителей при этом являются ее относительно небольшие массогабариты и невысокая стоимость. Однако АП СРНС присущи и некоторые существенные недостатки. К их числу относятся:

- * возможность появления перерывов в приеме сигналов космических аппаратов (КА) при различного рода их затенениях или помехах, превышающих допустимые пороговые уровни;
- * быстрое устаревание выработанных данных ориентации в условиях подвижного объекта.

Исключить перечисленные недостатки позволяет организация взаимодействия АП СРНС с АС. С этой целью в предлагаемом методе вводится опорная автономная система координат, которую формируют по данным датчиков курса и качки АС. Получаемые при этом поправки параметров ориентации по своей физической природе являются более стабильными, нежели сами параметры в условиях качки и маневрирования. Поэтому при прекращении приема навигационных сигналов имеется возможность использования предыдущих поправок.

Описание рассматриваемого метода изложено применительно к 3-х базовому интерферометру, расположенному своими базами параллельно главным осям корабля (однако это не исключает возможность его использования с незначительными изменениями при 2-х базовых интерферометрах).

Последовательность операций при решении задачи определения ориентации подвижного объекта в виде поправок $\Delta\psi$, $\Delta\upsilon$, $\Delta\gamma$ к параметрам ориентации АС выглядит следующим образом.

1. Измеряют на разнесенные антенны первые разности фаз сигналов 3-х КА, разрешают многозначность измерений тем или иным способом (например по данным АС) и составляют матрицу измерений

$$\|GI_{ik}\| = \begin{vmatrix} GI_{1x} & GI_{2x} & GI_{3x} \\ GI_{1y} & GI_{2y} & GI_{3y} \\ GI_{1z} & GI_{2z} & GI_{3z} \end{vmatrix},$$

где i – номера КА;
 $k = x, y, z$ – индекс соответствия измерений осям ориентации антенной системы.

2. Формируют матрицу двойных разностей измеренных фаз в корабельной системе координат

$$\|\Delta GI_{jk}\| = \begin{vmatrix} \Delta GI_{1x} & \Delta GI_{2x} \\ \Delta GI_{1y} & \Delta GI_{2y} \\ \Delta GI_{1z} & \Delta GI_{2z} \end{vmatrix},$$

где $j = 1, 2$;

$$\Delta GI_{1x} = GI_{1x} - GI_{3x}, \quad \Delta GI_{2x} = GI_{2x} - GI_{3x} \text{ и т.д.}$$

3. Производят нормировку элементов матрицы двойных разностей измеренных фаз и получают нормированную матрицу двойных разностей фаз в корабельной системе координат

$$\|\Delta GI_{jk}^H\|.$$

4. Определяют матрицу измерений двойных разностей фаз в автономной опорной системе координат

$$\|GA_{jl}\| = \|B^T\| \cdot \|\Delta GI_{jk}^H\|, \quad (1)$$

где $\|B^T\|$ – переходная матрица, равная

$$\|B^T\| = \begin{vmatrix} \cos\psi_{AC} \cos\upsilon_{AC} & \sin\psi_{AC} \sin\gamma_{AC} - & \sin\psi_{AC} \cos\gamma_{AC} + \\ & -\cos\psi_{AC} \sin\upsilon_{AC} \cos\gamma_{AC} & +\cos\psi_{AC} \sin\upsilon_{AC} \sin\gamma_{AC} \\ \sin\upsilon_{AC} & \cos\upsilon_{AC} \cos\gamma_{AC} & -\cos\upsilon_{AC} \sin\gamma_{AC} \\ -\sin\psi_{AC} \cos\upsilon_{AC} & \cos\psi_{AC} \sin\gamma_{AC} + & \cos\psi_{AC} \cos\gamma_{AC} - \\ & +\sin\psi_{AC} \sin\upsilon_{AC} \cos\gamma_{AC} & -\sin\psi_{AC} \sin\upsilon_{AC} \sin\gamma_{AC} \end{vmatrix};$$

$\psi_{AC}, \upsilon_{AC}, \gamma_{AC}$ – измеренные АС углы ориентации;

$l = 1, 2, 3$ – индекс соответствия осям ориентации АС (N_{AC}, H_{AC}, E_{AC}).

5. Определяют матрицу расчетных двойных разностей фаз в геоцентрической системе координат

$$\|\Delta GO_{jm}\| = \begin{vmatrix} \Delta GO_{1X} & \Delta GO_{2X} \\ \Delta GO_{1Y} & \Delta GO_{2Y} \\ \Delta GO_{1Z} & \Delta GO_{2Z} \end{vmatrix}, \quad (2)$$

где $\Delta GO_{1X} = GO_{1X} - GO_{3X}$, $\Delta GO_{2X} = GO_{2X} - GO_{3X}$ и т.д. – разности расчетных первых разностей фаз в геоцентрической системе координат;

$m = X, Y, Z$ – индекс соответствия осям геоцентрической системы координат.

6. Производят нормировку элементов матрицы расчетных двойных разностей фаз и получают нормированную матрицу расчетных двойных разностей фаз в геоцентрической системе координат

$$\|\Delta GO_{jm}^H\|.$$

7. Определяют нормированную матрицу расчетных двойных разностей фаз в горизонтной системе координат

$$\|\Delta GR_{jr}^H\| = \|MO\| \cdot \|\Delta GO_{jm}^H\|, \quad (3)$$

где $\|MO\|$ – переходная от геоцентрической к горизонтной системе координат матрица;
 $r = 1, 2, 3$ – индекс соответствия осей горизонтной системы координат (N, H, E).

8. Составляют матричное уравнение

$$\|\Delta GR_{jr}^H\| = \|\Delta GL\| \cdot \|\Delta GA_{jl}\|, \quad (4)$$

где $\|\Delta GL\|$ – линеаризованная переходная матрица;

$$\|\Delta GL\| = \begin{vmatrix} I & \Delta \upsilon & -\Delta \psi \\ -\Delta \upsilon & I & \Delta \gamma \\ \Delta \psi & -\Delta \gamma & I \end{vmatrix};$$

$\Delta \psi, \Delta \upsilon, \Delta \gamma$ – определяемые поправки к параметрам ориентации, представляющие собой малые углы.

9. Решают матричное уравнение (4), что дает следующее

$$\left. \begin{aligned} \Delta \psi &= \frac{|NR| \cdot |EI| - |ER| \cdot |NI|}{|ER| \cdot |ER| + |NR| \cdot |NR|}; \\ \Delta \upsilon &= \frac{|HR| \cdot |NI| - |NR| \cdot |HI|}{|NR| \cdot |NR| + |HR| \cdot |HR|}; \\ \Delta \psi &= \frac{|ER| \cdot |HI| - |HR| \cdot |EI|}{|ER| \cdot |ER| + |HR| \cdot |HR|} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где

$$|NR| = \begin{vmatrix} \Delta GH_{13} & \Delta GE_{13} \\ \Delta GH_{23} & \Delta GE_{23} \end{vmatrix}; \quad |HR| = \begin{vmatrix} \Delta GE_{13} & \Delta GN_{13} \\ \Delta GE_{23} & \Delta GN_{23} \end{vmatrix}; \quad |ER| = \begin{vmatrix} \Delta GN_{13} & \Delta GH_{13} \\ \Delta GN_{23} & \Delta GH_{23} \end{vmatrix};$$

$$|NI| = \begin{vmatrix} \Delta GH_{13} & \Delta GE_{A13} \\ \Delta GH_{23} & \Delta GE_{A23} \end{vmatrix}; \quad |HI| = \begin{vmatrix} \Delta GE_{13} & \Delta GN_{A13} \\ \Delta GE_{23} & \Delta GN_{A23} \end{vmatrix}; \quad |EI| = \begin{vmatrix} \Delta GN_{13} & \Delta GH_{A13} \\ \Delta GN_{23} & \Delta GH_{A23} \end{vmatrix};$$

$\Delta GN_{Ajl}, \Delta GH_{Ajl}, \Delta GE_{Ajl}$ – составляющие матрицы (1) измерений двойных разностей фаз в автономной опорной системе координат;

$\Delta GN_{jr}, \Delta GH_{jr}, \Delta GE_{jr}$ – составляющие матрицы (3) расчетных двойных разностей фаз в горизонтной системе координат;

выражения вида $|K|$ – определители 2-го порядка.

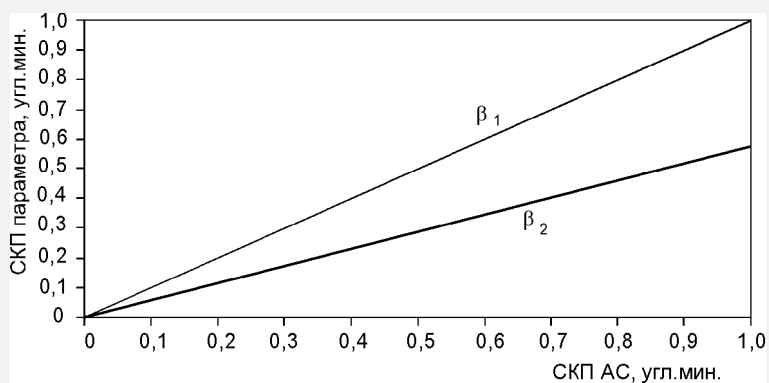


Рис.1. Погрешности определения поправок ориентации объекта (σ_0) в зависимости от СКП датчиков АС (σ_{AC}) для различных углов места (β) разностного вектора.

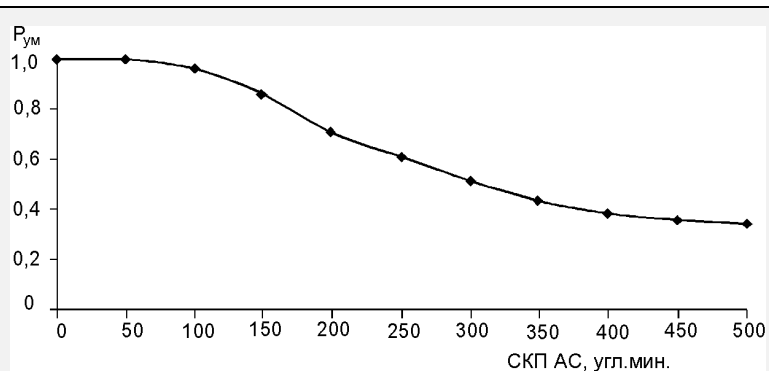


Рис.2. Вероятности устранения многозначности измеренных разностей фаз ($P_{ум}$) в зависимости от СКП датчиков АС (σ_{AC}).

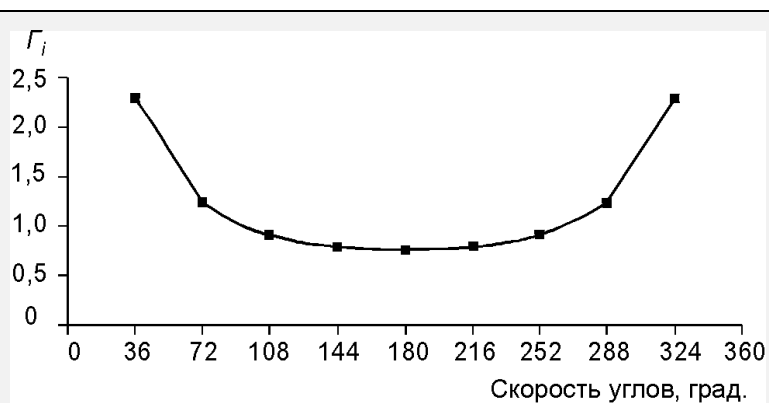


Рис.3. Изменения геометрического фактора (Γ_i) при расположении одного КА на нормали, а двух других в плоскости измеряемого параметра, при различных углах их взаимного расположения ($\Delta\alpha$).

10. Согласно [1] рассчитывают значения геометрических факторов ухудшения точности

$$\left. \begin{aligned} \Gamma_{\psi} &= \frac{\sqrt{\Delta GH_{2,3}^2 + \Delta GH_{1,3}^2 + \Delta GH_{1,2}^2}}{\sqrt{|ER| \cdot |ER| + |NR| \cdot |NR|}}; \\ \Gamma_{\upsilon} &= \frac{\sqrt{\Delta GE_{2,3}^2 + \Delta GE_{1,3}^2 + \Delta GE_{1,2}^2}}{\sqrt{|NR| \cdot |NR| + |HR| \cdot |HR|}}; \\ \Gamma_{\gamma} &= \frac{\sqrt{\Delta GN_{2,3}^2 + \Delta GN_{1,3}^2 + \Delta GN_{1,2}^2}}{\sqrt{|ER| \cdot |ER| + |HR| \cdot |HR|}}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

11. Производят оценку точности определенных поправок к параметрам ориентации

$$\sigma_i = \frac{\Gamma_i \cdot \lambda \cdot \delta \Delta \varphi}{2 \pi b},$$

где $i = \psi, \upsilon, \gamma$ – индекс соответствия определяемого параметра;

λ – средняя длина волны несущей;

$\delta \Delta \varphi$ – СКП измерения первых разностей фаз;

b – длина базы.

Из анализа выражений (5), (6) следует, что полученное решение не определено в случаях, когда все три КА находятся в плоскости, параллельной плоскости измеряемого параметра. Возможность возникновения подобных ситуаций может быть исключена за счет оптимизации выбора созвездия КА для проведения измерений.

В качестве критериев выбора оптимального созвездия служат геометрические факторы (6).

Результаты моделирования (рис.1–3) показывают, что предложенный метод по своим показателям учитывает специфику динамики подвижного морского объекта и может быть реализован в корабельной АП СРНС. Его использование дополнительно позволяет непрерывно сглаживать поправки ориентации узкополосными следящими фильтрами или фильтрами в навигационных комплексах, а также устранять систематические погрешности фазометрических трактов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.И.Резниченко, А.А.Шашков. Фазовый метод ориентации по сигналам спутниковой навигационной системы // Навигация и гидрография, 1996. – №2. – С.115–119.

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИОНОСФЕРНЫХ ПОПРАВОК
В СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

**Б.И.ЛОБОЙКО,
О.В.НИКИТИН**
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Проанализированы механизм влияния ионосферы на качество фазовых измерений и причины возникновения ионосферных погрешностей. Показаны возможности различных способов компенсации этих погрешностей. Рассмотрены их достоинства и недостатки.

Один из способов определения местоположения объекта радиотехническими методами основывается на измерениях времени распространения сигнала от излучателя до приемника (потребителя). При этом в зависимости от типа системы может быть использована фазовая или групповая скорость распространения.

Так как скорость распространения радиосигнала отличается от скорости света, то следует говорить лишь об эквивалентном пути и различать фазовый или групповой путь. В данном случае разность между истинным геометрическим и вычисленным путями будет определять погрешность при радиоизмерениях дальности. Погрешность вызвана тем, что, с одной стороны, скорость распространения радиоволн в ионосфере отличается от скорости света в свободном пространстве, а с другой – искривлением траектории распространения, ее отличием от прямой линии, соединяющей приемник и излучатель. Изменение показателя преломления с высотой приводит к рефракции радиоволн и, как следствие, искривлению траектории.

Следует иметь в виду, что расчеты фазовой и групповой задержек сигналов возможны при условии справедливости лучевой трактовки распространения радиоволн. В случае неоднородной среды, какой является ионосфера, принятие этого положения означает, что относительные изменения показателя преломления должны быть малы на масштабах порядка длины волны. В сравнительно спокойных геофизических условиях оно действительно справедливо и выполняется в большей части ионосферы в ОВЧ и УВЧ диапазонах.

Практически для нахождения траектории сигнала обычно решается уравнение Эйконала для слабонеоднородной среды. Необходимым условием его использования является существование хорошо выраженной поверхности равной фазы. Наличие случайных неоднородностей или турбулентности приводит к нарушению фазового фронта, сцинтилляциям амплитуды и фазы сигнала. В действительности в присутствии неоднородностей показатель преломления может быть описан добавлением к его регулярно меняющейся части стохастического члена. В этом случае, если можно выделить среднюю волновую поверхность с наложенными на нее случайными фазовыми флуктуациями, правомерно использовать в расчетах геометрическое приближение. В противном случае волновой фронт будет разрушен и использовать уравнение Эйконала недопустимо [1].

В геометрооптическом приближении влиянием неоднородностей и связанными с ними эффектами рассеяния, дифракции, фокусировки и многолучевости обычно пренебрегают. Все эти факторы естественно могут приводить и приводят к погрешностям измерений, поэтому всегда возникает необходимость проводить конкретный анализ на наличие этих эффектов в измеряемых параметрах.

В соответствии с формулой Эпплтона-Хартри показатель преломления радиоволн в ионосфере описывается выражением

$$n^2 = 1 - \frac{X}{1 - iZ - [Y_T/2(1 - X - iZ)] \pm \sqrt{[Y_T^4/4(1 - X - iZ)^2] + Y_L^2}}, \quad (1)$$

где $X = f_P^2 / f^2$;

$Y = f_H / f$;

$Z = v / f$;

$Y_L = Y \cos \Theta$;

$Y_T = Y \sin \Theta$;

$f_P^2 = 80,62 Ne$.

Здесь f_P – плазменная частота;

f_H – гирочастота электронов;

Θ – угол между магнитным полем и направлением распространения;

v – частота столкновения;

Ne – электронная концентрация.

Параметр v характеризует поглощение радиоволн и в рассматриваемом диапазоне частот при анализе ионосферных поправок его можно не учитывать. Гирочастота электронов является известной величиной. Следовательно единственным параметром, который определяет пространственно-временное поведение показателя преломления, является электронная концентрация.

При анализе ионосферных поправок следует различать погрешности, связанные с использованием приближений при описании условий распространения радиоволн, и погрешности, зависящие от степени знания действительного состояния ионосферы, ее пространственно-временного поведения. Таким образом, погрешность дальности можно представить в виде суммы слагаемых

$$\Delta D = \Delta D_{det} + \Delta D_{sto} + \Delta D_{app} + \Delta D_{tru},$$

где ΔD_{det} – часть погрешности, которая может быть вычислена в приближении геометрической оптики при некотором определенном знании действительного состояния ионосферы;

ΔD_{sto} – погрешность, обусловленная недостаточностью знания состояния ионосферы и из-за случайного ее характера;

ΔD_{app} – погрешность, возникающая из-за использования приближения геометрической оптики, когда не учитываются, например, дифракция и рассеяние электромагнитных волн на неоднородностях электронной концентрации (практически оценить вклад этих эффектов довольно сложно);

ΔD_{tru} – погрешность, связанная с использованием приближения для показателя преломления.

Используя различные ионосферные модели, погрешность можно скомпенсировать. Точность компенсации будет зависеть от соотношения между детерминированной и стохастической частями погрешности. Теоретически первая из них может составлять 90% всей ионосферной погрешности. Реально же такую степень детерминированности не может дать ни одна современная модель ионосферы.

Показатель преломления, записанный в общем виде (1), значительно упрощается, если воспользоваться его выражением для случая квазипродольного распространения

$$n^2 = 1 - \frac{X}{1 \pm Y \cos \Theta} = 1 - \frac{f_P^2}{f^2 \pm f \cdot f_g \cos \Theta}. \quad (2)$$

Квазипродольное приближение на частотах выше 20 МГц справедливо вплоть до углов 84° между направлением магнитного поля и направлением распространения радиоволн [2].

Иногда для показателя преломления используется аппроксимация, получаемая разложением выражения (2) в ряд по величине $1/f$, с удержанием членов до 4-ой степени.

$$n_{e,r} = 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{f_P^2}{f^2} \pm \frac{f_P^2 f_g |\cos \Theta|}{f^3} - \frac{1}{8} \cdot \frac{f_P^4}{f^4} - \frac{f_P^2 f_g}{4 f^4} (\sin^2 \Theta + 2 \cos \Theta). \quad (3)$$

Тогда

$$\begin{aligned} D_{er} &= \int_S dS - \frac{1}{2} \int_S X dS \pm \int_S XY \cos \Theta dS - \frac{1}{8} \int_S X^2 dS - \frac{1}{4} \int_S X^2 Y^2 (\sin^2 \Theta + \cos^2 \Theta) = \\ &= D_o - \frac{\Delta D_1}{f^2} \pm \frac{\Delta D_2}{f^3} - \frac{\Delta D_3}{8 f^4} - \frac{\Delta D_4}{f^4} = D_o + D_1 + D_2 + D_3 + D_4. \end{aligned} \quad (4)$$

Первый член в выражении (4) соответствует геометрическому расстоянию от приемника до излучателя и определяет истинную дальность.

Второй член – поправка первого порядка – определяется интегральной концентрацией вдоль прямой, соединяющей приемник и излучатель

$$\Delta D_1 = \frac{40,4}{f^2} \int_S N e dS. \quad (5)$$

Третий и пятый члены учитывают эффекты магнитоионного расщепления.

Четвертый член учитывает нелинейную связь между временем задержки и концентрацией

$$\Delta t_{зад} = 1,345 \cdot 10^{-3} f^{-2} N L.$$

Его вклад зависит как от интегрального содержания электронов, так и от закономерности распределения электронов в зависимости от высоты.

Член ΔD_1 , соответствующий поправке первого порядка, самый большой по абсолютной величине и его вклад в ионосферную погрешность является определяющим. Согласно выражению (4) влияние ионосферы на точность измерений дальности сильно зависит от частоты – поправка первого порядка пропорциональна $1/f$. Следовательно для повышения точности измерений дальности возникает естественная необходимость увеличения рабочей частоты.

Как известно, влияние ионосферы в значительной мере может быть уменьшено при измерениях одновременно на двух когерентных частотах [3, 4]. Благодаря дисперсионным свойствам ионосферы в этом случае компенсируются погрешности, обусловленные влиянием члена первого порядка малости выражения (3). Однако остаются не устраненными погрешности второго порядка, связанные с магнито-ионным расщеплением, отклонением траектории распространения от прямой линии, а также обусловленные нелинейностью связи между частотой и временем задержки.

Анализ поправок второго порядка при распространении радиоволн через ионосферу приближенно выполнен в работах [5, 6]. Расчеты произведены в предположении сферически симметричной ионосферы, без учета влияния магнитного поля для заданного высотного распределения электронной концентрации, т.е. даны оценки погрешностей, определяемых с нелинейными членами в разложении показателя преломления, и погрешностей, связанных с искривлением траектории радиоволн.

Исследование погрешностей двухчастотных измерений для спутниковой навигационной системы НАВСТАР проведено в работе [7], в которой использовалась полная формула Эпплтона-Хартри для показателя преломления в ионосфере, а траектории рассчитывались интегрированием уравнения Эйконала в трехмерной неоднородной ионосфере.

Тем не менее следует иметь в виду, что во всех упомянутых работах не анализируется влияние горизонтальных градиентов электронной концентрации, которые могут оказаться существенными, т.е. в задачах спутниковых навигационных измерений дальности – при малых зенитных углах – горизонтальные градиенты в ионосфере могут оказаться определяющими.

Таким образом, при измерениях на двух частотах в первом приближении практически осуществляется автоматическое исключение влияния ионосферы на задержку радиосигналов. При одночастотных измерениях необходима компенсация ионосферной погрешности. Наиболее эффективный способ исключения влияния ионосферы заключается во введении поправки сигнала, получаемого расчетным путем по принятым (в практике) моделям ионосферы.

В соответствии с (5) погрешности первого порядка пропорциональны интегральной концентрации N_f вдоль прямой, соединяющей приемник и излучатель. Интегральное содержание в ионосфере является весьма изменчивой величиной и зависит от многих факторов. Измерения N_f проводятся по наблюдениям фарадеевского вращения плоскости поляризации радиосигнала при его прохождении через ионосферу.

Фарадеевский метод позволяет определять интегральную концентрацию с точностью до 5%. Наиболее достоверные данные о вариациях N_f получены с помощью радиомаяков среднеорбитальных геостационарных космических аппаратов (КА). Они позволяют более детально изучить временные вариации N_f , в то время как низкоорбитальные КА удобны лишь для изучения пространственных вариаций. Большинство измерений получено на средних широтах северного полушария для американского сектора долгот. Имеется определенный объем измерений для экваториальных и высоких широт.

Интегральная концентрация зависит от времени суток, сезона, солнечной активности, широты и долготы, и довольно сильно изменяется во время магнитоионосферных возмущений. В суточном ходе максимум N_f приходится на дневные часы, в сезонном ходе наблюдается увеличение содержания в периоды равноденствия. Причем в марте N_f выше, нежели в сентябре. Наибольшей величины интегральная концентрация достигает в годы высокой солнечной активности и приходится на экваториальные широты.

Таким образом, интегральная концентрация является весьма изменчивым параметром. Максимальное значение N_f , соответствующее наихудшим (с точки зрения точностных характеристик) условиям, достигает величины $20 \cdot 10^{17}$ эл/м² на геомагнитном экваторе в полдень при максимуме солнечной активности. Минимальное – $10 \cdot 10^{15}$ эл/м² – зимой ночью в области провала (60–70°N) при минимуме солнечной активности. Соответствующая этим значениям интегральной концентрации погрешность первого порядка для дальности составит на частоте $f = 100$ МГц величину $\Delta D = - (40 \div 8000 \text{ м})$ и на $f = 2$ ГГц $\Delta D = - (0,1 \div 20 \text{ м})$. Эти погрешности относятся к случаю, когда КА находится в зените. Для больших зенитных углов погрешности увеличиваются приблизительно в три раза.

Следовательно, для введения поправок к дальности при использовании одночастотного метода необходимо иметь глобальный прогноз интегральной электронной концентрации, который обычно строится на основе моделей ионосферы, описывающих ее пространственно-временное распределение вне зависимости от геофизических условий. Альтернативой этому является прогноз, который строится непосредственно на основе измерений N_f , что значительно упрощает расчеты. И тем не менее, возможности этих моделей ограничены, т.к. данных измерений все же недостаточно. Кроме того,

для работы в реальном масштабе времени ионосферные модели должны быть достаточно простыми, универсальными и требовать малых затрат времени на проведение расчетов. Входные данные в алгоритме расчетов поправок должны быть всегда доступными, а выходные данные приспособлены к непосредственному их использованию потребителем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hartmann G.K., Leitinger R. Range errors due to ionospheric effects for signal frequencies above 100 MHz. Bull. Geod., 1984, № 58, p.109–136.
2. Колосов М.А., Арманд Н.А., Яковлев О.И. Распространение радиоволн при космической связи. – М.: Связь, 1969.
3. Шебшаевич В.С., Дмитриев П.П., Иванченко К.В. и др.: Сетевые спутниковые радионавигационные системы. – М.: Радио и связь, 1982.
4. Волосов П.С., Дубинко Б.С., Мордвинов Б.Г., Шинков В.Д. Судовые комплексы спутниковой навигации. – Л.: Судостроение, 1983.
5. Савич Н.А., Васильев М.Б. Поправки второго порядка при распространении радиоволн через ионосферу // Геомагнетизм и аэрономия, 1972., –№ 6. – С.1031–1036.
6. Ajayi G.O., Herberg A., Hamberg G. Accurate determination of ionospheric effects on satellite based positioning systems using a versatile – 3 dimensional way trancong program. Radio Science, 1980, v.15, № 5, p.1009–1016.
7. Волосов П.С., Волынкин А.И., Мищенко И.И. и др. Глобальная навигационная система НАВСТАР // Зарубежная радиоэлектроника.– 1980.– № 8. – С.52–83



СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГИДРОГРАФИИ, МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ

ГРНТИ 78.21.36.17.17

НОВЫЙ АТЛАС МИРОВОГО ОКЕАНА

В.И.БАБКИН
(280 ЦКП ВМФ),
С.И.БИДЕНКО
(ЦДРН),
В.М.ФОМИН
(ГУНиО МО РФ)

Кратко освещается история создания российских (советских) морских атласов. Описывается подготовка к изданию нового атласа "Мировой океан".

Появление первых русских морских атласов относится к началу XVIII столетия. Под руководством Петра I с 1701 г. в России начали издаваться атласы, которые представляли собой просто своды известных к тому времени морских навигационных карт.

В 1939 г. по предложению Почетного члена Академии наук СССР Шокальского Ю.М. и заместителя Наркома ВМФ Исакова И.С. Военно-Морской Флот приступил к разработке фундаментального труда под названием "Морской атлас", которому постановлением Совета Министров СССР от 31 мая 1947 г. за N 1804 был придан статус государственного издания. Ответственным редактором его был назначен адмирал флота Исаков И.С.. Для подготовки атласа к изданию была создана редакционная коллегия, в которую вошли: адмирал Трибуц В.Ф., вице-адмиралы Матусевич Н.Н., Пантелеев Ю.А., Фокин В.А., контр-адмиралы Зубов Н.Н., Каврайский В.В., Петровский В.А., Шведе Е.Е., капитаны 1 ранга Демин Л.А., Шулейкин В.В., академики Берг Л.С., Григорьев А.А., Мещанинов И.И. и др.

Работа над атласом велась весьма интенсивно и за сравнительно небольшой срок вышли в свет:

- * том I – навигационно– географический (1950 г.);
- * том II – физико-географический (1953 г.);
- * том III – военно-исторический, часть 1 (1958 г.) и часть 2 (1963 г.).

За подготовку и издание I тома "Морского атласа" авторскому коллективу была присуждена Сталинская премия.

Практически одновременно с завершением выпуска этого издания в 1964 г. Военно-Морской Флот совместно с Академией наук СССР и научными учреждениями страны приступил к работе над новым шеститомным "Атласом океанов". Продолжительность подготовки и выпуска его существенно растянулась. К настоящему времени выпущены:

- * том I – "Тихий океан" (1975 г.);
- * том II – "Атлантический и Индийский океаны" (1977 г.);
- * том III – "Северный Ледовитый океан" (1980 г.);
- * том IV – "Проливы Мирового океана" (1993 г.);
- * том V – "Человек и океан" (1996 г.).

Заключительный, VI том – "Антарктика" – планируется к изданию в 2001 г.

Тома I и II "Атласа океанов" были удостоены Государственной премии СССР.

Ответственными редакторами "Атласа океанов" в разное время были: Адмирал Флота Советского Союза Горшков С.Г., адмиралы флота Чернавин В.Н. и Громов Ф.Н. Под их руководством работали ведущие ученые нашей страны: академики АН СССР Бугаев В.А., Будыко М.И., Виноградов М.Е., Герасимов И.П., Калесник С.В., Трешников А.Ф., члены-корреспонденты Безруков П.Л., Корт В.Г., Монин А.С., Удинцев Г.Б., Федоров К.Н., профессора, доктора наук Дроздов О.А., Живаго А.В., Муромцев А.М., Погосян Х.П., Салищев К.А., Самойленко В.С.

Вышедшие в свет тома "Атласа океанов" нашли широкое применение на военно-морском, транспортном и рыболовном флотах, в научно-исследовательских и учебных организациях нашей страны. Более 2 тыс. экземпляров каждого его тома было закуплено зарубежными научными организациями и библиотеками.

Однако, учитывая, что объем информации о Мировом океане удваивается каждые 20 лет, возникает необходимость осмысления и периодического обобщения новых знаний об океане в виде систематического издания различных атласов.

В настоящее время по предложению Российской Академии наук Военно-Морской Флот начал подготовку к выпуску атласа "Мировой океан". Это будет многотомное научное издание, отражающее современные знания о природе и основных физико-географических чертах Мирового океана, на пороге третьего тысячелетия подводящее определенный итог в его изучении. В подготовке нового атласа принимает участие более 20 ведущих организаций страны, связанных с изучением водной среды нашей планеты, в том числе Главное управление навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации, Военно-морская Академия им. адм. Н.Г. Кузнецова, Военно-медицинская академия, Российская Академия наук, Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Институт физики атмосферы РАН, Федеральная служба геодезии и картографии России, Государственный океанографический институт, Государственный научный центр – Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, ВНИИ океангеология, Институт глобального климата и экологии и др.

Новый Атлас предполагается подготовить как международное издание. В работе над ним будут участвовать Межправительственная океанографическая комиссия (МОК) ЮНЕСКО, Международная гидрографическая организация (МГО), Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО), Всемирная метеорологическая организация (ВМО), Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) и др.

В Атласе "Мировой океан" найдут свое отражение достижения различных направлений науки об океане, о чем свидетельствуют названия томов:

- * том I - "Батиметрия";
- * том II - "Дно океанов" (геология, геоморфология, тектоника, геофизика, донные осадки);
- * том III - "Физическая океанография. Гидрохимия";
- * том IV - "Климат. Взаимодействие океана и атмосферы";
- * том V - "Биогеография. Медико-географические условия. Экология"

Главным разработчиком I тома нового атласа является ГУНиО МО РФ, последующие тома разрабатываются научными учреждениями Российской академии наук и других ведомств. Все тома будут издаваться на русском и английском языках.

Атлас "Мировой океан" планируется как естественное продолжение серии опубликованных ранее атласов и будет готовиться к изданию на основе наиболее полных баз данных по Мировому океану с использованием современной технологии составления и издания карт. Выпуск атласа предполагается осуществить как в печатном виде, так и в цифровом (на лазерных дисках), что значительно расширит возможности изображения тематической нагрузки карт в различных географических проекциях и масштабах.

19 февраля 1997 г. в Москве, в Главном штабе ВМФ под руководством адмирала флота Громова Ф.Н., ответственного редактора атласа "Мировой океан", прошло первое заседание редакционной коллегии, где были одобрены проект Положения о редакционной коллегии и предложение о подготовке атласа как международного издания, а также утверждены его содержание и непосредственные исполнители (по каждому тому).

В состав редакционной коллегии вошли известные ученые нашей страны: вице-президент Российской Академии наук Лаверов Н.П., академики Виноградов М.Е., Голицын Г.С., Котляков В.М., Лисицын А.П., Саркисян А.С., председатель Национального океанографического комитета Российской Федерации Нейман В.Г. и другие ученые. Подготовить и издать атлас планируется в течение 6—7 лет. Работа над всеми томами будет вестись одновременно.

Первые карты атласа предполагается подготовить к международной выставке ЭКСПО–98 (г.Лиссабон, Португалия), которая состоится в 1998 г., объявленном ООН Годом Океана.

ГРНТИ 47.55.31

**КОНТРОЛЬ ПОЛНОТЫ РЕГИСТРАЦИИ ГЛУБИН
ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СЪЕМКЕ РЕЛЬЕФА ДНА**

В.Г.БАХМУТСКИЙ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Предлагается способ программного контроля пропусков в регистрации значений глубин на техническом носителе информации автоматизированного гидрографического комплекса.

При выполнении съемки с использованием автоматизированных комплексов (или автономных регистрирующих устройств) чрезвычайно важна уверенность, что на техническом носителе информации зарегистрированы достоверные значения глубин с подробностью, обеспечивающей получение качественных отчетных материалов. Контроль достоверности регистрируемых глубин осуществляется посредством разработанных для этой цели и реализованных в комплексах алгоритмов оценки [1]. Как показывает практика, не всегда массив зарегистрированных глубин содержит полный объем информации. По различным причинам на техническом носителе оказываются пропуски в регистрации, которые выявляются только на этапе окончательной обработки данных. Иногда это приводит к невозможности использования этих данных для получения отчетных материалов и к необходимости возвращения в район съемки для частичного дообследования.

Пропуски в регистрации глубин на техническом носителе при автоматизированной съемке могут быть обусловлены различными причинами. Но к основным из них и наиболее часто встречающимся следует отнести следующие:

- нестабильность работы измерительного тракта эхолота;
- искажения информации из-за технических неполадок в канале связи эхолот-ЭВМ;
- пропуски в регистрации в связи с исключением недостоверных значений глубин;
- несовершенство (например, недостаточная пропускная способность) системы первичной обработки и регистрации данных;
- сбои в работе комплекса в целом.

Пропуски в регистрации по этим причинам могут быть непродолжительными (когда на технический носитель оказываются случайным образом незарегистрированными 2-3 значения глубин подряд), что, как правило, не оказывает существенного влияния на качество съемки, или длительными, значительно искажающими получаемую модель рельефа дна. Очевидно, интерес представляют последние, которые обязательно должны быть зафиксированы и предъявлены оператору-гидрографу непосредственно в районе выполнения работ.

Возможность фиксирования и предъявления оператору пропусков, превышающих заданный интервал, закладывается при проектировании автоматизированных гидрографических комплексов. Но задание допустимого интервала возлагается на оператора, который, исходя из собственных субъективных соображений, назначает его практически по наитию. Четких и обоснованных критериев и методик для выбора этого допуска оператором или выработки программно самим комплексом до настоящего времени не существует.

Для обоснования необходимых критериев и методики их вычисления будем исходить из следующих рассуждений. Предположим, что в случае пропуска в регистрации глубин на участке протяженностью ΔS для получения интерполированного значения $z_{инт}$ используются два значения глубин, зарегистрированные до и после пропуска, а также глубины на двух соседних галсах, примыкающих к данному слева и справа. Окончательное интерполированное значение глубины вычисляется как среднее арифметическое. Если предположить также, что в первый раз интерполирование осуществляется на середину интервала пропуска ΔS , а второй раз на середину интервала, равного двойному междугалсовому расстоянию, то формулу для вычисления интерполированного значения можно представить в виде

$$z_{инт} = \frac{1}{2}[(0,5\Delta S + L) \operatorname{tg}\bar{\alpha} + z_H + z_{сг}], \quad (1)$$

где L – междугалсовое расстояние, м;
 $\operatorname{tg}\bar{\alpha}$ – среднее значение тангенса угла наклона рельефа дна в окрестностях пропуска;

z_H – последнее значение глубины, зарегистрированное перед пропуском;

$z_{сг}$ – значение глубины на смежном галсе.

Дифференцируя выражение (1) в частных производных, переходя к СКП и полагая погрешности измеренных и зарегистрированных глубин m_z по всем галсам одинаковыми, получим оценку СКП найденного интерполированного значения

$$m_{zu} = 0,5 m_g \sqrt{\frac{2m_z^2}{m_g^2} + 0,25\Delta S^2 + L^2}, \quad (2)$$

где m_g – СКП определения среднего значения $\operatorname{tg}\bar{\alpha}$ [2].

В формуле (2) погрешностями $m_{\Delta S}$ и m_L в определении величин ΔS и L пренебрежем из-за их малости и несущественного влияния на конечный результат.

Если глубины измеряются эхолотом и регистрируются комплексом регулярно, без пропусков, то интервал регистрации ΔS_o будет определяться частотой посылок эхолота на данном диапазоне и скоростью судна на галсе

$$\Delta S_o = V_c \frac{60}{f - 1},$$

где: f – частота посылок, пос/мин;

V_c – скорость судна при съемке, м/с.

При $\Delta S = \Delta S_o$ точность интерполирования на середину этого интервала, при прочих равных условиях съемки, будет наилучшей. Среднюю квадратическую погрешность, вычисленную по формуле (2) и соответствующую этим условиям, обозначим через m_{zo} , т.е. $m_{zu} = m_{zo}$ при $\Delta S = \Delta S_o$.

Очевидно, при увеличении интервала регистрации точность интерполирования будет понижаться и при определенном значении пропуска ΔS_{np} эта точность начнет уже существенно влиять на качество съемки в целом. Исходя из этого, для своевременного фиксирования наступления указанного события поставим условие, чтобы предельное превышение погрешности m_{zu} при пропуске в регистрации ΔS_{np} над величиной m_{zo} было не более 1/3 самой величины m_{zo} , т.е.

$$m_{zu} - m_{zo} \leq 1/3 m_{zo} \text{ или } m_{zu} \leq 1,33 m_{zo}. \quad (3)$$

Погрешность m_z , входящая в формулу (2), обусловлена погрешностями измерения глубин и привязки их к координатам. В работе [2] ее величина определяется формулой

$$m_z = \sqrt{0,5 M_o^2 \text{tg}^2 \bar{\alpha} + m_{уз.м}^2}, \quad (4)$$

где M_o – СКП определения места судна на галсе, м;

$m_{уз.м}$ – СКП измерения глубин эхолотом и исправления их поправками, м.

Тогда из выражения (2) с учетом (3) и (4), выполнив необходимые преобразования, получим предельно допустимое значение пропуска ΔS_{no} в метрах

$$\Delta S_{no} = \frac{4}{m_g} \sqrt{1,78 m_{zo}^2 - 0,25 \left(M_o^2 \text{tg}^2 \bar{\alpha} + L^2 m_g^2 + 2 m_{уз.м}^2 \right)}, \quad (5)$$

где m_{zo} - вычисляется по формуле $m_{zo} = 0,5 m_g \sqrt{\frac{M_o^2 \text{tg}^2 \bar{\alpha} + 2 m_{уз.м}^2}{m_g^2} + \frac{900 V_c^2}{(f - 1)^2} + L^2}$.

Таким образом, формула (5) объективно выражает тот предельный интервал пропуска в регистрации глубин, который еще является допустимым и существенно не снижает качество съемки.

Пропуск в регистрации, превышающий величину ΔS_{no} , должен быть восполнен путем считывания глубин с эхограммы. Если это по каким-либо причинам невозможно, то по каждому такому пропуску оператором-гидрографом непосредственно в районе съемки должно быть принято решение о его выполнении путем проложения дополнительного промерного

Предельный интервал пропуска глубин для различных вариантов съемки

Условия съемки	ЭХОЛОТЫ				
	ПЭЛ-4		ГЭЛ-3		
	Диапазоны измерений, м				
	0-50	0-200	0-250	0-1000	0-10000
f , пос/мин	675	169	180	45	4,5
V_c , м/с	2	3	5	6	6,5
M_o , м	1,5	3	30	80	250
L , м	15	25	1500	3000	10000
$\text{tg} \bar{\alpha}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$
m_g	$3,16 \cdot 10^{-2}$	$3,16 \cdot 10^{-2}$	$3,16 \cdot 10^{-2}$	$3,16 \cdot 10^{-2}$	$3,16 \cdot 10^{-2}$
$m_{уз.м}$, м	0,15	2,0	2,5	10,0	40,0
m_{zo} , м	0,26	1,47	23,8	47,9	160,6
ΔS_{no} , м	29,2	164,3	2657,5	5360	17950
n_{no}	163	153	1585	655	161

галса. Следует отметить, что предлагаемый метод определения допустимого пропуска в регистрации измеренных значений применим не только в случае съемки рельефа дна. Он может быть использован и при автоматизированной съемке других физических полей океана.

В таблице представлены результаты вычисления предельного интервала пропуска глубин для различных вариантов съемки одного и того же типа рельефа дна эхолотами ПЭЛ-4 и ГЭЛ-3. Величина пропуска ΔS_{no} приведена также в виде допустимого количества пропущенных глубин n_{no} , определяемого формулой

$$n_{no} = \frac{\Delta S_{no} (f - 1)}{60 V_c}. \quad (6)$$

Вычисленное по формуле (6) значение n_{no} округляется до целого числа в меньшую сторону.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахмутский В.Г., Мартиросов В.Г. Фильтрация помех в измерениях океанографических параметров.– // Записки по гидрографии.– 1985.– № 213.– С. 14–17.
2. Коломийчук Н.Д. Гидрография.– Б.м.: ГУНиО МО, 1988.– 366 с.

ГРНТИ 78.21.37.21

ТОПОГРАФИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МАГНИТНЫХ РЕПЕРОВ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ И ПРОТЯЖЕННОСТИ

**Д.Д.ГИДАСПОВ,
В.И.ШЕРЕМЕТ**
(ВНИИМ им.Д.И.Менделеева)
П.И.МАЛЕЕВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Приводятся расчетные формулы и результаты расчета распределения основных параметров магнитного поля магнитных тел различной формы и протяженности.

Реализация отмеченных в [1] возможных направлений использования магнитных реперов в интересах навигации в значительной степени зависит от топографии (распределения) параметров их магнитных полей. Магнитные реперы могут быть как сосредоточенными, так и с рассредоточенными (протяженными) магнитными массами различной формы и наполнения. Поэтому знание топографии их полей позволяет (при решении конкретной задачи) сделать обоснованный выбор не только формы и активности репера, но также глубины (дальности) его размещения и направления магнитного момента.

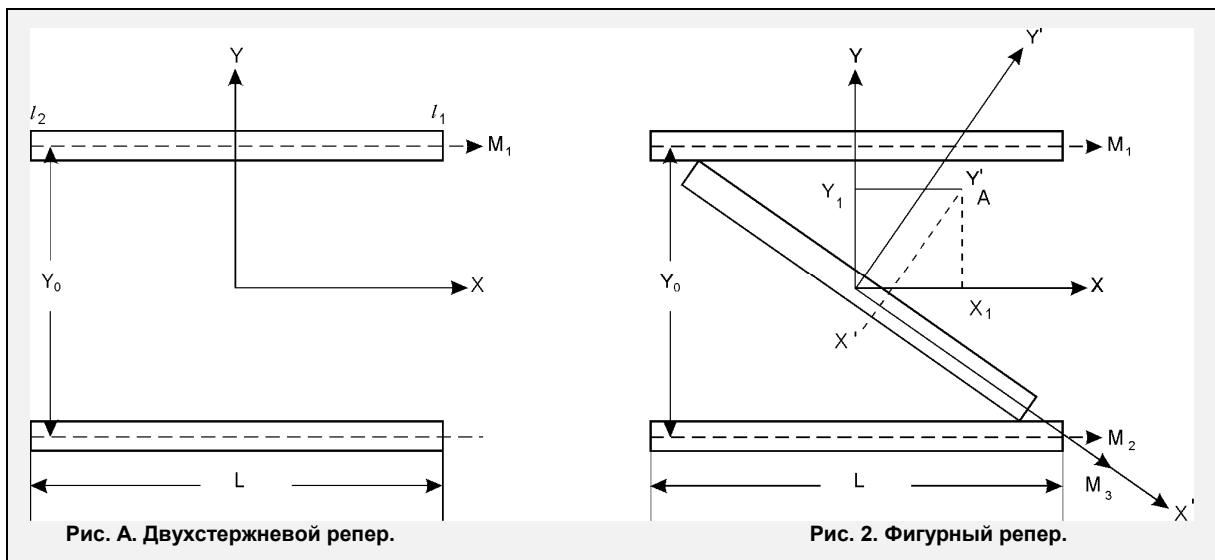
Расчеты топографии магнитных полей проводились для следующих характерных типов реперов: точечного, протяженного в виде стержня длиной L , двух параллельных стержней одинаковой длины и фигурного, в форме буквы "И".

В расчетах начало прямоугольной системы координат располагалось в геометрическом центре репера. Продольные оси стержней и их магнитный момент \overline{M} , как и точечного источника, ориентировались вдоль горизонтальной оси X (за исключением поперечного стержня фигурного репера). Определялась топография (распределение параметров) магнитного поля на горизонтальной плоскости (поверхности акватории), расположенной на расстоянии $Z_0 = 100$ м по вертикали от центра репера. Расчеты проводились для сетки точек внутри квадрата со стороной 1000м, центр которого лежал на вертикальной оси OZ . Для каждой точки рассчитывались значения модуля индукции B_M и три его компоненты B_x, B_y, B_z

$$B_M = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} . \quad (1)$$

Магнитный момент для реперов всех типов принимался одинаковым и равным 5×10^6 Ам². Для реперов, состоящих из нескольких стержней, общий магнитный момент распределялся пропорционально длине каждого. Точечный репер представлялся диполем.

Так как для расчета параметров магнитного поля протяженных магнитных тел приемлемых формул не существует, протяженное тело (длинный стержень) представлялось в виде цепочки дипольных моментов или в виде соленоида с прямоугольными витками, для расчета параметров магнитного поля которых формулы имеются. Поперечное сечение соленоидов принималось равным 1м². Сравнительный анализ результатов расчета показал, что при значительном числе диполей (более 50) отличие в расчетах для соленоида и для цепочки диполей не превышает 3%. На рис.1 и 2 изображены, соответственно, двухстержневой и фигурный реперы и расположение выбранной системы координат. При расчете в точке A величин магнитной индукции поперечного стержня фигурного репера с магнитным моментом M_3 (см.рис.2) производилось преобразование координат точки A из основной системы OXY в систему координат $OX'Y'Z'$. В последней определялись модуль индукции $B_M'(M_3)$ и его компоненты $B_x'(M_3), B_y'(M_3), B_z'(M_3)$, параллельные одноименным осям системы.



Расчет модуля и компонент индукции для фигурного репера в целом проводился суммированием значений индукции от стержней M_1, M_2, M_3 с учетом угла поворота систем $OXYZ$ и $OX'Y'Z'$ относительно друг друга. Для точечного диполя с

магнитным моментом \overline{M} , расположенным вдоль оси X и направленным в область отрицательных значений X , компоненты индукции определялись согласно [2] как

$$\begin{aligned} B_x &= -\frac{\mu_o}{4\pi} \frac{M_x (2x^2 - y^2 - z^2)}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}}; \\ B_y &= -\frac{\mu_o}{4\pi} \frac{3M_x x y}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}}; \\ B_z &= -\frac{\mu_o}{4\pi} \frac{3M_x x z}{(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}}, \end{aligned} \quad (1a)$$

где $\mu_o = 4\pi 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная.

Компоненты магнитной индукции, создаваемые в точке A с координатами X, Y, Z соленоидом длиной L с прямоугольными витками, ось которого совпадает с осью X , определялись также согласно [2] как

$$\begin{aligned} B_x &= \frac{\mu_o \sigma}{4\pi} \operatorname{arctg} \left(\frac{\alpha}{\beta \gamma} \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2} \right) \left| \begin{array}{l} \beta = y + b \quad \gamma = z + c \quad \alpha = x - l_2 \\ \beta = y - b \quad \gamma = z - c \quad \alpha = x - l_1 \end{array} \right|; \\ B_y &= \frac{\mu_o \sigma}{4\pi} \ln \left(\frac{\gamma + \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2}}{\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}} \right) \left| \begin{array}{l} \beta = y + b \quad \gamma = z + c \quad \alpha = x + l_2 \\ \beta = y - b \quad \gamma = z - c \quad \alpha = x + l_1 \end{array} \right|; \\ B_z &= \frac{\mu_o \sigma}{4\pi} \ln \left(\frac{\beta + \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2}}{\sqrt{\alpha^2 + \gamma^2}} \right) \left| \begin{array}{l} \beta = y + b \quad \gamma = z + c \quad \alpha = x - l_2 \\ \beta = y - b \quad \gamma = z - c \quad \alpha = x - l_1 \end{array} \right|, \end{aligned} \quad (2)$$

где $b = c$ – полуширина и полувысота витка соленоида, соответственно;

$\sigma = -M_x L^{-1} S^{-1}$ – плотность тока по длине соленоида, а/м;

$S = 4b^2 c^2$ – площадь витка соленоида.

Как видно из приведенных формул, значения компонент индукции B_i и магнитного момента M_x связаны линейной зависимостью. Отсюда следует, что при исследовании топографии магнитного поля реперов значение их магнитных моментов не играет существенной роли. Топография определяется лишь формой и протяженностью репера.

В таблице приведены максимальные значения индукции компонент B_x, B_y, B_z , модуля B_m и градиента модуля для рассмотренных типов реперов. На рис.3–6 даны пространственные изображения топографии их полей.

Анализ полученных результатов показывает, что для всех рассмотренных типов реперов компоненты индукции и ее модуль имеют экстремальные значения. Для репера в виде точечного диполя максимальное значение модуля индукции B_m располагается в центре квадрата, над диполем (см. рис.3). Компонента B_x точечного диполя имеет три экстремума – один положительный в той же точке, что и для модуля и два отрицательных в точках $X = \pm 1,25Z_0; Y = 0$.

При этом положительный экстремум значительно превышает отрицательные, которые имеют одинаковые значения (см. рис.4).

Параметры магнитного поля реперов различных типов

Тип и размеры репера	Максимальные значения параметров, нТл				Максимальные значения градиента модуля, нТл/м
	индукция компонент			индукция модуля	
	B_x	B_y	B_z		
Точечный диполь	500	136	429	500	15
Стержень, $L = 20$ м	489	131	429	489	14,6
Стержень, $L = 300$ м	89	57	111	137	3,3
Стержень, $L = 500$ м	41	35	99	99	2,0
Два стержня, $L = 500$ м, $Y_o = 200$ м	26	23	55	55	0,98
Два стержня, $L = 500$ м, $Y_o = 500$ м	21	16	49	50	0,99
Фигурный, $L = 500$ м, $Y_o = 200$ м	30	26	67	67	1,29
Фигурный, $L = 500$ м, $Y_o = 500$ м	23	20	58	58	1,17

Топография индукции для модуля B_m и компонент B_x симметрична относительно вертикальной плоскости $Y, 0, Z$.

Топография индукции для компоненты B_z точечного диполя, так же как и для B_x , симметрична относительно центра квадрата (точки 0). Для этой компоненты имеют место два одинаковых по величине экстремума – один в положительной, а второй в отрицательной области, в точках $X = \pm Z_o/2; Y = 0$. Для

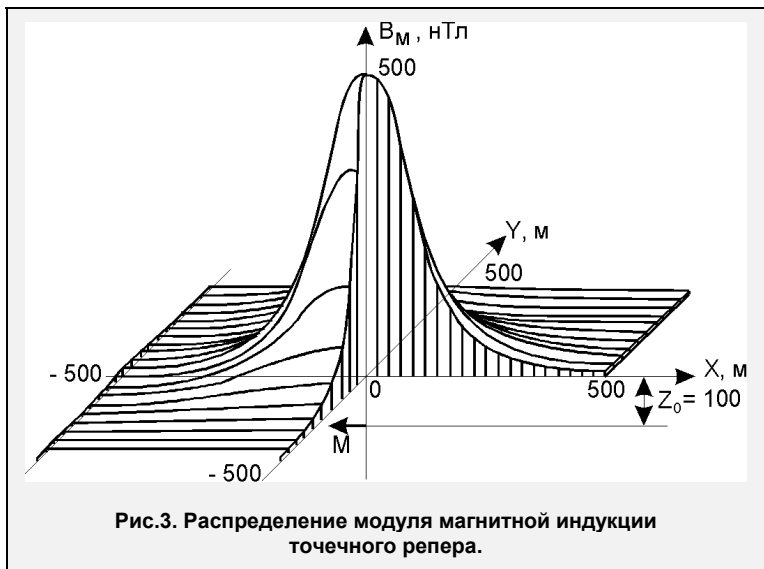


Рис.3. Распределение модуля магнитной индукции точечного репера.

компоненты B_y картина распределения индукции более сложна. Она также симметрична относительно точки 0, но имеется четыре равных по величине и попарно противоположных по знаку экстремума (их координаты $X = \pm Z_o/2$ и $Y = \pm Z_o/2$). В первом и третьем квадрантах экстремумы положительны, а во втором и четвертом отрицательны.

У границ рассматриваемой области (1000x1000м) значение компонент B_x и B_z не превышают 1,3%, а для B_y – 2,3% от максимальных величин этих параметров.

Для протяженных реперов картина распределения индукции зависит от их размеров и формы, однако имеются и общие закономерности:

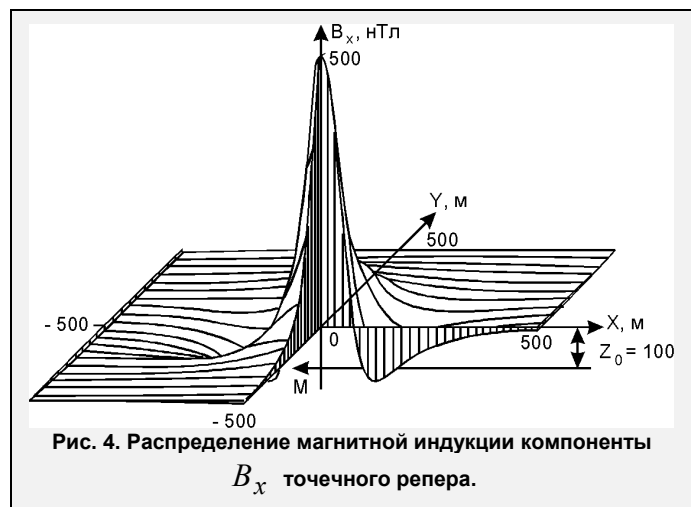


Рис. 4. Распределение магнитной индукции компоненты B_x точечного репера.

- * уровень индукции уменьшается тем сильнее, чем больше размеры репера (магнитная масса распределяется на большей площади);
- * экстремальные значения индукции для протяженных реперов превышают ее средний уровень в меньшей степени, чем для точечных (см. рис.3–6);
- * экстремумы смещаются от центральной точки к краям репера и количество их увеличивается (см.рис.5–6).

В частности, для репера в виде стержня топография индукции определяется соотношением длины репера и глубины его установки Z_0 . При $L \ll Z_0$ топография магнитного поля стержня практически совпадает с полем диполя, например при $L = 0,2Z_0$ их различие уже не превышает 20%.

При $L \gg Z_0$ для компоненты B_x и модуля B_m количество положительных экстремумов изменяется (см.рис.5–6). Вместо одного положительного экстремума в центре квадрата появляются два. Для B_x максимальные значения располагаются в точках $X = \pm(0,35 - 0,4)L; Y = 0$. При $L = 3Z_0$ положительные экстремумы B_x сглаживаются. Отрицательные экстремумы также смещаются к концам стержня, в точки с координатами $X = \pm(0,7 - 0,4)L; Y = 0$.

По уровню экстремумы B_m у стержня в 5 раз меньше, чем у диполя, а для B_x – более чем в 10 раз.

Для компонент B_y и B_z по сравнению с диполем количество экстремумов у стержня не изменяется, но они также смещаются ближе к его концам и приблизительно в 4 раза уменьшаются по уровню (см.таблицу). На границах рассматриваемой области магнитные поля этих реперов в углах квадрата практически одинаковы, а на оси X поле стержня превышает дипольное в 1,5–2раза.

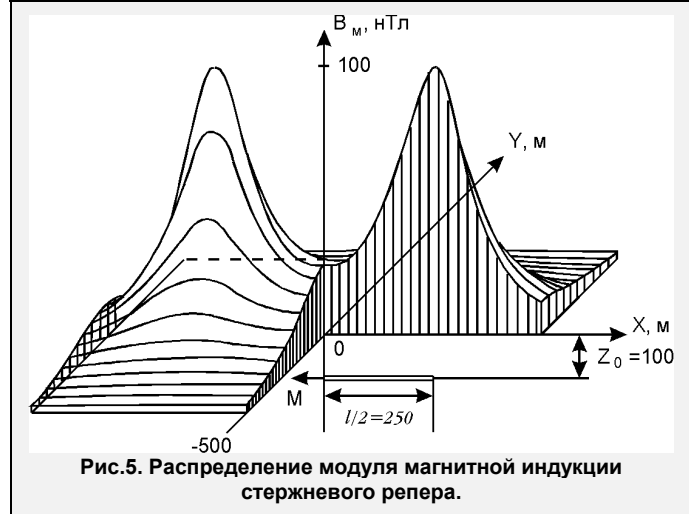


Рис.5. Распределение модуля магнитной индукции стержневого репера.

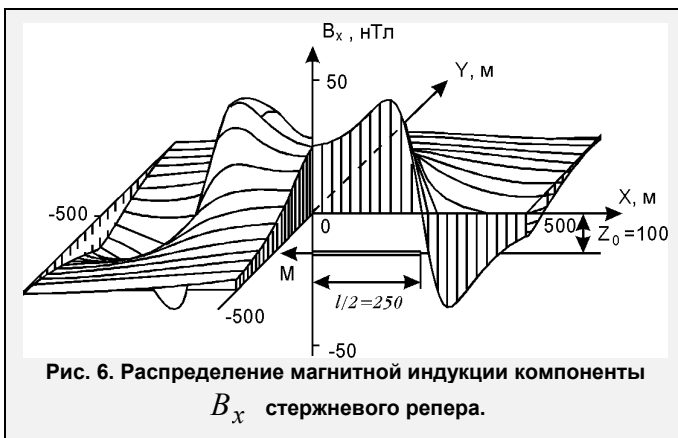


Рис. 6. Распределение магнитной индукции компоненты B_x стержневого репера.

Для двухстержневого репера, стержни которого смещены относительно друг друга в направлении оси Y , картина поля зависит от расстояния Y_0 между стержнями. При $Y_0 \ll L$ поля двухстержневого и одностержневого реперов, обладающих одинаковой магнитной массой, мало отличается друг от друга.

При $Y_0 = (0,4 \div 1,0)L$ использование второго стержня ведет к существенному изменению топографии поля.

Количество экстремумов по всем компонентам удваивается, при этом они располагаются в двух зонах над каждым из стержней. В области между стержнями величины индукции для компонент B_x и B_z суммируются, а для компоненты B_y вычитаются, т. к. имеют разные знаки. Поэтому экстремумы B_y между стержнями по аб-

солютной величине меньше, чем с внешней стороны стержней, особенно при малых значениях Y_o . В целом, по сравнению с одиночным стержнем, поле двух разнесенных стержней (при той же магнитной массе) обладает большей плавностью и меньшей интенсивностью. При $Y_o = L$ экстремальные значения для двухстержневого репера по всем компонентам практически вдвое меньше, чем для одного стержня (см. таблицу), таким образом влияние соседнего стержня уже мало сказывается.

Распределения параметров магнитного поля фигурного и двухстержневого реперов при одинаковых расстояниях Y_o весьма близки. Экстремальные значения для компонент B_x и B_z , а также для модуля B_m имеют место практически в одних и тех же точках. Для компоненты B_y имеют место 8 экстремумов, характерных для двухстержневого репера, и к ним добавляются два неярко выраженных экстремума на оси X в точках $\pm L/2$.

В зоне расположения центрального наклонного стержня экстремальные значения отсутствуют и влияние этого стержня проявляется лишь в нарушении симметрии картины магнитного поля относительно начала системы координат и обеих ее осей. В частности, симметрично расположенные экстремумы имеют разные значения по абсолютной величине. При одинаковой намагниченности всех стержней фигурного репера четкая особенность в топографии компонент магнитного поля над средним стержнем отсутствует.

Таким образом наиболее четкие экстремумы индукции магнитного поля и его составляющих имеет точечный репер. Экстремумы поля протяженных реперов отстоят от центра репера на некоторую определенную величину.

Топография магнитного поля фигурного репера по сравнению с двухстержневым вопреки ожиданиям оказалась не намного сложнее. Стержень, соединяющий два параллельно расположенных стержня существенных изменений в топографию магнитного поля не вносит.

Четкое различие значений модуля и составляющих индукции магнитного поля по величине и расположению относительно центра репера позволяет с большой точностью и определенностью осуществлять привязку объекта к реперу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малеев П.И. Некоторые перспективы использования новых эффектов и явлений для навигации и гидрографии // Навигация и гидрография. – 1995. – № 1. – С. 27–34.
2. Яновский Б.М. Земной магнетизм. – Л.: ЛГУ, 1978.

**ВЫЧИСЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ДО ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ МАЯКОВ
ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ И ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ НЕОДНОРОДНОСТЯХ ВОДНОЙ СРЕДЫ**

В.А.КОУГИЯ
(ПГУПС)

Исследована геометрия звукового луча в неоднородной водной среде. Получены формулы для вычисления расстояний до гидроакустических маяков по измеренному времени распространения звукового сигнала.

Исходные положения. Теория и методы определения расстояния от судна до гидроакустического маяка-ответчика (транспондера) по измеренному времени распространения сигнала для условий, когда скорость звука изменяется с глубиной, известны [1]. Однако иногда градиент скорости звука имеет не только вертикальную, но и горизонтальную составляющие (например, в местах впадения в море большой реки, при противотечениях и т.д.). При этом поверхности равных скоростей звука наклоняются и акустические лучи искривляются не только в вертикальном, но и в горизонтальном направлениях. Простейшие такие случаи, когда поверхности равных скоростей остаются между собой параллельными, уже исследованы [2,3]. Рассмотрим общий случай, где параллельность названных поверхностей не предполагается.

Для определения расстояний в указанных условиях необходимо, выполнив соответствующую съёмку, знать вертикальные профили скорости звука по всей акватории, чтобы иметь возможность для любой точки, заданной её координатами, указать значение скорости звука, а также величину и направление ее градиента. Будем считать счислимые координаты судна, уточняемые по результатам повторных измерений расстояний до маяков, известными с точностью, достаточной, чтобы указать значения скорости звука и ее градиента на прямой *КМ*, соединяющей судно и маяк.

Очевидно, одному и тому же значению измеренного времени *t* на различно направленных звуковых лучах из-за различий в скорости звука соответствуют разные расстояния. По которому из лучей проследовал сигнал, неизвестно. Поэтому приходится принять один из лучей в качестве приближенного, подлежащего уточнению после анализа, насколько близко он приводит к маяку.

Вычисление начального направления приближенного луча. В среднем направление звукового луча судно-маяк это направление прямой *КМ* с направляющими косинусами

$$e_{xcp} = \frac{x_m - x_k}{R}; \quad e_{ycp} = \frac{y_m - y_k}{R}; \quad e_{zcp} = \frac{z_m - z_k}{R}, \quad (1)$$

где *x, y, z* с индексами "м" и "к" – координаты и глубина антенн маяка и судна соответственно;

$$R = \sqrt{(x_m - x_k)^2 + (y_m - y_k)^2 + (z_m - z_k)^2}. \quad (2)$$

Для любой намеченной на прямой *КМ* точки можно указать её координаты и, следовательно, вычислить по данным съёмки скорость звука *c* в ней, а для отрезка между точками – составляющие её градиента g_x, g_y, g_z . Принимая за веса длины отрезков, вычислим средние взвешенные для прямой *КМ* скорость звука c_{cp} и составляющие градиента $g_{xcp}, g_{ycp}, g_{zcp}$. Дополнение угла между направлением среднего градиента и прямой судно-маяк до прямого определится по формуле

$$\sin \alpha_{cp} = \frac{1}{g} (g_{xcp} \cdot e_{xcp} + g_{ycp} \cdot e_{ycp} + g_{zcp} \cdot e_{zcp}), \quad (3)$$

где $g = \sqrt{g_{xcp}^2 + g_{ycp}^2 + g_{zcp}^2}$.

Используя соотношение Снеллиуса, найдем приближенное значение угла α_0 начального направления луча

$$\cos \alpha_0 = c_0 \frac{\cos \alpha_{cp}}{c_{cp}}, \quad (4)$$

где c_0 – скорость звука около антенны K .

За знак острого угла α_0 примем знак трехчлена $g_{xcp} \cdot e_{x_0} + g_{ycp} \cdot e_{y_0} + g_{zcp} \cdot e_{z_0}$.

Для определения направляющих косинусов $e_{x_0}, e_{y_0}, e_{z_0}$ начального направления луча заметим, что принятие выше постоянного (среднего) значения градиента означает допущение, что траектория сигнала лежит в одной плоскости, а именно – в плоскости, содержащей прямую судно-маяк и вектор градиента g_{cp} . Тогда вместе со всей траекторией в этой же плоскости должно находиться и начальное направление. Следовательно, уравнение этой плоскости имеет вид

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ g_{xcp} & g_{ycp} & g_{zcp} \\ e_{xcp} & e_{ycp} & e_{zcp} \end{vmatrix} = 0 \quad (5)$$

или

$$A_x \cdot x + A_y \cdot y + A_z \cdot z = 0, \quad (6)$$

где

$$A_x = \begin{vmatrix} g_{ycp} & g_{zcp} \\ e_{ycp} & e_{zcp} \end{vmatrix}; \quad A_y = - \begin{vmatrix} g_{xcp} & g_{zcp} \\ e_{xcp} & e_{zcp} \end{vmatrix}; \quad A_z = \begin{vmatrix} g_{xcp} & g_{ycp} \\ e_{xcp} & e_{ycp} \end{vmatrix}. \quad (7)$$

Напишем условие параллельности, означающее в данном случае совмещение, начального направления и плоскости, имеющей уравнение (5)

$$A_{xcp} \cdot e_{x_0} + A_{ycp} \cdot e_{y_0} + A_{zcp} \cdot e_{z_0} = 0. \quad (8)$$

Учтем еще, что начальное направление составляет угол α_0 с поверхностью, перпендикулярной градиенту g_0 . Поэтому

$$g_{x_0} \cdot e_{x_0} + g_{y_0} \cdot e_{y_0} + g_{z_0} \cdot e_{z_0} = g_0 \cdot \sin \alpha_0, \quad (9)$$

где $g_{x_0}, g_{y_0}, g_{z_0}$ – составляющие градиента в начале траектории и $g_0^2 = g_{x_0}^2 + g_{y_0}^2 + g_{z_0}^2$.

Напишем еще очевидное уравнение

$$e_{x_0}^2 + e_{y_0}^2 + e_{z_0}^2 = 1. \quad (10)$$

Из решения системы уравнений (8), (9) и (10) найдём направляющие косинусы исходного направления приближенного луча $e_{x_0}, e_{y_0}, e_{z_0}$.

Определим направления и длины фрагментов этого луча. При этом, определяя направления, будем пренебрегать толщиной пронизываемых слоев воды, поскольку углы входа в слой и выхода из него связаны соотношениями, от толщины слоя не зависящими. Определяя длины фрагментов, в соответствии с допущением постоянства градиента в каждом слое, пренебрежем непараллельностью границ слоя.

Определение направления ультразвукового луча. Рассмотрим слой воды и соответствующий отрезок звукового луча, на котором скорость звука изменяется от значения c_1 до c_2 . Направляющие косинусы входа луча в слой обозначим e_{x_1}, e_{y_1} ,

e_{z_1} , а выхода из него – $e_{x_2}, e_{y_2}, e_{z_2}$. Поскольку для соотношений между направлениями луча толщина слоя не имеет значения, пренебрежём ею и представим слой как поверхность Q (рис. 1), разделяющую две среды: одна, где скорость звука c_1 , другая характеризуется скоростью c_2 . Очевидно, градиент скорости звука направлен по нормали N к поверхности Q , а его направляющие косинусы равны

$$\frac{g_x}{g}, \frac{g_y}{g}, \frac{g_z}{g},$$

где g – модуль градиента;

g_x, g_y, g_z – его координаты.

Угол α_1 входа в слой с градиентом g определится уравнением

$$\sin \alpha_1 = \frac{1}{g} (g_x e_{x_1} + g_y e_{y_1} + g_z e_{z_1}). \quad (11)$$

Угол α_2 выхода из слоя найдем из уравнения

$$\cos \alpha_2 = \frac{c_2}{c_1} \cos \alpha_1. \quad (12)$$

С другой стороны, для угла α_2 (как угла между прямой 2 и плоскостью Q) имеем уравнение (13)

$$\sin \alpha_2 = \frac{g_x}{g} e_{x_2} + \frac{g_y}{g} e_{y_2} + \frac{g_z}{g} e_{z_2}.$$

Кроме того, луч 2 перпендикулярен линии пересечения плоскости Q с плоскостью, перпендикулярной лучу 1, то есть линии $F'F''$ (см.рис.1), описываемой системой уравнений

$$g_x x + g_y y + g_z z = 0;$$

$$e_{x_1} x + e_{y_1} y + e_{z_1} z = 0.$$

Или

$$\frac{x}{A_x} = \frac{y}{A_y} = \frac{z}{A_z},$$

где определители A_x, A_y, A_z вычисляются по формулам (7), но с учётом изменившихся индексов (g_x – вместо $g_{x_{cp}}$, e_{x_1} – вместо $e_{x_{cp}}$ и так далее).

Условие перпендикулярности прямой $F'F''$ и луча 2 выражается уравнением

$$A_x e_{x_2} + A_y e_{y_2} + A_z e_{z_2} = 0, \quad (14)$$

причём

$$e_{x_2}^2 + e_{y_2}^2 + e_{z_2}^2 = 1. \quad (15)$$

Система уравнений (13) – (15) позволяет определить направляющие косинусы $e_{x_2}, e_{y_2}, e_{z_2}$ луча на выходе из слоя. Уравнения аналогичны уравнениям (8) – (10) и



Рис. 1. Изменение направления звукового луча при прохождении через водный слой нулевой толщины.

решаются по тому же алгоритму. Найдя направляющие косинусы, можем вычислить дирекционный угол T_2 и угол наклона ν_2 преломленного луча

$$\operatorname{tg} T_2 = e_{y_2} / e_{x_2}; \quad \sin \nu_2 = e_{z_2}.$$

Очевидно, найденные направляющие косинусы $e_{x_2}, e_{y_2}, e_{z_2}$ луча на выходе из одного слоя являются косинусами направления для входа в следующий слой, что позволяет последовательно вычислить направления луча во всех его точках.

Определение длин отрезков луча. Определим длину отрезка луча между точками со скоростями c_{i-1} и c_i , полагая, что точки расположены так часто, что градиент скорости звука между ними можно считать постоянным. Постоянство градиента означает параллельность ограничивающих слой плоскостей. Тогда

$$\frac{\cos \alpha_{i-1}}{c_{i-1}} = \frac{\cos \alpha_i}{c_i} = q, \quad (16)$$

где q – постоянная для слоя величина.

Согласно [1], время движения сигнала от точки $i-1$ на луче до точки i

$$\tau_i = \frac{l}{g_i} \cdot \ln \frac{c_i(1 + \sin \alpha_{i-1})}{c_{i-1}(1 + \sin \alpha_i)}, \quad (17)$$

а полное время пути от судна до точки i

$$t_i = t_{i-1} + \tau_i, \quad \text{где } i = 1, 2, \dots, n. \quad (18)$$

Найдём проекции отрезка луча на поверхность слоя l_i и на нормаль к ней h_i , а также хорду r_i (рис. 2)

$$l_i = \frac{\sin \alpha_{i-1} - \sin \alpha_i}{g_i \cdot q_i}, \quad h_i = \frac{\cos \alpha_i - \cos \alpha_{i-1}}{g_i \cdot q_i}, \quad r_i = \sqrt{h_i^2 + l_i^2}. \quad (19)$$

Найдём проекции на координатные оси. Вектор h_i направлен параллельно градиенту, поэтому

$$h_{x_i} = \frac{h \cdot g_x}{g}; \quad h_{y_i} = \frac{h \cdot g_y}{g};$$

$$h_{z_i} = \frac{h \cdot g_z}{g}.$$

Вектор l_i перпендикулярен плоскости, содержащей линии h и $F'F''$ (см. рис. 1) и потому

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ g_x / g & g_y / g & g_z / g \\ A_x & A_y & A_z \end{vmatrix} = 0.$$

Следовательно, направляющие коэффициенты вектора l_i

$$e_{l_x} = \frac{B_x}{B}; \quad e_{l_y} = \frac{B_y}{B}; \quad e_{l_z} = \frac{B_z}{B},$$

где

$$B_x = -\frac{l}{g} \cdot \begin{vmatrix} g_y & g_z \\ A_y & A_z \end{vmatrix}; \quad B_y = +\frac{l}{g} \cdot \begin{vmatrix} g_x & g_z \\ A_x & A_z \end{vmatrix}; \quad B_z = -\frac{l}{g} \cdot \begin{vmatrix} g_x & g_y \\ A_x & A_y \end{vmatrix} \quad \text{и}$$

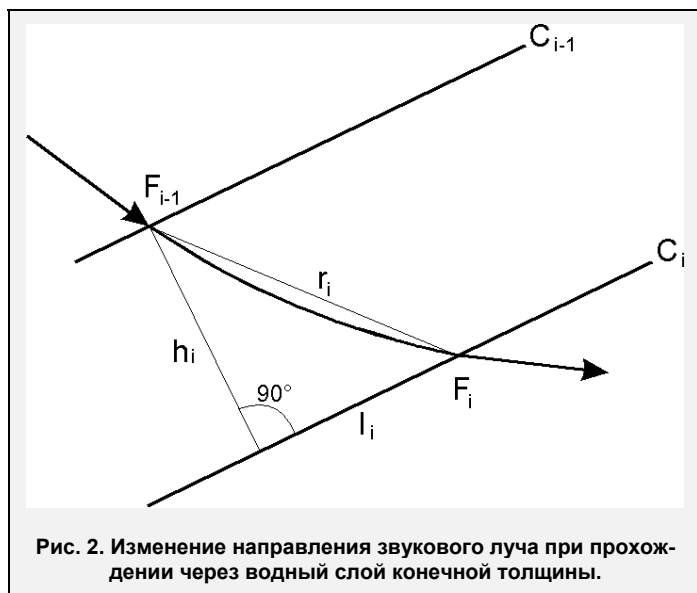


Рис. 2. Изменение направления звукового луча при прохождении через водный слой конечной толщины.

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2}.$$

Знаки B_x, B_y, B_z соответствуют углу наклона хорды r менее 45° . При больших углах знаки изменяются на противоположные.

Проекция вектора l на координатные оси

$$l_{x_i} = l \cdot B_x; l_{y_i} = l \cdot B_y; l_{z_i} = l \cdot B_z.$$

Координаты вектора r_i

$$r_{x_i} = h_{x_i} + l_{x_i}; r_{y_i} = h_{y_i} + l_{y_i}; r_{z_i} = h_{z_i} + l_{z_i}. \quad (20)$$

Дирекционный угол и угол наклона – $tg T_i = r_{y_i} / r_{x_i}$ и $sin v_i = r_{z_i} / r_i$.

Отметим случаи, когда вычислительный алгоритм изменяется.

а) Угол α_i близок к 90° . Тогда во избежание неопределённости типа 0:0 и учитывая малую в этом случае кривизну луча, вместо (19) следует использовать выражения

$$l_i = \underline{c} \tau_i \cdot \cos \underline{\alpha}; h_i = \underline{c} \tau_i \sin \underline{\alpha}. \quad (21)$$

Здесь \underline{c} и $\underline{\alpha}$ – средние на отрезке луча скорость и угол наклона.

б) Скорость звука на отрезке луча не меняется. Тогда $c_{i-1} = c_i$, $\alpha_{i-1} = \alpha_i$, $g_i = 0$ и нельзя воспользоваться формулой (17). Но тогда и траектория сигнала оказывается прямой. При этом

$$r_i = \frac{p \cdot (e_{x_{cp}} g_x + e_{y_{cp}} g_y + e_{z_{cp}} g_z)}{g \cdot \sin \alpha_i}, \quad (22)$$

где p – расстояние между точками на линии KM с равными c_{i-1} и c_i ;

g, g_x, g_y, g_z – средний из значений для смежных участков градиент и его составляющие.

Следующий шаг – определение времени $\tau_i = r_i / c_i$ и проекции отрезка по формулам (21).

Суммируя проекции r_{x_i}, r_{y_i} и r_{z_i} фрагментов луча, найдем проекции всего луча, соответствующего времени t . Однако элементы последнего фрагмента следует вычислить несколько иначе, чем предыдущие, поскольку вычисленное по формуле (18) значение t_n будет больше измеренного t . Тогда вместо вычислений по формуле (17) следует определить τ_n, α_n и c_n по формулам

$$\tau_n = t - \sum_{i=1}^{n-1} \tau_i; tg(45^\circ + \alpha_n / 2) = e^{-g \tau_n} tg(45^\circ + \alpha_{n-1} / 2); c_n = \cos \alpha_n / q$$

и далее воспользоваться формулами (19) – (22). Окончательно проекции луча на координатные оси и наклонное расстояние для данного луча будут равны

$$r_x = \sum_{i=1}^n r_{x_i}; r_y = \sum_{i=1}^n r_{y_i}; r_z = \sum_{i=1}^n r_{z_i}; r' = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + r_z^2}.$$

Вычисление наклонного расстояния. Найденные по приведенным выше формулам элементы принадлежат лучу с приближенно выбранным начальным направлением. Из-за неточности этого направления принятая приближенная траектория за время t приведёт в такую точку, не совпадающую с маяком, где скорость звука c_n не равна скорости звука c_M около маяка. Полученная невязка – расстояние между изоповерхностями c_n и c_M – будет равна

$$f = (c_n - c_M) / g_M, \quad (23)$$

где g_M – модуль градиента скорости звука около маяка.

Присвоим ему знак производной скорости звука по направлению звукового луча.

Обозначим Δc_k разность скоростей звука в точках, одинаково удалённых от судовой антенны на время t_k , но расположенных на разных траекториях – на приближенной и той, по которой проследовал принятый судном сигнал, и будем считать, что невязка нарастает пропорционально времени. Тогда

$$\frac{\Delta c_k}{g \cdot t_k} = \frac{f}{t},$$

где g – текущее значение градиента.

Следовательно, разность скоростей $\Delta c_k = f \cdot g \cdot t_k / t$. Из-за различий в скорости пути, пройденные сигналом за время t_k по двум лучам, будут различаться на величину

$$\Delta s = \int_0^t f g \frac{t_k}{t} dt_k.$$

Выполняя интегрирование по участкам с постоянным градиентом, суммируя результаты и пренебрегая разностью между поправками к длинам фрагментов луча и их хорд, найдём поправку Δr для наклонного расстояния r'

$$\Delta r = \frac{f}{2t} \sum_{i=1}^n g_i \tau_i (2t_i - \tau_i), \quad (24)$$

где $t_i = \sum_{j=1}^i \tau_j$, а значениям g_i присвоен знак в соответствии с тем же правилом, что и в формуле (23). Окончательно, наклонное расстояние между антеннами судна и маяка равно

$$r = r' + \Delta r$$

Точность изложенного алгоритма – доли метра. Он применим и в том случае, когда градиент направлен вертикально.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коугия В. А. Теория и методы вычисления расстояний до гидроакустических маяков // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка, 1987.– № 6.– С. 27–32.
2. Коугия В. А. Вычисление расстояний до гидроакустических маяков при наклонном градиенте скорости звука. Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка, 1995.– № 5–6.– С. 3–8.
3. Волков А. Е. Исследование влияния горизонтальной составляющей градиента скорости звука на определение расстояний до гидроакустических маяков // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка, 1995.– № 5–6.– С. 48–54.

**О ВОЗМОЖНОСТЯХ АЭРОЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕТОДОВ
ПРИ РЕШЕНИИ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАЧ**

**Л. В. АРТАМОНОВ,
И. М. ПЕТРОВА**
(НИИ физики СПб ГУ)

Приводятся результаты исследования поля, создаваемого вертикальным магнитным диполем. На основе анализа частотной зависимости вертикальной магнитной компоненты от параметров разреза предложена методика оценки мощности и электрической проводимости его слоев. При построении решения обратной задачи использован метод наименьших квадратов.

Количественные и качественные изменения минеральных ресурсов, вызванные, во-первых, повсеместным уменьшением фонда легкодоступных континентальных месторождений и, во-вторых, новой политико-экономической обстановкой в пределах СНГ, неизбежно приведут к осознанию необходимости интенсивного пополнения минерально-сырьевой базы России. Это пополнение может осуществляться в том числе за счет еще недостаточно разведанных ресурсов прибрежных участков омывающих территорию страны морей, для чего требуется предварительное проведение соответствующих поисковых работ.

Процесс геолого-геофизического изучения прибрежных морских акваторий включает этап гидрографического и геофизического картирования. Эти работы в настоящее время выполняются с помощью маломерных судов с использованием гидрографических, акустических и геофизических методов [1,2]. При организации широкомасштабных поисковых работ существенное экономическое значение могли бы сыграть аэроэлектроманитные методы дистанционного изучения шельфовых разрезов, которые до сих пор для решения этой задачи не используются. Известный опыт опробования методов аэроэлектроразведки на прибрежных акваториях имеется за рубежом [3], однако в публикациях физические обоснования, технические решения и методика определения параметров разреза освещены недостаточно.

В настоящей статье приведены результаты аналитического исследования электромагнитного поля модели разведочной установки – вертикального магнитного диполя, перемещающегося над двухслойной средой, имитирующей мелководное море с донными породами высокого удельного сопротивления ($\rho_2 \rightarrow \infty$). Удельное электрическое сопротивление воды ρ_1 задавалось в интервале 0,2–1,0 Ом·м, глубины моря d_1 – в интервале 5 – 100 м. Высоты полета установки над поверхностью воды выбраны в пределах 5 – 40 м, разнос источник – приемник принят равным 8 м. Такие параметры приняты с учетом современных взглядов на внедрение аэрогеофизических методов в производство крупномасштабных картировочно-поисковых работ [4].

Для расчета гармонического поля использовано решение Дж. Уэйта [5] и соответствующая вычислительная программа [6]. Рассчитаны частотные зависимости вертикальной и горизонтальной (радиальной) составляющих магнитного поля вертикального магнитного диполя в точке, расположенной на одной высоте с источником. При этом параметры модели – мощность верхнего слоя, высота полета и разнос установки –

нормированы на глубину скин-слоя с удельной проводимостью $\sigma_1 = \frac{1}{\rho_1}$. Исследованы

компоненты вторичного поля $H_z.im$ и $H_x.im$ как наименее подверженные влиянию динамических воздействий на приемное устройство в первичном поле источника. Значения компонент нормированы на величину магнитного момента источника. Частотные зависимости компонент поля для различных параметров модели имеют одинаковый характер, но величина вертикального вторичного поля более чем на порядок превышает

ет $H_z.im$, что при измерениях может дать выигрыш в отношении сигнал/шум. Поэтому далее рассматриваются особенности поведения составляющей $H_z.im$.

На рис.1 приведены примеры частотных зависимостей $H_z.im(\omega)$ для различных удельных проводимостей слоя воды, его мощности и высоты установки 40 м. В соответствии с известными закономерностями все кривые имеют максимум, который с ростом σ_1 и d_1 смещается в сторону более низких частот. При выбранных параметрах разреза максимум находится в интервале $30 < \omega < 1000 \text{ с}^{-1}$ (ω – циклическая частота гармонического тока в источнике, этот диапазон приблизительно соответствует интервалу 5 – 320 Гц). Поле рассчитано для значений линейной частоты от 5 Гц до 96 кГц. При обычной для среднеширотных морей удельной проводимости воды 4 см/м границы полосы $30 < \omega < 8 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$ соответствуют скин-глубинам от 115 до 7 м.

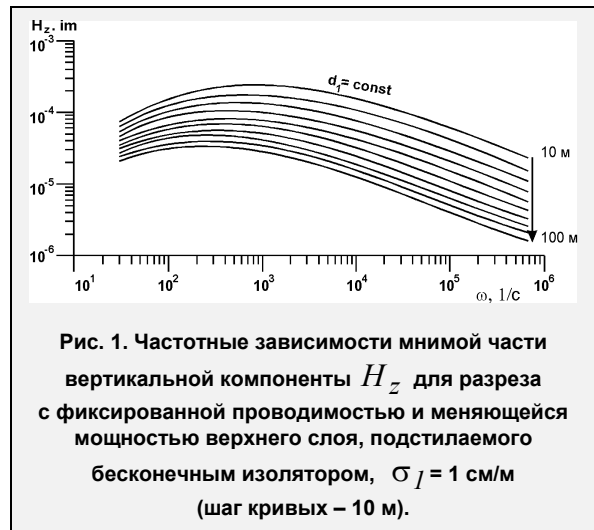


Рис. 1. Частотные зависимости мнимой части вертикальной компоненты H_z для разреза с фиксированной проводимостью и меняющейся мощностью верхнего слоя, подстилаемого бесконечным изолятором, $\sigma_1 = 1 \text{ см/м}$ (шаг кривых – 10 м).

В работе [4] исследована возможность вычисления глубины по данным измерения отношения составляющих поля, по графикам аналитических зависимостей $\frac{H_z.im}{H_z.re}(d_1)$, для поля частотой 385 Гц. Однако авторами указано, что эта зависимость нелинейна и неустойчива к изменениям высоты установки над водной поверхностью, что создает вероятность больших ошибок в определении d_1 . Сказанное вызывает необходимость поиска иной методики решения обратной задачи.

Из рис.1 понятно, что батиметрическая задача имеет тривиальное решение при использовании измеренного значения поля заданной частоты и серии аналитических зависимостей $H_z.im(\omega)$ для априорно известной величины σ_1 . Однако при неизвестном σ_1 решение, основанное на дальнейшем исследовании поведения поля, усложняется. Определение двух неизвестных параметров разреза требует привлечения более чем одного измеренного значения поля.

Из [4] уже известно, что использование значений $H_z.im$ и $H_z.re$ на одной частоте приводит к слишком большой погрешности определения d_1 . Технические возможности одновременного возбуждения поля на двух частотах позволяют выполнять синхронные измерения двух величин $H_z.im$, одна из которых имеет лучшее разрешение по глубине, а вторая – по удельной проводимости.

Наличие хорошо выраженных линейных участков на всех кривых $H_z.im(\omega)$ в области $\omega > 2000$ (см.рис.1), аппроксимирующимися уравнениями вида

$$\lg(H_z.im) = a \lg \omega + b(\sigma_1, d_1),$$

дает некоторые возможности для приближенного решения задачи определения σ_1 и d_1 . Особенностью зависимости свободного члена этих уравнений $b(\sigma_1, d_1)$ от глубины d_1 является то, что в интервале значений 60 – 100 м кривые $b(d_1)$, построенные для значений $\sigma_1 = 4$ и 5 см/м, совмещены. При априорном знании того, что измерение поля проводится на участке, где величины d_1 и σ_1 не выходят за указанные пределы,

имеется возможность по величине b однозначно определить d_1 , а затем по графику $H_z.im(\omega)$ – значение σ_1 . Естественно, этот метод имеет ограниченное применение и не освобождает от необходимости поиска универсального метода решения обратной задачи.

Задача нахождения параметров разреза непосредственно по данным измерений поля является неустойчивой по отношению к малым изменениям поля. Ее решение неоднозначно, причиной чего является отсутствие достаточного объема получаемых данных о поле. Поэтому рассмотрим решение, основанное на сопоставлении значений поля, рассчитанных с использованием некоторых начальных данных о проводимости σ_1 и мощности первого слоя d_1 , непосредственно измеренными величинами $H_z.im$. Используем метод наименьших квадратов, с помощью которого находятся такие оценки параметров разреза, которые минимизируют сумму квадратов невязок между измеренными и рассчитанными значениями поля. Полученные в этом случае оценки являются несмещенными, обладают минимальными дисперсиями и асимптотически эффективны. Если невязки S распределены нормально с нулевым средним значением, что справедливо при малых значениях невязок S , то использование описываемого метода корректно. Нахождение минимума квадрата невязок эквивалентно решению уравнений

$$\frac{\partial S}{\partial m_i}, \quad i = 1, 2, k, \quad (1)$$

которые являются трансцендентными и решаются только приближенными методами. В данном случае использован метод последовательных приближений Ньютона – Рафсона. Если выбрать некоторое начальное приближение параметров разреза в виде $\vec{m}^{(0)}$ (\vec{m} – вектор, компонентами которого в нашем случае являются σ_1 и d_1), то поправки будут определяться выражением

$$\Delta \vec{m} = \vec{m}^{(1)} + \vec{m}^{(0)},$$

а уравнение для оценки $\Delta \vec{m}$, получаемое из (1), будет иметь вид

$$\Delta \vec{m} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \Delta \vec{y}, \quad (2)$$

где $\Delta \vec{y} = \vec{y} - F(\vec{m}^{(0)})$.

Здесь \mathbf{A} – матрица ($n \times k$) с известными коэффициентами;

n – количество значений $H_z.im$;

k – количество параметров среды;

\vec{y} – экспериментальное значение поля $H_z.im$;

$F(\vec{m}^{(0)})$ – теоретическое значение поля, полученное для начального приближения параметров разреза $\vec{m}^{(0)}$.

Затем производится расчет с использованием нового приближения $\vec{m}^{(1)}$ и так далее до стабилизации невязки S и уменьшения $\Delta \vec{m}$ до достаточно малого значения.

В использованной модели $k = n = 2$ и матрица \mathbf{A} имеет вид

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix},$$

где

$$a_{11} = \left. \frac{\partial F(\vec{m})}{\partial \sigma_1} \right|_{\omega_1}, \quad a_{21} = \left. \frac{\partial F(\vec{m})}{\partial \sigma_1} \right|_{\omega_2},$$

$$a_{12} = \left. \frac{\partial F(\vec{m})}{\partial d_1} \right|_{\omega_1}, \quad a_{22} = \left. \frac{\partial F(\vec{m})}{\partial d_1} \right|_{\omega_2}.$$

Матрица A – квадратная и невырожденная.

Следовательно для нее существует обратная матрица A^{-1} . Тогда уравнение (2) можно представить в виде

$$\Delta \vec{m} = A^{-1} \Delta \vec{y},$$

а выражения для расчета поправок примут вид

$$\Delta \sigma_1 = \frac{a_{22} \Delta y_1 - a_{12} \Delta y_2}{\Delta_1}; \tag{4}$$

$$\Delta d_1 = \frac{a_{11} \Delta y_2 - a_{21} \Delta y_1}{\Delta_1};$$

$$\Delta_1 = a_{11} a_{22} - a_{12} a_{21};$$

$$\Delta y_1 = H_{z_1} \cdot im(\vec{m}) - H_{z_1} \cdot im(\vec{m}^{(o)}) \text{ для частоты } \omega_1;$$

$$\Delta y_2 = H_{z_2} \cdot im(\vec{m}) - H_{z_2} \cdot im(\vec{m}^{(o)}) \text{ для частоты } \omega_2.$$

Для того, чтобы проверить правильность выбора частот в смысле малой корреляции параметров разреза, используется частотная зависимость диагональных членов информационной матрицы Фишера при фиксированных d_1 и σ_1 , которые определяют количество информации о соответствующем параметре \hat{m}_k . Не останавливаясь на определении и процедуре вычисления указанной матрицы, подробно описанных в работе [7], отметим, что эта процедура дает возможность определить дисперсии величин d_1 и σ_1 , а также коэффициент корреляции этих параметров. Для достижения достаточно хорошей информативности необходимо, чтобы диагональные члены матрицы Фишера были близки к максимальным значениям. Кроме того, нужно избегать выбора частот, соответствующих интервалам, где кривые приблизительно совпадают. Это свидетельствует о сильной корреляционной зависимости искомых параметров. Расчет упомянутой частотной зависимости для различных значений d_1 и σ_1 показал, что выбранные по геофизическим соображениям частоты находятся в интервале, информативном для исследуемых параметров. Далее по составленной нами программе оценивания параметров среды были рассчитаны кривые зависимости невязки S от числа итераций N для всех значений d_1 и σ_1 . Все они имеют одинаковый характер: после четвертой итерации невязки достигают значений порядка 10^{-22} , а кривые сливаются в одну прямую, что свидетельствует об их стабилизации и близости полученных оценок к истинным значениям заданных параметров модели среды. При этом оценки дисперсий обоих параметров имеют порядок 10^{-6} , т.е. погрешности процедуры оценивания не превышают десятых долей процента и могут не учитываться при определении итоговой погрешности определения d_1 и σ_1 . Время проведения процедуры по составленной программе на ЭВМ типа IBM-386 составило 1 мин. 24 с.

Из выражений (4) для $\Delta\sigma_1$ и Δd_1 следует, что итоговая погрешность σ_1 и d_1 складывается из погрешности, вносимой при выборе начальных значений модели и погрешности вычислений производных (3), формирующих матрицу A . Оценки погрешности вычисления частных производных дают величину, не превышающую 10^{-5} , которой можно пренебречь. Таким образом, можно считать, что погрешность оценок σ_1 и d_1 определяется главным образом погрешностями измерений поля и связана с ними линейной зависимостью (рис.2).

Возможности примененного метода опробованы также для модели 3-х слойной Среды с параметрами $\sigma_1=4$ см/м, $d_1=20$ м, $\sigma_2=0,1$ см/м, $d_2=0,5$ м, $\sigma_3=0$ см/м, $d_3 = \infty$. В задаче допускалось, что значение d_1 задано и является точным, а в оценке нуждаются три параметра среды. В этом случае на одной из частот потребовалось дополнительное измерение $H_{z.re}$, и матрица A стала размером 3×3 . Были найдены выражения для оценок поправок, информативности по Фишеру и дисперсии определяемых параметров. Величины S достигают стабильных значений 10^{-15} , 10^{-12} , 10^{-13} (соответственно для σ_1, σ_2, d_2) после 8 итераций при времени 10,4 мин. Дисперсии для этих параметров составляют величины 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} .

В заключение следует отметить возможность разработки более совершенных расчетных программ, которые при использовании быстродействующей вычислительной техники могут обеспечить существенно меньшие затраты времени на получение оценок параметров разрезов, приближающиеся к затратам времени на измерение самого поля.

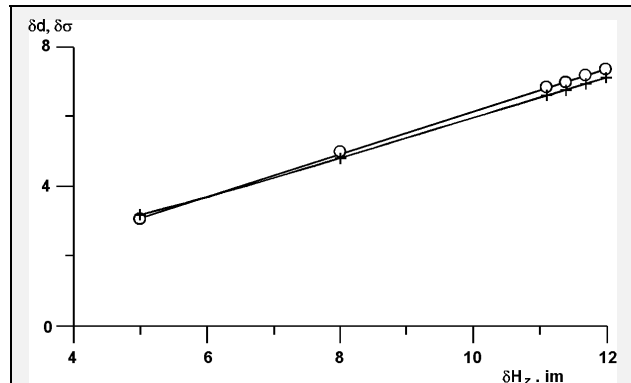


Рис. 2. Зависимость погрешности расчета мощности δd и проводимости $\delta\sigma$ от погрешности измерений поля $\delta H_z . im$ для параметров верхнего слоя

$\sigma_1=5$ см/м; $d_1=100$ м с бесконечно подстилающим изолятором; начальное приближение

$\sigma_1=4$ см/м; $d_1=90$ м:

$\pm \delta d$; $0 - \delta\sigma$.

Величины S достигают стабильных значений 10^{-15} , 10^{-12} , 10^{-13} (соответственно для σ_1, σ_2, d_2) после 8 итераций при времени 10,4 мин. Дисперсии для этих параметров составляют величины 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} .

В заключение следует отметить возможность разработки более совершенных расчетных программ, которые при использовании быстродействующей вычислительной техники могут обеспечить существенно меньшие затраты времени на получение оценок параметров разрезов, приближающиеся к затратам времени на измерение самого поля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аносов В.С., Воронин В.А., Тарасов С.Л., Тимошенко В.И. Параметрический гидроакустический донный профилограф. 2-я Российская научно-техническая конференция "Современное состояние, проблемы навигации и океанографии", 14 – 17 ноября 1995 г., С-Пб.
2. Молочнов Г.В., Рыбакин В.Н., Крылов С.С. Классификация геоэлектрических разрезов в прибрежно-морской зоне по результатам частотных зондирований. Вопросы геофизики. 1994. –Вып.43. С. 119 – 126.
3. Won I.J., Smits K. Application of the airborne electromagnetic method for bathymetric charting in shallow oceans. Pap. Geol. Surv. Can., 1986, №86-22, p.99–106.
4. Воробьев В.П., Глаголев В.А., Кирсанов В.Н., Нахабцев А.С., Филимонов В.В., Цирель В.С. Перспективы использования аэрогеофизических методов для детальных геофизических исследований//Геофизическая аппаратура. – 1995.–Вып. 100.–С.117-126.
5. Wait J.R. Induction by an oscillating magnetic dipole over a two-layer ground. Appl. Sci. Res., Sec.B, v.7, p.73–80.
6. Sinha A.K., Collett L.S. Electromagnetic fields of oscillating magnetic dipoles placed over a multilayer conducting earth. Pap. Geol. Surv. Can., 1973, №73-25, p.48.
7. Порохова Л.Н., Яновская Т.Б. Обратные задачи геофизики." Л.: 1983, 210 с.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ ПОСТОЯННЫХ ПРИЛИВА**Э.С. ЗУБЧЕНКО**
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Выполнено теоретическое обобщение методов вычисления гармонических постоянных колебания уровня морей, как методов цифровой фильтрации спектра колебаний. Путем введения частичной суммы тригонометрического интерполяционного многочлена к интегралу Дирихле получено выражение для частотной характеристики цифрового фильтра, связывающего амплитуду гармоники Фурье и гармоник прилива. Полученные зависимости использованы для вычисления гармонических постоянных с применением метода наименьших квадратов и метода Гаусса для составления и решения нормальных уравнений. Проверка эффективности предлагаемого метода осуществлена с использованием реальных измерений высот уровня на морях с различными типами и характеристиками приливов. По точности восстановления исходного ряда высот уровня новый метод не уступает существующим, а в некоторых случаях превосходит их.

Одним из наиболее ответственных этапов съемки рельефа дна является приведение измеренных глубин к принятому уровню. Поэтому надежность и достоверность метода получения отсчета нуля глубин должна быть гарантирована его строгим математическим обоснованием и всесторонней проверкой.

В отечественной практике гидрографических работ методика получения отсчета НТУ – нуля глубин для морей с приливом – включает вычисление гармоник прилива (ГП) методом Дж.Дарвина по 30- или 15-суточной серии ежечасных измерений высот уровня [1-4]. В этом методе принят ряд допущений, позволяющий упростить вычисления, однако из-за них его следует отнести к разряду приближенных [5].

Поэтому в данной работе была поставлена задача исследовать эффективность существующих методов вычисления ГП и разработать альтернативный метод, на основе которого можно было бы создать производственную методику для использования в подразделениях гидрографической службы.

В соответствии с действующими руководствами ГП – амплитуда H и фаза (специальный угол положения) g_0 – вычисляется для восьми основных волн прилива $Q_1, O_1, P_1, K_1, N_2, M_2, S_2, K_2$ по технологии ручного [1,2] и машинного счета [3]. Эти технологии основаны на методе Дж.Дарвина (1882 г.). Достоинством метода является незначительный объем вычислений, позволяющий осуществлять ручной счет при наличии специальных бланков и палеток для интерполирования отсчетов высот уровня. Это достоинство было особенно актуальным при отсутствии эффективных вычислительных средств. Поэтому данный метод был реализован в 60-х годах в алгоритме вычисления ГП на первой отечественной специализированной гидрографической ЭВМ ТЭМ-1 [3], имевшей недостаточный объем оперативной памяти.

С началом использования для обработки гидрографической информации более совершенных ЭВМ появилась возможность использовать для повышения точности вычисления более совершенный математический аппарат – способ наименьших квадратов [4]. Однако при этом также возникают определенные трудности. Например, при обработке 30-суточной серии ежечасных отсчетов высоты уровня исходная система линейных уравнений будет их насчитывать 720 с 23 неизвестными.

За рубежом с конца 50-х годов для обработки продолжительных (около года и более) измерений колебания уровня стали использоваться методы, основанные на математическом аппарате спектрального анализа Фурье. Это, во-первых, повышает точность вычислений за счет исключения принятых в методе Дарвина допущений и, во-вторых, позволяет эффективно использовать возможности современной вычислительной техники [6-9].

Снятие со снабжения ГУНиО специализированных гидрографических ЭВМ ТЭМ-1, на которых еще в 60-х годах был реализован метод Дарвина, привело к тому, что подразделения гидрографической службы на флотах фактически на располагают автоматизированной технологией обработки измерений высот уровня. Поэтому была поставлена задача исследовать эффективность существующих методов вычисления ГП и разработать альтернативный метод, на основе которого можно было бы создать методику, пригодную для использования в практических целях.

Сущность новых методов заключается в том, что соотношение между высотами уровня и гармониками прилива, используемое в методе Дарвина [3]

$$z(t) = A_o + \sum_{q=1}^Q R_q \cos(\omega_q t - \zeta_q), \quad (1)$$

где $z(t)$ – высота уровня на момент t ;

A_o – средний уровень;

$q = 1, 2, K, Q$ – номер определяемой гармоники прилива

заменяется соотношением между гармоникой Фурье разложения в ряд Фурье функции $z(t)$ и амплитудой гармоники прилива $R_q(\omega)$ в виде суммы линейных операторов

$$F(\omega_k) = \sum_{q=1}^Q R_q(\omega_q) G(\omega_q - \omega_k), \quad (2)$$

где $F(\omega_k)$ – k -я гармоника Фурье с частотой ω_k ;

$R_q(\omega_q)$ – искомая гармоника прилива;

$G(\omega_q - \omega_k)$ – частотная характеристика фильтра.

Таким образом каждый оператор под знаком суммы в выражении (2) можно интерпретировать как операцию фильтрации спектральной функции $R_q(\omega_q)$ с помощью цифрового фильтра, имеющего частотную характеристику $G(\omega_q - \omega_k)$, которая является функцией разности частот ω_q и ω_k .

Выражение (2) позволяет для p гармоник Фурье, близких по частоте с одной из гармоник прилива, составить p линейных уравнений, совместное решение которых дает искомые значения $R_q(\omega_q)$. Для этого необходимо знать вид функции $G(\omega_q - \omega_k)$. В работе [6] приводится нестрогий вывод этой функции, а в [7,8] ее вид дан вообще без вывода.

Для оценки целесообразности использования того или иного из названных методов при вычислении ГП представляет интерес получение их строго математического обоснования и, в частности, вывод формул для определения функции $G(\omega_q - \omega_k)$.

Представим непрерывный спектр колебаний уровня $R(\omega)$ в виде тригонометрического интерполяционного многочлена n -го порядка

$$F(\omega_k) = \frac{a_o}{2} + \sum_{m=1}^n (a_m \cos m k \Delta \omega + b_m \sin m k \Delta \omega),$$

где a_o, a_m, b_m – неизвестные коэффициенты;

$\Delta \omega$ – шаг дискретизации спектра.

Значения $F(\omega_k)$ в $2n+1$ точках совпадают с соответствующими значениями функции $R(\omega)$. Для нахождения a_0, a_m, b_m представим их в виде коэффициентов ряда Фурье [10] функции спектра $R(\omega)$, заданной на отрезке $[-\pi, \pi]$

$$a_m = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} R(\omega) \cos m\omega d\omega, \tag{4}$$

где $m = 0, 1, 2, \dots, n$;

$$b_m = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} R(\omega) \sin m\omega d\omega,$$

где $m = 1, 2, \dots, n$.

Выражения (4) справедливы при $n \rightarrow \infty$. Подставим их в (3). Замечая, что $\Delta\omega_k = \omega_k$, подведем под знак интеграла постоянные величины $\cos m\omega_k$ и $\sin m\omega_k$. Получим

$$\begin{aligned} F(\omega_k) &= \frac{1}{2} \int_{-\pi}^{\pi} R(\omega) d\omega + \sum_{m=1}^n \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} R(\omega) [\cos m\omega \cos m\omega_k + \sin m\omega \sin m\omega_k] d\omega = \\ &= \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} R(\omega) \left\{ \frac{1}{2} + \sum_{m=1}^n \cos m(\omega - \omega_k) \right\} d\omega. \end{aligned} \tag{5}$$

Воспользовавшись для преобразования выражения в фигурных скобках в (5) известным тригонометрическим тождеством [10]

$$\frac{1}{2} + \sum_{j=1}^n \cos jx = \frac{\sin[(n+1/2)x]}{2 \sin(x/2)}, \tag{6}$$

окончательно запишем (5) как

$$F(\omega_k) = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} R(\omega) \frac{\sin[(2n+1)(\omega - \omega_k)/2]}{2 \sin[(\omega - \omega_k)/2]} d\omega. \tag{7}$$

Полученное выражение известно как интеграл Дирихле. Заменим в нем пределы интегрирования на $-L$ и L , где $L = n\Delta\omega$, и перейдем к конечной сумме Q значений функции $R(\omega)$. Тогда (7) принимает следующий вид

$$F(\omega_k) = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^Q R(\omega_q) \frac{\sin[(2n+1)(\omega_q - \omega_k)/2]}{2 \sin[(\omega_q - \omega_k)/2]}. \tag{8}$$

Сравнивая выражения (2) и (8) можно заметить, что частотная характеристика $G(\omega_q - \omega_k)$ в (6) может быть представлена ядром интеграла Дирихле. С учетом отрицательных частот на отрезке $[-L, 0]$ и нечетности функции \sin выражение (8) следует переписать в виде

$$F(\omega_k) = \frac{1}{2n} \sum_{q=1}^Q R(\omega_q) \left\{ \frac{\sin[(n+0,5)(\omega_q - \omega_k)]}{\sin[0,5(\omega_q - \omega_k)]} - \frac{\sin[(n+0,5)(\omega_q - \omega_k)]}{\sin[0,5(\omega_q + \omega_k)]} \right\}. \tag{9}$$

Для улучшения сходимости ряда (9) к значению k -й гармоники Фурье умножим выражение в фигурных скобках на весовую функцию

$$W = \frac{\sin[0,5(\omega_q - \omega_k)]}{0,5(\omega_q - \omega_k)},$$

которая представляет собою функцию вида $\sin x/x$, имеющую колебательный характер с убывающей при возрастании аргумента амплитудой. Таким образом, мы будем уменьшать влияние гармоники прилива, которые по частоте будут значительно отличаться от ω_k . В результате умножения выражение (9) примет вид

$$F(\omega_k) = \frac{1}{n} \sum_{q=1}^Q R(\omega_q) \left\{ \frac{\sin[(n+0,5)(\omega_q - \omega_k)]}{(\omega_q - \omega_k)} - \frac{\sin[(n+0,5)(\omega_q + \omega_k)]}{(\omega_q + \omega_k)} \right\}. \quad (10)$$

Представим входящие в это выражение гармоники $F(\omega_k)$ и $R(\omega_q)$ в комплексном виде

$$\begin{aligned} F(\omega_k) &= a(\omega_k) + ib(\omega_k); \\ R(\omega_q) &= X_q(\omega_q) + iY_q(\omega_q). \end{aligned} \quad (11)$$

Подставляя (11) в (10), а затем, приравнявая коэффициенты при $a(\omega_k)$ и $X_q(\omega_q)$, $b(\omega_k)$ и $Y_q(\omega_q)$, запишем

$$\begin{aligned} a(\omega_k) &= \frac{1}{n} \sum_{q=1}^Q X_q \left\{ \frac{\sin[(n+0,5)(\omega_q - \omega_k)]}{(\omega_q - \omega_k)} - \frac{\sin[(n+0,5)(\omega_q + \omega_k)]}{(\omega_q + \omega_k)} \right\}, \\ b(\omega_k) &= \frac{1}{n} \sum_{q=1}^Q Y_q \left\{ \frac{\sin[(n+0,5)(\omega_q - \omega_k)]}{(\omega_q - \omega_k)} - \frac{\sin[(n+0,5)(\omega_q + \omega_k)]}{(\omega_q + \omega_k)} \right\}. \end{aligned} \quad (12)$$

Коэффициенты $a(\omega_k)$ и $b(\omega_k)$ легко находятся по формуле Бесселя при четном количестве отсчетов [11] как

$$\begin{aligned} a(\omega_k) &= \frac{2}{n} \sum_{r=1}^n z(r) \cos \frac{2\pi r k}{n}; \\ b(\omega_k) &= \frac{2}{n} \sum_{r=1}^n z(r) \sin \frac{2\pi r k}{n}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $r = 1, 2, \dots, n$ – номер отсчета высоты уровня.

Таким образом получен строгий математический вывод формул (12), на основе которых можно уже уверенно строить алгоритм вычисления ГП.

В общих чертах он будет состоять из процедуры вычисления коэффициентов линейных уравнений с помощью выражений в фигурных скобках из (12) для p значений ω_k , наиболее близких каждому из Q значений ω_q . Свободные члены линейных уравнений будут определяться по формулам (13). Для нахождения составляющих X_q и Y_q каждой волны необходимо будет решить две системы уравнений, получаемых соответственно из 1-й и 2-й формул (12).

Однако решение этой задачи усложняется из-за необходимости разделения гармоник с близкими значениями частот. Как известно [11], для уверенного разделения гармоник с частотами ω_1 и ω_2 продолжительность T измерений высот уровня должна удовлетворять условию

$$T > 360^{\circ} / |\omega_1 - \omega_2|. \quad (14)$$

Отсюда продолжительность наблюдений для разделения волн Q_1 и Q_2 должна быть не менее 661,3 ч, волн N_2 и M_2 – 666,5 ч. Волны P_1 и K_1 , S_2 и K_2 могут быть разделены при продолжительности измерений не менее 4382,7 ч (182,6 сут.).

Следовательно при наличии данных ежечасных измерений уровня продолжительностью 30 сут. (720 ч) возникает проблема разделения волн P_1 и K_1 , S_2 и K_2 . При наличии ряда измерений высот уровня за 15 сут. (360 ч) необходимо дополнительно разделять также волны Q_1 и Q_2 , N_2 и M_2 .

Эта задача решается аналогично изложенным в [1, 2, 3, 5] методам с использованием теоретически установленных соотношений амплитуд и специальных углов положения [1, 2, 4, 11]

$$\begin{aligned} H_{P_1} &= c_1 H_{K_1}; & g_{P_1} &= g_{K_1} - 0,075(g_{K_1} - g_{O_1}); \\ H_{K_2} &= c_2 H_{S_2}; & g_{K_2} &= g_{S_2} + 0,081(g_{S_2} - g_{M_2}); \\ H_{Q_1} &= c_3 H_{O_1}; & g_{Q_1} &= g_{O_1} - 0,496(g_{K_1} - g_{O_1}); \\ H_{N_2} &= c_3 H_{M_2}; & g_{N_2} &= g_{M_2} - 0,536(g_{S_2} - g_{M_2}); \\ c_1 &= 0,3333; & c_2 &= 0,2725; & c_3 &= 0,2. \end{aligned} \quad (15)$$

Используя эти соотношения, определим коэффициенты при объединенных составляющих волн $P_1 + K_1$, $S_2 + K_2$, $Q_1 + O_1$, $N_2 + M_2$.

Учитывая, что амплитуда для i -ой волны через ее составляющие выражается формулой

$$H_i = \frac{1}{f_i} \sqrt{X_i^2 + Y_i^2}, \quad (16)$$

где f_i – редукционный множитель,

соотношения между амплитудами i -ой и j -ой волнами в соответствии с формулами (15) можно записать в следующем виде

$$\frac{1}{f_i} \sqrt{X_i^2 + Y_i^2} = \frac{c_m}{f_j} \sqrt{X_j^2 + Y_j^2}, \quad (17)$$

где c_m ($m = 1, 2, 3$) – один из коэффициентов при амплитудах в формулах (15).

Возводя в квадрат левую и правую части (17), а затем приравнивая коэффициенты при X_i и X_j , Y_i и Y_j и извлекая корень, получим

$$\begin{aligned} X_i &= \frac{c_m f_i}{f_j} X_j; \\ Y_i &= \frac{c_m f_i}{f_j} Y_j. \end{aligned} \quad (18)$$

Обозначим коэффициенты при X_q и Y_q в выражениях (12) через C_{kq} . Тогда после элементарных преобразований коэффициенты при составляющих объединенных волн будут иметь общий вид

$$C_{ki} = C_{kj} \left(1 + \frac{c_m f_i}{f_j} \right). \quad (19)$$

Полученные соотношения позволяют перейти к определению ГП.

Средства и методы гидрографии, морской картографии и геофизики

На основе формул (12), (13), (19) были разработаны экспериментальные методики вычисления ГП по 30- и 15-суточной сериям измерений колебаний уровня моря. Каждая из них включает следующие процедуры:

- Определение номеров гармоник Фурье и их частот.
- Вычисление разностей и сумм частот гармоник Фурье и гармоник прилива.
- Вычисление астрономических элементов и редукционных множителей.
- Вычисление коэффициентов линейных уравнений.
- Объединение неизвестных и вычисление коэффициентов при них.
- Вычисление амплитуд гармоник Фурье.
- Нормализация системы исходных уравнений.
- Решение нормальных уравнений.
- Вычисление ГП.

Рассмотрим содержание каждой из процедур.

1. Частоты гармоник Фурье (p) определялись как ближайшее целое значение величины $p' = \omega_q n / 360$. При этом, если $|p - p'|$ отличалось от 1 или 0 менее чем на 0,1, за p принималось одно ближайшее к p' значение. Если $|p - p'|$ отличалось от 0 или 1 более чем на 0,1, брались два значения p , между которыми находилось значение p' .

В таблице приведены значения ω_q , p' и p для главных составляющих волн. Видно, что при 30-суточной серии измерений количество гармоник Фурье, которые можно использовать для составления уравнений вида (12), равно 11, а для 15-суточной серии – 9. Таким образом, число одновременно решаемых уравнений будет соответственно составлять 11 и 9.

Частоты главных волн прилива и соответствующие им гармоники Фурье, использовавшиеся при расчетах

№	Волна	Частота ω_q , град/ч	Гармоники Фурье			
			30-суточная серия		15-суточная серия	
			p'	p	p'	p
1	Q_1	13,3987	26,800	26;27	13,40	13;14
2	O_1	13,943	27,886	27;28	13,94	14
3	P_1	14,958	29,916	30	14,96	15
4	K_1	15,041	30,082	30	15,04	15
5	N_2	28,4397	56,879	56;57	28,44	28;29
6	M_2	28,9841	57,968	58	29,984	29
7	S_2	30,0	60,0	60	30,0	30
8	K_2	30,08137	60,16	60	30,081	30
9	M_4	57,9682	115,936	116	57,968	58
10	MS_4	58,9844	117,97	118	58,98	59
11	M_6	86,952	173,90	174	86,95	87

2. Для вычисления разностей $\Delta \omega_{pq} = \omega_q - \omega_p$ и сумм $\Sigma \omega_{pq} = \omega_q + \omega_p$ частот гармоник прилива и гармоник Фурье частота последних определялась по формуле

$$\omega_p = p \frac{360^\circ}{n}. \quad (20)$$

3. Астрономические элемент – средняя тропическая долгота Солнца, средняя долгота Луны, средняя долгота перигея лунной орбиты, долгота восходящего узла лунной орбиты, редуционные множители – вычисляются по известным формулам [3,4], которые для краткости изложения здесь не приводятся.

4. Вычисление коэффициентов линейных уравнений для составляющих X_q и Y_q в соответствии с выражением (12) производилось по формуле

$$C_{pq} = \frac{1}{n} \left\{ \frac{\sin[(n+0,5) \Delta\omega_{pq}]}{\Delta\omega_{pq}} - \frac{\sin[(n+0,5) \Sigma\omega_{pq}]}{\Sigma\omega_{pq}} \right\}. \quad (21)$$

Для устранения неопределенности вида 0/0 при $\Delta\omega_{pq} = 0$ первый член в фигурных скобках здесь заменялся его пределом при $\Delta\omega_{pq} \rightarrow 0$, равным $(n+0,5)$.

В соответствии с формулой (23) коэффициенты при составляющих объединенных волн K_1+P_1 , S_2+K_2 вычислялись по формулам

$$C'_{p_3} = C_{p_4} \left(1 + \frac{c_1 f_{p_1}}{f_{k_1}} \right); \quad (22)$$

$$C'_{p_6} = C_{p_7} \left(1 + \frac{c_2 f_{k_2}}{f_{s_2}} \right),$$

а коэффициенты при составляющих объединенных волн Q_1+O_1 , N_2+M_2 как

$$C'_{p_1} = C_{p_2} \left(1 + \frac{c_3 f_{Q_1}}{f_{O_1}} \right); \quad (23)$$

$$C'_{p_3} = C_{p_5} \left(1 + \frac{c_3 f_{N_2}}{f_{M_2}} \right).$$

Вследствие объединения неизвестных матрица коэффициентов линейных уравнений при обработке 30-суточной серии будет иметь размер 11x9, а 15-суточный серии – 9x7.

6. Вычисление амплитуд гармоник Фурье производилось по формулам (13). Необходимо отметить, что для уменьшения влияния точек разрыва функции $z(t)$ на концах отрезка $[0, (n-1)\Delta t]$ конечные значения $z(1)$ и $z(720)$ (или соответственно $z(1)$ и $z(360)$) уменьшались вдвое [8].

7. Нормализация исходной системы линейных уравнений производилась классическим способом: матрица коэффициентов нормальных уравнений вычислялась по формуле

$$A = C^T C, \quad (24)$$

где C – матрица коэффициентов линейных уравнений;

T – знак транспонирования матрицы.

8. Матрицы свободных членов нормальных уравнений B_x, B_y для вычисления составляющих X_q и Y_q определялись как

$$\begin{aligned} B_x &= C^T a; \\ B_y &= C^T b, \end{aligned} \quad (25)$$

где a, b – векторы-столбцы свободных членов линейных уравнений.

Решение нормальных уравнений производилось по методу Гаусса с помощью программы из [13].

9. Вычисление ГП выполнялось по формулам

$$\begin{aligned} H_q &= \frac{I}{f_q} (X_q + Y_q)^{1/2}; \\ g_{oq} &= \zeta + (V_o + u)_q, \end{aligned} \quad (26)$$

где $(V_o + u)_q$ – гринвичский часовой угол фиктивного светила на средний момент наблюдений;

ζ – начальная фаза составляющей прилива.

Вычисление этой величины для главных составляющих волн выполнялось по формулам из [1,2,4], которые для краткости изложения также не приводятся.

ГП для волн P_1, K_2 и дополнительно волн Q_1, N_2 вычислялись по формулам (15).

Контроль вычисленных ГП производился методом восстановления исходного ряда отсчетов высот уровня по формуле

$$z_p(t) = A_o + \sum_{q=1}^Q f_q H_q \cos[\omega_q t + (V_o + u)_q - g_q], \quad (27)$$

где A_o – средний уровень.

Точность восстановления оценивалась СКП m_z как

$$m_z = \pm \sqrt{\frac{[z_B(t) - z(t)]^2}{n}}. \quad (28)$$

Для контроля достоверности полученных значений ГП производилось вычисление НТУ по методу Владимирского [1]. Кроме этого, для сравнения эффективности различных методов, ГП для одних и тех же данных измерений уровня вычислялись по методу Дарвина [1], по МНК, изложенному в [5], по методу Cartwright -а [8] и по методу Franko [9]. При расчете по методу Дарвина определение высот уровня на каждый час волны выполнялось по формулам [9]

$$\begin{aligned} z_i &= z_2 + \delta_1 \Delta + \frac{\delta_2 \Delta^2}{2}; \\ \delta_1 &= (z_3 - z_1)/2; \\ \delta_2 &= z_3 - 2z_2 + z_1, \end{aligned} \quad (29)$$

где z_i – высота уровня на соответствующий час волны;

z_j ($j = 1, 2, 3$) – три последовательных отсчета высоты уровня (z_2 – отсчет уровня на ближайший к z_i момент);

Δ – разность между моментами отсчетов z_i и z_2 .

На основании результатов вычисления ГП, НТУ, показателя типа прилива (ТП), оценок СКП восстановления исходных рядов наблюдений колебаний уровня на двух уровнях постах Охотского моря для неправильного полусуточного и суточного приливов по 30-ти и 15-ти суточным сериям можно сделать следующие выводы.

Наилучшие результаты по критерию точности восстановления исходного ряда высот уровня отмечаются для неправильных полусуточных приливов, характеризующихся небольшой амплитудой. При этом методы (в том числе и предлагаемый), основанные на цифровой фильтрации, дают практически одинаковый результат и превосходят по меньшей величине СКП восстановления традиционные МНК и метод Дарвина.

Для суточных приливов со средней амплитудой разработанный метод по точности восстановления исходного ряда высот уровня превосходит все сравниваемые методы (13 см), оставаясь примерно на одном уровне с методом фильтрации по Cartwright-у (14,6 см).

Если за эталонный отсчет НТУ принять его значение, полученное по ГП, которые вычислены по МНК, то наибольшее схождение с ним дают методы, основанные на цифровой фильтрации. Метод Дарвина дает большие расхождения.

Из сказанного следует, что разработанный метод, наряду с традиционными, обеспечивает решение задачи вычисления ГП для определения отсчета НТУ. При этом по точности восстановления наблюденного ряда высот уровня он в некоторых случаях превосходит их и в большинстве случаев остается на их уровне. Это позволяет уверенно рекомендовать его для практического использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила гидрографической службы N35. Приведение глубин к уровню. (ПГС N35). Изд. Управления начальника гидрографической службы Военно-морского флота, 1956.
2. Руководство по обработке наблюдений над уровнем моря. Изд. Управления начальника гидрографической службы Военно-морского флота, 1957.
3. Алгоритмы гидрографических задач. Приложение к инструкции по использованию ТЭМ-1. Изд. ГУ МО СССР, 1970.
4. Пересыпкин В.И. Аналитические методы учета колебаний уровня воды.–Л.:Гидрометеиздат, 1982.
5. Альтшулер В.М. Практические вопросы анализа и расчета морских приливов.–Л.:Гидрометеиздат, 1966.
6. Miyazaky M. A method for the garmonic analyses of tides.The Oceanographical Magazine,1958, v.10, N1, p.65–80.
7. Cartwright D.E. A study of currents in the strait of Dover. The Journal of the Institute of Navigation,1961, v.XIV, N2, p.130–151.
8. Cartwright D.E., Catton D.B. On the Fourier analyses of the tidal observations.The International Hydrographic Review, 1963, v.XL, p.113–125.
9. Franko A.S. Speeding up tidal analyses with PCs.The International Hydrographic Review,1993, v.LXX, N1, p.63–76.
10. Фихтенгольц Г.М.Курс дифференциального исчисления, т. 3, изд 5–е.–М.:Наука,1969.
11. Дуванин А.И. Приливы в море.– Л.:Гидрометеиздат, 1960.
- 12.Серебренников М.Г. Гармонический анализ.– М., Л.:ОГИЗ, 1948.
- 13.Статистическая обработка результатов экспериментов на микро-ЭВМ и программируемых калькуляторах.– Л.:Энергоатомиздат, 1991.



ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРЕПЛАВАНИЯ

ГРНТИ 78.21.43.15

МАКЕТ ЭЛЕКТРОННОГО АТЛАСА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА БАРЕНЦЕВА МОРЯ

**С.И.МАСТРЮКОВ,
Д.А.ШУМАХЕР,
Ю.И.КИЛЬДЮШЕВСКИЙ**
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Приводится краткая характеристика современных географических информационных систем. Оценивается возможность их применения при разработке информационно-справочных систем по гидрометеорологическому режиму. Описывается макет электронного атласа Баренцева моря, содержащий свыше 160 слоев информации. Рассматриваются его функциональные возможности.

Одной из основных задач разработчиков информационных систем является представление информации в форме, удобной для анализа и принятия тех или иных решений. Особую сложность представляет анализ информации о трехмерных процессах, и в частности, гидрометеорологической, иначе говоря, пространственно распределенной информации. За рубежом для этих целей широко используются так называемые географические информационные системы (ГИС).

В последние годы для информационного обеспечения планирования различных задач, связанных с освоением океана, а также информационного обеспечения задач проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений создаются информационно-справочные системы (ИСС) по гидрометеорологическому режиму морских акваторий. При выборе в качестве их основы широко распространенных систем управления базами данных (СУБД) с представлением данных в табличной форме эффективность использования климатической информации невелика. Восприятие ее облегчается при представлении в картированной форме, а наличие программных средств анализа картированных данных существенно упрощает использование гидрометеорологической информации.

Современная информационно-справочная система по гидрометеорологическому режиму должна обеспечивать решение следующих основных задач:

- создание и ведение баз пространственно-распределенных гидрометеорологических данных;
- создание и редактирование цифровых карт;
- отображение климатических данных в виде карт, графиков, диаграмм и т.п.;
- анализ картированных данных о гидрометеорологическом режиме:
 - измерение геометрических характеристик природных объектов, расстояний от географических пунктов до районов с теми или иными условиями и т.д.;
 - совмещение различных цифровых карт для выделения зон с заданными гидрометеорологическими условиями;
 - изменение масштабов отображения, форм и вида представления графической и картированной информации;

– привязка информации из баз гидрометеорологических данных к географическим объектам на цифровых картах;
 – интерполяция и построение векторных и скалярных полей по информации из баз гидрометеорологических данных;

- выполнение запросов на многообразные выборки из базы гидрометеорологических данных;
- выполнение запросов на отображение и пространственный анализ картированных гидрометеорологических данных (по параметрам, периодам времени, районам и т.д.);
- документирование информационной продукции;
- применение приложений для выполнения специальных видов обработки хранящейся информации.

Оценим возможности использования ГИС в качестве ядра ИСС по гидрометеорологическому режиму морских акваторий.

В настоящее время в мире насчитывается более 4 тыс. ГИС [1,2]. Они подразделяются на открытые (ArcInfo, Intergraph), специализированные (Star, Tellus, Grass) и закрытые (Zulu, Crisp). Открытые ГИС позволяют пользователю самому создавать приложения, расширяющие их возможности. Специализированные обладают ограниченной библиотекой приложений. Закрытые системы имеют только жестко заданный интерфейс, реализующий небольшой спектр функций.

Функциональные возможности открытых ГИС следует признать наиболее широкими и гибкими. Однако и внутри этого класса функциональные возможности зависят от версии той или иной системы. Несмотря на то, что стоимость этих систем постепенно уменьшается, приобретение новейших ГИС, реализующих весь спектр функций может вызвать существенные сложности. Это обстоятельство обуславливает необходимость в каждом конкретном случае при выборе ГИС учитывать не только требования, вытекающие из задач по созданию той или иной информационной системы, но по крайней мере еще две важнейшие характеристики – стоимость и функциональные (аналитические) возможности ГИС. К числу основных функций, отражающих аналитические возможности ГИС относятся:

- выполнение геометрических измерений;
- наложение слоев информации;
- построение буферных зон;
- анализ сетей;
- создание приложений.

Аналитические возможности ГИС

Название ГИС	Страна	Цена, дол.	Возможность реализации различных аналитических функций				
			Геометрические измерения	Наложение слоев информации	Построение буферных зон	Анализ сетей	Создание приложений
Spans	Канада	6000	+	+	+	+	+
Intergraph	США	5200	+	+	+	+	+
ArcInfo v.4.2	США	4200	+	+	+	+	+
MapInfo v.4.1	США	1800	+	+	+	–	+
Wingis v.3.2	Австрия	1800	+	+	–	–	–
Crisp	Литва	1800	+	+	+	+	–
GeoDraw	Россия	500	+	+	–	+	–
Zulu v.2.0	Россия	1000	+	+	–	+	–

В таблице содержатся данные о некоторых ГИС, широко использующихся в России. Они были получены в результате опросов пользователей ГИС и подготовки специализированных обзоров [2]. Их анализ показывает, что ГИС ArcInfo обладает полным набором аналитических возможностей при существенно меньшей, по сравнению с другими системами этого же класса (Intergraph и Spans), стоимости. Другие ГИС той же

или меньшей стоимости характеризуются существенно меньшими аналитическими возможностями.

Таким образом, в качестве ядра для создания ИСС по гидрометеорологическому режиму морей целесообразно рекомендовать систему ArcInfo.

Эта ГИС позволяет:

- * создавать и редактировать цифровые карты и базы данных;
- * формировать и поддерживать базы данных по характеристикам гидрометеорологического режима на гидрометеорологических станциях, постах или в заданных точках акватории моря;
- * изображать слои информации различными символами и цветами;
- * выполнять анализ пространственно-распределенной информации;
- * делать запросы и отображать их результаты на экране;
- * производить географическую привязку табличных данных;
- * представлять информацию в виде диаграмм;
- * выводить графическую информацию и фотографии на экран;
- * выводить графическую и табличную информацию на печать.

Основным преимуществом выбранной системы следует признать широкие аналитические возможности. Недостатком ранних версий этой системы является отсутствие программных средств построения скалярных и векторных полей по запросам. Анализ функций ГИС ArcInfo позволяет утверждать, что созданная на ее базе ИСС обеспечит удобный и быстрый доступ к любой необходимой информации. Это может быть как картированная информация, так и привязанные к географическим объектам базы данных с характеристиками гидрометеорологического режима. После типизации запросов ее потенциальных пользователей и создания необходимого интерфейса такая система может стать удобным и достаточно простым инструментом для повседневной работы (как для лиц, принимающих решения, так и для специалистов, постоянно обращающихся к информации о гидрометеорологическом режиме). Ниже на примере Баренцева моря сделана попытка отработать технологию создания подобной ИСС и оценить ее возможности.

По опубликованным в официальных изданиях Росгидромета данным о гидрометеорологическом режиме Баренцева моря были созданы цифровые карты и базы данных по отдельным характеристикам его гидрометеорологического режима.

Создание цифровых карт в системе ArcInfo состоит из следующих основных этапов:

- * привязки карты к определенной системе координат;
- * оцифровки карты;
- * редактирования цифровой карты;
- * формирования баз данных.

Особое значение имеет этап редактирования цифровой карты, которым должен заниматься специалист в области гидрометеорологии. Это вызвано необходимостью профессионального учета закономерностей пространственно-временного распределения гидрометеорологических характеристик, представленных на цифровых картах.

Одной из особенностей ИСС по гидрометеорологическому режиму является необходимость создания больших по объему баз данных. Для их ведения целесообразно использовать совместимые с ГИС специализированные СУБД.

В настоящее время разработано достаточно много СУБД. Одной из получивших наиболее широкое распространение и рекомендованной для использования в ВМФ в качестве базового программного средства является система FoxPro. Она привлекает пользователей сочетанием простоты с большими возможностями функционально завершенной системы управления данными. И, как результат такого сочетания, эта СУБД полностью подчиняется не только профессиональному программисту, но и простому пользователю. Отмеченные особенности позволяют предложить ее для создания баз данных в ИСС по гидрометеорологическому режиму Баренцева моря. Такая база данных будет пригодна для оперативной работы с первичной информацией в

среде СУБД FoxPro и позволит по запросу быстро получать различные пространственно-временные информационные выборки.

Кроме того, одной из причин выбора этой СУБД явилось то, что структурированная и хранимая на технических носителях в форматах СУБД FoxPro первичная информация по запросу может передаваться в ГИС ArcInfo и отображаться в ней в виде таблиц.

Разработанный в настоящее время макет ИСС по гидрометеорологическому режиму Баренцева моря включает карты среднемесячных или сезонных метеорологических и гидрологических характеристик, в том числе:

- * температуры воздуха;
- * дат перехода температуры воздуха через 0 град.;
- * скорости ветра;
- * экстремальных значений скорости ветра раз в 10 и 50 лет;
- * повторяемости туманов;
- * дальности видимости;
- * температуры и солености воды по трем горизонтам (0 м, 50 м, дно)
- * положения кромки льда;
- * максимумов средних высот волн;
- * рельефа дна.

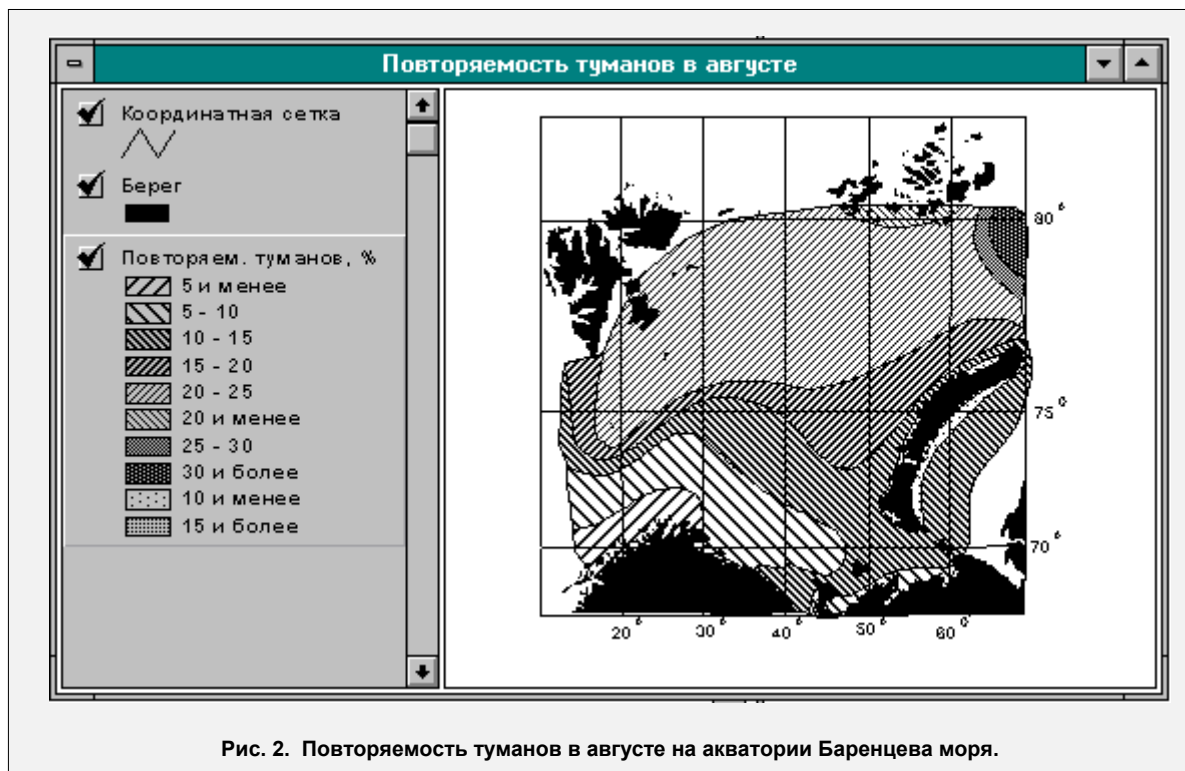
Всего создано свыше 160 слоев картографической информации.

В качестве примера отображения климатической информации на рис.1 и 2 представлены копии цифровых карт средней температуры воды и повторяемости туманов в августе на акватории Баренцева моря.



При разработке макета электронного атласа Баренцева моря возник ряд затруднений, связанных с тем, что ряд опубликованных сведений о гидрометеорологических полях моря был получен с использованием расчетных (обычно гидродинамических) моделей. Это относится прежде всего к полям волнения, течений и уровня моря редкой повторяемости.

Достоверность этих сведений в первоисточниках не оценивается. Высока вероятность появления результатов новых расчетов и уточнения климатической информации. Поэтому неперенным условием при создании такого рода ИСС является создание справочных баз данных, включающих сведения об источниках, времени и, по возможности, о достоверности гидрометеорологической информации, занесенной в информационно-справочную систему.



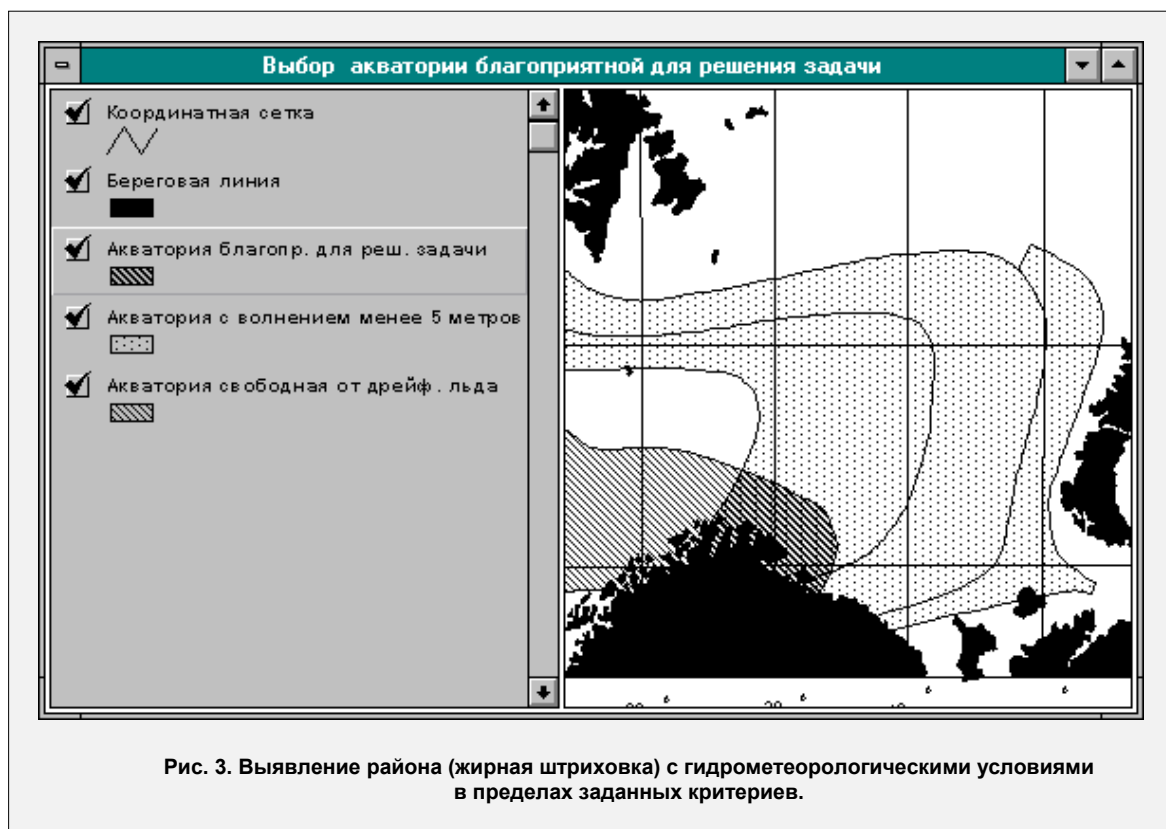
Для демонстрации возможностей пространственного анализа информации была произведена оценка гидрометеорологического режима района по критерию, благоприятному для решения тех или иных задач. Обычно для выполнения подобной оценки, которая может быть отнесена к классу многокритериальных задач большой размерности, требуется одновременная работа с несколькими картами обычного атласа. При этом, помимо больших затрат времени, повышается вероятность пропусков, сбоев и других ошибок. Возможности ArcInfo позволяют выполнить такой анализ точно и практически мгновенно.

В качестве примера, на рис.3 представлен результат определения границ района, где в течение всего года отсутствует дрейфующий лед сплоченностью свыше 5 баллов, а максимальная величина средней высоты волны, возможная раз в год, не превышает 5 м.

Таким образом, возможности рассматриваемой ГИС позволяют непосредственно готовить предложения для принятия решений, выполнение которых ограничено условиями окружающей среды. Например, могут быть приняты решения по выбору районов строительства тех или иных сооружений, районов и сроков выполнения тех или иных морских операций и т.п.

Вместе с тем для облегчения общения с ИСС неподготовленного пользователя в ходе выполнения данной работы совершенно очевидной стала необходимость подготовки соответствующего интерфейса, обладающего улучшенными эргономическими характеристиками и функциональными возможностями решения многокритериальных задач. Для этого должны быть проанализированы функции потенциальных пользователей системы, сформулированы их типовые запросы и разработано программное обеспечение, позволяющее по набору типовых запросов автоматически выполнить

требуемые действия. Разработка такого интерфейса должна опираться на достижения в области создания интеллектуальных интерфейсов.



Пополнение состава электронных карт, баз данных и создание соответствующего интерфейса является целью дальнейшей работы по созданию ИСС по гидрометеорологическому режиму как Баренцева моря, так и других морей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошкарев А.В, Тикунов В.С. Геоинформатика. – М.: Картгеоцентр — Геодезиздат, 1993. – 213с.
2. Афанасьев А.И., Капралов Е.Г., Коновалова Н.В. Геоинформационные системы, состояние и перспективы развития. // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия геология, география. 1993.– Вып. 4. – С. 88–108.

**ОЦЕНКА ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВЫСОТ ВЕТРОВЫХ ВОЛН
В ПЕЧОРСКОМ МОРЕ***

**И.В. ЛАВРЕНОВ,
В.Н. БОКОВ,
В.И. ДЫМОВ,
Т.А. ПАСЕЧНИК,
Н.П. ЯКОВЛЕВА
(ГНЦ РФ ААНИИ)
И.Н. ДАВИДАН
(СПО ГОИН)**

Дана оценка экстремальных высот волн, возможных раз в 20, 50 и 100 лет на нефтяном месторождении "Приразломное" в Печорском море. Использован комплексный подход, основанный как на анализе данных судовых наблюдений, так и выполнении расчетов по численной модели с использованием синоптической информации за продолжительный исторический период. В работе впервые выполнены непрерывные расчеты ветрового волнения продолжительностью 35 лет. Для этого были использованы поля атмосферного давления за 24158 основных синоптических сроков, что позволило получить наиболее репрезентативные оценки элементов волнения. В расчетах использовалась усовершенствованная версия спектрально-параметрической модели, которая прошла детальные испытания и верификацию по данным натурных наблюдений. Наиболее экстремальные ситуации рассчитывались также по последней версии западной модели WAM. Сравнение результатов расчетов по разным моделям показало их хорошее соответствие.

Верификация спектрально-параметрической модели ветрового волнения для мелкого моря по данным натурных наблюдений в Печорском море

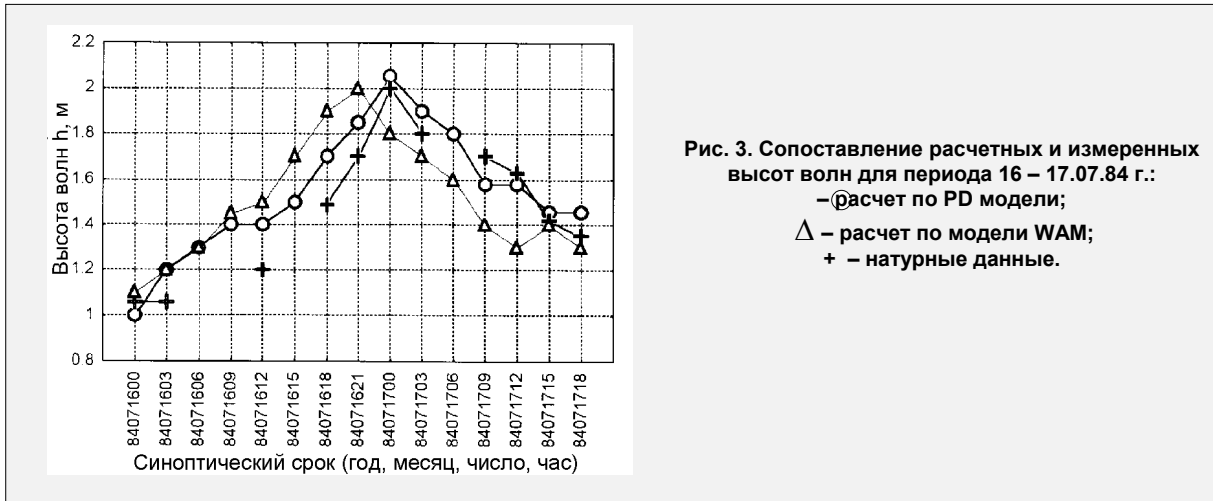
Предложенная модель была детально верифицирована по данным измерений волнения на Балтийском, Черном, Баренцевом и Охотском морях [5,9]. Однако условия волнообразования на акватории Печорского моря обладают рядом специфических особенностей, охарактеризованных ранее. В этой связи возникает вопрос о применимости описанной выше теоретической модели для выполнения расчетов ветровых волн на акватории Печорского моря. Поэтому целесообразно сопоставить результаты модельных расчетов с данными натурных наблюдений одного из штормов.

В июле 1984 г. в юго-восточном районе Баренцева моря, расположенном достаточно близко от Приразломного нефтяного месторождения (ПНМ), ЛОГОИН на судне "Ромбак" проводились измерения ветра и волнения. При этом использовался волномер ГМ-16М.

Во время работы судна в заданной точке (69°30' с.ш.– 53° 08' в.д.) 16 – 17 июля 1984 г. возникли синоптические условия для развития штормового волнения. Усиление ветра было обусловлено увеличением градиента атмосферного давления между циклоном, находящимся над Онежским заливом, и антициклоном, расположенным восточнее Новой Земли. Ветра имел преимущественно восточное направление с постепенным изменением от 130° до 70°. Максимальное развитие волнения наблюдалось в ночь на 17 июля.

Для данного случая было выполнено сопоставление расчетных (по спектрально-параметрической модели PD) и измеренных значений средних высот волн (рис.3). Средняя ошибка расчетов в сопоставлении с натурными данными составила всего $\Delta h = 0,139$ м, а коэффициент корреляции равен $r = 0,95$.

* Окончание. Начало см. журнал "Навигация и гидрография", 1997, №4, с.144–152.



Результаты расчетов по модели WAM также достаточно близки с расчетами по нашей модели и данными измерений. Однако модель WAM дает более быстрый рост высот волн, чем это следует из расчетов по нашей модели и данных натуральных измерений (см.рис.3).

Результаты расчетов элементов ветрового волнения за продолжительный исторический период

Расчеты приводного ветра и волнения проводились по данным приземного атмосферного давления в расчетной области (см.рис.1). По модели PD были выполнены непрерывные расчеты ветрового волнения продолжительностью 35 лет. В итоге в каждом узле расчетной области получен временной ряд из 24158 значений элементов ветрового волнения.

Средние значения высот были приведены к максимальным высотам (0.1% обеспеченности – $h_{0,1\%}$) в соответствии с рекомендациями [3]. Временной ряд (за 35 лет) полученных значений $h_{0,1\%}$ показан на рис.4.

По результатам расчетов были выделены случаи – пять таких случаев за указанный период – , когда максимальная высота волн $h_{0,1\%}$ в интересующем нас районе превысила 8 м. Значения функции распределения по градациям (через 0,5 м) для расчетной точки показаны в табл.1.

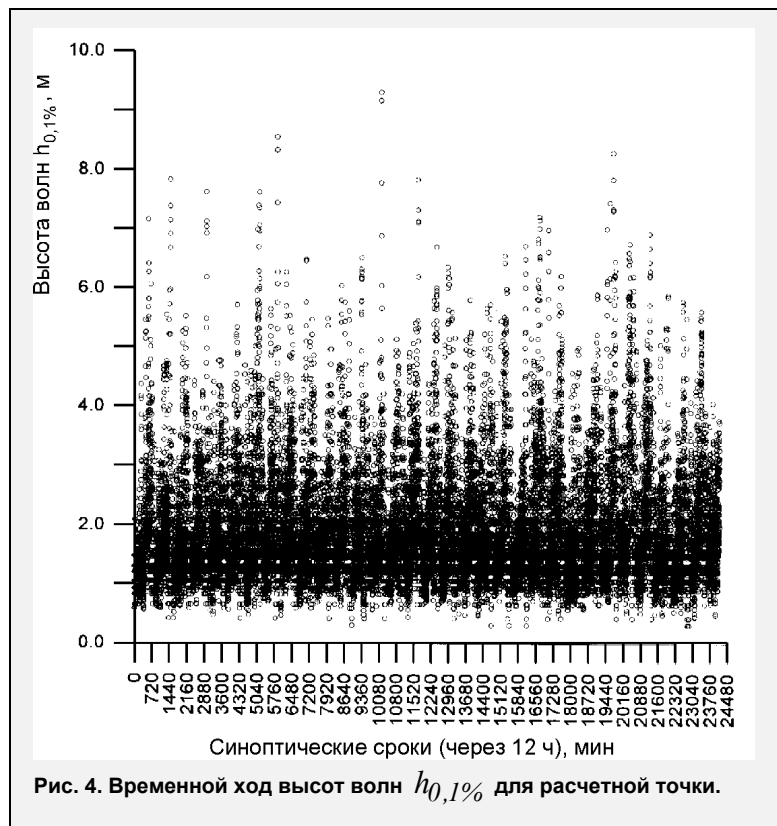


Таблица 1

Распределение максимальных высот волн в расчетной точке

Высота волны, м	Число случаев	Вероятность реализации события, %	Кумулятивная вероятность события Φ , %	(100 – Φ) кумулятивная вероятность, %-
0.0≤x<.50	49	.20283	.2028	99.79717
.50≤x<1.0	2404	9.95115	10.1540	89.84601
1.0≤x<1.5	7619	31.53821	41.6922	58.30781
1.5≤x<2.0	5497	22.75437	64.4466	35.55344
2.0≤x<2.5	3465	14.34307	78.7896	21.21037
2.5≤x<3.0	2067	8.55617	87.3458	12.65419
3.0≤x<3.5	1240	5.13288	92.4787	7.52132
3.5≤x<4.0	724	2.99694	95.4756	4.52438
4.0≤x<4.5	455	1.88343	97.3591	2.64095
4.5≤x<5.0	270	1.11764	98.4767	1.52330
5.0≤x<5.5	158	.65403	99.1307	0.86928
5.5≤x<6.0	98	.40566	99.5364	.46361
6.0≤x<6.5	59	.24423	99.7806	.21939
6.5≤x<7.0	24	.09935	99.8800	.12004
7.0≤x<7.5	18	.07451	99.9545	.04553
7.5≤x<8.0	6	.02484	99.9793	.02070
8.0≤x<8.5	2	.00828	99.9876	.01242
8.5≤x<9.0	1	.00414	99.9917	.00828
9.0≤x<9.5	2	.00828	100.000	.00000

Одним из наиболее сильных явился шторм 28–29 октября 1973 г., когда в расчетной точке высота волн достигала $h_{0,1\%} = 9.3$ м. Остановимся подробнее на его описании.

На рис. 5 представлены барические поля за 12 ч для каждого дня данного шторма. Из рис. 5а видно, что 28 октября центр циклона (с давлением менее 980 мбар) находился в центре Баренцева моря на широте 75°. Над заданной точкой находилась передняя часть циклона. Скорость ветра при его направлении около 240° достигала 15,0 м/с. В это же время у берегов Кольского п-ва она увеличилась до 20,0 м/с. Через 6 ч давление в центре циклона упало более чем на 5 мбар, а над заданной точкой уже на-

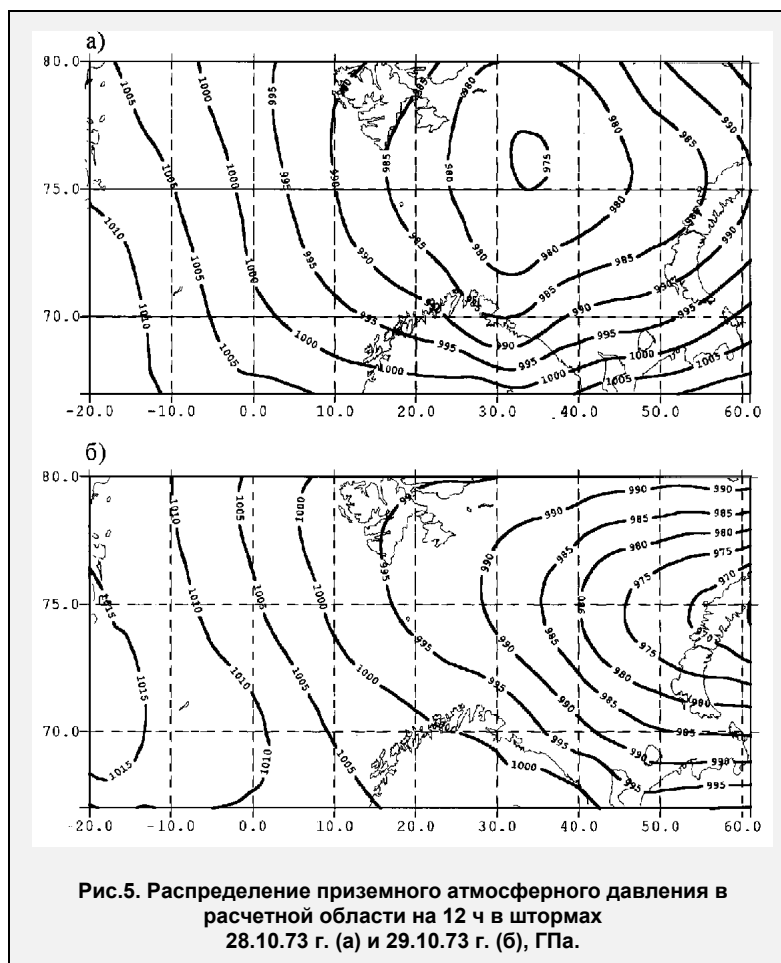


Рис.5. Распределение приземного атмосферного давления в расчетной области на 12 ч в штормах 28.10.73 г. (а) и 29.10.73 г. (б), ГПа.

ходился теплый сектор циклона. Скорость ветра при его направлении около 270° составила 17,5 м/с. В то же время у берегов Кольского п-ва она достигла 27,5 м/с, а на ГМС Канин Нос – 25 м/с. В дальнейшем центр циклона смещался на восток по широте 75° , и над Печорским морем 29 октября скорость ветра и его направление обуславливались тыловой частью циклона (см.рис.5б). Скорость ветра в районе достигла 22 м/с (00ч GMT 29 октября) с направлением 280° . С течением времени наблюдалось постепенное ослабление ветра и

затухание шторма.

Для подтверждения достоверности сделанной оценки высот волн дополнительно были выполнены расчеты и по модели WAM [7]. Результаты расчета полей средних высот волнения в момент наибольшего развития шторма (на 03 и 09 ч) показаны на рис.6 для PD модели и на рис.7 для модели WAM. Их сопоставление показывает, что пространственные распределения волновых полей аналогичны. Наибольшие значения высот волн, рассчитанные по обеим моделям имеют примерно одинаковые величины. Однако, если для модели WAM наибольшие высоты волн наблюдаются в 03 ч, то по PD модели – в 09 ч. Это означает, что развитие волн во времени по модели WAM происходит более быстро, что и следовало ожидать,

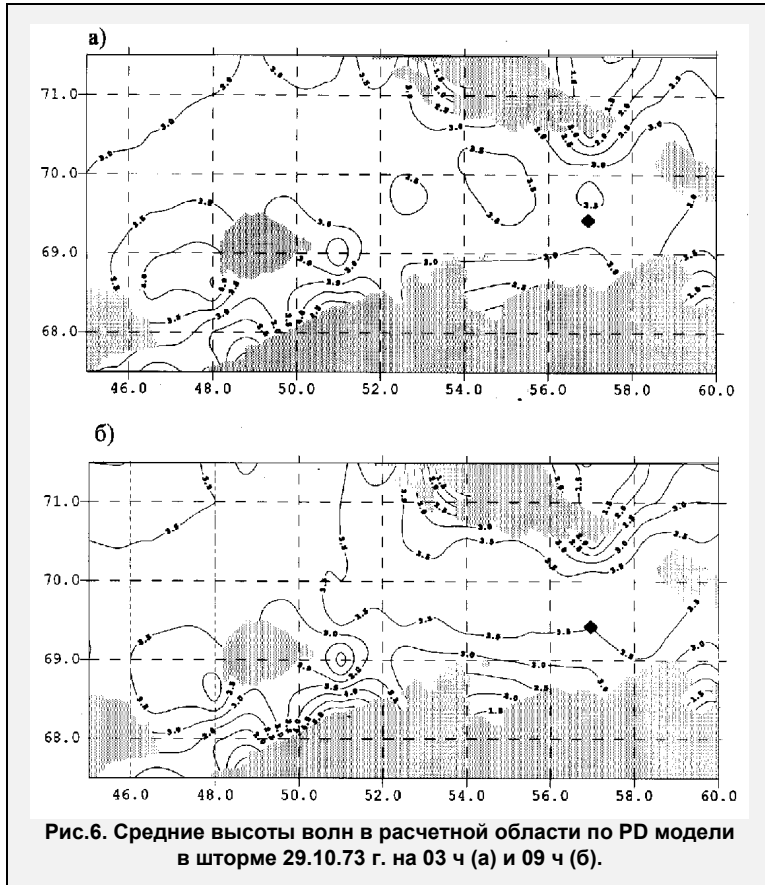


Рис.6. Средние высоты волн в расчетной области по PD модели в шторме 29.10.73 г. на 03 ч (а) и 09 ч (б).

учитывая различия эмпирических зависимостей, заложенных в основу построения обеих моделей.

Оценки экстремальных значений элементов ветрового волнения.

Закономерности многолетнего распределения волн на мелководье, в отличие от глубокой воды, практически не изучены. Не зная вида функции многолетнего распределения волн при различном соотношении высоты волн к глубине места, невозможно предвычислить размеры волн, возможные за пределами периода, к которому относится исходный временной ряд данных, полученных по наблюдениям или путем расчета по полям давления. Поэтому сначала были рассчитаны высоты и периоды волн за 35 лет на глубокой воде и мелководье, а затем предвычислены волны, возможные 1 раз в 50 и 100 лет в этом же месте.

Глубокая волна. Для оценки размеров волн, возможных 1 раз в определенное число лет, наиболее часто используются три метода [3]. Два из них пригодны, если известны временные ряды многолетних наблюдений над волнением или многолетних непрерывных расчетов волн по барическим полям атмосферного давления. Третий метод используется тогда, когда невозможно получить многолетние непрерывные ряды волнения и вместо них рассчитываются волны для ограниченного (большого или меньшего) количества штормовых ситуаций. В этом случае приходится делать определенные допущения относительно функции распределения числа штормов во времени.

В нашем случае имелись достаточно большие 35-летние временные ряды расчетов волн и поэтому для оценки волн, возможных один раз в 50 и 100 лет, использованы два первых способа. Первый из них заключается в определении размеров волн по параметрам асимптотического логнормального распределения с учетом всех расчетных исходных данных в навигационный сезон. Второй – в определении размеров экстремальных волн по ежегодным максимальным волнам, используя асимптотическое распределение Гумбеля [3, 4, 10, 13].

Для расчета размеров волн по параметрам логнормального распределения были выбраны данные об их распределении в ближайшей к расчетной глубоководной – глубина $H = 100$ м – точке с координатами: $\varphi = 70^\circ 00'$, $\lambda = 54^\circ 00'$. На рис. 8 приведены расчетные значения функции распределения средних высот волн $F(h)$ в навигационный сезон за 35 лет – с 1960 по 1994 г. (по выборке, включающей данные за 24158 сроков). Пунктирная линия соответствует логнормальному распределению с параметрами $h_{0,5} = 0,6$ и $s = 1,85$

$$F(h) = (s / \sqrt{2\pi}) \int_{\tilde{h}}^{\infty} (1/\tilde{h}) \exp\left[-1/2 \ln^2(\tilde{h})^s\right] d\tilde{h}, \quad (11)$$

где $\tilde{h} = h / h_{0,5}$;

$h_{0,5}$ – медианное значение в многолетнем распределении средних высот волн в синоптические сроки;

$s = \ln(h) / \sigma$ – среднеквадратические отклонения их логарифмов.

Видно, что расчетные точки хорошо ложатся на этот пунктир. Это позволяет использовать распределение (11) для оценки наибольшего значения средней высоты волн, возможного в указанной точке на глубокой воде в один из синоптических сроков за конкретное число лет. Рассчитанные по соотношению (11) значения наибольших средних высот волн один раз в 50 и 100 лет оказались равными 5,3 м и 5,8 м, соответственно (см. рис.8).

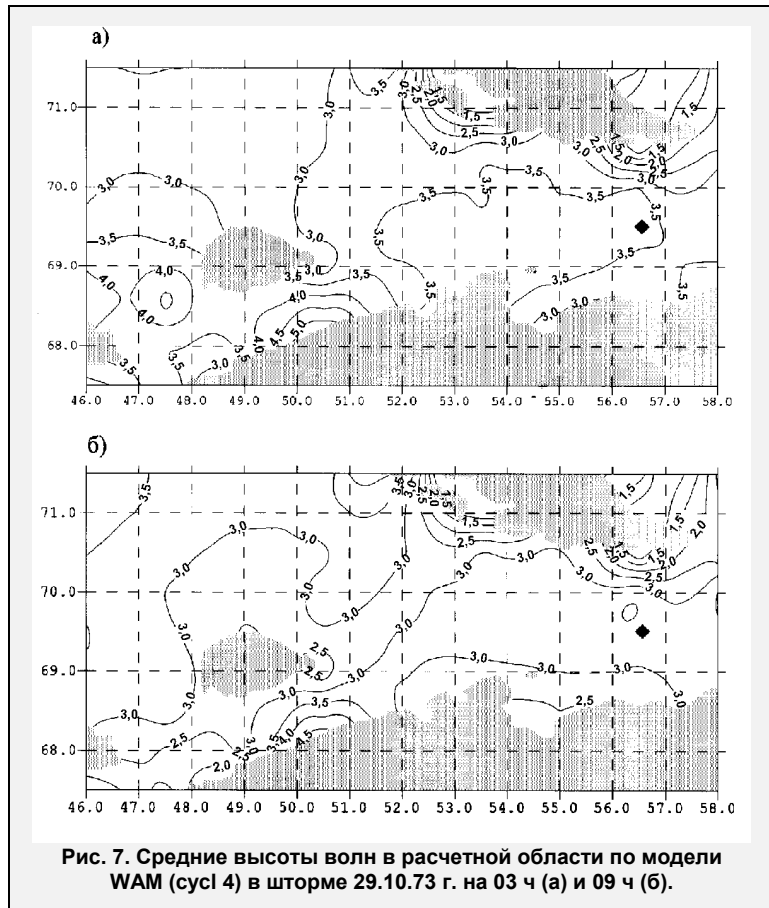
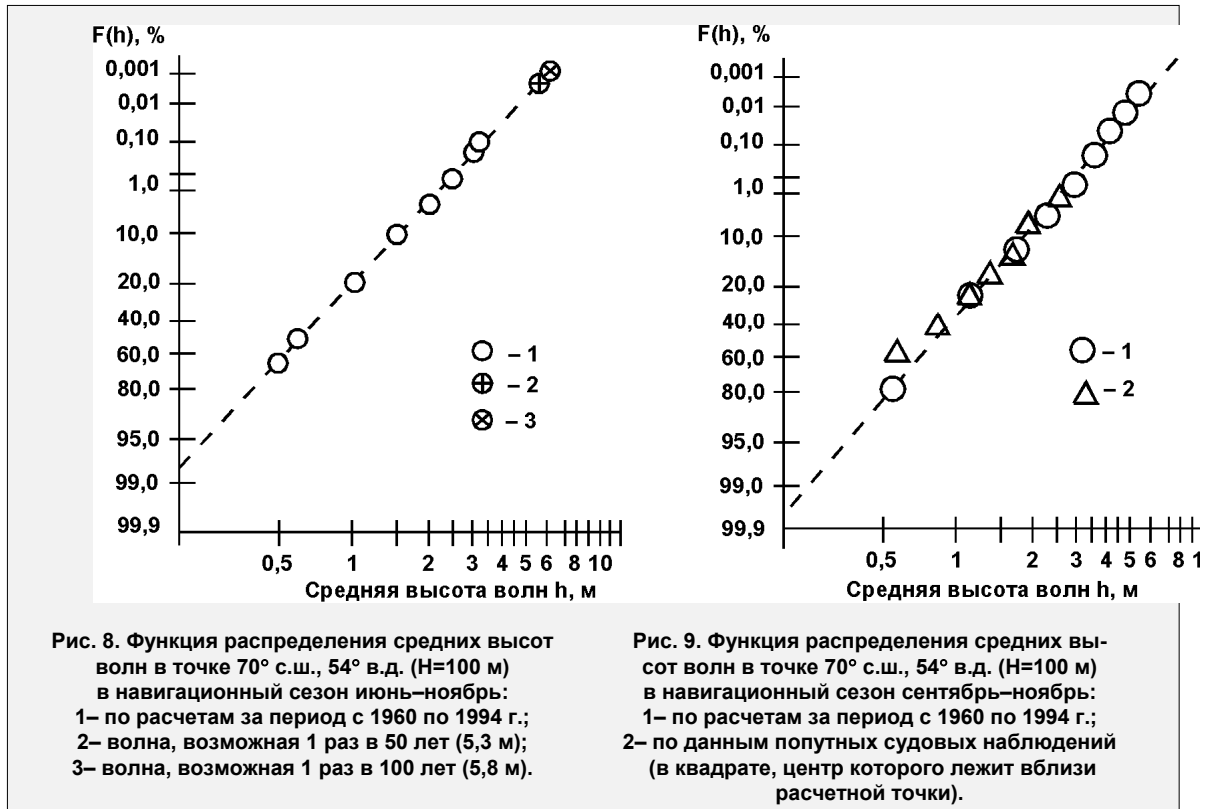


Рис. 7. Средние высоты волн в расчетной области по модели WAM (сусл 4) в шторме 29.10.73 г. на 03 ч (а) и 09 ч (б).

На рис. 9 расчетные значения средних высот волн для осеннего периода (сентябрь–ноябрь) сопоставлены с результатами обобщения попутных судовых наблюдений. Пунктирная линия соответствует логнормальному распределению с параметрами $h_{0,5} = 0,74$ и $s = 1,82$. Хорошее соответствие расчетных данных с натурными, начиная



с $h > 1$ м, подтверждает достоверность выполненных расчетов. Что касается волн с $h < 1$ м, то следует иметь в виду малую точность визуальных оценок слабого волнения.

Приведенные выше данные о размерах волн один раз в 50 и 100 лет относятся к периоду июнь–ноябрь. В отдельных случаях в рассматриваемом районе даже в декабре ледовые условия не препятствуют развитию волнения. Однако за период с 1971 по 1992 г. в декабре было лишь 3 случая, когда средние высоты волн на глубокой воде превысили 3 м.

Максимальное за 20 лет значение наибольшей средней высоты волны $\bar{h}_{20} = 4,4$ м близко к тем высотам волн, которые отмечались в сентябре–ноябре. Само же число случаев, когда ледовые условия благоприятствовали развитию значительного волнения в декабре мало и не позволяет получить надежные статистические оценки высот волн, возможных 1 раз в 50 и 100 лет.

Расчетные величины функции распределения ежегодных наибольших значений средних высот волн в навигационный сезон за период с 1960 по 1994 г. по тому же временному ряду расчетных данных приведены на рис.10. Пунктирная линия здесь – асимптотическое распределение Гумбеля с параметрами $\alpha_n = 1,75$ и $\beta_n = 2,60$, для которого

$$F(h) = \exp\left[-e^{-y}\right], \quad (12)$$

где $y = \alpha_n(x - \beta_n)$.

Видно, что результаты расчета очень хорошо согласуются с распределением Гумбеля. Наибольшие значения, возможные по соотношению (12) один раз в 50 и 100 лет – $\bar{h}_{50} = 4,8$ м и $\bar{h}_{100} = 5,2$ м, соответственно. Однако известно, что экстремальные

волны, рассчитанные по распределению ежегодных максимумов, обычно примерно на 10 % меньше рассчитанных с учетом всех членов временного ряда. По мнению ряда исследователей [3,4,6,10], это вызвано тем, что в отдельные годы встречается несколько случаев, когда размеры волн фактически совпадают или очень близки к годовым максимумам. Наши расчеты, как видно из соотношений \bar{h}_{50} и \bar{h}_{100} , полученных двумя описанными методами, подтверждают сказанное. И так как расчеты по первому из них более обеспечены исходными данными, в дальнейшем оценка высот волн на мелководье дается по логнормальному распределению.

Расчет экстремальных волн на мелководье. Согласно данным табл.1 определим значение высоты волн 0,1%-ной обеспеченности, возможное 1 раз в 20 лет (табл.2). Отметим однако, что применение использованной при этом PD модели для оценки высот волн, выходящих за пределы 35-летнего ряда, было бы неверным. Построение асимптотического распределения для оценки высот волн, возможных раз в 50 и 100 лет здесь представляется проблематичным из-за ограничивающего влияния глубины на высоту волн.

Поскольку на глубокой воде значения режимного распределения высот волн хорошо спрямляются на функциональной логнормальной сетке, т.е. могут быть аппроксимированы соответствующим асимптотическим распределением, И.Н. Давидан предложил следующий алгоритм определения в мелководном районе экстремальных высот волн, возможных раз в 50 и 100 лет. Так как экстремальные волны в рассматриваемом мелководном районе приходят из глубоководных районов Баренцева моря, то по исходным данным о высоте волн на глубокой воде, используя логнормальное распределение, можно рассчитать их экстремальные значения. Затем по PD модели мелкого моря нетрудно определить соответствующие значения средних высот волн в заданной точке на мелководье. По средней высоте волн с учетом глубины определяется $h_{0,1\%}$, а по частоте спектрального максимума – средний период волн и период волн с $h_{0,1\%}$.

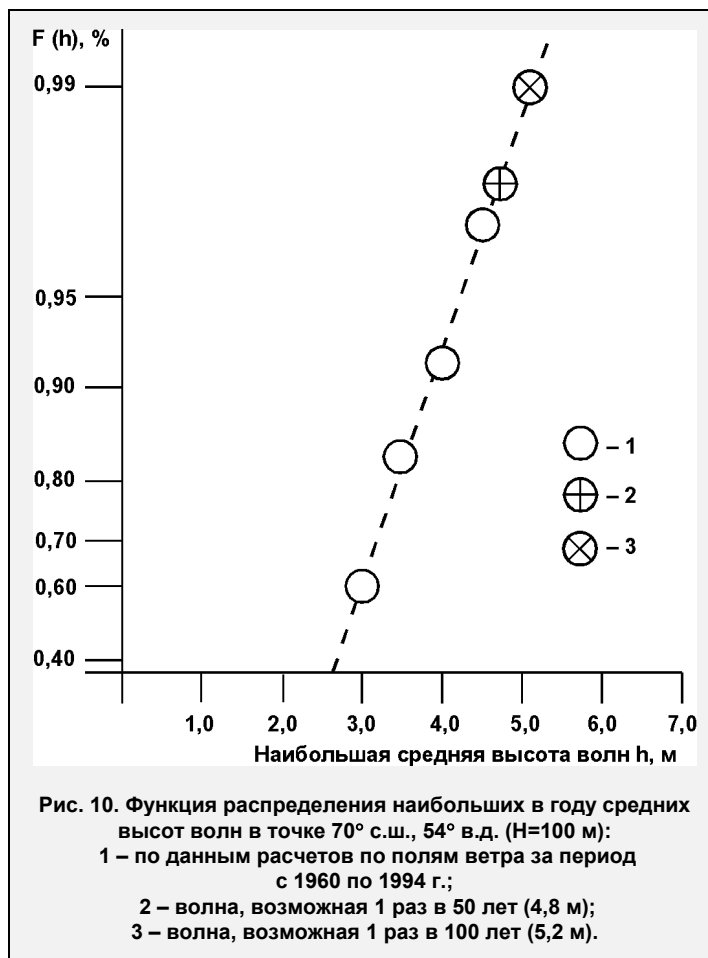


Таблица 2

Элементы экстремальных волн, возможные в расчетной точке раз в 20, 50 и 100 лет

Временной период, лет	Элементы экстремального волнения		
	высота волны $h_{0,1\%}$, м	средний период τ , с	период, соответствующий максимальной волне, с
20	8,7	8,5	10,1
50	9,5	9,1	10,8
100	9,9	9,5	11,3

Однако для расчета таким образом волн на мелководье необходимо знать не только их средние высоты на глубокой воде, но и скорости ветра, которые при этом могут наблюдаться. Распределение скоростей ветра для случаев, когда волны в навигационные сезоны за 35 лет, с 1960 по 1994 г., распространялись с северо-западного, наиболее опасного, направления, показано на рис.11. Там же приведены результаты аппроксимации расчетных данных Вейбулловским распределением и нанесены наиболее вероятные значения скорости ветра в один из синоптических сроков 1 раз за 50 лет (27м /с) и 100 лет (28м/с). Таким образом, для случая, когда волнение рассчитано по логнормальному распределению, исходные значения параметров волн и ветра на глубокой воде равны $\bar{h}_{50} = 5,3$ м, $\bar{u}_{50} = 27$ м/с и $\bar{h}_{100} = 5,8$ м, $\bar{u}_{100} = 28$ м/с. Результаты расчета на основе этих исходных данных значений элементов волн $h_{0,1\%}$, $\bar{\tau}$ и $\tau_{h_{0,1\%}}$ для расчетной точки приведены выше, в табл.2.

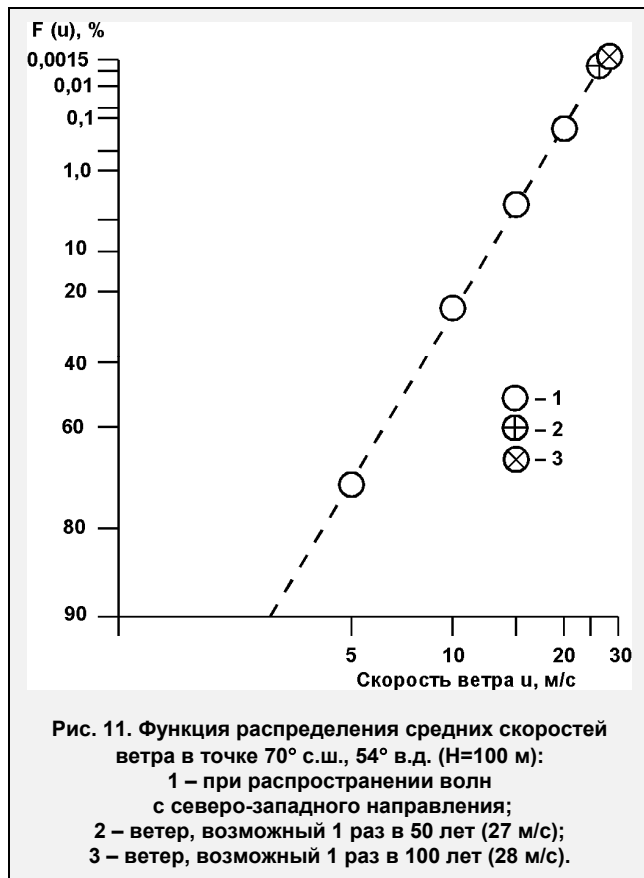


Рис. 11. Функция распределения средних скоростей ветра в точке 70° с.ш., 54° в.д. (H=100 м):
 1 – при распространении волн с северо-западного направления;
 2 – ветер, возможный 1 раз в 50 лет (27 м/с);
 3 – ветер, возможный 1 раз в 100 лет (28 м/с).

Вероятностные пределы полученных оценок экстремальных волн. Для оценки вероятностных пределов приведенных выше расчетных значений высот волн использовано приведенное в монографии [11] соотношение

$$\Sigma_{x_F} = \frac{x_F}{s} \left[\frac{2}{\alpha n} + \frac{u_F^2}{2\alpha n} \right]^{1/2}, \quad (13)$$

где $x_F = x_F^* \pm u_{x_F} \Sigma_{x_F}$;

u_F – квантиль стандартного нормального распределения;

$\alpha = 0,1$.

Для 95%-го доверительного интервала $u_F = 1,65$ и тогда для глубокой воды при $\bar{h}_{100} = 5,8$ м имеем $\Sigma_{x_F} \approx 0,1$, $x_F = 5,8 \pm 0,16$, $x_F / x_F^* = 1,028$ [6].

Соответственно с (13) получаем, что за счет выборочной изменчивости при аппроксимации высот волн на глубокой воде по логнормальному закону для 95%-го доверительного интервала высоты $h_{0,1\%}$ волн, возможных в расчетной точке 1 раз в 100 лет, будут колебаться в пределах 9,6 – 10,2 м. Здесь указан лишь минимальный доверительный интервал, определяемый только числом членов временного ряда. Кроме того необходимо было бы учесть погрешность точности расчета волн по модели и заранее неизвестный тренд в изменении условий волнообразования за 50 и 100 последующих лет. Выполненная ранее верификация модели показала, что в довольно широком диапазоне условий волнообразования систематические ошибки в расчетах отсутствуют, а случайные ошибки при определении высот волн не превышают $\pm 0,5$ м.

Заключение

В настоящей работе выполнены оценки экстремальных высот волн, возможных раз в 20, 50 и 100 лет на нефтяном месторождении в Печорском море. Для получения оценок использован комплексный подход, основанный как на анализе данных судовых наблюдений, так и выполнении расчетов по численной модели с использованием синоптической информации за 35-летний период.

Показано, что максимальная высота волны, возможной 1 раз в 100 лет, в расчетной точке равна 9,9 м. С учетом 95%-го доверительного интервала значения максимальных высот волн, возможных 1 раз в 100 лет, изменяются в пределах 9,6–10,2 м.

В ходе выполнения работы решена задача определения экстремальных значений элементов ветровых волн на мелководье, где закономерности многолетнего распределения волн, в отличие от глубокой воды, практически не изучены. Предложено сначала рассчитать параметры логнормального распределения на волноопасном направлении на глубокой воде, а затем определить значение экстремальных высот волн в расчетной точке на мелкой воде с учетом их трансформации. Такой алгоритм может быть использован для определения экстремальных элементов ветрового волнения в прибрежных районах аналогичных морских районов.

Авторы выражают свою благодарность сотрудникам Гос.НИНГИ МО РФ Алексееву С.П., Добротворскому А.Н. и Дроздову А.Е., по инициативе которых выполнялись данные исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ветер и волны в океанах и морях. Справочные данные. – Л.: Транспорт, 1974.
2. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Баренцево море.– Л.: Гидрометеоиздат, 1985, Т.6. – 263 с.
3. Давидан И.Н., Лопатухин Л.И., Рожков В.А. Ветровое волнение в Мировом океане. – Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 256 с.
4. Проект "Моря СССР". Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Баренцево море. Гидрометеорологические условия.– Л.: Гидрометеоиздат, 1990, Т.1. – Вып.1.
5. Давидан И.Н., Лавренов И.В., Пасечник Т.А., и др. Математическая модель и метод оперативных расчетов ветрового волнения на морях СССР// Метеорология и гидрология, 1988, N 11. – С.81–90.
6. Проблемы исследования и математического моделирования ветрового волнения // Под ред. Давидана И.Н.,– С.– Петербург. Гидрометеоиздат, 1995.– 465 с.
7. Komen G.J., Cavaleri L., Donelan M., Hasselmann K., Hasselmann S., Janssen P.A.E.M. Dynamics and Modelling of ocean waves. Cambridge, University press, 1994. – 532 p.
8. Ocean wave modelling (SWAMP group) . Plenum press, New York, 1985.
9. Теоретические основы и методы расчета ветрового волнения // Под ред. Давидана И.Н. – Л.: Гидрометеоиздат, 1988.– 264 с.
10. Bouws E., Gunther H., Rosenthal W. and Vincent C.L. Similarity of the wind wave spectrum in finite depth water. Part 2: Statistical relation between shape and growth stage parameters. – Deutsch. Hydrog. Zeitschrift, 1987. – Vol.40, No 1.
11. Shore Protection Manual. – U.S. Army Engineering Research Centre, Washington, 1977, 1984.– Vol.1,2.
12. Лавренов И.В. Математическое моделирование ветрового волнения в пространственно-неоднородном океане, С.– Петербург, 1998.– 300 с.
13. Строительные нормы и правила (СНиП). Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения. – М.: Стройиздат, 1983. – 264 с.
14. Лавренов И.В. и др. Выполнить исследования с целью создания усовершенствованной численной модели морского волнения применительно к условиям морей Северного Ледовитого океана. Отчет ААНИИ. С.–Петербург. 1996, – 32 с.
15. Зубакин Г.К. Крупномасштабная изменчивость состояния ледового покрова Северо-Европейского бассейна. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987.– 160 с.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДОННЫХ ПРОФИЛОГРАФОВ
ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДИНАМИКИ МОРСКОЙ СРЕДЫ**

**В.М. КУШНИР,
А.Н.МОРОЗОВ**

(Морской гидрофизический институт
НАНУ, Севастополь, Украина)

Рассмотрены возможности использования при обустройстве Приразломного нефтяного месторождения зарубежных донных доплеровских профилографов для получения комплексной оперативной информации об основных параметрах волнения, течений и придонного пограничного слоя в районах моря с небольшими (до 25 м) глубинами. Указана возможность получения с их помощью также данных об уровне моря, скорости и направлении дрейфа льда и его толщине.

Технические средства контроля динамики морской среды входят в состав гидрометеорологической аппаратуры различных морских объектов, в том числе средств освоения морских углеводородных месторождений. Ниже анализируется возможность применения подобных средств в условиях Приразломного нефтяного месторождения (ПНМ).

По имеющимся в настоящее время весьма приближенным данным, для района ПНМ возможны поверхностные волны максимальными высотами до 10 – 12 м (при обеспеченности 0,1%) и течения с экстремальными скоростями до 200 см/с. Характеристики турбулентного придонного погранслоя неизвестны из-за отсутствия соответствующих специализированных измерений. Однако с большой вероятностью можно предположить наличие в придонной области (из-за относительно малых, 16–18-м, глубин и значительных скоростей приливно-отливных и волновых течений) вихревых турбулентных пульсаций с высоким уровнем.

Указанные экстремальные параметры морской среды могут существенно влиять на режим эксплуатации месторождения и на меры обеспечения безопасности работы добычных средств. В связи с этим необходимо организовать постоянный контроль указанных параметров морской среды непосредственно в районе морской ледостойкой платформы (МЛСП). Для решения этой задачи связан может быть рекомендовано использование системы стационарных доплеровских акустических профилографов производства компании RD Instruments или аналогичной аппаратуры какой-либо иностранной фирмы.

Аппаратурное обеспечение измерений. Работа акустических доплеровских измерителей скорости течений основана на определении доплеровского сдвига частоты фрагментов обратно рассеянного сигнала, принимаемого в ответ на излучение в виде короткого акустического импульса с высокочастотным заполнением. Измерение сдвига частоты в измерителях производится либо путем проведения спектрального анализа фрагмента принятого сигнала как, например, в корабельных приборах ADCP фирмы RD Instruments¹, либо посредством измерения времени прохождения фиксированного числа периодов несущей частоты как это сделано, например, в профилографе DCM-12 фирмы Aanderaa Instruments [1]². Антенны измерителей содержат четыре приемо-излучающих преобразователя, образующих Янус-конфигурацию с раствором 30°–60°. Наличие четырех направлений измерения позволяют восстановить три компоненты

¹ Американская компания RD Instruments выпускает как донную – профилографы ADCP серии RD–SC/DR, так и корабельную аппаратуру – профилографы DCP серии RD–VM. (Acoustic Doppler Current Profilers, RD-VM serie, Проспект компании RD Instruments.) (Прим. ред.)

² Об этих приборах, а также профилографах, выпущенных другими ведущими зарубежными фирмами, см. журнал Hydro International, 1997, №3, р.54–56. (Прим. ред.)

Гидрометеорологическое обеспечение мореплавания

скорости течения на фиксированных уровнях глубины. Основные характеристики современных профилографов производства ведущих зарубежных фирм приведены в таблице.

Сопоставительные данные по современным профилографам ведущих зарубежных фирм³

Компания производитель	Обозначение или тип прибора	Рабочая частота, кГц	Рабочая глубина, м		Цена
			min	max	
RD Instruments	Broadband ADCP	75–2400	—	До 6000 (зависит от типа прибора)	—
Aanderaa Instruments A/S	DCM-12	607	2	До 1000 (60 – рабочий режим)	150 тыс. норв. крон (1997 г.)
EDO Acoustic Products	HSCP-600	600	2	До 50 (может быть до 650)	Зависит от комплектации
GFV Environmental & Oceanographic System Ltd.	SW-2000	75; 115; 300; 600; 1200	1,2	700 (75 кГц); 50 (1200 кГц)	Зависит от требований Заказчика
MORS Environment	DC665/DC666	600/1200	1	6000	В соответствии с запросом
Nortek AS	ADP	500; 1500; 3000	0,5	200	15 тыс.–25 тыс.дол. США
Son Tek	Sontek ADP	250; 500; 1500; 3000	0,5	.	15 тыс. – 30 тыс.дол. США (в зависимости от требуемых параметров и конфигурации прибора)

Измерение параметров волнения акустическими доплеровскими измерителями производится путем регистрации времени распространения акустических импульсов от преобразователя до поверхности и обратно по всем четырем направлениям. Амплитуда сигнала, отраженного от поверхности, на несколько порядков превосходит амплитуду обратно рассеянного сигнала от объемных рассеивателей, что позволяет надежно распознавать отраженные от поверхности сигналы. Уровень возвышения поверхности рассчитывается из получаемых данных об изменениях расстояний δR по соотношению

$$\delta H = \delta R \cos \alpha,$$

где H – глубина;

α – угол отклонения луча от вертикали.

В результате измерений получают реализации изменения наклонной дальности до поверхности в четырех точках, разнесенных на расстояние $2R \sin \alpha$. Это позволяет на основе расчетов взаимных спектров определять направление распространения поверхностных волн. Осреднение результатов измерения возвышения за интервал времени, значительно больший периода волн, дает возможность находить положение уровня моря.

Измерение параметров поверхностного волнения. При создании системы постоянного контроля параметров морского волнения основная задача состоит в оперативном отслеживании некоторого ограниченного количества параметров поверхностных волн. Соответствующие данные необходимы для управления морскими операциями, предотвращения аварийных и опасных ситуаций. Такими параметрами могут быть: средняя h_s и максимальная h_m высоты волн (при различном процентном уровне обеспеченности), средний период T_w и длина волны L_w , удельная энергия E и

³ По данным журнала Hydro International, 1997, №3, p.54–56. (Прим. ред.).

мощность на единицу длины волнового фронта W , направление его распространения φ (угол между направлением на север и волновым вектором \vec{k}). Контроль указанных параметров очевидно важен для системы управления лишь при существенных значениях скорости ветра, например, начиная с 5–8 м/с.

Для возможности использования названной выше аппаратуры (работающей в высокочастотном диапазоне) в интересующих нас целях определим вначале необходимую дискретность измерений уровня поверхности моря по времени и по амплитуде. В качестве основного критерия примем величину $\varepsilon_t^2 = \sigma_a^2 / \sigma_w^2$ – отношение дисперсии погрешности, обусловленной эллиайзингом, к дисперсии сигнала волнения, причем

$$\sigma_w^2 = \int_{\omega_0}^{\omega_N} S_w(\omega) d\omega; \quad \sigma_a^2 = \int_{\omega_0}^{\omega_N} \left[\sum_{i=1}^{\infty} S_w(2\pi iT^{-1} - \omega) + S_w(2\pi iT^{-1} + \omega) \right] d\omega, \quad (1)$$

где $S_w(\omega)$ – спектр волнения;

$\omega_N = \pi/T$ – частота Найквиста;

T – дискретность измерений по времени;

ω_0 – нижняя граница спектрального окна;

m – число значений корреляционной функции.

Поскольку для обеспечения приемлемой точности частота Найквиста должна значительно превышать частоту максимума спектра волнения, для вычисления дисперсии σ_a^2 можно использовать равновесный спектр Филлипса

$$S_w = \beta g^2 \omega^{-5},$$

где $g = 9,81 \text{ м} / \text{с}^2$ – ускорение свободного падения;

$\beta = 8 \cdot 10^{-3}$ – эмпирическая константа.

Проводя необходимые операции интегрирования и используя также известные полуэмпирические зависимости для дисперсии возвышения поверхности [2], находим

$$\varepsilon_t^2 = 0,25 C_I^{-1} \beta g^4 U^{-4} (T/\pi)^4 \sum_{i=1}^{\infty} \left[(2i-1)^{-4} + (2i+1)^{-4} - (2i-m)^{-4} - (2i+m)^{-4} \right], \quad (2)$$

где U – средняя скорость ветра;

$C_I = 2,5 \cdot 10^{-3}$ – константа.

Рассмотрим конкретный пример измерения наиболее высокочастотного волнения при средней скорости ветра 5 м/с. Положим также, что $m = 100$, хотя эта величина незначительно влияет на оценку ε_t^2 . При указанных условиях

$$\varepsilon_t = 8,5 T^2 U^{-2} = 0,34 T^2. \quad (3)$$

Если величину ε_t^2 задать равной 0.01 (отношение стандартных отклонений погрешности и полезного сигнала – 10%), то $T = 0.54$ с (частота измерений – 1.85 Гц).

Средний период волнения T_s , согласно [2], определяется как $T_s = 0,7278 U$ и при $U = 5$ м/с равен 3,64 с. Таким образом, для обеспечения приемлемой точности измерения возвышения поверхности при указанных условиях необходимо производить 6–7 замеров за один период волны.

Рассмотрим теперь вопрос квантования сигнала поверхностного волнения по уровню. В качестве критерия будем использовать величину ε_k^2 (аналогичную ε_t^2) –

отношение дисперсии погрешности квантования по уровню σ_k^2 к дисперсии полезного сигнала σ_w^2 т.е. $\varepsilon_k^2 = \sigma_k^2 / \sigma_w^2$.

Используя известное соотношение $\sigma_k^2 = \delta^2 / 12$ (δ – размер измерительного кванта) и полуэмпирическое соотношение $\sigma_w^2 = 2,5 \cdot 10^{-3} U^4 / g^2$, находим, что

$$\delta = 0,173 \varepsilon_k U^2 g^{-1}, \quad (4)$$

т.е. при скорости ветра 5 м/с $\varepsilon_k^2 = 0,01$, $\delta = 4,4$ см.

Для доплеровских акустических профилографов минимальная дискретность по времени измерения пульсаций скорости течения составляет 60 с для приборов ADCP и примерно 10 мин для DCM-12. Измерение возвышения поверхности возможно проводить с дискретностью 1с первыми из них и 10 с – DCM-12. Временная дискретность измерения возвышения 1с соответствует относительной погрешности эллипса, равной 0,34 при скорости ветра 5 м/с и 0,1 при скорости ветра 9,2 м/с.

Рассмотрим теперь методы оперативного определения указанных выше параметров поверхностных волн по показаниям профилографа ADCP. Для этого необходимо производить текущие вычисления спектральных и взаимных спектральных оценок возвышения $S_w(\omega)$ в четырех точках поверхности, куда направлены сигналы его акустических антенн, ориентируясь на приведенные выше параметры дискретности по времени (1 с) и по амплитуде (4–5 см).

Минимальная длительность записи для оперативного получения спектральных оценок должна отвечать условию заданного диапазона выборочной изменчивости спектра в окрестности наиболее энергосодержащих компонент. Поскольку средний период поверхностных волн связан со скоростью ветра, при фиксированной выборочной изменчивости таких спектральных оценок минимальная длительность регистрации должна соответствовать средней скорости ветра. При экстремально высоких значениях скорости ветра (например 40 м/с) средний период волн T_w достигает 30 с. Необходимое число степеней свободы оценок

$$\nu = 2T / G \tau_m,$$

где T – длительность регистрации;

G – параметр весовой функции сглаживания спектральных оценок (для наиболее часто используемых зависимостей Ханна и Хемминга $G = 0,75$ – $0,80$);

$\tau_m = 0,5 i T_w$ – максимальный сдвиг корреляционной функции;

i – номер точки на спектрограмме (обычно принимается, что $i = 5 - 7$).

При доверительной вероятности 0,9 на уровне $\lambda = 30\%$ значение $\nu = 30$, а при $\lambda = 20\%$ оно составит $\nu = 100$ [3].

При $T_w = 30$ с, $\lambda = 30\%$, $i = 6$, $G = 0,76$ необходимая длительность регистрации волнового процесса равна 675 с; при $\lambda = 20\%$, эта величина составляет 3375 с. Таким образом, при экстремально высоких значениях скорости ветра спектральные оценки поверхностного волнения могут быть получены за 15–20 мин.

Использование современных компьютеров и оптимальных алгоритмов вычисления спектральных характеристик позволяет минимизировать время обработки данных, а сам процесс вычислений организовать в виде скользящих процедур для получения непрерывных текущих оценок спектральных функций.

Средняя и максимальная высота волн вычисляются по следующим соотношениям

$$h_s = 1,77 \left[\int_0^{\infty} S_w(\omega) d\omega \right]^{0,5}; \quad h_m = 1,6 h_s; \quad h_{5\%} = 1,96 h_s; \quad h_{1\%} = 2,4 h_s, \quad (6)$$

где h_m – значительная высота волны, равная средней высоте из 1/3 наибольших высот волн,

$h_{1\%}$ и $h_{5\%}$ – высоты волн одно и пятипроцентной обеспеченности.

Средний период волнения T_w определяется по измеренным спектрам $S_w(\omega)$ путем вычисления методом наименьших квадратов параметров оптимального приближения их к спектрам типа Пирсона-Московица $S_w(\omega) = A \omega^{-5} \exp(-a \omega^{-4})$

$$T_w = 2\pi(0,8a)^{-0,25}, \quad (7)$$

а средняя длина волн L_w и их групповая скорость c_g определяются на основе известного дисперсионного соотношения. При этом

$$T_w = (2\pi L_w)^{0,5} \left[g \cdot th(2\pi H L_w^{-1}) \right]^{-0,5}; \quad (8)$$

$$c_g = L_w T_w^{-1} \left[0,5 + 2\pi H L_w^{-1} s h^{-1}(4\pi H L_w^{-1}) \right],$$

где H – глубина моря.

Удельная энергия поверхностного волнения E и мощность на 1 м волнового фронта W (Вт/м) вычисляются на основе оценок дисперсии возвышения

$$E = \rho g \sigma_w^2 = \rho g \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega; \quad W = c_g E, \quad (9)$$

где ρ – плотность морской воды.

Пространственные характеристики поверхностных волн – направление распространения наиболее энергонесущих компонент – находятся по данным измерений возвышения в четырех точках облучения поверхности. Расстояния l_1 и l_2 между этими точками определяются углом наклона α оси акустических антенн к вертикали и глубиной места H , причем $l_1 = 2H \operatorname{tg} \alpha$, $l_2 = 2^{0,5} H \operatorname{tg} \alpha$. При $H = 18$ м, $\alpha = 30^\circ$, $l_1 = 20,8$ м, $l_2 = 14,8$ м. Компоненты волнового вектора k_x, k_y определяются путем решения системы уравнений следующего вида

$$\Delta \varphi_{ij} = k_x (x_j - x_i) + k_y (y_j - y_i), \quad (10)$$

а направление распространения поверхностных волн равно

$$\arctg(k_x/k_y),$$

где $\Delta \varphi_{ij}$ – фазовый сдвиг между пульсациями возвышения на частоте основного максимума спектра волнения;

k_x, k_y – проекции волнового вектора на широту и меридиан соответственно.

Фазовый сдвиг $\Delta \varphi_{ij}$ вычисляется по данным определения взаимных спектров возвышения в указанных четырех точках облучения поверхности донным излучателем, причем

$$\Delta \varphi_{ij} = \arctg(Q_{ij}/C_{ij}),$$

где Q_{ij}, C_{ij} – соответственно квадратурный спектр и коспектр пульсаций возвышения в точках i и j .

Рассмотрим возможности такого метода определения волнового вектора поверхностных волн применительно к условиям ПНМ.

Минимальная длина волны L , которую можно определить при помощи указанной решетки, равна $2 \cdot 2^{0,5} \cdot H \operatorname{tg} \alpha$, т.е. 29.6 м. Эта длина волны соответствует среднему периоду волн $T_w = 2\pi(L/2\pi g)^{0,5} = 4,35 \text{ с}$, что в свою очередь предопределяет значение скорости ветра – 5,98 м/с. Таким образом, надежное определение направления распространения поверхностных волн профилографом ADCP можно производить, начиная с 6 м/с.

При экстремально высоких значениях скорости ветра ($U=40$ м/с) длины поверхностных волн будут достигать значений $T_w(gH)^{0,5}=400$ м. В этом случае фазовые сдвиги на расстояниях 14,8 и 20,8 м будут составлять $13,3^\circ$ и $18,7^\circ$ соответственно, чего вполне достаточно для надежного определения составляющих волнового вектора и, следовательно, направления распространения волн.

Измерение течений. Поле течений в районе ПНМ формируется в результате наложения средних (квазистационарных) и дрейфовых потоков, а также колебаний прилива с полусуточным периодом. Скорость средних течений относительно невелика (до 10–15 см/с), дрейфовые течения определяются ветром, их скорость обычно составляет 2,5-3% от его средней скорости. Прибрежные приливно-отливные течения обусловлены взаимодействием с рельефом дна периодических полусуточных приливов, в результате чего формируется сложная система шельфовых отраженных и захваченных волн различных масштабов. Если область переменных глубин имеет размер L , то характерная фазовая скорость градиентно-вихревых захваченных волн равна $L f$ (f – параметр Кориолиса). Могут также существовать поверхностные гравитационные волны с фазовой скоростью $(gH)^{0,5}$ и внутренние бароклинные волны. Для оценки связанности этих систем волновых возмущений необходима оценка параметров дивергентности, значений чисел Бургера и чисел Россби. На этой основе можно определить вероятный механизм формирования наиболее значительных возмущений скорости прибрежных течений, которые по данным лоции могут достигать 200 см/с. Течения с такой скоростью необходимо учитывать при проектировании и строительстве различных сооружений (платформа, терминал), а также в судовождении.

Относительно малая изученность поля течений в районе ПНМ не позволяет в настоящее время сделать однозначные выводы о механизме основных возмущений поля скорости и об их экстремальных параметрах. Для доизучения поля скорости на этапе изыскательских работ необходимо предусмотреть проведение длительных (охватывающих годовой цикл изменчивости) измерений течений на нескольких (минимум трех) донных станциях. Кроме прямого определения экстремальных характеристик такие измерения позволят получить отсутствующие в настоящее время сведения о динамике подледных течений и о пространственных масштабах возмущений поля скорости шельфовыми волнами. Предварительная их оценка применительно к рельефу дна в районе ПНМ показывает, что длины захваченных волн могут достигать 600–1500 км. Такие оценки следуют из соотношений для фазовой скорости $C_1 = (gH)^{0,5}$, $C_2 = fL$ и из дисперсионного соотношения $\omega^2 - f^2 = gh_0 k^2$ (h_0 – параметр экспоненциальной аппроксимации изменения глубин) [4].

С другой стороны известно, что горизонтальный масштаб когерентности для приливных волн не превышает обычно 20–25 миль. При расстановке донных станций на таких расстояниях фазовые сдвиги будут составлять $10\text{--}30^\circ$, что достаточно для вычисления пространственно-временных спектров захваченных волн и вместе с тем для определения основных особенностей пространственных неоднородностей прибрежных течений.

Измерение параметров придонного погранслоя. Придонный погранслоя (ППС) формируется в результате сложного взаимодействия придонных течений с неровной поверхностью морского дна. Структура ППС характеризуется значительными вертикальными градиентами скорости и гидрологических элементов, наличием областей перемежаемой турбулентности и многослойных вихревых структур различных масштабов [5–7].

Необходимость определения параметров ППС на этапе изыскательских работ и организации их постоянного контроля в процессе эксплуатации месторождения объясняется возможностью интенсивного вымывания грунта в местах прокладки трубопроводов и установки опор различных сооружений.

Рассмотрим возможность использования донной аппаратуры ADCP для организации системы постоянного контроля параметров ППС. С этой целью выполним сначала некоторые ориентировочные оценки основных параметров ППС для акватории Приразломного месторождения, используя данные об относительно широком диапазоне возможных скоростей течения V_o на верхней границе погранслоя (0,1–0,5 м/с) и значениях частоты Брента-Вяйсяля $N_o - (5-10) \cdot 10^{-3}$ рад/с – в его пределах.

Толщина ППС вычисляется по соотношению

$$\delta = 1,3 u_* / f \left(1 + N_o^2 f^{-2} \right)^{0,25}, \quad (11)$$

где $u_* = \left(\rho^{-1} \tau \right)^{0,5} = C^{0,5} V_o$ – скорость трения;

$C = 1,6 \cdot 10^{-3} \pm 2 \cdot 10^{-4}$ – коэффициент сопротивления;

$f = 1,36 \cdot 10^{-4}$ рад/с – параметр Кориолиса для акватории ПНМ.

При указанных условиях толщина ППС может изменяться от 4,5 до 31 м. Это означает, что турбулизируемая область при усилении средней скорости течения примерно до 0,3 м/с в рассматриваемом районе может охватывать всю толщу воды.

Динамическая стабильность ППС определяется числом Фруда $Fr = V_o (N_o \delta)^{-1}$, которое в данном случае может изменяться в пределах от 1,7 до 4,5. Так как $Fr = Ri^{-0,5}$, граница гидродинамической устойчивости соответствует условию $Fr < 2$. Это означает наличие в ППС перемежаемой вихревой структуры.

Важнейшим параметром ППС является коэффициент вертикальной турбулентной диффузии

$$K_z = u_*^2 Ri^{0,5} N_o^{-1} = u_*^2 Fr^{-1} N_o^{-1}. \quad (12)$$

Для рассматриваемых условий диапазон изменения K_z составляет от 3,6 до 180 см²/с. Полученные оценки толщины ППС, значений Fr и K_z являются характерными для многих районов шельфовой зоны Мирового океана [6,7]. Пользуясь этими оценками и полуэмпирическими соотношениями для вихревых структур ППС [8], определим некоторые их параметры.

Средняя скорость движения вихрей $C_V = 0,65 V_o = 6,5 - 11$ см/с, среднее расстояние между центрами вихрей $L_x = (0,5 - 2) \delta = 2,3 - 36$ м, характерный временной масштаб вихревых структур $T_V = 6 \delta / u_* = 5400 - 6700$ с, характерные размеры вихрей по горизонтали $b_x = (20 - 40) K_z / u_*$ и по вертикали $b_z = (15 - 20) K_z / u_*$ – изменяются в пределах от 2 до 36 м и от 1,3 до 18 м соответственно.

Приведенные оценки, несмотря на их приближенный характер, позволяют сделать следующие выводы:

* использование акустических профилографов типа ADCP позволит получить от 2–3 до 15–16 уровней непрерывных измерений скорости течения в пределах ППС;

* минимальный шаг осреднения (60 с) примерно на один порядок меньше характерного временного масштаба вихревой изменчивости.

Непрерывные измерения составляющих скорости течения на нескольких фиксированных удалениях от дна позволяют осуществлять текущий контроль основных параметров ППС на основе использования общей модели турбулентного погранслоя в стратифицированной по плотности водной среде над наклонным дном [7].

Таким образом, использование донной аппаратуры ADCP позволит оперативно определять следующие параметры ППС: толщину, осредненную скорость течения на верхней границе, коэффициент вертикальной диффузии, осредненные значения скорости течения в 3–15 точках в пределах слоя.

Заключение. Выполненный выше предварительный анализ показал принципиальную возможность применения донных доплеровских акустических профилографов ADCP для комплексного оперативного контроля динамики морской среды как на этапе изыскательских работ, так и при эксплуатации месторождения. Это объясняется не только удобством их использования при любых погодных условиях (в том числе при наличии ледового покрова), но и возможностью оперативного получения подробной комплексной информации о поверхностном волнении, течениях и основных параметрах придонного погранслоя.

Важной дополнительной информацией, которая может быть получена в результате специальной обработки сигналов ADCP, отраженных от поверхности воды, являются данные о колебания уровня моря и термоклина.

При наличии ледового покрова отраженный от его нижней поверхности сигнал позволяет определить скорость дрейфа льда. При этом регистрация интервала времени между отраженными сигналами от нижней и верхней поверхностей льда дает возможность оперативно определять его толщину.

Установка в районе ПНМ одного или нескольких донных профилографов ADCP, связанных кабелями с пунктом управления, позволит непрерывно контролировать параметры динамики морской среды и льда, что необходимо как для надежного навигационного обеспечения транспортных операций, так и для предотвращения аварийных и опасных ситуаций на промысле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Proceeding of the IEEE Fifth Working Conference on Current Measurement. February 7–9, 1995. St.Petersburg, Florida, USA.–270 p.
2. Краус Е. Взаимодействие атмосферы и океана. Л. Гидрометеоиздат. 1976.–295 с.
3. Рожков В.А. Методы вероятностного анализа океанологических процессов. Л. Гидрометеоиздат. 1979. – 194 с.
4. Ефимов В.В., Куликов Е.А., Рабинович А.Б., Файн И.В. Волны в пограничных областях океана. Л. Гидрометеоиздат. 1985. –280 с.
5. Набатов В.Н., Озмидов Р.В. Исследование турбулентности придонного пограничного слоя в океане// Океанология. 1987.–Т. 27.– N 11. С.5–11.
6. Еремеев В.Н., Кушнир В.М. Придонный пограничный слой в шельфовой зоне Черного моря // Изв.РАН.Физика атмосферы и океана.1994.–Т.30.– N 6. С.848–853.
7. Weatherly G.L., Martin P.J. On the structure and dynamics of the oceanic bottom boundary layer// J.of Phys.Oceanogr.1978.V.8. N 4.P.557–570.



МОРСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

ГРНТИ 78.21.37.15.15

ОПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДЫ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

**И.М.ЛЕВИН,
В.Ю.ОСАДЧИЙ**

(СПб филиал Института океанологии
им. П.П. Ширшова РАН)

Приводятся результаты измерений оптических характеристик воды в рейсе научно-исследовательского парусного судна "Осеанія" Польской Академии наук. Для измерений показателя рассеяния использовался новый погружаемый фотометр "Турбидо". Обнаружена сильная мелко-масштабная изменчивость показателя рассеяния.

Пространственное распределение и изменчивость оптических характеристик воды в приповерхностном слое несет важную информацию об экологическом состоянии и биологической продуктивности вод Балтийского моря. При этом наибольший интерес представляет показатель рассеяния света в воде, линейно связанный с концентрацией взвешенных частиц. Имеющиеся в литературе данные об изменчивости показателя рассеяния σ относятся к показателю рассеяния в данном направлении $\sigma(\theta)$,

обычно под углами $\theta = 45^\circ$ и $\theta = 135^\circ$ [1]. Однако показатель рассеяния в одном направлении несет информацию о концентрации частиц в ограниченном диапазоне их размеров, поскольку рассеяние вперед определяется, в основном, крупными частицами, а рассеяние назад – мелкими. Интегральный показатель рассеяния σ значительно меньше зависит от распределения частиц по размерам при их фиксированной концентрации, поэтому его измерение для получения информации о концентрации взвеси предпочтительнее. К сожалению, данных об измерениях изменчивости интегрального показателя σ в литературе практически нет. Это объясняется тем, что до недавнего времени, насколько нам известно, не существовало приборов, способных измерять параметр σ *in situ*, т.е. непосредственно в море.

Под руководством Л.С.Долина в начале 90-х годов был разработан, запатентован, откалиброван и испытан новый прибор "Турбидо" для измерений интегрального показателя рассеяния морской и водопроводной воды не слишком высокой прозрачности [2, 3]. С помощью этого прибора были получены данные о значениях показателя рассеяния и его мелкомасштабной изменчивости в южной части Балтийского моря. Измерения проводились во время рейса НИС "Осеанія" Института океанологии Польской Академии наук в июне 1995 г. на маршруте Сопот – о.Борнхольм – Сопот. Кроме показателя σ измерялась прозрачность воды по белому диску z_σ .

Прибор для измерения интегрального показателя рассеяния "Турбидо". Этот фотометр предназначен для измерения показателя рассеяния в красной области спектра в диапазоне $\sigma = 0,2 \text{К} 20 \text{ м}^{-1}$ и концентрации взвеси $c = 0,3 \text{К} 30 \text{ мг/л}$. Принцип действия его основан на одновременном измерении облученности и яркости от точечного источника двумя приемниками через слой воды определенной толщины (в приборе $r = 250 \text{ см}$). На приемник, измеряющий облученность, попадают все лучи, рассеянные под углами менее 45° . В этих условиях сигналы, снимаемые с приемников, измеряющих облученность и яркость, равны соответственно

$$i_1 = c_1 I_0 \exp\left[(-\kappa + \varphi_{45} \sigma) r\right]; \quad (1)$$

$$i_2 = c_2 I_0 \exp\left[(-\kappa + \sigma) r\right], \quad (2)$$

где c_1 и c_2 – коэффициенты пропорциональности;

I_0 – сила света точечного излучателя;

κ – показатель поглощения;

φ_{45} – введенный Л.С.Долиным параметр индикатрисы рассеяния (доля света, рассеянного на углы, превышающие 45°).

Если при калибровке прибора его дважды поместить в дистиллированную воду, для которой можно принять $\kappa = \sigma = 0$, и выровнять сигналы i_1 и i_2 , то из (1), (2) получим

$$c_1 = c_2 = c.$$

Если затем погрузить прибор в испытуемую воду, ее показатель рассеяния, очевидно, определится как

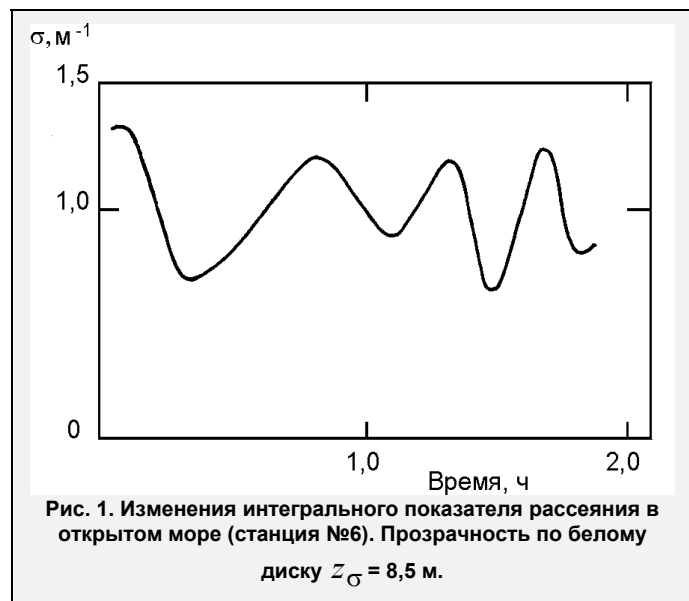
$$\sigma = (A/r) \ln(i_1/i_2), \quad (3)$$

где $A = (1 - \varphi_{45})^{-1}$.

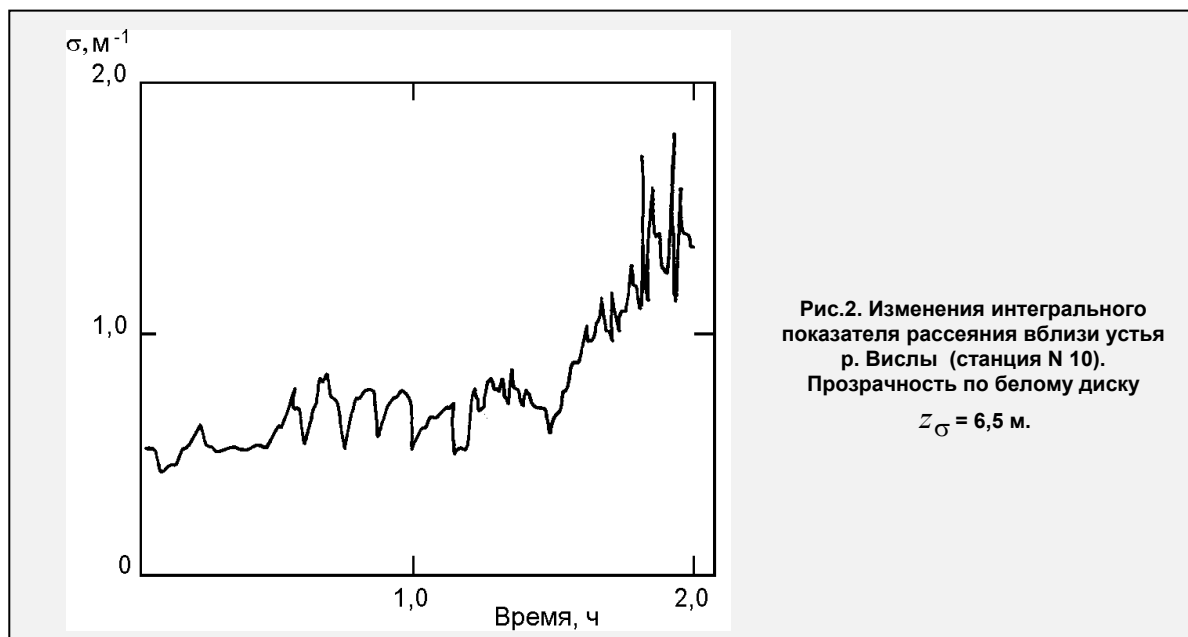
Статистический анализ большого количества измеренных в натуральных условиях индикатрис рассеяния [4] и найденные корреляционные соотношения между параметрами σ и φ_{45} [5] показывают, что для $\sigma > 0,2 \text{ м}^{-1}$ (нижний предел измерений для "Турбидо") значения φ_{45} лежат в пределах $0,01 \div 0,08$, т.е. $A = 1,01 \div 1,09$. Поэтому, если в формуле (3) принять $A = 1,05$, то ошибка в определении величины σ из-за неопределенности значения φ_{45} не превысит 4%. Суммарная погрешность определения σ не превышает 10% во всем диапазоне измерений. Нижний диапазон измерений $\sigma = 0,2 \text{ м}^{-1}$ определяется величиной "базы" прибора $r = 0,25 \text{ м}$. Для более прозрачной воды необходимая "база" (и соответственно все габариты прибора) возрастают обратно пропорционально величине σ . По этой причине, а также из-за того, что прибор градуируется по дистиллированной воде, фотометр "Турбидо" для измерений в чистой океанской воде не пригоден.

Результаты измерений. Измерения проводились в поверхностном слое воды (фотометр погружался на глубину 2–3 м). Их результаты приведены в таблице. Поскольку во всех случаях величина σ заметно изменялась во времени, прозрачность по диску, измеряемая один раз, плохо коррелирует с σ_{cp} , хотя тенденция увеличения σ_{cp} с уменьшением z_σ проявляется вполне отчетливо. Особенно сильные колебания показателя рассеяния наблюдались на станциях NN 6, 10, 13 и 17 (см. таблицу).

Рисунки 1 и 2 иллюстрируют временные колебания интегрального показателя рассеяния на станциях N 6 и N 10. Максималь-



ные его флюктуации (см.рис. 2) зафиксированы в районе вблизи устья Вислы. Наблюдаемая изменчивость, по-видимому, связана как с перемещением "облаков" минеральной взвеси, так и с вариациями концентрации фитопланктона.



Результаты измерений оптических характеристик воды в южной части Балтийского моря

№ станции	Диапазон измерения интегрального показателя рассеяния σ , M^{-1}	Количество замеров	Среднее значение интегрального показателя рассеяния σ_{cp} , M^{-1}	Прозрачность по белому диску z_{σ} , м	Примечание
1	0,30 – 0,41	2	0,37	8	
2	0,30 – 0,41	21	0,37	7,5	
3	0,33 – 0,44	16	0,37	—	
4	0,37 – 0,41	2	0,39	7,5	
5	0,33 – 0,44	19	0,40	8,5	
6	0,30 – 0,67	31	0,48	8,5	
7	0,48 – 0,52	5	0,50	6,5	
8	0,48 – 0,56	3	0,52	6,5	
9	0,70 – 0,78	3	0,74	6	
10	0,33 – 1,78	188	0,78	6,5	
11	0,85 – 1,00	9	0,89	5,5	
12	1,07 – 1,26	31	1,11	4,5	
13	0,85 – 2,18	164	1,18	5	
14	1,18 – 1,22	2	1,20	4,5	
15	1,22 – 1,41	5	1,29	3,5	
16	1,81 – 1,85	2	1,83	4	
17	1,07 – 3,11	128	1,85	4,5	
18	2,77 – 3,70	3	2,89	—	порт Колобжег
19	3,07 – 5,18	26	4,29	1,7	устье р.Вислы
20	4,44 – 5,18	3	4,81	—	

Настоящая работа была поддержана Российским Фондом Фундаментальных Исследований (проект N 94–05–17727а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буренков В.И. Мелкомасштабная и синоптическая изменчивость оптических характеристик/В кн.: Оптика океана (под ред. А.С.Монина). Т.2. 1983. М.: Наука. С. 65–82.
2. Бронштейн И.Г., Долин Л.С., Левин И.М., Радомысльская Т.М., Фейгельс В.И. Метод определения коэффициента рассеяния и устройство для его реализации (патент РФ N 1784092). Бюлл. изобр. N 47. 1992.
3. Dolin L.S., Levin I.M., Radomysl'skaya T.M. New instrument for measuring the scattering coefficient and the concentration of suspended particles in turbid water/Proc. SPIE, Ocean Optics, 1994, v. 2258,XII, p. 522–528.
4. Долин Л.С., Копелевич О.В., Левин И.М., Фейгельс В.И. Малопараметрические модели световых полей в море и интегральные характеристики индикатрис рассеяния воды // Изв. АН СССР. ФАО. 1988. Т. 24. N 11. С. 1218–1222.
5. Долин Л.С., Левин И.М. Справочник по теории подводного видения. – Л.: Гидрометеиздат. 1991. 230 с.

ГРНТИ 78.21.37.15.15

ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ПРОЗРАЧНОСТЬЮ И ПОКАЗАТЕЛЕМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА В ВОДЕ

**В. Д. КОНДЮРИН,
В.О. МЯТЕЛКОВ,
Ю. В.ЮШКОВ**
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Рекомендуется для практического использования зависимости между относительной прозрачностью и показателем вертикального ослабления света в воде, независимо от типа вод бассейна.

Одним из наиболее простых и распространенных способов оценки оптических свойств водного бассейна является измерение относительной прозрачности воды которое сводится к определению глубины Z_{δ} исчезновения видимости белого диска-прозрачномера [1]. Однако проведение подобных измерений возможно только при отсутствии видимости дна, т.е. когда глубина $Z > Z_{\delta}$.

Известна связь между показателем вертикального ослабления света в воде α_{\downarrow} и Z_{δ} [2–5]

$$\alpha_{\downarrow} = Z_{\delta} \times a, \tag{1}$$

где a – постоянная для каждого из обследованных бассейнов величина.

Таблица 1
Зависимость показателя ослабления света в водной среде от длины его волны

λ , мкм	0,4	0,425	0,45	0,475	0,5	0,525	0,55	0,575	0,6	0,625	0,65
ε , м	0,043	0,033	0,019	0,018	0,036	0,041	0,069	0,091	0,18	0,305	0,351

Указанная связь показателя вертикального ослабления света в воде и относительной прозрачности не дает однозначного определения Z_{δ} , т.к. величина a для различных бассейнов различна. Например, по Кальману $a=1,7$ для пролива Ла-Манш и $a=5$ для Белого моря [6]. В работах [2–5] не указывается, в каком спектральном диапазоне производились измерения показателя ослабления света. Фактически показатели ослабления света в водной среде ε , вертикального ослабления света в воде α_{\downarrow} и прозрачности водной среды Q_x являются функциями длины волны света λ . Данные о зависимости ε от λ приведены в табл.1.

В то же время чувствительность глаза к лучам различных длин волн неодинакова. Для дневного света максимальная спектральная чувствительность глаза проявляется к желто-зеленому излучению с $\lambda = 0,55$ мкм, а при сумеречном – с $\lambda = 0,51$ мкм (рис.1).

Из определения прозрачности водной среды имеем следующее соотношение

$$Q_x = e^{-\varepsilon x} = 10^{\alpha_{\downarrow\lambda}} ; \quad (2)$$

$$\varepsilon_{\lambda} = 2,3\alpha_{\downarrow\lambda} . \quad (3)$$

Если проводить измерения оптических характеристик морской воды в спектральном диапазоне $\lambda = 0,51 - 0,55$ мкм (т.е. максимальной спектральной чувствительности глаза), то, учитывая достаточно высокую избирательность глаза, можно предположить, что между глубиной исчезновения белого диска Z_{δ} и показателем вертикального ослабления света в воде $\alpha_{\downarrow\lambda}$ в зоне максимальной чувствительности

глаза существует однозначная связь, которая не зависит от типа водного бассейна. На основании анализа многочисленных экспериментальных данных установлено, что эта связь имеет вид

$$Z_{\delta} \times \alpha_{\downarrow\lambda=0,51-0,55} = I$$

или

$$Z_{\delta} = \alpha_{\downarrow\lambda=0,51-0,55}^{-1} . \quad (4)$$

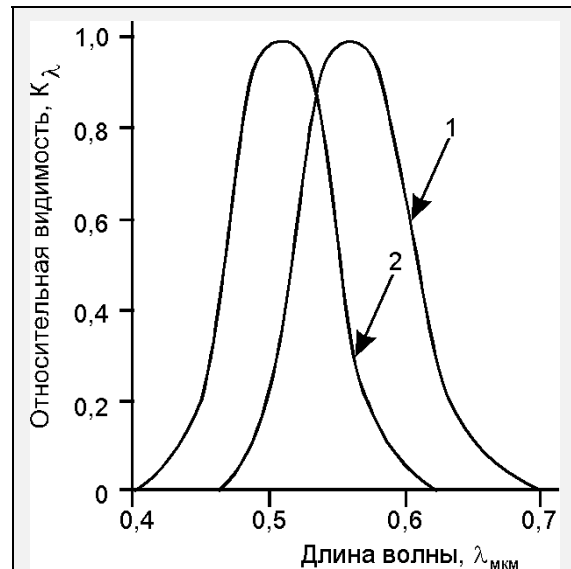


Рис.1. Кривая чувствительности глаза:
1 - дневное освещение,
2 - сумеречное освещение.

Таблица 2
Сопоставительные данные расчетных и измеренных показателей относительной прозрачности

№	λ , мкм	$Z_{\delta \text{ изм.}}$, м	$\alpha_{\downarrow\lambda \text{ изм.}}$	$Z_{\delta \text{ рас.}}$, м	$Z_{\delta \text{ изм.}} - Z_{\delta \text{ рас.}}$, м
1	0,547	10	0,1020	9,8	0,2
2	0,547	12	0,0830	12	0,0
3	0,547	14	0,0840	11,8	2,2
4	0,547	25	0,0360	27,6	-2,6
5	0,547	14	0,1000	10	4,0
6	0,547	8	0,0966	10,4	-2,4
7	0,547	13	0,0828	12,1	0,9
8	0,547	16	0,0650	15,4	0,6
9	0,547	16	0,0526	16,7	-0,7
10	0,547	21	0,0540	18,5	2,5
11	0,540	10	0,0920	10,8	-0,8
12	0,540	12	0,0806	12,4	-0,4
13	0,540	8	0,1590	6,3	1,7
14	0,540	26	0,0460	21,7	3,3
15	0,550	16	0,0580	17,2	-1,2
16	0,550	16	0,0800	12,5	3,5
17	0,550	14	0,0850	11,8	2,2
18	0,550	21	0,0470	21,2	-0,2
19	0,550	27	0,0390	25,6	1,4
20	0,550	21	0,046	21,5	-0,5

В пользу такого предположения говорят данные гидрооптических измерений, выполненных с НИС "Михаил Ломоносов" и " Академик Вернадский" приборами ЛЮПО и ФПО в Индийском и Атлантическом океанах, а также измерений, выполненных Гос.НИНГИ в Лужской губе Финского залива и на Ладожском озере с помощью морского фотометра [7,8,9,10]. При этом для измеренных значений $\alpha_{\downarrow\lambda}$ производился расчет $Z_{\delta \text{ рас}}$ по формуле (4) и полу-

ченные величины сравнивались с измеренной величиной Z_{δ} . Результаты сравнения представлены в табл.2, где также приведены значения λ , соответствующие спектральной полосе измерения $\alpha_{\downarrow\lambda}$.

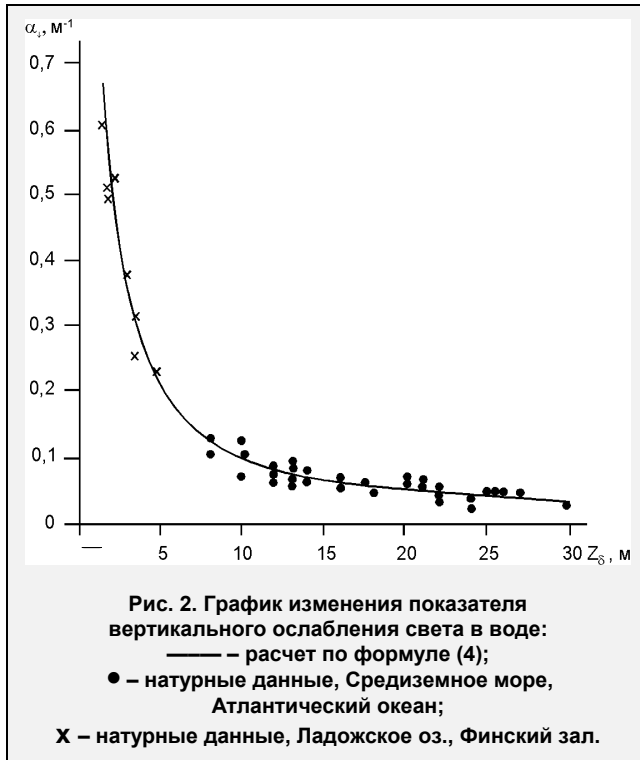
На рис. 2 показаны результаты сравнения значений, полученных из обработки фактических измерений и вычисленных по предлагаемой зависимости. Из приведенных данных очевидно, что предложенная зависимость (4) хорошо подтверждается экспериментальными данными и может

быть рекомендована для практического использования.

В прибрежной зоне, при $Z < Z_{\delta}$, для измерения прозрачности воды можно использовать простой морской фотометр, с помощью которого выполняются измерения в спектральном диапазоне $\lambda = 0,5 - 0,55$ мкм освещенности E_o у поверхности воды и E_{noz} на глубине погружения фотометра Z_{noz} . В этом случае показатель ослабления света $\alpha_{\downarrow\lambda}$ и прозрачность воды Q_x в слое от $Z = 0$ до $Z = Z_{noz}$ определяются по формулам

$$\alpha_{\downarrow\lambda} = \frac{(\lg E_o - \lg E_{noz})}{Z_{noz}}; \quad (5)$$

$$Q_x = 10^{\alpha_{\downarrow\lambda}}. \quad (6)$$



Величины E_o , E_{noz} могут выражаться как в люксах (лк), так и в вольтах или милливольтвах (В, мВ), так и в амперах или миллиамперах (А, мА).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. —Л., Гидрометиздат. 1977.
2. Березкин В.А., Гершин А.А., Янишевский Ю.Д. Прозрачность и цвет моря. — Л.: ВМА, 1940.
3. Оптика океана и атмосферы. —Л.: Наука, 1981.
4. Оптика океана Т.2. Прикладная оптика. — М.: Наука, 1983.
5. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. — Л.: Гидрометиздат, 1983.
6. Соколов О.А. Видимость под водой. —Л.: Гидрометиздат, 1974.



КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ, СЕМИНАРЫ

ГРНТИ 78.21.41.19

**НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
“170 ЛЕТ РОССИЙСКОЙ ГИДРОГРАФИИ.
ПРОЙДЕННЫЙ ПУТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ”**

Конференция, организованная Главным управлением навигации и океанографии МО РФ, прошла 26 сентября 1997 г. под представительством заместителя начальника ГУНиО контр-адмирала В.А.Солодова. В ней приняли участие около 140 специалистов ВМФ (в том числе ГУНиО, Военно-Морской Академии им. адм. Н.Г. Кузнецова, ВВМУ им. М.В. Фрунзе), ГМА им. адм. С.О. Макарова, Министерства транспорта, РАН, ряда промышленных организаций и действительные члены российских Географического и Гидрографического обществ.

Открылась конференция обзорным историческим докладом начальника ГУНиО адмирала А.А. Комарицына, в котором рассматривался опыт почти двухвековой работы отечественной Гидрографической службы и определялись ее задачи на перспективу.

Всего на конференции было заслушано 15 докладов. Освещались вопросы навигационно-гидрографического обеспечения ВМФ, перспективы развития навигационного оборудования и картографии, роль гидрографической службы в освоении Северного морского пути, на транспортном и промысловом флотах России, подготовка отечественных гидрографов. Роли гидрографов в Великой Отечественной войне было посвящено выступление контр-адмирала В.А.Солодова. О требованиях Министерства науки и технологий к изучению Мирового океана и перспективам обеспечения этих работ сделал сообщение заместитель начальника Управления окружающей среды Б.И.Имерек.



СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

ГРНТИ 78.21.39.17.15

ГИДРОГРАФИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ 170 ЛЕТ

Н.Н.НЕРОНОВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Исторический обзор. Прослеживаются основные этапы развития отечественной гидрографии. Отмечаются наиболее важные ее достижения.

Гидрография – наука, занимающаяся исследованием и описанием водных объектов Мирового океана и суши, их формы, размеров, характера берегов, глубин, рельефа и грунтов дна. Совместно с океанографией, геофизикой и морской геологией она разрабатывает методы и средства всестороннего изучения водных объектов с целью обеспечить безопасность плавания и разработку природных ресурсов, создать благоприятную навигационную обстановку для использования средств военно-морского, транспортного и промыслового флотов [1].

В России впервые планомерные исследования морей в государственном масштабе организовал и возглавил Петр I. При нем в 1718 г. учреждением Адмиралтейств-коллегии была организационно оформлена гидрографическая служба, которой вменялось в обязанность ведать вопросами морских исследований и созданием морских карт. В результате проведенных съемок появились карты Финского и Рижского заливов, Балтийского и Каспийского морей. За создание карты Каспийского моря Петр I был избран почетным членом Парижской академии [2].

Вторая половина XVIII века и XIX век характерны имевшими мировое значение географическими открытиями и большим объемом гидрографических работ. До этого капитан-командор Витус Беринг уже описал берега Северо-Восточной Азии и Северо-Западной Америки, ряд островов Тихого океана, выполнил измерения глубин в прилегающих к ним акваториях. Позже генерал-майор Ф.И.Соймонов произвел съемки Каспийского моря и издал его атлас (1731 г.), а также атлас Балтийского моря (1734 г.), руководил комплексной Нерчинской экспедицией, к тому же основал навигационную школу в Нерчинске (1754 г.) и геодезическую в Тобольске (1758 г.). Далее адмирал А.И.Нагаев создал первый морской атлас и лоцию Балтийского моря (1752 г.), первые карты Берингова моря, Ладожского озера. Вице-адмирал Г.А.Сарычев уточнил атлас Балтийского моря, руководил Северо-восточной экспедицией (1785–1795 гг.), по материалам работ которой составил “Атлас северной части Восточного океана”. Особые заслуги российской гидрографии в географических открытиях на море в настоящее время признаются и за рубежом. По оценкам австралийских ученых, русские морские исследователи Тихого океана эпохи просвещения стоят в одном ряду с Бугенвилем и Куком. И именно русские заложили основы современных комплексных научных морских экспедиций.

В начале XIX века систематизировались работы по обеспечению освоения новых морских путей, сооружались маяки и знаки, в навигационном отношении оборудовались фарватеры, подходы к портам и сами порты. Совершенствовалась лоцманская деятельность. Этот период относится к “Золотому веку” отечественной гидрографии. Первые российские кругосветные экспедиции и дальние плавания И.Ф.Крузенштерна, Ю.Ф.Лисянского, В.М.Головина, О.Е.Коцебу, Ф.Ф.Беллинсгаузена, М.П.Лазарева и др. привели к открытию шестого континента – Антарктиды, описанию новых земель, уточнению многих карт Мирового океана [3].

Увеличение объемов гидрографических работ, усложнение их организации, рост водоизмещения кораблей и судов, а также повышение интенсивности судоходства привели к образованию в 1827 г. в структуре Морского министерства Управления генерал-гидрографа, преобразованного в 1885 г. в Главное гидрографическое управление [4]. Однако, к концу XIX века темпы отечественных гидрографических работ в целом упали из-за нехватки средств в результате войн на Черном море, в Средней Азии и на Балканах.

В начале XX века объемы гидрографических работ вновь возросли, несмотря на тяжелые последствия русско-японской войны. При этом А.И.Вилькицкий, возглавлявший Главное гидрографическое управление с 1907 по 1913 г., сумел значительно повысить их технический уровень, улучшить выпуск морских карт и пособий. Особенное внимание стало уделяться изучению северных морей, для чего была осуществлена череда экспедиций по северному морскому пути. Результатом явились открытия Северной Земли, ряда островов и проливов. Были описаны фарватеры, побережье и пр. Гидрографическая служба получила суда специальной постройки “Вайгач” и “Таймыр”.

Первая мировая война, революции и последовавшая за ними гражданская война привели к резкому спаду гидрографических работ. Большинство гидрографического оборудования пришло в негодность, исследования были свернуты.

Главное гидрографическое управление Рабоче-крестьянского Флота во главе с начальником Е.Л.Бялокозом приступило к деятельности в 1918 г. [4]. После гражданской войны начались работы по восстановлению навигационного оборудования морей, созданию новых образцов технических средств, налаживанию службы погоды и организации морских исследований. Уже первый пятилетний план 1925 г. предусматривал проведение съемки рельефа и описание побережий в окраинных морях. Реализация этих мероприятий, а также выполнение ряда работ по навигационно-гидрографическому оборудованию и созданию технических средств навигации и гидрографии позволила к началу Великой Отечественной войны подготовить в навигационно-гидрографическом отношении все прилегающие к границам СССР морские театры военных действий, оснастить корабли и суда навигационными приборами отечественного производства.

В период 1941–1945 гг. Гидрографическое управление ВМФ СССР осуществляло руководство навигационно-гидрографическим обеспечением (НГО) операций и боевых действий флотов и флотилий на морях, реках и озерах. Итог этой работы Управления – ни одной сорванной по вине гидрографов операции.

После окончания войны страна приступила к созданию океанского флота, что потребовало разработки новых технических средств и совершенствования методов НГО. С учетом этих обстоятельств в 1972 г. Гидрографическое управление ВМФ было преобразовано в Главное управление навигации и океанографии Министерства обороны СССР (ГУНиО МО). К этому времени Гидрографическая служба уже получила в свое распоряжение новые суда специализированной постройки, оснащенные самыми совершенными техническими средствами гидрографии и океанографии. Существенно увеличился объем и улучшилось качество гидрографических работ (в 80-е годы их производилось ежегодно около 1 млн. линейных километров).

Большая работа была проделана офицерами и служащими ГУНиО МО по организации создания образцов новой техники для надводных кораблей и подводных лодок. Флот получил навигационные комплексы, системы курсоуказания и измерения скорости, удовлетворяющие требованиям ракетного оружия. Были разработаны и приняты на вооружение новые средства коррекции (спутниковые и наземные радионавигационные системы, зрительные и звуковые средства), возросли темпы строительства средств навигационного оборудования. К середине 70-х годов была составлена мировая коллекция морских навигационных карт [4].

В 80-е годы активизировалась международная деятельность ГУНиО МО. На сегодняшний день Управление официально представляет национальные интересы страны в Международной гидрографической организации и в Международной ассоциации маячных служб, а также интересы Министерства обороны в Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО [5].

Международная деятельность ГУНиО МО содействует выполнению Россией Конвенции ООН по морскому праву и охране человеческой жизни на море. Управление принимает участие в выполнении многих международных программ и проектов. Создаются международные морские навигационные карты на различные регионы Мирового океана, производятся гидрографические и океанографические работы, отрабатывается единая система оперативного оповещения о навигационных и погодных опасностях, разрабатываются новые направления развития и использования средств навигационного оборудования, производится международный обмен картографическими материалами и пособиями для плавания. ГУНиО участвует в разработке международных стандартов по своему профилю, в том числе по использованию глобальных спутниковых и радионавигационных систем, электронных карт, технических средств навигации, гидрографии и гидрометеорологии, единых систем ограждения навигационных опасностей в морях, бухтах, портах и на походах к ним.

Перестройка в СССР и его распад, становление России как самостоятельного государства, экономическая реформа, новая военная доктрина изменили требования к НГО ВМФ и экономики страны.

В этот сложный период Главное управление навигации и океанографии отметило свое 170-летие. Сокращение финансирования, утрата налаженных производственных связей, старение оборудования, с одной стороны, и ужесточение требований ВМФ и мореплавателей, с другой, определяют необходимость реорганизации Управления. Цель ее – при минимальных затратах получить максимум выигрыша в качестве и объеме гидрографических работ, удовлетворить требования мореведческих организаций к их НГО.

Одним из вариантов реформирования ГУНиО МО может рассматриваться предложение о преобразовании Гидрографической службы ВМФ России в Федеральную службу в составе Министерства обороны РФ с возложением на нее функций головной национальной организации в области навигации, гидрографии, морской картографии, военной океанографии и гидрометеорологии.

Существующий научный и технический потенциал Гидрографической службы ВМФ позволяет считать, что в новом качестве она будет вполне способна выполнять эти функции и успешно решать возложенные на нее задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Военно-Морской словарь. М., 1990.
2. Доценко В.Д. Морской биографический словарь /Под ред. адм. И.В. Касатонова. СПб, 1995.
3. Marchant L.R. The Fruits of Peter the Great's Enlightenment. The Russian contribution to Scientific Maritime Discovery in the Polar and Pacific Regions in the Age of Enlightenment/ Hydrographic Journal, 1997, I, №83, p.21-29.
4. 150 лет Гидрографической службе Военно-Морского Флота. Л., 1977.
5. Комарицын А.А. Международная деятельность Главного управления навигации и океанографии МО РФ/ Сб. докладов "Русское Географическое общество и флот", СПб, 1996. С.114–115.

К ИСТОРИИ УЧИЛИЩА ВОЕННЫХ ГИДРОГРАФОВ

**Посвящается сорокалетию выпуска
первого набора Высшего военно-
морского гидрографического училища**

**Б.Е.ИВАНОВ,
Н.С.МЕРКУШОВ**
(Гос.НИНГИ МО РФ),
В.И.КОРЯКИН
(ЦКП ВМФ)

*Статья содержит воспоминания бывших
курсантов первого набора Высшего военно-
морского гидрографического училища, суще-
ствовавшего в 1952-1956 гг.*

В 1952 г. было образовано Высшее военно-морское гидрографическое училище (ВВМГУ). Это было третье самостоятельное училище военных гидрографов. Первое училище было создано в 1922 г. и просуществовало до 1926 г., после чего подготовка гидрографов продолжалась в ВВМУ им. М.В.Фрунзе, в котором она проводилась и ранее. Второе училище – ВВМГУ им.С.Г.Орджоникидзе, было образовано в 1939 г. Оно прекратило свое существование в 1941 г. и подготовка военных гидрографов в очередной раз была передана в ВВМУ им.М.В.Фрунзе.

Начальником вновь образованного в 1952 г. училища был назначен известный гидрограф, возглавлявший во время войны гидрографическую службу Черноморского флота, контр-адмирал А.В. Солодунов, а его заместителем по учебной части – капитан 1 ранга В.Д.Куликов.

В ВВМГУ было два факультета: гидрографический и инженерный. На первом готовили гидрографов и гидрометеорологов, а на втором – специалистов по средствам навигационного оборудования, штурманскому вооружению и радионавигации. Начальником первого факультета был капитан 1 ранга Л.Н.Горбунов, которого вскоре сменил капитан 1 ранга А.П.Витязев. Начальником второго факультета был назначен капитан 1 ранга П.П.Водолажский, а с 1953 г. - капитан 1 ранга О.П.Лукин-Лебедев. Срок обучения был установлен 5 лет и 10 месяцев.

Первый набор курсантов проводился по комсомольским путевкам в Воронежской, Тамбовской, Брянской, Ивановской, Рязанской и Липецкой областях. Только несколько человек было из Ленинграда и его пригородов. В это время военкоматы набирали призывников в основном в летные и танковые училища. Массового набора в военно-морские училища в "сухопутных" областях не было. Несмотря на это выпускник 1950 г. гидрографического факультета ВВМУ им.М.В.Фрунзе старший лейтенант А.Марков проявил завидное упорство при отборе призывников и сумел направить для поступления в ВВМГУ хорошо подготовленных абитуриентов. Непосредственно с флота были приняты в училище Г.Дегтярев, И.Жуков, В.Звонов, И.Кукулевский и Ю.Швец, которые сразу были назначены старшинами курсантских подразделений.

Все курсанты были сведены в две роты, номера которых соответствовали номерам факультетов. Командиром 1-ой роты сначала был капитан-лейтенант Б.Б.Дложевский, с 1953 г. - старший лейтенант Б.Г.Зюбровский, а с 1955 г. - капитан 2 ранга А.В.Филиппов. 2-ой ротой с самого начала и до выпуска командовал капитан-лейтенант А.В.Жиганов.

Первоначально училище находилось в Конюшенном корпусе дворцового ансамбля в г.Гатчине Ленинградской области. Условия жизни и учебы были далеки от идеальных. Обе роты (примерно 200 курсантов) размещались в одном помещении на 2-х ярусных койках. Отопить это помещение было невозможно. В классах печки дымили. Но курсанты были молоды, горели желанием стать военными моряками и просто не замечали этих неудобства.

В училище еще не было давних традиций, которые передавались бы от старших курсов к младшим. Традиции ВВМГУ только начинали зарождаться.

Преподавателями училища стали известные гидрографы и специалисты в области точных наук. Многие из них были участниками Великой Отечественной войны и оказывали большое влияние на воспитание будущих флотских офицеров. Добрым словом хочется отметить Е.А.Бобошина, П.Я.Бобрышева, Н.И.Боборыкина, И.М.Васильева, Ю.Ф.Веселова, С.Ф.Воеводина, А.В.Гагарина, М.Д.Голозубова, В.И.Зефирова, М.М.Казанского, Б.С.Нариманова, Н.Н.Настая, В.М.Никитина, Н.К.Сайкина, М.Н.Славнова, И.Г.Хановича и многих, многих других.

Первая встреча с флотом состоялась на практике, которая проходила в февралемарте 1953 г. на крейсерах "Орджоникидзе", "Максим Горький" и "Свердлов", базирующихся в Балтийске. Руководители практики предоставили курсантам возможность "свободного плавания". Будущие офицеры изучали вооружение и технические средства современных по тому времени кораблей, выполняли обязанности дублеров на боевых постах и даже вели прокладку, не имея к тому времени еще достаточных знаний по навигации.

Обе роты вернулись с практики в только что восстановленное левое крыло Павловского дворца. Дворец есть дворец. Здесь курсанты разместились в небольших кубриках на одноярусных койках. Начался второй семестр. Учеба в высшем учебном заведении стала привычным делом. Строевые занятия проходили на плацу, на котором когда-то проводил смотры Павел I. По инициативе начальника училища утром вместо физзарядки ходили по озерам на б-весельных ялах.

Требования к курсантам по успеваемости и дисциплине были достаточно высокими. За первый год обучения многие были отчислены за неуспеваемость. Отчислены были и те, кого не устраивали воинский порядок и строгая дисциплина.

25 октября 1953 г. был торжественный день вручения училищу знамени. По поручению командования ВМФ его вручал вице-адмирал Н.И.Виноградов.

Вторая практика проходила также зимой, в февралемарте 1954 г. на барке "Седов", который базировался в Либаве. Курсанты занимались навигацией, мореходной астрономией, учились управлять шлюпкой на веслах и под парусами, участвовали в аврале по погрузке на судно угля.

После третьего курса обе роты (а 1-я и после четвертого курса) проходили практику на учебном полигоне, расположенном на северном берегу Финского залива в районе поселка Приветненское. Здесь будущие гидрографы выполняли промер на буксире



Вручение знамени ВВМГУ.
Со знаменем контр-адмирал А.В.Солодунов,
в центре вице-адмирал Н.И.Виноградов и за ним
курсанты-знаменосцы
(слева направо) Г.Дегтярев, И.Кукулевский, М.Филюков.

"Мста" и шлюпках, занимались мензульной съемкой, геодезией, астрономией, сдавали на допуск к самостоятельному управлению гидрографическим катером. 2-ая рота после четвертого курса направлялась на приборостроительные предприятия, создающие навигационно-гидрографическую технику.

В 1954 г. контр-адмирала А.В.Солодунова сменил на посту начальника училища контр-адмирал Г.А.Коновалов. Курсанты отнеслись к этой замене с сожалением. В том же году училище было перебазировано в г.Пушкин и опять во дворец, только в Александровский. Он был менее пригоден для размещения. Приходилось резной паркет закрывать по всей площади брезентом. Колонны конференц-зала были защищены листами фанеры. Переход с левого крыла дворца на правое и наоборот осуществлялся только по подвальному помещению.

Благодаря усилиям командования, офицеров и служащих в короткие сроки учебные кабинеты были оснащены новой по тому времени техникой и в полной мере необходимы учебными пособиями. Было организовано и стало активно действовать научное общество курсантов. В начале апреля 1956 г. проходила первая научно-техническая конференция курсантов, которая вызвала интерес у специалистов центральных подразделений гидрографической службы.

В училище были созданы кружки художественной самодеятельности. Появились свои певцы (Ю.Быков, Ю.Голубев), танцоры (В.Вдовенко, В.Шукис), музыканты (А.Морозов, Ю.Компаниец, Б.Локтионов, В.Сиротин). Курсанты А.Морозов и Б.Лактионов сочинили песню "Земляки", которую узнала вся страна. Регулярно проходили вечера отдыха, которые пользовались успехом у молодежи не только г.Пушкина, но и учебных заведений г.Ленинграда.

Курсанты Е.Гамбург, С.Гонобоблев, И.Грибов, В.Мамонов, Е.Пахомов, В.Савицкий, В.Сарычев, В.Сиротин, А.Федотов и др. успешно защищали честь училища на спортивных соревнованиях. Выпускались ротные стенгазеты "Гидрограф", "Навигатор" и сатирическое приложение к ним "Прямой засечкой".

В этот период наряду с ВВМГУ подготовка военных гидрографов продолжалась на гидрографическом факультете ВВМУ им.М.В.Фрунзе, на который с 1952 г. новые наборы курсантов не проводились. В 1954 г. этот факультет перестал существовать; курсанты, закончившие к тому времени полный курс обучения, выпускались уже в г.Пушкине (но получили дипломы ВВМУ им.М.В.Фрунзе), а курсанты, перешедшие на 4-й курс, продолжили обучение на 1-ом факультете ВВМГУ по четырехгодичной программе. Летом 1955 г. состоялся выпуск курсантов, переведенных в 1954 г. из ВВМУ им.М.В.Фрунзе. Это был единственный выпуск военных гидрографов с дипломом ВВМГУ.

ВВМГУ дважды посещал Николай Герасимович Кузнецов. Во время первого посещения в ноябре 1954 г. курсанты и офицеры в течение двух часов стояли в строю под осенним морозящим дождем, ожидая его прибытия. Николай Герасимович по этому поводу сказал, что личный состав училища должен жить по распорядку дня вне зависимости от его визита, и предупредил начальника училища, что он это проверит в следующий раз. Слово свое сдержал и во время второго посещения в начале 1955 г. был доволен тем, что его визит пришелся на дневной час отдыха курсантов и он один только с курсантами-дежурными по факультетам обошел кубрики, побеседовал с дежурной службой.

Осенью 1956 г. ВВМГУ было расформировано. 1-ый факультет сразу перешел в г.Калининград, в Балтийское ВВМУ (БВВМУ), три старших курса 2-го факультета были направлены сначала в Ленинград в ВВМУ инженеров оружия, а затем объединены с гидрографическим факультетом БВВМУ. Младший курс 2-го факультета пополнил Черноморское ВВМУ им.П.С.Нахимова в Севастополе.

В БВВМУ 1956-1957-й учебный год был непродолжителен – один семестр и стажировка. Гибель линкора "Новороссийск" осенью 1955 г. заставила пересмотреть многие положения строительства и организации флота и, в частности, систему подготовки кадров. Возникла дискуссия о целесообразности подготовки офицеров-инженеров. Результат ее был категоричен: по всем специальностям в БВВМУ готовить

только офицеров-тактиков. Такое решение отразилось и на подготовке гидрографов – срок их учебы был сокращен примерно на полгода.

В то время особое внимание уделялось строевой подготовке. Переходы от учебного корпуса к спальному совершались только строем и обязательно под барабан. Был устроен даже государственный экзамен по этой дисциплине, который длился в каждом классе около 10 ч. Но все же разум восторжествовал, и оценка этого экзамена в диплом не вошла. Однако, справедливости ради, следует отметить, что именно в тот период будущих офицеров научили работать с личным составом, командовать и управлять строем, что многим пригодилось в дальнейшей службе на флоте.

В 1957 г. в г.Калининграде состоялся выпуск первого набора курсантов ВВМГУ. В июле стали офицерами 81 курсант 1-й роты, а в декабре - 94 курсанта 2-й роты. Золотые медали получили Н.Барбашин, Б.Иванов, И.Кукулевский и В.Сковородников, а дипломы с "отличием" Ю.Ананьев, Ф.Зеньков, Ю.Гребенщиков, Г.Дегтярев, Н.Меркушов и другие.

Выпускники 1-й роты распределялись по флотам по желанию и были назначены на должности военных гидрографов и гидрометеорологов, а несколько человек - штурманами гидрографических судов. При этом большинство пожелало служить на Северном и Тихоокеанском флотах.

Сложнее было с распределением выпускников 2-й роты. Некоторые из них не были назначены по своей узкой специальности и получили должности военных гидрографов. Больше половины выпускников было направлено на высшие специальные курсы подготовки корабельных и береговых офицеров радиотехнической службы в г.Гатчина. Но многие из них, хотя и с большими сложностями, вернулись в гидрографическую службу.

Подготовка военных гидрографов в БВВМУ продолжалась недолго и с 1960 г. возобновилась на штурманско-гидрографическом факультете в ВВМУ им.М.В.Фрунзе.

Практика показала нецелесообразность создания самостоятельного гидрографического училища и подготовки офицеров-гидрографов по узким специальностям. В то же время, идея подготовки военных инженеров по обслуживанию гидроштурманского вооружения кораблей представляется разумной. Неувязки с распределением выпускников 2-й роты можно объяснить отсутствием соответствующих оргштатных мероприятий, а также тем, что сложные навигационные комплексы и системы изучения Мирового океана поступили на флот значительно позже.

Воспитанники ВВМГУ пришли на флоты, когда были залечены многие раны, оставленные войной, кончилась послевоенная передышка и началось развитие ВМФ. Они внесли существенный вклад в навигационно-гидрографическое и гидрометеорологическое обеспечение боевой подготовки и повседневной деятельности флота и, в частности, послевоенного боевого траления. Многие из них принимали активное участие в изучении рельефа дна, геофизических и гидрометеорологических полей в морях и океанах, много труда вложили в совершенствование средств навигационного оборудования на морях страны. Многие из выпускников внесли свою лепту в создание и освоение новых средств навигации для атомных подводных лодок и новейших надводных кораблей, новых автоматизированных систем сбора, обработки и картографирования океанографической информации, а также новых современных океанографических и гидрографических судов, катеров и подводных аппаратов.

В 1970–1990 гг. многие воспитанники ВВМГУ, приобретя большой опыт службы, заняли ведущие должности во флотских и центральных подразделениях гидрографической службы. Заместителем начальника ГУНИО МО был В.Романов. Гидрографическую службу Каспийской флотилии, а затем Балтийского флота возглавлял Ю.Гребенщиков. Заместителями начальников гидрографических служб флотов были Б.Гусев (ЧФ) и Л.Ершов (БФ). Гидрографическими экспедициями командовали В.Баранов (СФ), Ф.Зеньков (ЧФ), А.Калугин (БФ). Гидрографические районы возглавляли В.Васильковский (ТОФ), В.Старцев (ЧФ). Командирами отдельных манотрядов гидрографической службы являлись Н.Квяткевич (ЛенВМБ), А.Кривобоков (СФ),

Е.Хлыстунов (ТОФ). Центральную картографическую фабрику ВМФ возглавлял Н.Марков.

Многие выпускники были командирами отрядов в гидрографических экспедициях, начальниками отделов в управлениях гидрографических служб и научно-исследовательских институтов, начальниками кафедр в учебных заведениях ВМФ, представителями гидрографической службы ВМФ в оборонных отраслях промышленности, Академии наук и международных организациях.

В настоящее время военная служба воспитанников ВВМГУ закончена. Однако многие из них не порывают связи с флотом и активно работают в различных подразделениях гидрографической службы ВМФ.

ГРНТИ 78.21.41

**НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОХОДА
АТОМНОЙ ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ "ЛЕНИНСКИЙ КОМСОМОЛ"
К СЕВЕРНОМУ ПОЛЮСУ В 1962 ГОДУ**

А.В. ФЕДОТОВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Излагаются воспоминания руководителя научной группы первого похода атомной подводной лодки "Ленинский Комсомо́л" к Северному полюсу. Приводятся результаты работы технических средств навигации того времени в приполюсном районе⁴.

В ходе подготовки к первому походу советской атомной подводной лодки (апл) к Северному полюсу Гидрографической службой ВМФ, Научно-исследовательским навигационно-гидрографическим институтом ВМФ и институтами промышленности были проанализированы особенности навигационного обеспечения подледного плавания в высоких широтах Арктического бассейна, разработаны рекомендации по дооборудованию пл необходимыми навигационными системами, проработаны вопросы картографического обеспечения, проверены возможности развертывания в районе кромки льда навигационной гидроакустической системы, подготовлены рекомендации по гидрометеорологическому обеспечению похода и разработана методика навигационно-гидрографического обеспечения подледного плавания в Арктическом бассейне.

Перед основным походом в 1960–1961 гг. были проведены четыре предварительных выхода пл в широты 76°5′ – 81°7′, в ходе которых:

1. Оценивалась работа систем курсоуказания на прямом курсе и на маневрировании в широтах 70, 75 и 80°. Проверялась работа гироазимутов при длительном плавании без коррекции от гирокомпасов.

2. Были получены сравнительные характеристики работы в высоких широтах серийных и экспериментальных чувствительных элементов (ЧЭ) гирокомпасов "Маяк" с частотой электропитания 330 и 500 Гц.

3. Проверялась работа автопрокладчиков в высоких широтах.

4. Отрабатывался перевод систем курсоуказания и автоматической прокладки в квазигеографическую систему координат.

5. Проверялась работа эхоледомеров и гидроакустических станций.

6. Отрабатывались всплытия в ледовых разводьях.

Предварительные походы в разное время и на различных пл способствовали более полному анализу работы систем и приборов навигационного комплекса.

⁴ На эту тему см. также журнал "Записки по гидрографии", 1997, №242, с.121-124. (Прим. ред.).

Особенности имевшихся в то время на вооружении систем курсоуказания, счисления и автоматической прокладки принципиально не позволяли обеспечить уверенное плавание в околополюсном районе в географической системе координат, как с точки зрения точности, так и удобства работы. Только благодаря применению квази-географической системы координат и карт поперечной проекции Меркатора стало возможным использовать в высоких широтах существующие системы счисления, курсоуказания и автоматической прокладки, упростилась работа личного состава, а также расширились возможности использования размагничивающего устройства. Однако квази-географическая система координат не сняла все трудности, связанные с обеспечением курсоуказания по гироазимутам в околополюсном районе. Поэтому в задании на поход в части курсоуказания предусматривалось:

- * проанализировать характер и точность работы системы курсоуказания на прямом курсе и при маневрировании в широтах 70-90°;
- * оценить работу гироазимутов при длительном плавании без коррекции от гирокомпасов;
- * определить максимальную широту, до которой возможно плавание по гирокомпасам типа "Маяк", и широту, до которой целесообразно определение скорости уходов гироазимутов по данным гирокомпасов;
- * установить точность работы магнитного компаса КМД в широтах 80-90°;
- * выработать рекомендации по использованию системы курсоуказания в высоких широтах.

При плавании в околополюсном районе особо важное значение приобретает оценка точности работы гирокомпасов с изменением широты. Чем выше широтный предел гирокомпасов, тем меньше времени возможно плавание по гироазимуту, а, следовательно, тем лучше будет точность плавания в Арктическом бассейне. Поэтому, как на предварительных, так и в основном походах анализу работы гирокомпасов уделялось пристальное внимание.

Вопрос о характере поведения ЧЭ гирокомпаса в высоких широтах, включая район полюса, давно уже привлекал внимание специалистов. Тот факт, что в высоких широтах происходит уменьшение направляющего момента ЧЭ, наводил на предположение, что погрешности гирокомпаса будут возрастать пропорционально этому уменьшению. Некогда считалось, что на полюсе гирокомпас вообще не будет работать. Позже было уточнено, что это справедливо только для самой точки полюса и только для неподвижного основания. В случае же движущегося основания составляющая угловой скорости вращения горизонта, вызванная движением основания относительно Земли, не обращается в нуль. В этом случае положение равновесия ЧЭ гирокомпаса оказывается совмещенным с вектором угловой скорости относительно движения основания, который повернут на 90° влево от направления движения, что соответствует значению скоростной поправки для широты 90°, где истинный курс одновременно равен нулю и 180°.

Предварительные проработки, сделанные в нашем институте, показали, что величина зоны нечувствительности при определенных условиях не будет возрастать с широтой. Хотя по ТУ допуск на прямом курсе с увеличением широты расширялся. Уточнить оставшуюся неопределенность в этом вопросе мог только эксперимент в натурных условиях.

Поэтому на предварительных и основном походах уделялось особое внимание исследованию работы гироазимутов без коррекции от гирокомпасов. При этом определялось влияние погрешностей гирокомпасов на точность выработанной коррекции гироазимутов. Уточнялась методика выработки коррекции гироазимутов на ходу пл и расчета ожидаемых погрешностей счисления.

Для оказания помощи личному составу в обслуживании установленных на пл новых технических средств навигации и для грамотного выполнения методических рекомендаций по использованию приборов курсоуказания и ведению навигационной прокладки в высоких широтах была сформирована научная группа из представителей институтов ВМФ и промышленности. В ее состав вошли: капитан 2 ранга А.В.Федотов

(руководитель группы), В.И.Маслевский (главный конструктор навигационного комплекса "Сила-Н"), капитан 3 ранга В.А.Монтелли, капитан-лейтенант Б.М.Шишкин, Н.П.Биденко, Р.В.Запатрин, А.С.Кузнецов, Б.К.Лукин, Л.В.Маличенко и др.

В результате анализа материалов похода были получены следующие данные.

В широтах 80–90° на прямом курсе и постоянной скорости случайные колебания гирокомпаса составили доли градуса. С увеличением широты более 80°, как правило, изменялись постоянные поправки гирокомпасов (от 0,2 до 2° на один градус широты). Существенного различия в точности курсоуказания на прямых курсах при работе с ЧЭ электропитания на 330 и 500 Гц не отмечалось, а при маневрировании ЧЭ на 500 Гц работали устойчивее.

В заключение отметим, что гирокомпасы могут использоваться при плавании постоянным курсом и скоростью до широты 88°30'.

Относительная скорость ухода всех гироазимутов со временем уменьшалась. Выявилась возможность, используя графики разности курсов нескольких гироазимутов и гирокомпасов, прогнозировать с достаточно высокой точностью ожидаемый уход гироазимутов. Впоследствии этот метод нашел широкое применение при испытаниях навигационных комплексов и проведении ракетных стрельб.

Магнитный компас КМД устойчиво работал до широты 90°. В какой-то мере полученные результаты были для нас неожиданными, так как из предварительного анализа факторов, влияющих на работу магнитных компасов в Арктике, следовало ожидать понижения точности и надежности выработки курса в околополюсном районе. существенных изменений в работе КМД замечено не было. При плавании от 80 до 90° северной широты показания КМД отличались от расчетного магнитного курса на 4–6°, что может объясняться неточным знанием магнитного склонения в этом районе.

Следует отметить, что в первом плавании пришлось довольно долго "ломать голову" над тем, чтобы отработать рекомендации по передаче магнитного курса в корабельное размагничивающее устройство при прокладке курса в квазигеографической системе координат. Такие рекомендации были выработаны и в походе проверены и уточнены.

Применение гидроакустических средств для обеспечения безопасности плавания подо льдом и всплывший в ледовых разводьях показало, что эхоледомеры ЭЛ-1 в летнее время с глубины 120 м по характеру записи позволяют уверенно различать чистую воду и лед, а это дает возможность тарировать их показания и достаточно надежно определять величину осадка льда. Выяснилось также, что осадку льда толщиной менее 0,5 м эхоледомеры ЭЛ-1 и ЭЛ-2 определяют ненадежно. Гидроакустические станции "Арктика-М" и "Плутоний" могли обеспечить безопасность подледного плавания (уклонение от препятствия) только на скоростях до 15 уз.

Впервые были получены данные о возможности наблюдения за ледовой обстановкой с помощью телевизионной аппаратуры. Как показал опыт, без подсветки она может быть использована только в светлое время суток на глубинах погружения до 80 м.

Нарезка карт-сеток поперечной проекции Меркатора и их качество нареканий не вызывали. Карты-сетки оказались удобными для ведения ручной и автоматической прокладки в квазигеографической системе координат в широтах 80–90°.

По маршруту перехода был осуществлен промер. Глубина в точке Северного полюса была определена в 4115 м. По данным американских подводников, глубины в этой точке составляли: 4087 м ("Наутилус" – 1958 г.); 4200 м ("Скейт" – 1958 г.). Сейчас на наших картах показана глубина 4220 м.

По всему маршруту подледного плавания были собраны данные по осадке подводной части льдов, наличию полыней и разводий. Нижняя поверхность льда характеризуется большим разнообразием торосов и в первом приближении может быть аппроксимирована рядом конических поверхностей. Ввиду малого количества полыней, в которых можно было бы производить всплывания и большой осадки торосов с крутыми склонами (до 45°), навигационная обстановка в районе пакового льда неблагоприятна. Предварительные и основные походы подтвердили имеющиеся данные по ледовой

обстановке в Арктическом бассейне и показали: максимальная осадка пакового льда достигает 26–28 м, средняя толщина льда составляет 2,5–3,5 м. Прозрачность воды Арктического бассейна в летнее время колебалась от 20 до 60 м, достигая наибольшего значения в приполюсных районах.

Создание научной группы из представителей научно-исследовательских институтов ВМФ и промышленности полностью себя оправдало. Был собран весьма ценный материал о работе навигационных приборов, по характеристикам ледового покрова, наличию полыней и разводий в широтах 80–90° и оказана существенная помощь личному составу пл в навигационном обеспечении ответственного похода.

Интересно вспомнить те рекомендации, которые были выработаны по результатам основного и предварительных походов пл в Арктический бассейн применительно к имеющимся в те годы техническим средствам навигации. Они оговаривали следующие положения.

1. В составе системы курсоуказания всеширотного навигационного комплекса целесообразно использовать не менее 3–4 гирокомпасов и 3–4 гироазимутов с аппаратурой совместной обработки их показаний.

2. Продолжить теоретические и экспериментальные исследования по выявлению причин изменения поправок гирокомпасов в широтах 80–89° и разработать методику учета соответствующих погрешностей.

3. При испытаниях на пл комплекса "Сигма" проверить стабильность работы гироазимутов на разных курсовых углах ЧЭ. Для повышения стабильности показаний гироазимутов "Сила-ГА" на разных курсовых углах и румбах ЧЭ необходимо провести специальные экспериментальные исследования.

4. Создать эхоледомеры, измеряющие толщину льда с глубин погружения 150–200 м. Для измерения толщины тонкого (менее 0,5 м) льда создать специальный прецизионный эхоледомер.

5. Для повышения эффективности использования эхоледомеров "ЭЛ-1" и "ЭЛ-2", измеряющих осадку льда по разности показаний гидростатического и эхолотового узла, необходимо дополнить их приставкой для определения наличия воды или льда. Приставка позволит вводить в показания эхоледомера поправку за счет изменяющихся гидрологических и гидрометеорологических факторов и тем самым уменьшит погрешности измерения осадки льда.

6. Для обеспечения безопасного подледного плавания создать специальную навигационную гидроакустическую станцию, обеспечивающую безопасность плавания подо льдом на всех скоростях пл.

7. Для обеспечения безопасности всплытия в ледовых разводьях в любое время года необходимо совершенствовать телевизионную аппаратуру и глубоководные светильники, устанавливая их таким образом, чтобы обеспечить одновременный обзор над всей пл и впереди по курсу.

8. Провести морские испытания приемной аппаратуры НГС в Арктическом бассейне и Гренландском море с целью уточнения дальности приема сигналов, оптимальной глубины погружения и скорости, а также точности определения места с помощью НГС.

Подводя итог, можно утверждать, что первый поход к Северному полюсу с научной точки зрения был чрезвычайно плодотворен и позволил открыть дорогу к последующим плаваниям наших подводных лодок в этом районе.



ABSTRACTS OF PUBLISHED ARTICLES

Makoda V.S. Some aspects of Technical Policy in the Field of Navigation and Oceanography. Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.9–11.

Some questions of technical policy in the field of navigation, hydrography and oceanography in the period of reforming the Russian Armed Forces are considered. The necessity to increase the importance of Gos. NINGI as the leading national organization responsible for the balanced development of means and methods of navigation, hydrography and oceanography in the interests of country's defence and economy is stressed.

Krasovsky V.S. Increasing the Effectiveness of Technical Support for Marine Aids to Navigation. Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.12–16.

The state and problem of technical support for modern marine aids to navigation, taking into account the limited financing of military development, are shown. The long-term ways as well as the ways feasible in the nearest future, which are aimed at improvement of their technical support system, based on the operational costs reduction are considered.

Vrubel E. Aviation-Climatic District Division of Central Europe. Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.16–20.

Original method of aviation-climatic district division of territories is suggested. Brief aviation-climatic characteristics of Central Europe obtained by this method is given.

Sazonov A.E., Boukanov I.P. Integral Estimation of Sea Position Finding Systems Accuracy of Those in Distress at Sea. Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.21–29.

Information approach to obtain evaluations (of the upper and the lower limits) of the average time of spotting those distressed at sea has been developed. For the special case of the fixed target search by a single search unit, the theorem which established the relationship between the average search time and the differential entropy of the probability density function of the searched object's location has been formulated and proved.

Reznichenko V.I., Yatsenko S.V., Zuyev V.F. Algorithm of Vessel's Speed Measurement by Satellite Navigation System Equipment under the Conditions of Ship's Oscillating Motions. Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.30–33.

Algorithm of marine vessel's speed measurement, using the satellite navigation systems under the conditions of oscillating motions and manoeuvring, is presented.

Reznichenko V.I., Brodsky P.G., Mazin A.L. On the Integrated Employment of Satellite Navigation Systems and Ship's Self-Contained Navigation Aids Measurements to Obtain the Course Data. Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.34–37.

Alternative ways of obtained the main ship's motion parameters by different integration variants of satellite navigation systems user equipment and self-contained navigation aids are considered. As applied to dynamically-supported ships, possible errors in determination of the course are obtained. The computation confirms the expedience of integrating the satellite and self-contained course indicator equipment.

Public S.M., Shashkov A.A. Determining the Ship's Attitude by Means of Medium-Altitude Satellite Radionavigation Systems, using the Data from Self-Contained Equipment. Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.38–42.

The method of determining the ship's attitude in the form of corrections to ship's self-contained navigation equipment data, using the medium-altitude satellite radionavigation systems GLONASS and NAVSTAR is presented. The advantages and disadvantages of such approach are analyzed.

Loboyko B.I., Nikitin O.V. Prediction of Ionospheric Corrections in Satellite Radionavigation Systems. Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.43–47.

The mechanism of ionosphere influence on the phase measurements quality and causes leading to errors due to ionosphere are analysed. The possibilities of different ways to compensate these errors are shown. Their advantages and disadvantages are considered.

Babkin V.I., Bidenko S.I., Fomin V.M. **New Atlas of the World Ocean.** Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.48–50.

The history of creation of Russian (Soviet) sea atlases is briefly outlined. The preparation process for the edition of the new atlas, "The World Ocean", is described.

Bakhmutsky V.G. **Monitoring the Registration Plenitude of Depths in the Automated Bottom Relief Survey.** Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.50–53.

The method of programmed monitoring of the gaps in the depths records on technical data carrier of automated hydrographic complex is suggested.

Gidasov D.D., Sheremet V.I., Maleyev P.I. **Magnetic Fields Topography of Magnetic Reference Marks Having Different Shapes and Length.** Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.54–58.

Design formulas and calculation results of the magnetic fields parameters distribution for magnetic bodies having different shapes and length are given.

Kougija V.A. **Calculation of Distances to Hydroacoustic Beacons under the Conditions of Vertical and Horizontal Aqueous Medium Inhomogeneity.** Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.59–64.

The acoustic beam geometry in inhomogeneous aqueous medium has been studied. Formulas for calculating the distances to hydroacoustic beacons using the measured travel time of sound signal have been obtained.

Artamonov L.V., Petrova I.M. **To possibilities of airelectromagnetic methods in hydrographic problems solving.** Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.65–69.

The results of investigation of vertical magnetic dipole field for two layer earth model are added. The technic for evaluation of depth and electrical conductivity of the layers is suggested. This technic bases on the analysis of frequency dependance of the vertical magnetic component on the earth parameters. In the solution of the inverted problem the least mean squares is used.

Zoubchenko E.S. **Calculation of Harmonic Tidal Constants.** Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.70–78.

Theoretical generalization of calculation methods of harmonic sea level oscillation constants as the methods of oscillation spectrum numerical filtration has been carried out. By reducing the partial sum of trigonometric interpolation multinomial to Dirichlet integral, the expression for frequency characteristics of numerical filter interrelating the Fourier harmonic amplitude and tidal harmonics has been obtained. The obtained relationships have been employed to calculate the harmonic constants, using the least mean squares and Gauss method in order to compile and solve the normal equations. The effectiveness of the proposed method has been checked using on-site measurements of the level heights at seas having different types and characteristics of tide. As far as restoration accuracy of the initial set of the level heights is concerned, the new method is not inferior to the existing ones; in some cases it is superior to them.

Mastryukov S.I., Shumakher D.A., Kildyushevsky Yu.I. **Electronic Atlas Layout of the Barents Sea Hydrometeorological Regime.** Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.79–84.

Brief characteristics of modern geographic information systems is given. Possibility of their employment in development of information-reference systems on hydrometeorological regime is evaluated. The electronic atlas layout of the Barents Sea containing more than 160 information layers is described. Its functional capabilities are considered.

Lavrenov I.V., Davidan I.N., Bokov V.N., Dymov V.I., Pasechnik T.A., Yakovleva N.P. **Estimation of Extreme Heights of Wind Waves in the Pechora Sea.** Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.85–93.

Estimations of wave heights with 20, 50 and 100 years return periods at the Pirazlomnoye oil field in the Pechora Sea is given. Complex approach based both on the analysis of ship observation data and computation on numerical model, using the synoptic information for long historical period is used. For the first time, continuous computations of the wind waves for the period of 35 years have been carried out. For this aim, atmospheric pressure fields for 24158 principal synoptic periods have been used, which allowed the most representative estimates of the wave elements to be obtained. In the computations an advanced version of spectral-parametric model was used, which underwent de-

tailed tests and verification, using the on-site observations. The most extreme situations were also computed using the recent version of the West model WAM. Comparison of the computation results on different models has shown their good agreement.

Kushnir V.M., Morozov A.N. **The Employment of Bottom Doppler Sonars to Monitor the Sea Environment Dynamics.** Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.94–101.

The possibilities of using the bottom doppler sonars to obtain the complex on-line data on the main parameters of the sea state, currents and near bottom boundary layer in the shallow-depth (up to 25 m) sea areas where Prirazlomnoe oil field located, are considered. The possibility of their employment – in principle – to obtain the data on sea level, speed and direction of the ice drift and ice thickness is also pointed out.

Levin I.M., Osadchy V.U. **Water Optical Characteristics in the South Part of the Baltic Sea.** Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.102–105.

The results of optical water characteristics measurements carried out during the cruise of the research sailing vessel "Oceania" (the Polish Academy of Sciences) are given. To measure the scattering coefficient, a new dipping photometer "Turbido" was used. Strong small-scale variability of the scattering coefficient has been detected.

Kondyurin V.D., Myatelkov V.O., Yushkov Y.V. **Relationship between the Relative Transparency and Index of Vertical Light Attenuation in the Water.** Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.105–107.

The relationship between the relative transparency and index of vertical light attenuation in the water, which does not depend on the water type in the water area, has been suggested. The relationship is recommended for practical application.

Neronov N.N. **The Hydrographic Department is 170 Years Old.** Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.109–111.

Historical review. The main stages of Russian hydrography development are described. Its most important achievements are pointed out.

Ivanov B.E., Merkushev N.S., Koryakin V.I. **On the History of the College of Naval Hydrographers.** Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.112–116.

The article contains the reminiscences of the first students of the Higher Naval Hydrographic College which functioned in 1952–1956.

Fedotov A.V. **Scientific Results of Navigation Support for the Cruise of the Submarine "Leninsky Komsomol" to the North Pole in 1962.** Navigation and Hydrography - 1997, №5. P.116–119.

Reminiscences of the head of the navigation support research group for the first cruise of the nuclear submarine "Leninsky Komsomol" to the North Pole are presented. Results of navigational aids operation in the nearpolar area are given.



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

АРТАМОНОВ ЛЕВ ВАСИЛЬЕВИЧ, ст. научный сотрудник отдела физики Земли НИИФ СПб ГУ, канд. геол.-минерал. наук. Окончил Ленинградский Горный институт (1954). Специализация – геофизика. Автор около 60 печатных трудов.

БАБКИН ВАЛЕРИЙ ИВАНОВИЧ, начальник отделения 280 ЦКП ВМФ, капитан I ранга (в запасе). Окончил ВВМУ им. М.В. Фрунзе (1970). Специализация – гидрография.

БАХМУТСКИЙ ВЛАДИМИР ГРИГОРЬЕВИЧ, ст. научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан I ранга (в отставке), к.т.н. Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе (1966) и ВСОК ВМФ (1973). Специализация – гидрография. Автор более 20 печатных трудов.

БИДЕНКО СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ, начальник отдела Центра дальней радионавигации, капитан II ранга. Окончил ВВМУРЭ им. А.С.Попова (1977). Автор около 15 печатных трудов.

БОКОВ ВИКТОР НИКОЛАЕВИЧ, начальник отдела ААНИИ. Окончил СПб Гидрометеорологический институт (ГМИ, 1981). Специализация – радионавигация. Автор около 30 печатных трудов.

БРОДСКИЙ ПАВЕЛ ГРИГОРЬЕВИЧ, главный научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан I ранга, к.в.н. Окончил Каспийское ВВМУ (1974), ВМА (1986). Специализация – штурман. Автор около 70 печатных трудов.

БУБЛИК СЕРГЕЙ МАТВЕЕВИЧ, нач. лаборатории Гос.НИНГИ, капитан II ранга, Окончил ВВМУ подводного плавания (1985). Специализация – навигация. Автор 12 печатных трудов.

БУКАНОВ ИВАН ПЕТРОВИЧ, доцент ГМА им.адм.С.О.Макарова, к. т. н. Окончил Ленинградское высшее инженерно-морское училище (ЛВИМУ) им.адм.С.О.Макарова (1982). Автор 40 печатных трудов.

ВРУБЕЛЬ ЕЖИ С. ФРАНЦИШКА, доктор-инженер Польской Высшей офицерской летной школы ВВС, подполковник. Окончил ВОЛШ ВВС (1976). Специализация – метеорология. Автор 45 печатных трудов.

ГИДАСПОВ ДМИТРИЙ ДМИТРИЕВИЧ, ведущий инженер АОЗТ “Криомаг”. Окончил Ленинградский политехнический институт (1961). Специализация – магнитные измерения. Автор 8 печатных трудов.

ДАВИДАН ИЗРАИЛЬ НАУМОВИЧ, зав. лабораторией СПО ГОИН, профессор, д.г.н. Специализация – океанология. Автор 170 печатных трудов.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

LEV V. ARTAMONOV, senior scientist SPb State University (SU), Research Institute of Physics (RIP), PhD. Graduated from Leningrad's Mountain Institute (1954). Specialty – geophysics. Author about 60 publications.

VALERY I. BABKIN, Naval Charts Division chief of section, 1-st rank captain (res.). Graduated from Frunze's High Naval School (FHNS, 1970). Specialty – hydrography.

VLADIMIR G. BAKHMUTSKY, Gos.NINGI senior scientist, 1-st rank captain (res.), PhD. Graduated from FHNS (1996), Naval High Officer Courses (NHOC, 1973). Specialty – hydrography. Author more than 20 publications.

SERGEI I. BIDENKO, Radionavigation Center chief of section, II-d rank captain. Graduated from Popov's High Radio-Electronic School (PHRES, 1977). Author about 15 publications.

VICTOR N. BOKOV, AARI chief of section, PhD. Graduated from SPb Hydrometeorological Institute (HMI, 1981). Specialty - radionavigation. Author about 30 publications.

PAVEL G. BRODSKY, Gos.NINGI chief scientist, 1-st rank captain, PhD. Graduated from Caspian High Naval School (CHNS, 1974), Naval Academy (NA, 1986). Specialty - navigation. Author about 70 publications.

SERGEI M. BUBLIK, Gos.NINGI laboratory chief, II-d rank captain. Graduated from High Naval Underwater Voyage School (1985). Specialty – navigation. Author 12 publications.

IVAN P. BUKANOV, Makarov's State Marine Academy (MSMA) assistant professor, PhD. Graduated from MSMA (1982). Author about 40 publications.

EGY S.F.VRUBEL, The Higher Air Force School (HAFS, Poland) lieutenant-colonel, ScD. Graduated from HAFS (1976). Specialty – meteorology. Author 45 publications.

DMITRY D. GIDASPOV, JSCo “Criomag” leading engineer. Graduated from Leningrad's Polytechnical Institute (1961). Specialty – metrology. Author 8 publications.

ISRAEL N. DAVIDAN, SPO GOIN laboratory chief, professor, ScD. Specialty – oceanology. Author 170 publications.

ДЫМОВ ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ, ст.научный сотрудник АА НИИ. Специализация – океанология. Автор 10 печатных трудов.

ЗУЕВ ВИКТОР ФЕДОРОВИЧ, начальник отдела 24-го НИИ ВМФ, капитан I ранга. Окончил ВВМУРЭ им.А.С.Попова(1975). Специализация – военная навигация. Автор 10 печатных трудов.

ИВАНОВ БОРИС ЕВГЕНЬЕВИЧ, главный научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан 1 ранга (в отставке), д.т.н., профессор, лауреат Государственной премии РФ, заслуженный деятель науки и техники. Окончил Балтийское ВВМУ (1957 г.) и ВМА (1969 г.). Специализация – морская геодезия, гравиметрия, гидрография, навигация. Автор более 180 печатных трудов.

КИЛЬДЮШЕВСКИЙ ЮРИЙ ИГОРЕВИЧ, научный сотрудник Гос.НИНГИ. Окончил СПб ГУ (1973). Специализация – океанология, геоинформатика. Автор 10 печатных трудов.

КОНДЮРИН ВИКТОР ДМИТРИЕВИЧ, научный сотрудник Гос.НИНГИ, подполковник (в отставке). Окончил ВИКА им. А.Ф.Можайского (1955). Специализация – аэрокосмические методы картографирования. Автор более 10 печатных трудов.

КОРЯКИН ВИТАЛИЙ ИВАНОВИЧ, редактор ЦКП ВМФ, капитан I ранга (в отставке). Окончил Балтийское ВВМУ (1957), ВМА (1964). Специализация – штурманское вооружение кораблей. Автор более 30 печатных трудов, в т.ч. 4 книг.

КОУГИЯ ВИЛИО АЛЕКСАНДРОВИЧ, зав.кафедрой Петерб. Гос. Университета Путей Сообщения (ПГУПС), д.т.н., профессор, капитан III ранга (в отставке). Окончил ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1950). Специализация – гидрография. Автор более 120 печатных трудов.

КРАСОВСКИЙ ВЛАДИМИР СЕРГЕЕВИЧ, зам.начальника отдела Гос.НИНГИ, капитан II ранга, к.т.н. Окончил ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1977), ВСОК ВМФ (1983). Специализация – надежность. Автор 28 печатных трудов.

ЛАВРЕНОВ ИГОРЬ ВИКТОРОВИЧ, зав. лабораторией АА НИИ, д.ф.-м.н. Специализация – океанология. Автор более 70 печатных трудов.

ЛЕВИН ИОСИФ МАРКОВИЧ, зав. лаборатории оптики атмосферы и океана СПб филиала института океанологии им. П.П.Ширшова РАН (СПб ФИО РАН), д.ф.-м.н. Окончил ЛИТМО (1960). Специализация – оптика атмосферы и океана. Автор 150 печатных трудов.

VLADIMIR I. DYMOV, AARI senior scientist. Specialty – oceanology. Author 10 publications.

VICTOR F. ZUEV, 24-th NRI chief of section, I-st rank captain. Graduated from PHRES (1975). Specialty – military navigation. Author 10 publications.

BORIS E. IVANOV, Gos.NINGI chief scientist, 1-st rank captain (ret.), ScD, professor, RF State Prize Winner, RF Honored Science and Technical Worker. Graduated from BHNS (1957), NA (1969). Specialty – marine geodesy, gravimetry, hydrography, navigation. Author more than 180 publications.

YURI I. KILDYUSHEVSKY, Gos.NINGI scientist. Graduated from SPb SU (1973). Specialty – oceanology, geoinformatica. Author 10 publications.

VICTOR D. KONDYURIN, Gos.NINGI scientist, lieutenant-colonel (ret.). Graduated from MMESA (1955). Specialty – airspace techniques of cartography. Author more than 10 publications.

VITALY I.KORYAKIN, editor Naval Cartography Production Centre, I-st rank captain (ret). Graduated from BHNS (1957), NA (1964). Specialty – navigation equipment. Author more than 30 publications, including 4 books.

VILIO A. KOUGIJA, Pb Means of Communication State University head of the chair, ScD, professor, III-d rank captain (ret). Graduated from FHNS (1950). Specialty – hydrography. Author more than 120 publications.

VLADIMIR S. KRASOVSKY, Gos.NINGI deputy chief of section, II-st rank captain, PhD. Graduated from FHNS (1977), NHOC (1983). Specialty –.availability. Author 28 publications.

IGOR V. LAVRENOV, AARI laboratory chief, ScD. Specialty – oceanology. Author more than 70 publications.

IOSIF M. LEVIN, Shirshov's Oceanology Institute (SPb Department) chief of laboratory, ScD. Graduated from Leningrad Institute of Precision Mechanic and Optics (LIPMO, 1960). Specialty – atmospheric and oceanic optics. Author 150 publications.

ЛОБОЙКО БОРИС ИВАНОВИЧ, с.н.с. Гос.НИНГИ, д.т.н., капитан I ранга (в запасе). Окончил ВВМУРЭ им. А.С.Попова (1968). Специализация – радиосвязь, навигация. Автор около 50 печатных трудов.

МАЗИН АНДРЕЙ ЛЬВОВИЧ, зам.начальника отдела Гос.НИНГИ, капитан II ранга. Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе (1977), ВСОК ВМФ (1988), ВМА им. адм. Н.Г.Кузнецова (1996). Специализация – штурманская.

МАКОДА ВИТАЛИЙ СЕРГЕЕВИЧ, начальник Гос.НИНГИ, контр-адмирал, к.т.н. Окончил ВВМУ им. М.В. Фрунзе (1967 г.), ВСОК (1972), ВМА (1979). Специализация – военно-морская навигация. Автор более 70 печатных трудов.

МАЛЕЕВ ПАВЕЛ ИВАНОВИЧ, с.н.с. Гос.НИНГИ, капитан I ранга (в отставке), к.ф.-м.н. Окончил СПб ГУ (1952). Специализация – технические средства навигации. Автор более 170 печатных трудов.

МАСТРЮКОВ СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ, начальник отдела Гос.НИНГИ, полковник, к.т.н. Окончил СПб ГМИ (1978). Специализация – океанология. Автор 10 печатных трудов.

МЕРКУШОВ НИКОЛАЙ СТЕПАНОВИЧ, старший научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан I ранга (в отставке), к.т.н. Окончил Балтийское ВВМУ (1957 г.) и Политехнический институт (1967 г.). Специализация – гидрография (1967) . Автор около 15 печатных трудов.

МЯТЕЛКОВ ВАДИМ ОЛЕГОВИЧ, начальник отдела Гос.НИНГИ, капитан II ранга, к.т.н. Окончил ВВМУ им.М.юВ.Фрунзе (1981). Специализация – гидрография. Автор 15 печатных трудов.

НЕРОНОВ НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ, главный научный сотрудник Гос.НИНГИ, президент СПб Гидрографического общества, капитан I ранга (в отставке), д.т.н., профессор. Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе (1950). Специализация – гидрография. Автор более 40 печатных трудов.

НИКИТИН ОЛЕГ ВИКТОРОВИЧ, научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан III ранга. Окончил ВВМУРЭ им. А.С.Попова (1988). Специализация – математическое обеспечение АСУ.

ОСАДЧИЙ ВЛАДИМИР ЮРЬЕВИЧ, ведущий научный сотрудник СПб ФИО РАН, к.ф.-м.н. Окончил СПб ГУ (1967). Специализация – оптика морской поверхности, дистанционные методы исследования океана. Автор 30 печатных трудов.

ПАСЕЧНИК ТАМАРА АНАНЬЕВНА, ст.научный сотрудник АА НИИ. Окончила СПб ГУ (1966). Специализация – матема-

BORIS I. LOBOIKO, Gos.NINGI chief scientist, ScD, I-st rank captain (res.). Graduated from PHRES (1968). Specialty – radiocommunication, navigation. Author about 50 publications.

ANDREY L. MAZIN, Gos.NINGI deputy chief of section, II-d rank captain. Graduated from FHNS (1977), NHOC (1988), NA (1996). Specialty –navigation.

VITALY S. MAKODA. Gos.NINGI Chief, rear-admiral, Ph.D. Graduated from FHNS (1967), NHOC (1972), NA (1979). Specialty – naval navigation. Author more than 70 publications.

PAVEL I. MALEYEV, senior scientist Gos.NINGI, PhD, I-st rank captain (ret.). Graduated from SPb SU (1952). Specialty – aids of navigation. Author more than 170 publications.

SERGEI I. MASTRYUKOV, Gos.NINGI chief of section, conel, PhD. Graduated from SPb HMI (1978). Specialty – oceanology. Author 10 publications.

NICOLAY S. MERKUSHOV, Gos. NINGI chief scientist, I-st rank captain (ret.), PhD. Graduated from BHNS (1957), Polytechnical Institute. Specialty – hydrography. Author about 15 publications.

VADIM O. MYATELKO, Gos.NINGI chief of section, PhD, II-d rank captain. Graduated from FHNS (1981). Specialty – hydrography. Author more than 15 publications.

NIKOLAI N. NERONOV, Gos.NINGI chief scientist, SPb Hydrographic Society President, I-st rank captain (ret.), ScD, professor. Graduated from FHNS (1950). Specialty – hydrography. Author more than 40 publications.

OLEG V. NIKITIN, Gos.NINGI scientist, III-d rank captain. Graduated from PHRES (1988). Specialty – software.

VLADIMIR Yu. OSADCHY, Shirshov's Oceanology Institute (SPb Department) leading scientist, PhD. Graduated from SPb SU (1967). Specialty – optics of the ocean. Author 30 publications.

TAMARA A. PASECHNIK, AARI senior scientist. Graduated from SPb SU (1966). Specialty – mathematics. Author 25 publica-

тика. Автор 25 печатных трудов.

ПЕТРОВА ИРИНА МИХАЙЛОВНА, аспирантка физфака СПб ГУ. Окончила СПб ГУ (1995).

РЕЗНИЧЕНКО ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ, ведущий научный сотрудник Гос.НИНГИ, д.т.н. Окончил ЛИТМО (1960). Специализация – военная навигация. Автор около 40 печатных трудов, в т.ч. 1 монографии (в соавторстве), и 10 свидетельств на изобретения.

САЗОНОВ АНАТОЛИЙ ЕФИМОВИЧ, зав.кафедрой ГМА им. адм.С.О.Макарова, член-корреспондент РАН, д.т.н. Окончил ВАМУ им. адм.С.О.Макарова (1952). Специализация – автоматизация судовождения. Автор более 100 печатных работ., в ч. 8 монографий.

ФЕДОТОВ АНАТОЛИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, старший научный сотрудник Гос.НИНГИ, контр-адмирал (в отставке), к.в.-м.н. Окончил Каспийское ВВМУ (1946), ВСОК (1949), ВМА (1955). Специализация – навигация. Автор более 40 печатных трудов.

ФОМИН ВЛАДИМИР МИХАЙЛОВИЧ, заместитель главного редактора Атласа Океанов ГУНиО МО РФ, капитан I ранга. Окончил ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1977). Специализация – гидрография.

ШАШКОВ АЛЕКСЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ, с.н.с. Гос.НИНГИ, капитан II ранга (в запасе). Окончил Каспийское ВВМУ (1970), ВМА (1978). Специализация – навигация.

ШЕРЕМЕТ ВИКТОР ИВАНОВИЧ, руководитель лаборатории измерений магнитных полей ВНИИМ им. Д.И.Менделеева. Окончил Харьковский ГУ (1960). Специализация – магнитные измерения, сверхпроводимость, криогенная техника.. Автор свыше 90 печатных трудов, в т.ч. 2 монографий.

ШУМАХЕР ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ, с.н.с. Гос.НИНГИ, к.т.н. Окончил ЛВМИУ им.адм.С.О.Макарова (1980). Специализация – океанология, геоинформатика. Автор 30 печатных трудов.

ЮШКОВ ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан III ранга. Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе (1984), ВСОК (1993). Специализация – гидрография.

ЯКОВЛЕВА НИНА ПАВЛОВНА, научный сотрудник АА НИИ. Окончила СПб ГМИ (1980). Специализация – океанология. Автор 10 научных трудов.

ЯЦЕНКО СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, нач. лаборатории Гос.НИНГИ МО РФ, капитан II ранга, к.т.н. Окончил ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1986). Специализация – навигация.

tions.

IRINA M. PETROVA, post-graduate student SPb SU. Graduated from SPb SU (1995).

VLADIMIR I. REZNICHENKO, Gos.NINGI leading scientist, ScD. Graduated from LIPMO (1960). Specialty – military navigation. Author about 40 publications, including one monograph (as co-author) and 10 inventions.

ANATOLY E. SAZONOV, MSMA chair chief, Corresponding Member of RAS, ScD. Graduated from MSMA (1952). Specialty – automation of navigation. Author about 100 publications, including 8 monographs.

ANATOLY V. FEDOTOV, Gos.NINGI senior scientist, rear-admiral (ret.), PhD. Graduated from CHNS (1946), HNOC (1949), NA (1955). Specialty – navigation. Author more than 40 publications.

VLADIMIR M. FOMIN, RF MoD Head Department Hydrographic Service of the Navy Atlas of the Oceans deputy editor-in-chief, 1st rank captain. Graduated from FHNS (1977). Specialty – hydrography.

ALEXEY A. SHASHKOV, Gos.NINGI senior scientist, II-d rank captain (res.). Graduated from CHNS (1970), NA (1978). Specialty – navigation.

VICTOR I. SHEREMET, Mendeleev's Research Institute of Metrology laboratory chief. Graduated from Kharkov SU. Specialty – magnetic measurements. Author more than 90 publications, including 2 monographs..

DMITRY A. SHUMAKHER, Gos.NINGI senior scientist, PhD. Graduated from MSMA (1980). Specialty – oceanology, geoinformatic. Author 30 publications.

YURY V.YUSHKOV, Gos.NINGI scientist, III-d rank captain. Graduated from FHNS (1984), HNOC (1993). Specialty – hydrography.

NINA P. YAKOVLEVA, AARI scientist. Graduated from SPb HMI (1980). Specialty – oceanology. Author 10 publications.

SERGEY V.YATSENKO, Gos.NINGI laboratory chief, II-d rank captain. Graduated from FHNS (1986). Specialty – navigation

ПАМЯТКА АВТОРУ

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ, НАПРАВЛЯЕМЫХ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ «НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ»

1. Объем статьи не должен превышать 8 стр., для статьи обзорно-аналитического характера - до 15 стр. 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.

4. Все рисунки или фотографии должны иметь порядковый номер, 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 6.0 for Windows**, а также других систем, для которых имеются стандартные конвертеры Word 6.0. При оформлении использовать только стандартные шрифты, поставляемые с системой Windows.

8. Для диаграмм и графиков предпочтительно использование **векторных форматов**, импортируемых в MS Word 6.0 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 а 1 экз. (дискета возвращается автору).

10. Материалы, отправляемые посредством электронной почты, направлять на адрес **E-mail: editor@navy.ru** в виде предварительно компрессированных архиваторами **ARJ**, или **PKZIP**, присоединенных к письму файлов, закодированных **UUENCODE**.

Адрес редакции: Россия, 199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41.

Телефон: (812) 217-97-60, Факс: (812) 217-33-19 (в рабочее время)

E-mail: editor@navy.ru

**Условия подписки на журнал
"Навигация и гидрография"**

Стоимость годовой подписки на 2 номера журнала – 40 руб.

Наши реквизиты: ИНН 7801020940 ПУ ЦБ РФ Набережное БИК
04408002 р/с 40502810500000000056, в/ч 62728 (Гос.НИНГИ МО РФ),
Санкт-Петербург, указав в квитанции об оплате – "За подписку
на журнал".

Навигация и гидрография, 1997, №5

Редакторы: А.И.Баранов, С.А.Рудас

Компьютерное оформление: В.И.Скалон

Подписано в печать 17.02.98.

Заказ № 265

Пер. №013267 от 26.01.95
Комитет РФ по печати

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