

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

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

ИЗДАЕТСЯ С 1995 ГОДА

**22
2006**

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санкт-Петербург

Главный редактор

д. т. н., проф. С. П. Алексеев

Редакционная коллегия:

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

Журнал «Навигация и гидрография» включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий, выпускаемых в Российской Федерации, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора наук.

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

2006

**THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC
INSTITUTE**

NAVIGATION AND HYDROGRAPHY

PUBLISHED SINCE 1995

**22
2006**

RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE

Saint-Petersburg

Editor-in-chief

S. P. Alekseyev, DSc, professor

Editorial board

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

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

2006

СОДЕРЖАНИЕ

С. П. Алексеев. ГНИНГИ МО РФ в решении задачи создания Комплексной системы безопасности освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа России в 2006 г. 9

НАВИГАЦИЯ

Ю. С. Дубинко, О. В. Никитин. Управляющий комплекс подвижных объектов на базе спутниковых навигационных приемников 16

П. И. Малеев, Б. М. Смирнов. К вопросу повышения точности определения местоположения морского подвижного объекта по магнитному реперу с известными координатами 21

В. В. Гаврилов, Г. К. Данилова. Оценка возможности решения навигационной задачи определения местоположения объекта по данным измерения радиальных скоростей и ускорений относительно среднеорбитных навигационных спутников 30

Б. И. Лобойко, В. Н. Баринов, В. С. Трегубов. Перспективы создания и использования европейским союзом спутниковой системы ГАЛИЛЕО 35

А. А. Беликов, В. В. Варламов, К. А. Смирнов, К. Н. Лебедев. Тренажерный комплекс «Регель» для подготовки штурманов ВМФ 44

А. А. Пылаев, Л. Г. Тамкун, В. С. Трегубов. К вопросу о методах расчета амплитуд и фаз электромагнитного поля в СВ диапазоне частот 49

Б. Е. Иванов. О достоверности оценки вероятности навигационной безопасности плавания по заданному маршруту 54

Б. Е. Иванов. Оценка вероятности нахождения места в круге при использовании распределения Лапласа 62

П. И. Малеев. Нетрадиционные взаимодействия в природе и возможности их использования в интересах навигации 67

ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

Э. С. Зубченко. Калибровка многолучевых эхолотов с использованием эталонных подводных объектов 78

А. Н. Добротворский, С. А. Дружевский, В. М. Кушнир
И. В. Лавренов. Математическое моделирование литодинамических процессов в мелководных районах Балтийского моря (Усть-Луга, бухта Портовая, бухта Грайфсвальд) 91

А. Н. Добротворский, С. А. Дружевский, И. В. Лавренов. Оценка параметров ледовой экзарации в северо-восточной части Финского залива по результатам математического моделирования	99
В. А. Рябченко, В. А. Горчаков, А. Ю. Дворников, Ю. М. Либерман, В. Н. Коноплев. Модельные оценки аномалий скорости течений и градиентов плотности в Баренцевом море	107
А. С. Сафрай, И. В. Ткаченко, С. М. Гордеева, М. Ю. Белевич. Моделирование сезонной изменчивости внутренних приливных волн в Баренцевом море	118
С. И. Мастрюков. Адвекция атлантических вод в море Лаптевых в 2003–2004 гг.	126
В. Н. Горшков. К вопросу расчета затрат на эксплуатацию океанографических необитаемых подводных аппаратов.....	134
Ю. Н. Жуков. Об оценке точности измерения угла между направлениями на опорный и определяемый пункты	134
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ОКЕАНОГРАФИЯ	
С. А. Дружевский, Г. И. Ильющенко, В. С. Аносов. К обоснованию тактико-технических требований к системе освещения гидрометеорологической обстановки на базе дрейфующих автономных гидрометеорологических станций	145
А. Е. Дроздов, В. И. Лапшин, В. Ю. Шаромов, А. А. Федоров. Состояние и перспективы развития корабельных гидрометеорологических станций в ВМФ России.....	154
А. А. Федоров, Н. И. Шадрин. Перспективы использования метода метеорологических измерений для оценки зон видимости радиолокационных станций	158
ИНФОРМАЦИЯ	163
ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ	170

CONTENTS

S. P. Alekseyev. Solving the Task of Creating the Complex Safety System for Exploration and Exploitation of the Oil and Gas Potential on the Continental Shelf of Russia in 2006 9

NAVIGATION

Y. S. Doubinko, O. V. Nikitin. The Control Complex of Movable Objects Based on Satellite Navigation Receivers..... 16

P. I. Maleyev, B. M. Smirnov. On Improvement of Positioning Accuracy for Marine Movable Object Using the Magnetic Reference Mark with Known Co-ordinates 21

V. V. Gavrilov, G. K. Danilova. Estimate of Possibility to Solve the Navigation Problem for Fixing the Position of an Object Using the Measurement Data of Radial Velocities and Accelerations by Medium-Altitude Navigation Satellites..... 30

B. I. Loboiko, V. N. Barinov, V. S. Tregubov. Prospects for Creation and Employment of Galileo Satellite System by the European Union..... 35

A. A. Belikov, V. V. Varlamov, K. N. Lebedev, K. A. Smirnov. Simulator for Training the Navigators of the Navy..... 44

A. A. Pylaev, L. G. Tamkun, V. S. Tregubov. On Methods of Calculation the Amplitudes and Phases of Electromagnetic Field in Medium Frequency Band 49

B. E. Ivanov. On Validity of the Probability Estimate of Navigation Safety Along the Set Route 54

B. E. Ivanov. The Estimate of Probability of Fixing the Position in a Circle, Using the Laplace Distribution 62

P. I. Maleyev. Unconventional Interactions in Nature and Possibilities of their Employment in Navigation 67

HYDROGRAPHY AND MARINE CARTOGRAPHY

E. S. Zoubchenko. Calibration of Multibeam Echosounders Using the Reference Underwater Objects 78

A. N. Dobrotvorsky, V. M. Kushnir, S. A. Druzhevsky I. V. Lavrenov. Mathematical Modelling of Lithodynamic Processes in the Shallow-Water Areas of the Baltic Sea (Ust-Luga, the Portovaya Bight, the Greifswald Bight) 91

A. N. Dobrotvorsky, S. A. Druzhevsky, I. V. Lavrenov. Estimate of Ice Exaration Parameters in the North-East Part of the Gulf of Finland Based on the Mathematical Modelling Results	99
V. A. Ryabchenko, V. A. Gorchakov, A. Y. Dvornikov, V. N. Konoplyev, Y. M. Liberman. Model Estimates of Anomalies for Velocity of Currents and Density Gradients in the Barents Sea	107
A. S. Safray, I. V. Tkachenko, S. M. Gordeyeva, M. Y. Belevich. Modelling the Seasonal Variability of Internal Tidal Waves in the Barents Sea	118
S. I. Mastryukov. Advection of the Atlantic Waters in the Laptev Sea in 2003-2004.....	126
V. N. Gorshkov. On Calculating of Expenditures for Operation of Oceanographic Unmanned Underwater Vehicles	134
Y. N. Zhukov On the Estimate of the Angle Measurement Accuracy between Directions at a Reference Point and the Point to be Determined.....	134
HYDROMETEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY	
S. A. Druzhevsky, V. S. Anosov, G. I. Ilyushchenko. On Substantiation of Tactical-Technical Requirements to the System of Hydrometeorological Situation Coverage Based on Drifting Autonomous Hydrometeorological Stations.....	145
A. E. Drozdov, V. I. Lapshin, A. A. Fedorov, V. Y. Sharomov. Status and Prospects of Development for Shipborne Hydrometeorological Stations in the Russian Navy.....	154
A. A. Fedorov, N. I. Shadrin. Prospects for Employment of Meteorological Measurements Method to Estimate the Radar Visibility Zones	158
INFORMATION	163
INFORMATION ABOUT AUTHORS	170

ГРНТИ 38.53.29

**ГНИНГИ МО РФ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ СОЗДАНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ
БЕЗОПАСНОСТИ ОСВОЕНИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО ПОТЕНЦИАЛА
КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА РОССИИ В 2006 г.**

С. П. АЛЕКСЕЕВ
(ГНИНГИ МО РФ)

В статье освещаются последние наиболее важные события, связанные с задачей обеспечения комплексной безопасности освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа Российской Федерации, а также участие ГНИНГИ МО РФ в ее решении.

В создании Комплексной системы безопасности (КСБ) освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа Российской Федерации, которое является масштабной задачей особой государственной значимости, головная роль отведена ГНИНГИ МО РФ. Поэтому темы, связанные с обеспечением КСБ регулярно освещаются на страницах нашего журнала [1–4, и др.]. Со времени последней публикации произошло несколько значительных, определяющих вопрос создания КСБ, событий: проведены заседания Морской коллегии и Временной комиссии Совета Федерации, утверждены плановые документы совместной деятельности ВМФ и ОАО «Газпром», определено место КСБ в Стратегии изучения и освоения нефтегазового потенциала шельфа России, разработаны документы, обеспечивающие снижение рисков от опасностей техногенного происхождения при строительстве морского участка Северо-Европейского газопровода.

Представляется целесообразным дать более полную информацию об этих важных событиях:

1. 18 октября 2005 г. проведено заседание «круглого стола» Временной комиссии Совета Федерации по национальной политике по вопросу законодательного обеспечения создания и деятельности морских буровых платформ и других сооружений, связанных с добычей углеводородного сырья. Были рассмотрены современные угрозы безопасности объектов обустройства морских нефтегазовых месторождений и предложения по совершенствованию их нормативных правовых основ.

В принятых по результатам заседания рекомендациях Совета Федерации отмечается:

1. Процессы, происходящие в рамках общего освоения континентального шельфа Мирового океана, выдвигают на передний план задачу обеспечения комплексной безопасности в области освоения морских минерально-сырьевых ресурсов.
2. Происходит усиление конкуренции за право использования тех или иных территорий шельфа на фоне ужесточения политики прибрежных стран в области освоения шельфа.

3. Реализация государственных решений в сфере обеспечения комплексной безопасности затруднена, так как в ней участвуют ведомства и организации с различными местными интересами. Отсутствует государственная система законодательного регулирования безопасности освоения шельфа.

4. В области военно-морской деятельности России недооценивается роль, место и возможности ВМФ для обеспечения освоения ресурсов Мирового океана.

Указанное положение ставит перед органами государственной власти задачу незамедлительной выработки системы практических мер, направленных на решение проблемы обеспечения безопасности.

В рекомендациях также указывается, что одновременно должны проводиться работы по совершенствованию нормативных правовых основ КСБ:

- документов, определяющих требуемые уровни безопасности реализации проектов шельфовых месторождений, условий их функционирования;
- процедур и нормативных документов, определяющих порядок участия компаний в создании региональных и объектовых КСБ;
- процедур и нормативных документов по взаимодействию государственных органов, организаций и общественности в интересах снижения рисков, обусловленных различными опасностями;
- специальных технических регламентов объектов обустройства морских нефтегазовых месторождений в соответствии с ФЗ «О техническом регулировании».

2. 28 октября 2005 г. состоялось заседание Морской коллегии при Правительстве Российской Федерации, на котором приняты важные решения по созданию КСБ.

Реализация принятых решений осуществляется Минобороны (ВМФ) в соответствии со специальным планом, предусматривающим участие Института в решении вопросов:

- подготовки предложений по нормативному правовому обеспечению безопасности;
- разработки программы создания ведомственной КСБ;
- подготовки предложений по организации межведомственной информационно-аналитической системы разведки, разработки, хранения и транспортировки углеводородного сырья, а также по созданию региональных центров мобильных сил, способных действовать на ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций;
- разработки стандартов и требований (технических регламентов) безопасности функционирования нефтегазовых комплексов и ряд др.

Исходя из позиции Минобороны, представленной на заседании Морской коллегии, создание КСБ должно осуществляться на основе дальнейшего

участия ВМФ с использованием части научно-технического потенциала и инфраструктуры флота.

Создание КСБ должно осуществляться по направлениям:

- применения единой государственной системы освещения надводной и подводной обстановки (ЕГСОНПО) в интересах КСБ;
- применения Военного контура единой системы информации о Мировом океане (ЕСИМО), в том числе Единого центра данных океанографических и гидрографических исследований Мирового океана МО РФ;
- совершенствования состава и способов применения сил ВМФ в интересах обеспечения защиты нефтегазовых комплексов от внешних угроз;
- навигационно-гидрографического обеспечения нефтегазодобычи;
- создания условий обеспечения безопасности объектов нефтегазодобычи и систем транспортировки углеводородов на основе участия организаций ВМФ в разработке соответствующих проектов и программ КСБ.

3. 24 ноября 2005 г. утвержден План совместной деятельности ОАО «Газпром» и ВМФ на 2006 г. в области освоения энергетических ресурсов шельфа Российской Федерации и повышения безопасности морских нефтегазовых объектов, предусматривающий одним из направлений деятельности создание комплексной системы обеспечения безопасности (в рамках проектов компании).

В основу практической реализации этого плана на 2006 г. может быть положена разработанная Программа создания КСБ морского участка СЕГ.

4. В декабре 2005 г. в разработанные Министерством природных ресурсов Российской Федерации «Стратегию изучения и освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа Российской Федерации» и Комплексный план действий по ее реализации включен самостоятельный раздел, предусматривающий создание КСБ.

Для обеспечения указанного раздела к настоящему времени Институтом разработаны концептуальные основы создания Комплексной системы безопасности.

В целом принятые решения определили реализацию целого ряда мероприятий различных министерств и ведомств.

5. Одним из наиболее значимых и достаточно емких практических мероприятий 2006 г. является участие ГНИНГИ МО РФ в проекте Северо-Европейского газопровода (СЕГ) в части подготовки к очистке трассы морского участка от опасностей техногенного происхождения (ОТП).

Как показали события конца 2005 г., среди проблем обеспечения энергетической безопасности стран мирового сообщества самостоятельное значение имеет задача обеспечения бесперебойной транспортировки углеводородов. В этом плане принципиальным является реализация строительства Северо-Европейского газопровода на Балтике.

Мировой опыт строительства таких сложных и технологически емких систем как морские трубопроводные системы, весьма ограничен. В этом отношении Северо-Европейский газопровод является уникальным.

Трасса СЕГ должна быть проложена по дну Балтийского моря, являвшегося ареной интенсивных и многочисленных военных конфликтов.

Создание такого уникального по масштабам и протяженности промышленного объекта как Северо-Европейский газопровод, связано с рисками, часть которых обусловлена наличием на морском участке трассы опасных техногенного происхождения (химическое оружие, взрывоопасные предметы, затопленные объекты).

Наличие этих рисков ведет к формированию настороженного отношения к проекту СЕГ ряда государственных органов и общественных организаций стран Балтийского региона в связи с ожиданием серьезных экологических ущербов в период строительства и эксплуатации СЕГ (в сфере здоровья населения примыкающих территорий, рыболовства, туризма, сохранения существующих морских экосистем и др.) вследствие возможного нарушения относительно стабильного состояния затопленного на акватории Балтийского моря оружия.

В связи с этим принципиально важным является строгое соблюдение требований международных и европейских нормативных документов, международных и региональных соглашений по защите морской природной среды Балтийского моря, а также требований стандартов DNV при производстве работ по подготовке морского участка трассы СЕГ.

Особенностью проекта является также то обстоятельство, что полоса трассы проектируемого газопровода пролегает в территориальном море и в исключительных экономических зонах нескольких государств.

С этих позиций определение и реализация процедур взаимодействия с международными органами, региональными организациями и национальными органами стран Балтийского региона по очистке трассы СЕГ от опасностей техногенного происхождения представляется весьма актуальной и необходимой.

Анализ международного опыта проведения подобных работ и требований международных стандартов и документов показал, что основополагающими документами (комплектами документов), минимально необходимыми для выполнения работ, являются следующие:

1. Программа работ по очистке трассы от ОТП, включающая оценку реальных рисков в полосе очистки, описание этапов выполняемых работ, необходимое обеспечение, используемые технические средства на всех этапах очистки, описание технологии и технологических операций, обоснование границ очищаемых участков, видов и типов объектов ОТП, подлежащих ликвидации или нейтрализации, обоснование объемов, временных рамок и требуемого ресурса для очистки полосы.

2. Комплект документов, обеспечивающих безопасность при выполнении работ, описание стандартных операционных процедур при действиях с ОТП, необходимые для выполнения работ методики и инструкции, алгоритм действий для принятия решения при обнаружении и идентификации ОТП и т. п., то есть те документы, которые могут быть отнесены к Регламенту выполняемых работ и являются приложением к Программе.
3. Комплект документов, определяющих процедуры и состав документов для международного и правового обеспечения реализации Программы. Необходимость разработки этого блока документов объясняется особенностью расположения трассы газопровода, о чем упомянуто выше.

Непосредственно за предшествующий период в плане работ по обеспечению безопасности морского участка трассы СЕГ от ОТП ГНИНГИ МО РФ были проведены:

- сбор исходных данных и разработка предварительных рекомендаций по снижению рисков от ОТП, 2005 г.;
- разработка Программы подготовки морского участка трассы СЕГ в части ОТП, 2005 г.;
- обоснование комплекса средств экологического мониторинга морского участка СЕГ в зонах затопления химического оружия и рекомендаций по минимизации негативного воздействия на природную среду, 2006 г.;
- обоснование нормативной базы Программы подготовки морского участка СЕГ с учетом требований документов международного и европейского уровней, законодательства стран Балтийского региона, 2005–2006 гг.

В результате выполненных работ были получены следующие основные результаты:

- база данных по опасностям техногенного происхождения – затопленное химическое оружие (ХО) и боевые отравляющие вещества (БОВ), взрывоопасные предметы (ВОП), крупные затонувшие объекты;
- рекомендации по снижению рисков, обусловленных ОТП;
- проект Программы подготовки морского участка трассы СЕГ в части ОТП с необходимым технико-технологическим обеспечением;
- предложения по совершенствованию нормативной базы подготовки морского участка трассы СЕГ в части ОТП и реализации соответствующих административных разрешительных процедур.

При разработке уточненного варианта Программы были учтены и уточнены следующие основные факторы:

- задачи по обеспечению безопасности;
- параметры трубопроводной системы;
- технология укладки трубопровода и состав сил и средств строительства.

Исходя из вышеперечисленных факторов была доработана технология и уточнен комплекс мероприятий по снижению рисков от каждого вида опасностей. Представленная в Программе методическая база должна являться основой для разработки нормативных документов, Регламента выполнения работ и мероприятий по обеспечению безопасности работ по очистке трассы.

Кроме того, в рамках программных мероприятий предусмотрено решение дополнительной задачи – обеспечения безопасности геолого-инженерных изысканий, предшествующих строительству и укладке газопровода. В связи с этим разработан дополнительно большой комплекс мероприятий, значительную часть которых составляют меры по обеспечению безопасности от ХО и ОВ. Разработанные мероприятия основаны на системном подходе и предусматривают сбалансированное использование сил очистки трассы, обеспечивающих систем и ресурсного обеспечения.

Выполнение всего комплекса работ по очистке трассы и обеспечению инженерно-геологических изысканий предусматривается в исключительно сжатые директивно установленные сроки, что требует оптимизации планирования и высокой организации управления работами по Программе.

В порядке первоочередных мер по созданию правового поля для предстоящей работы по Программе ... представляется целесообразным:

1. Создать Международный Координационный Центр (МКЦ) в целях разработки и согласования специальной нормативно-правовой базы по очистке от ВОП и ХО морских участков трассы СЕГ в акваториях прибрежных государств, а также для взаимодействия с компетентными органами стран-участниц проекта. При создании МКЦ исходить из рекомендаций сухопутного Стандарта ООН IMAS, прецедентной практики создания корпоративного морского Стандарта SEMAS (разработчик «Sakhalin Energy») и специфики проекта СЕГ;
2. Разработать для проекта СЕГ специальный Регламент (аналог Стандарта) действий при обнаружении ВОП и ХО на морских участках трассы, именуемый NEPMAR (North European Pipeline Mine Action Regulations). В основе NEPMAR должны лежать усовершенствованные принципы и методология стандартов ООН (IMAS, IMCA), нормы международного права по морям и морскому дну, требования международных конвенций и национальных законодательств стран-участниц проекта;
3. Провести экспертную оценку и согласование Регламента NEPMAR, Программы работ и процедурных вопросов обращения ОТП в Национальные органы по ВОП и ХО стран-участниц проекта СЕГ.

Как следует из представленных материалов, решение по созданию КСБ не только принято, но и реализуется. В области практических работ основной задачей в 2006 г. является обеспечение подготовки к очистке трассы СЕГ от ОТП – одной из составных частей КСБ освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев С. П. Актуальные проблемы повышения эффективности процессов освоения и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений // Навигация и гидрография. – 2003. – № 16. – С. 8–15.
2. Алексеев С. П., Добротворский А. Н., Бродский П. Г. Военно-морской флот и освоение энергетических ресурсов Мирового океана: на пути реализации положений морской доктрины России // Навигация и гидрография – 2003. – № 17. С. 9–14.
3. Добротворский А. Н., Малеев П. И., Хребтов А. А. Перспективы создания автоматизированных навигационно-магнитометрических систем морского мониторинга нефтегазовых трубопроводов // Навигация и гидрография – 2005. – № 20–21. С. 39–47.
4. Алексеев С. П. О реализации национальной морской политики и обеспечении комплексной безопасности освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа России // Навигация и гидрография – 2005. № 20–21. С. 9–17.

GNINGI, RF MoD Solving the Task of Creating the Complex Safety System for Exploration and Exploitation of the Oil and Gas Potential on the Continental Shelf of Russia in 2006

S. P. ALEKSEYEV
(GNINGI, RF MOD)

The recent most important events connected with the task of provision of complex safety for exploration and exploitation of the oil and gas potential on the continental shelf of Russia and participation of GNINGI, RF MoD in its solution are covered.

НАВИГАЦИЯ

ГРНТИ 78.25.31

УПРАВЛЯЮЩИЙ КОМПЛЕКС ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ ПРИЕМНИКОВ

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

В статье рассматривается схема построения управляющего комплекса подвижных объектов на базе навигационной аппаратуры потребителей спутниковых навигационных систем. Показано, что для управления любым подвижным объектом путем удержания его на линии заданного пути вполне достаточно информации от обычного спутникового навигационного приемника.

Навигационное обеспечение подвижных объектов необходимо для решения целого ряда задач, требования которых различны и зависят как от типа объекта, так и от условий, в которых они решаются. Общие требования к навигационному обеспечению различных объектов определяются соответствующими национальными и международными организациями. Необходимо отметить, что требования к навигационному обеспечению не абсолютны, непрерывно происходит процесс их коррекции и уточнения, в том числе и с целью обеспечения навигационной безопасности. В последние годы Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) и Международной морской организацией (ИМО) предписан переход к автоматическому управлению воздушными и морскими судами путем удержания их на заданной траектории (заданной линии пути).

Традиционные системы автоматического управления (автопилоты, авторулевые и т. п.) удерживают соответствующие объекты в горизонтальной плоскости путем стабилизации их на заданном курсе, а для удержания на заданной линии пути требуется периодическая (эпизодическая) коррекция курса [1].

Для формирования поправок к курсу, учитывающих влияние внешней среды (ветер, морские течения и т. п.) в работе [1], помимо навигационной аппаратуры потребителей (НАП) спутниковых навигационных систем (СНС), предлагается дополнительно использовать датчик угловой скорости рысканья. В действительности же информации, полученной от НАП СНС вполне достаточно для удержания любого объекта на заданной траектории, поскольку аппаратура непрерывно определяет истинное положение объекта в пространстве и его перемещение.

Любая НАП (со своим темпом обновления решений) формирует три проекции вектора истинной скорости \dot{V} объекта (северную \tilde{V}_N , восточную \tilde{V}_E

и вертикальную \tilde{V}_H). Из этих проекций легко вычислить углы ориентации вектора скорости объекта:

- путевой угол (в горизонтальной плоскости)

$$\text{ПУ} = \arctg \frac{\tilde{V}_E}{\tilde{V}_N}, \quad (1)$$

- угол тангажа (в вертикальной плоскости)

$$\nu = \arctg \frac{\tilde{V}_N}{|V|}. \quad (2)$$

Другими словами, удержание объекта на заданной траектории требует стабилизации его не по курсу, а по путевому углу. Однако при скорости, равной нулю (судно на стопе, вертолет в режиме зависания), путевого угла не существует. Невозможно также определить угол тангажа по формуле (2) используя только данные НАП. Это приводит к тому, что при $|V| = 0$ непонятно, в какую сторону повернуть руль, чтобы в кратчайшее время начать движение в заданном направлении.

Для преодоления этой неопределенности в момент инициализации автоматического управления достаточно дополнить НАП простейшим и достаточно грубым датчиком угловой ориентации объекта (например, по магнитному полю Земли с помощью трехосного феррозонда).

Для решения рассматриваемой задачи в наибольшей степени подходит широко известный пропорционально-интегро-дифференцирующий регулятор (ПИД-регулятор), где управляющий сигнал U формируется как взвешенная сумма трех слагаемых, пропорциональных:

- первое – отклонению от заданной траектории;
- второе – интегралу от этого отклонения;
- третье – производной отклонения от заданной траектории.

$$U = k_1 \Delta X(t) + k_2 \int \Delta X dt + k_3 \Delta \dot{X}(t), \quad (3)$$

где k_1, k_2, k_3 – коэффициенты, определяемые динамическими свойствами объекта.

Первое слагаемое осуществляет пропорциональное управление, второе – ликвидирует смещение от заданной траектории, а третье – демпфирует замкнутый через объект контур по скорости.

Такой ПИД-регулятор обеспечивает в процессе управления минимальное среднеквадратическое отклонение от заданной траектории. Динамика переходных процессов в таком контуре (характер и качество регулирования) полностью определяется соотношением коэффициентов $k_i = 1, 2, 3$.

Значения этих коэффициентов и их соотношения определяются динамическими свойствами объекта управления (его массой, моментами инерции реакцией на отклонение рулей). В реальном ПИД-регуляторе должна быть предусмотрена возможность изменения этих коэффициентов как для разных типов объектов, так и в процессе работы на каждом объекте для подстройки (адаптации) к внешним воздействиям.

Следует отметить, что традиционная структура навигационно-управляющих комплексов (НУК) предполагает совместную обработку информации ИНС (БИНС) и НАП. Здесь НАП обеспечивает не только коррекцию накапливаемых ИНС ошибок, но и позволяет при комплексной обработке информации (КОИ) ИНС и НАП уточнить параметры модели ошибок инерциальных чувствительных элементов (ЧЭ) – гироскопов и акселерометров. Такая коррекция нужна тем чаще, чем ниже качество применяемых в ИНС ЧЭ.

В настоящее время ряд ведущих фирм, разрабатывающих системы навигации и автоматического управления движением, используют в качестве инерциальных навигационных систем БИНС на базе микромеханических ЧЭ. Очень низкие точности микромеханических ЧЭ и БИНС на их основе парируются практически непрерывной (с темпом несколько раз в минуту) коррекцией от НАП. При этом даже грубая БИНС способна с высокой точностью поддерживать направление вертикали (плоскости горизонта) и сглаживать шумы оценок навигационных параметров от НАП.

В свою очередь НАП получает возможность исключения динамических ошибок при одновременном сужении полос пропускания следящих контуров для повышения ее помехоустойчивости (« на 20–30 дБ в зависимости от уровня комплексирования). Тем не менее основные недостатки такого навигационно-измерительного комплекса остаются и обусловлены они низким качеством дешевых в массовом производстве микромеханических ЧЭ. Это, прежде всего, большая размерность вектора оцениваемых параметров (до 40 и более, включая параметры моделей ошибок ЧЭ), что требует предельно высокой производительности процессора для КОИ. Но главный недостаток – малое время хранения выработанных в комплексе навигационных параметров и высокая скорость нарастания их ошибок после пропадания сигналов спутниковой коррекции. Это время сейчас оценивается единицами – первыми десятками секунд.

Причинами пропадания спутниковой коррекции могут быть затенения антенны НАП местными сооружениями либо воздействия помех. В настоящее время интенсивно ведутся работы по снижению вероятности срыва коррекции. Это повышение помехоустойчивости НАП, а также защита его от помех с помощью направленных свойств антенной системы и использования различий в поляризации полезных сигналов и помех. Здесь можно добиться дополнительного подавления помех на 30–50 дБ.

Другим направлением снижения вероятности срыва коррекции является использование информационной избыточности в НАП для решения навигационной задачи [2] или коррекции ИНС [3] при недостаточном количестве рабочих спутников. Тем не менее такая вероятность существует и не считается с ней в системах автоматического управления движением нельзя.

Функцию хранения выработанного направления вектора путевой скорости может выполнять специальный элемент пространственной памяти направления (ЭППН). В силу того, что применение ЭППН вместо БИНС практически строго допускает декомпозицию каналов горизонтального и вертикального управления, целесообразно измерения отклонений в горизонтальной и вертикальной плоскостях обрабатывать совместно с текущей информацией НАП. Причем в этом случае требования к производительности процессора для комплексной обработки информации (сглаживание оценок систематических ошибок в двух каналах) минимальны. В связи с тем, что современные НАП имеют запас производительности навигационного процессора, в данном случае комплексную обработку информации и выработку сигналов управления можно возложить на их процессоры.

Кроме того, для полной системы автоматического управления движением необходим еще контур стабилизации скорости, который может функционировать практически независимо от каналов горизонтального и вертикального управления, но также по данным НАП.

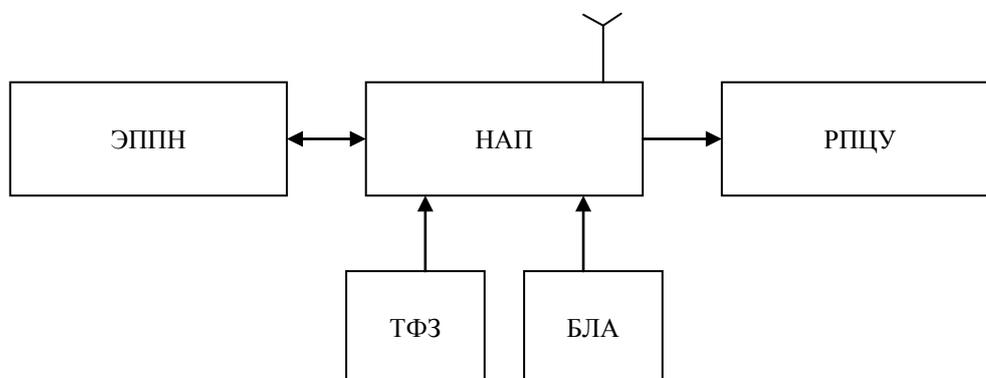
Таким образом, отказ от использования ИНС (БИНС) в составе НУК приводит к потере возможности выработки местной вертикали (горизонта) и стабилизации летательных аппаратов по крену. Кроме того, стабилизация по крену необходима для разделения горизонтального и вертикального каналов управления, а также для удержания диаграммы направленности антенны НАП в верхней полусфере.

Для восстановления этой возможности предлагается способ построения и устройство невозмущаемой безгироскопной гравитационно-спутниковой вертикали. Идея его состоит в том, что на неподвижном основании двухосный физический маятник или два линейных акселерометра с горизонтальным расположением взаимноортогональных осей чувствительности весьма точно покажут направление местной вертикали. Подвижный объект возмущает эту вертикаль своими линейными ускорениями. Это ускорение с высокой точностью определяется в НАП и используется для коррекции возмущений акселерометров. На данный способ получен патент РФ [4].

В нашем случае достаточно выработать угол крена. Для этого необходим всего один линейный акселерометр, ориентированный по поперечной оси объекта. Линейные ускорения фазового центра антенны могут быть получены расширением вектора оцениваемых параметров в НАП или численным дифференцированием соответствующих скоростей. При значительном удалении антенны от акселерометра, ускорения могут быть пересчитаны с

использованием данных грубой ориентации объекта от комплекса «НАП + трехосный феррозонд». Полученными оценками возмущаемых ускорений корректируют измеренное ускорение и вычисляют угол крена.

С учетом вышеизложенного управляющий комплекс (без БИНС) может быть построен в соответствии со структурной схемой, приведенной на рисунке.



Структурная схема управляющего комплекса: РПЦУ – рулевые приводы с цифровым управлением; ТФЗ – трехосный феррозонд; БЛА – блок линейных акселерометров

Применительно к конкретным типам объектов данная структурная схема избыточна, так как блок линейных акселерометров (два линейных акселерометра с ортогональными осями чувствительности в плоскости OXY связанной системы координат) необходим лишь для летательных аппаратов, – это канал стабилизации по крену и непосредственного измерения угла атаки, который определяет ограничения на управление движением центра масс в вертикальной плоскости. Если достаточно стабилизации по крену, то вместо блока линейных акселерометров можно использовать один линейный акселерометр с осью чувствительности в направлении оси OY связанной системы координат. Для обеспечения точности ориентации по крену в пределах $0,1^\circ$ этот акселерометр может быть микромеханическим.

Трехосный феррозонд (или магнитометр на базе магниторезисторов) избыточен также и для летательных аппаратов. Но наличие его позволяет организовать резервные каналы менее точного управления (в случае пропадания спутниковых сигналов). Для морских объектов вместо трехосного феррозонда можно использовать магнитный компас (одноосный).

В качестве ЭППН могут быть использованы сферические или волоконнооптические гироскопы с дрейфом 10^{-3} град/сек. От ЭППН можно образовать обратные связи к доплеровскому каналу НАП для повышения его помехоустойчивости как минимум на 10–15 дБ.

Таким образом, на базе НАП СНС может быть создан простой вариант системы пространственного управления подвижных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитриев С. П., Пелевин А. Б. Задачи навигации и управления при стабилизации судна на траектории. – СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2002. – 160 с.
2. Дубинко Ю. С., Данилова Г. К., Лапшина В. И., Никитин О. В. Использование избыточности совместных кодовых и фазовых измерений для более полного извлечения навигационной информации (решение задачи при числе видимых спутников менее четырех) // Навигация и гидрография. – 2003. – № 17. – С. 68–78.
3. Шебшаевич Б. В., Катенин В. А., Резниченко В. И. Реализация информационных возможностей СНС ГЛОНАСС в условиях сокращенной орбитальной группировки космических аппаратов // Морская радиоэлектроника. – 2003. – № 4. – С. 134.
4. Дубинко Ю. С., Бондаренко О. В. Способ и устройство построения невозмущаемой безгироскопной спутниковой вертикали. Патент RU 2258907 62 G01C19/44.

The Control Complex of Movable Objects Based on Satellite Navigation Receivers

Y. S. DOUBINKO («Navis» Design Bureau),
O. V. NIKITIN (GNINGI, RF MoD)

The scheme of the control complex for movable objects based on the navigation equipment of the satellite navigation systems is considered. It is shown that in order to control any moveable object by keeping it on the set trajectory, it is quite sufficient to have the information from a standard satellite navigation receiver.

ГРНТИ 78.21.37.17

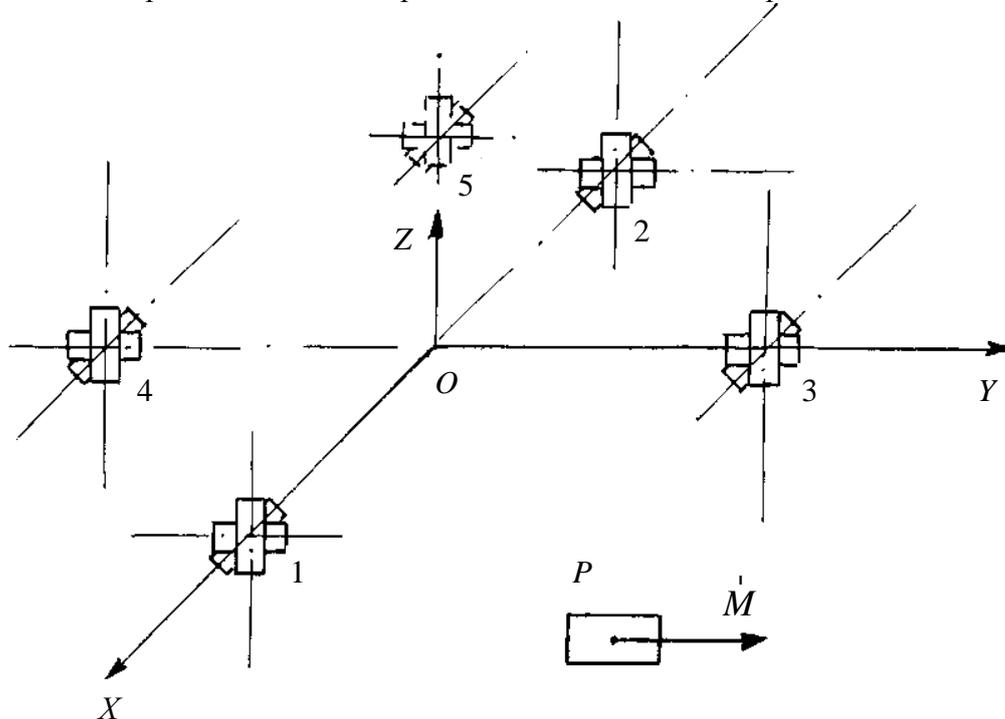
**К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ
МОРСКОГО ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА ПО МАГНИТНОМУ РЕПЕРУ С ИЗВЕСТНЫМИ
КООРДИНАТАМИ**

П. И. МАЛЕЕВ (ГНИНГИ МО РФ),
Б. М. СМЕРНОВ (АОЗТ «КРИОМАГ»)

В статье рассмотрено решение задачи определения местоположения морского подвижного объекта относительно источника магнитного поля с известными координатами с помощью трехкомпонентных магниточувствительных датчиков.

В развитие ранее предложенного нами способа определения местоположения подвижного объекта по магнитному реперу с известными координатами [1] рассмотрено новое, более точное решение задачи. Описанный ранее способ обеспечивает определение координат объекта по источнику магнитного поля только при наличии относительно точных данных о проекциях вектора индукции магнитного поля на оси магниточувствительного датчика. В отличие от него способ, рассматриваемый ниже, позволяет решить задачу определения местоположения объекта как при наличии, так и при отсутствии сведений о проекциях вектора индукции магнитного поля и однородных промышленных магнитных помех на оси магниточувствительных датчиков, размещенных на подвижном объекте.

Для решения этой задачи четыре (или пять) трехкомпонентных магниточувствительных датчиков размещают на объекте (см. рисунок) на одинаковом расстоянии от выбранной точки – начала координат.



Размещение трехкомпонентных магнитометрических датчиков 1–5 и источника магнитного поля P с магнитным моментом M

Датчики 1 и 2 размещаются по оси OX , датчики 3 и 4 по оси OY . Оси датчиков 1 и 4 должны быть выставлены таким образом, чтобы они были коллинеарны соответствующим осям системы координат $OXYZ$. В противном случае должно быть известно угловое положение датчиков 1 и 4 в выбранной системе координат $OXYZ$ для определения проекций векторов магнитной индукции измеренных каждым из датчиков 1–4 на оси системы координат $OXYZ$. В случае, когда оси датчиков 1–4 коллинеарны соответствующим осям системы координат $OXYZ$, определяют приближенные значения пространственных производных, характеризующих тензор второго ранга вектора магнитной индукции, из следующих выражений:

$$\frac{\partial B_{x12}}{\partial x} \gg \frac{B_{x1} - B_{x2}}{a_1 - a_2}; \quad \frac{\partial B_{y12}}{\partial x} \gg \frac{B_{y1} - B_{y2}}{a_1 - a_2};$$

$$\frac{\partial B_{z12}}{\partial x} \gg \frac{B_{z1} - B_{z2}}{a_1 - a_2}; \quad \frac{\partial B_{x34}}{\partial y} \gg \frac{B_{x3} - B_{x4}}{b_3 - b_4};$$

$$\frac{\nabla B_{y34}}{\nabla y} \approx \frac{B_{y3} - B_{y4}}{b_3 - b_4}; \quad \frac{\nabla B_{z34}}{\nabla y} \approx \frac{B_{z3} - B_{z4}}{b_3 - b_4},$$

где $B_1\{B_{x1} + B_{x0}, B_{y1} + B_{y0}, B_{z1} + B_{z0}\}$ – вектор магнитной индукции в системе координат $OXYZ$, измеренный в месте размещения датчика 1; $B_2\{B_{x2} + B_{x0}, B_{y2} + B_{y0}, B_{z2} + B_{z0}\}$ – вектор магнитной индукции в системе координат $OXYZ$, измеренный в месте размещения датчика 2; $B_3\{B_{x3} + B_{x0}, B_{y3} + B_{y0}, B_{z3} + B_{z0}\}$ – вектор магнитной индукции в системе координат $OXYZ$, измеренный в месте размещения датчика 3; $B_4\{B_{x4} + B_{x0}, B_{y4} + B_{y0}, B_{z4} + B_{z0}\}$ – вектор магнитной индукции в системе координат $OXYZ$, измеренный в месте размещения датчика 4; 1 $(a_1, 0, 0)$, 2 $(a_2, 0, 0)$, 3 $(0, b_3, 0)$, 4 $(0, b_4, 0)$ – координаты датчиков 1–4 в системе координат $OXYZ$; $a_1 = -a_2$; $b_3 = -b_4$; (B_{x1}, B_{y1}, B_{z1}) ; (B_{x2}, B_{y2}, B_{z2}) ; (B_{x3}, B_{y3}, B_{z3}) ; (B_{x4}, B_{y4}, B_{z4}) – проекции векторов магнитной индукции, созданные магнитным репером в соответствующих местах размещения датчиков 1–4; B_{x0}, B_{y0}, B_{z0} – проекции вектора индукции геомагнитного поля на оси системы координат $OXYZ$.

Приняв $\nabla B_{x12}/\nabla x = \nabla B_x/\nabla x$, $\nabla B_{y12}/\nabla x = \nabla B_y/\nabla x$, $-(\nabla B_x/\nabla x + \nabla B_y/\nabla y) = \nabla B_z/\nabla z$, $(\nabla B_{y12}/\nabla x + \nabla B_{x34}/\nabla y)/2 = \nabla B_x/\nabla y = \nabla B_y/\nabla x$, $\nabla B_{z12}/\nabla x = \nabla B_z/\nabla x = \nabla B_x/\nabla z$, $\nabla B_{z34}/\nabla y = \nabla B_z/\nabla y = \nabla B_y/\nabla z$, получают симметричную матрицу D , у которой сумма элементов главной диагонали равна нулю, где

$$D = \begin{pmatrix} \frac{\nabla B_x}{\nabla x} & \frac{\nabla B_x}{\nabla y} & \frac{\nabla B_x}{\nabla z} \\ \frac{\nabla B_y}{\nabla x} & \frac{\nabla B_y}{\nabla y} & \frac{\nabla B_y}{\nabla z} \\ \frac{\nabla B_z}{\nabla x} & \frac{\nabla B_z}{\nabla y} & \frac{\nabla B_z}{\nabla z} \end{pmatrix}.$$

Элементы матрицы D являются пространственными производными вектора магнитной индукции, созданной магнитным репером P (см. рисунок) с магнитным моментом, обозначенным через M .

Определяют собственные значения l_1, l_2, l_3 и собственные векторы U_1, U_2, U_3 матрицы D [2].

В реальных условиях магнитное поле магнитного репера (источника магнитного поля) может быть представлено совокупностью эквивалентных мультипольных моментов различного порядка. На расстояниях, превышающих линейные размеры источника магнитного поля, реальное магнитное поле этого источника аппроксимируют магнитным полем диполя [3]. В таком случае единичный радиус-вектор n_i источника магнитного поля, определяют с точностью до четырех направлений по l_1, l_2, l_3 и U_1, U_2, U_3 из следующего выражения [4]:

$$n_i = \frac{[\pm(\lambda_2 - \lambda_1)^{1/2} \times U_2 \pm (\lambda_1 - \lambda_3)^{1/2} \times U_3]}{(\lambda_2 - \lambda_3)^{1/2}}, \quad (1)$$

где $i = 1, 2, 3, 4$ – номера единичных радиус-векторов источника магнитного поля. Векторы магнитной индукции B_1, B_2, B_3, B_4 , измеренные в местах размещения датчиков 1–4, можно представить в виде следующих уравнений:

$$B_1 = A_1 M + B_0; \quad B_2 = A_2 M + B_0; \quad B_3 = A_3 M + B_0; \quad B_4 = A_4 M + B_0,$$

где

$$A_1 = \frac{\mu_0}{4\pi r_1^5} \begin{pmatrix} 3(x-a_1)^2 - r_1^2 & 3(x-a_1)y & 3(x-a_1)z \\ 3(x-a_1)y & 3y^2 - r_1^2 & 3yz \\ 3(x-a_1)z & 3yz & 3z^2 - r_1^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \end{pmatrix};$$

$$A_2 = \frac{\mu_0}{4\pi r_2^5} \begin{pmatrix} 3(x+a_1)^2 - r_2^2 & 3(x+a_1)y & 3(x+a_1)z \\ 3(x+a_1)y & 3y^2 - r_2^2 & 3yz \\ 3(x+a_1)z & 3yz & 3z^2 - r_2^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \end{pmatrix};$$

$$A_3 = \frac{\mu_0}{4\pi r_3^5} \begin{pmatrix} 3x^2 - r_3^2 & 3x(y-b_3) & 3xz \\ 3(y-b_3)x & 3(y-b_3)^2 - r_3^2 & 3(y-b_3)z \\ 3xz & 3(y-b_3)z & 3z^2 - r_3^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \end{pmatrix};$$

$$A_4 = \frac{\mu_0}{4\pi r_4^5} \begin{pmatrix} 3x^2 - r_4^2 & 3x(y+b_3) & 3xz \\ 3(y+b_3)x & 3(y+b_3)^2 - r_4^2 & 3(y+b_3)z \\ 3xz & 3(y+b_3)z & 3z^2 - r_4^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \end{pmatrix}.$$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Гн/м; $r_1 = [(x-a_1)^2 + y^2 + z^2]^{1/2}$; $r_2 = [(x+a_1)^2 + y^2 + z^2]^{1/2}$; $r_3 = [x^2 + (y-b_3)^2 + z^2]^{1/2}$; $r_4 = [x^2 + (y+b_3)^2 + z^2]^{1/2}$; x, y, z – координаты источника магнитного поля; B_0 – вектор индукции геомагнитного поля; r_i – модуль радиус-вектора источника магнитного поля.

Решение задачи определения x, y, z осуществляется итерационным методом, в частности, методом поиска [2], следующим образом. На каждом из четырех направлений n_i задают по точке пространства, равноудаленной от начала координат, принимая их координаты за начальные приближения источника магнитного поля, и по две дополнительные точки пространства, расположенные на одинаковых расстояниях и симметрично относительно соответствующих точек начального приближения (центральных точек). Подставляют координаты заданных точек пространства в выражения элементов матриц A_1, A_2, A_3, A_4 и получают приближения этих матриц. Так,

например, при начальном приближении $x_1^{(0)}$, $y_1^{(0)}$, $z_1^{(0)}$, взятом на направлении n_i , запишем начальные приближения разностей трех матриц, которые обозначим через $(\dot{A}_1^{(0)} - \dot{A}_2^{(0)})$, $(\dot{A}_3^{(0)} - \dot{A}_4^{(0)})$, $(\dot{A}_1^{(0)} - \dot{A}_3^{(0)})$. Находят определители матриц $(\dot{A}_1^{(0)} - \dot{A}_2^{(0)})$, $(\dot{A}_3^{(0)} - \dot{A}_4^{(0)})$, $(\dot{A}_1^{(0)} - \dot{A}_3^{(0)})$ из следующих выражений:

$$\det(A_1^{(0)} - A_2^{(0)}) = \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{1}{(r_1^{(0)})^3} - \frac{1}{(r_2^{(0)})^3} \frac{\ddot{\alpha}}{\ddot{\alpha}} \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{1}{(r_1^{(0)})^3} - \frac{1}{(r_2^{(0)})^3} \frac{\ddot{\alpha}}{\ddot{\alpha}} + 9 \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{1}{r_1^{(0)}} \times \frac{1}{r_2^{(0)}} \frac{\ddot{\alpha}}{\ddot{\alpha}} \times \times \{ (x_1^{(0)} y_2^{(0)} - x_2^{(0)} y_1^{(0)})^2 + (x_1^{(0)} z_2^{(0)} - x_2^{(0)} z_1^{(0)})^2 + (y_1^{(0)} z_2^{(0)} - y_2^{(0)} z_1^{(0)})^2 \} \frac{\alpha \mu_0 \ddot{\alpha}^3}{\epsilon 4\pi \ddot{\alpha}} ; \quad (2)$$

$$\det(A_3^{(0)} - A_4^{(0)}) = \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{1}{(r_3^{(0)})^3} - \frac{1}{(r_4^{(0)})^3} \frac{\ddot{\alpha}}{\ddot{\alpha}} \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{1}{(r_3^{(0)})^3} - \frac{1}{(r_4^{(0)})^3} \frac{\ddot{\alpha}}{\ddot{\alpha}} + 9 \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{1}{r_3^{(0)}} \times \frac{1}{r_4^{(0)}} \frac{\ddot{\alpha}}{\ddot{\alpha}} \times \times \{ (x_3^{(0)} y_4^{(0)} - x_4^{(0)} y_3^{(0)})^2 + (x_3^{(0)} z_4^{(0)} - x_4^{(0)} z_3^{(0)})^2 + (y_3^{(0)} z_4^{(0)} - y_4^{(0)} z_3^{(0)})^2 \} \frac{\alpha \mu_0 \ddot{\alpha}^3}{\epsilon 4\pi \ddot{\alpha}} ; \quad (3)$$

$$\det(A_1^{(0)} - A_3^{(0)}) = \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{1}{(r_1^{(0)})^3} - \frac{1}{(r_3^{(0)})^3} \frac{\ddot{\alpha}}{\ddot{\alpha}} \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{1}{(r_1^{(0)})^3} - \frac{1}{(r_3^{(0)})^3} \frac{\ddot{\alpha}}{\ddot{\alpha}} + 9 \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{1}{r_1^{(0)}} \times \frac{1}{r_3^{(0)}} \frac{\ddot{\alpha}}{\ddot{\alpha}} \times \times \{ (x_1^{(0)} y_3^{(0)} - x_3^{(0)} y_1^{(0)})^2 + (x_1^{(0)} z_3^{(0)} - x_3^{(0)} z_1^{(0)})^2 + (y_1^{(0)} z_3^{(0)} - y_3^{(0)} z_1^{(0)})^2 \} \frac{\alpha \mu_0 \ddot{\alpha}^3}{\epsilon 4\pi \ddot{\alpha}} . \quad (4)$$

Из выражений (2)–(4) выбирают определитель, наибольший по модулю. Предположим, что $|\det(A_3^{(0)} - A_4^{(0)})| < |\det(A_1^{(0)} - A_2^{(0)})| > |\det(A_1^{(0)} - A_3^{(0)})|$. В таком случае определяют начальное приближение вектора магнитного момента из следующего уравнения:

$$M^{(0)} = [A_1^{(0)} - A_2^{(0)}]^{-1} \times B_{12} ,$$

где $B_{12} = B_1 - B_2$.

Подставляя $M^{(0)}$ и $x_1^{(0)}$, $y_1^{(0)}$, $z_1^{(0)}$ в правые части уравнений $B_{34} = (A_3 - A_4) \times M$ и $B_{13} = (A_1 - A_3) \times M$, где $B_{34} = B_3 - B_4$, $B_{13} = B_1 - B_3$, определяют начальные приближения $B_{34}^{(0)} = (A_3^{(0)} - A_4^{(0)}) \times M^{(0)}$ и $B_{13}^{(0)} = (A_1^{(0)} - A_3^{(0)}) \times M^{(0)}$.

Затем находят функцию $F_{11}^{(0)} = [(B_{34}^{(0)} - B_{34})^2 + (B_{13}^{(0)} - B_{13})^2]^{1/2}$.

Аналогично определяют функции $F_{12}^{(0)}$, $F_{13}^{(0)}$ для дополнительных точек пространства на направлении n_1 , а также $F_{21}^{(0)}$, $F_{22}^{(0)}$, $F_{23}^{(0)}$ на направлении n_2 ,

$F_{31}^{(0)}, F_{32}^{(0)}, F_{33}^{(0)}$ на направлении n_3 и $F_{41}^{(0)}, F_{42}^{(0)}, F_{43}^{(0)}$ на направлении n_4 . Из всех $F_{ij}^{(0)}$ ($j= 1, 2, 3$ – номера, соответствующие центральным и дополнительным точкам пространства) выбирают функцию с наименьшим значением, и если этой функции соответствует дополнительная точка пространства, то она принимается за центральную, а относительно нее задают две дополнительные точки пространства с предыдущим шагом итерации (расстоянием между предыдущими центральной и дополнительной точками пространства) и вновь осуществляют определение $F_{ij}^{(1)}$ уже на выбранном направлении, то есть при $i = \text{const}$. Если наименьшей функции $F_{ij}^{(t)}$, где $t = 0, 1, 2, 3, \dots$ – номера итераций, соответствует центральная точка пространства, то для последующей итерации она остается центральной, но относительно нее задают две дополнительные точки пространства с меньшим шагом, например, уменьшенным в два раза. Поиск прекращается для минимального значения $F_{ij}^{(t)}$ из трех значений при шаге итерации равном или меньшем установленной невязки ϵ_r . Полученный радиус-вектор источника магнитного поля обозначим через $r_{11}\{x_{11}, y_{11}, z_{11}\}$.

Элементы матрицы D могут быть определены с погрешностью, обусловленной, в частности, конечными линейными расстояниями между датчиками 1 и 2, 3 и 4, что может привести к погрешности определения n_i , а, следовательно, и к погрешности определения r_{11} . Уточнить определение координат источника магнитного поля можно следующим образом.

Предположим, что радиус-вектор r_{11} , совпадающий по направлению, например, с единичным вектором n_1 , образует с единичным вектором n_3 угол меньше, чем с каждым из единичных векторов n_2 и n_3 . Выбирают начальный шаг R_{n1} для дальнейшего поиска координат источника магнитного поля относительно центральной точки с координатами x_{11}, y_{11}, z_{11} из условия $R_{n1} \leq |r_{11} \text{tg} \alpha_1|$, где $\alpha_1 = (\hat{r}_{11} \hat{n}_3)$. Поиск с начальным шагом R_{n1} осуществляется сначала, например, по координате x . В результате поиска получают новые координаты источника магнитного поля (x_{12}, y_{11}, z_{11}) . Затем осуществляют поиск с начальным шагом R_{n1} по координате y . В результате поиска получают координаты источника магнитного поля (x_{12}, y_{12}, z_{11}) . Вновь осуществляют поиск с начальным шагом R_{n1} по координате z . В результате поиска получают радиус-вектор $r_{12}\{x_{12}, y_{12}, z_{12}\}$. Определяют угол $\alpha_2 = (\hat{r}_{12} \hat{r}_{11})$ и модуль разности векторов $|S_{12}| = |\hat{r}_{11} - \hat{r}_{12}|$. При $|S_{12}|$ меньшем или равном заданной невязке ϵ_r поиск прекращается. Полученный в этом случае радиус-вектор $r_{12}\{x_{12}, y_{12}, z_{12}\}$ принимают за действительный. Если $|S_{12}| > \epsilon_r$, то поиск

продолжается с начальным шагом $R_{n2} \mathcal{E} |r_{12} \operatorname{tg} \alpha_2|$ аналогично предыдущему поиску сначала по направлению радиус-вектора r_{12} , затем поочередно по осям OX , OY , OZ . Поиск прекращается, когда модуль разности между предыдущим и последующим радиус-векторами источника магнитного поля отличается на величину, меньшую или равную ϵ .

При местоположении источника магнитного поля в центре сферы, на поверхности которой будут находиться датчики 1–4 (рисунок), как следует из (2)–(4), значения $\det(A_1 - A_2) = \det(A_3 - A_4) = \det(A_1 - A_3) = 0$, что приводит к неустойчивости решения задачи определения координат источника магнитного поля. Для исключения неопределенности решения поставленной задачи датчики 1–4 следует располагать так, чтобы расстояние между датчиками 1 и 2 не было бы равно расстоянию между датчиками 3 и 4, т. е. должно быть выполнено неравенство $a_1 \neq b_3$. В таком случае датчики 1–4 будут находиться в точках пространства (в вершинах параллелограмма 1, 2, 3, 4), не лежащих на поверхности любой сферы, поэтому, по крайней мере, одно из расстояний от источника магнитного поля до одного из датчиков будет отличаться от каждого из расстояний от этого источника до каждого из трех остальных датчиков. Пространственное размещение датчиков 1–4 в предложенном техническом решении исключает неустойчивость решения задачи определения координат источника магнитного поля, так как один из определителей матриц $(A_1 - A_2)$ и $(A_3 - A_4)$ не будет равен нулю.

Предложенное решение задачи определения координат источника магнитного поля теряет устойчивость при коллинеарных B_{12} и B_{34} , когда источник магнитного поля находится в плоскости OXY , а вектор магнитного момента перпендикулярен плоскости OXY . При этом координата $z = 0$ и проекции вектора магнитного момента $M_x = M_y = 0$. Если датчики 1–4 размещены на подвижной платформе, то следует изменить, по крайней мере, угол крена или тангажа, при которых векторы B_{12} и B_{34} будут неколлинеарны, а затем с помощью предложенного алгоритма по измеренным B_1, B_2, B_3, B_4 , углам крена, тангажа и известным a_1, a_2, b_3, b_4 определяют в системе координат $OXYZ$ проекции радиус-вектора источника магнитного поля. Однако при отсутствии возможности изменения углового положения основания, на котором установлены датчики 1–4 относительно плоскости OXY , надо разместить вне плоскости OXY пятый трехкомпонентный магнитометрический датчик 5, например, на оси OZ (см. рисунок). В системе координат $OXYZ$ датчик 5 будет иметь координаты $(0, 0, c)$. Разности векторов магнитной индукции для данного случая можно представить в следующем виде:

$$B_{z12} = -\frac{\mu_0}{4\pi} M_z \left\{ \left[(x - a_1)^2 + y^2 \right]^{3/2} - \left[(x + a_1)^2 + y^2 \right]^{3/2} \right\}; \quad (6)$$

$$B_{x15} = \frac{m_0}{4\rho} M_z 3cx(x^2 + y^2 + c^2)^{-5}; \quad (7)$$

$$B_{y15} = \frac{\mu_0}{4\pi} M_z 3cy(x^2 + y^2 + c^2)^{-5}; \quad (8)$$

$$B_{z15} = -\frac{\mu_0}{4\pi} M_z \left\{ [(x - a_1)^2 + y^2]^{3/2} - (x^2 + y^2 + c^2)^{3/2} \right\}; \quad (9)$$

$$B_{z34} = -\frac{m_0}{4\rho} M_z \left\{ [x^2 + (y - b_3)^2]^{3/2} - [x^2 + (y + b_3)^2]^{3/2} \right\}. \quad (10)$$

При $|B_{x15}| > |B_{y15}|$ из выражений (7) и (8) определяют y в функции от x из выражения

$$y = \frac{B_{y15}}{B_{x15}} x. \quad (11)$$

При $|B_{x15}| < |B_{y15}|$ находят x в функции от y из выражения

$$x = \frac{B_{x15}}{B_{y15}} y. \quad (12)$$

Значение $x \geq 0$ при $|B_1| \geq |B_2|$ и $x < 0$ при $|B_1| < |B_2|$. Значение $y \geq 0$ при $|B_3| \geq |B_4|$ и $y < 0$ при $|B_3| < |B_4|$. Таким образом, определяют квадрант, в котором размещен источник магнитного поля. При $|B_{x15}| > |B_{y15}|$ на оси OX задают точку пространства, принимая ее координату за начальное приближение источника магнитного поля, и две дополнительные точки пространства, расположенные на одинаковых расстояниях и симметрично относительно точки начального приближения (центральной точки). Из формулы (10) определяют центральное и дополнительные приближения y .

Подставляя приближения координат x и y в выражение (9), находят приближения M_z . Подставляют, например, при $|B_1| > |B_2|$ на положительном направлении OX координаты центральной точки, которые обозначены через $x_1^{(0)}$, $y_1^{(0)}$ и соответствующее им центральное приближение проекции вектора магнитного момента $M_z^{(0)}$, в уравнения (6), (7) и (10) и определяют функцию $F_{11}^{(0)}$:

$$F_{11}^{(0)} = [(B_{z12}^{(0)} - B_{z12})^2 + (B_{x15}^{(0)} - B_{x15})^2 + (B_{z34}^{(0)} - B_{z34})^2]^{1/2}.$$

Аналогично определяют функции $F_{12}^{(0)}$ и $F_{13}^{(0)}$ для дополнительных точек пространства на положительном направлении оси OX . Из всех $F_{ij}^{(0)}$ выбирают функцию с наименьшим значением ($i = 1$ отвечает положительному

направлению оси OX , $i = 2$ – отрицательному направлению оси OX ; j – номера, соответствующие центральной и дополнительным точкам). Если этой функции соответствует дополнительная точка пространства, то она принимается за центральную, а относительно нее задают две дополнительные точки пространства с предыдущим шагом итерации и вновь осуществляют определение $F_{ij}^{(1)}$. Если наименьшей функции $F_{ij}^{(t)}$, где $t = 0, 1, 2, 3, \dots$ – номера итерации, отвечает центральная точка пространства, то для последующей итерации она остается центральной, но относительно нее задают две дополнительные точки пространства с меньшим шагом, например, уменьшенным в два раза. Поиск прекращается при минимальном $F_{ij}^{(t)}$ из трех значений при шаге итерации равном или меньшем установленной невязке ϵ . Полученный радиус-вектор источника магнитного поля принимают за действительный.

При $|B_{x15}| < |B_{y15}|$ на оси OY задают точку пространства, принимая ее координату за начальное приближение источника магнитного поля, и две дополнительные точки пространства, расположенные на одинаковых расстояниях и симметрично относительно точки начального приближения (центральной точки). По формуле (11) определяют центральное и дополнительные приближения x . Далее поиск координат x и y осуществляют аналогично, как и при $|B_{x15}| > |B_{y15}|$.

При наличии пяти датчиков (см. рисунок) можно использовать алгоритм, аналогичный, рассмотренному выше для четырёх датчиков.

Проекция радиус-вектора подвижного объекта относительно магнитного репера будут соответствовать проекциям радиус-вектора магнитного репера относительно подвижного объекта, но взятым с обратными знаками.

Таким образом, рассмотренное техническое решение обеспечивает определение координат подвижного объекта по магнитному реперу, как при наличии, так и при отсутствии внешнего однородного магнитного поля, в частности, геомагнитного поля в выбранных четырех или пяти точках пространства (в зависимости от возможности изменения углового положения объекта, на котором размещены магниточувствительные датчики), проекций векторов магнитной индукции, созданной магнитным репером и геомагнитным полем. Кроме того, рассмотренное техническое решение обеспечивает определение вектора магнитного момента и координат репера, практически исключая влияние внешнего однородного магнитного поля на погрешности измерения определяемых параметров. По направлению вектора магнитного момента определяют угловое положение подвижного объекта, в частности, углы курса и крена тангажа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малеев П. И., Смирнов Б. М., Хасиев И. С. Определение местоположения подвижного объекта по магнитному реперу // Навигация и гидрография. – 1998. – №6. – С. 75–80.
2. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. – М.: Наука, 1973. – 832 с.

3. Яновский Б. М. Земной магнетизм. – Л.: ЛГУ, 1978. – 592 с.
4. Семенов В. Г. Решение обратной задачи по определению источника физического поля дипольной или квадрупольной модели / Методы и средства измерения параметров магнитного поля. – Л.: НПО «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева», 1980. – С. 3–19.

On Improvement of Positioning Accuracy for Marine Movable Object Using the Magnetic Reference Mark with Known Co-ordinates

P. I. MALEYEV (GNINGI, RF MoD),

V. M. SMIRNOV («Criomag», Closed Joint Stock Company)

The solution of the problem of fixing the position of a marine movable object relative to the magnetic field source with known co-ordinates, using the three-component magnetic field sensors is considered.

ГРНТИ 733.34.37.39.05

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ РЕШЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ПО ДАННЫМ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ И УСКОРЕНИЙ ОТНОСИТЕЛЬНО СРЕДНЕОРБИТНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВ

В. В. ГАВРИЛОВ,

Г. К. ДАНИЛОВА (ГНИНГИ МО РФ)

Показано, что точность определения местоположения объекта по данным как радиальных скоростей, так и ускорений относительно среднеорбитных навигационных спутников близка к точности определения по измерениям дальности.

В спутниковых системах навигации традиционно применяются методы определения координат объекта, основанные на измерениях дальности, разности дальностей и радиальной скорости между объектом и навигационными спутниками.

За последние годы точность измерения этих параметров по среднеорбитным спутникам значительно повысилась. Так, при использовании измерений фазы несущей передаваемого радиосигнала радиальная скорость объекта относительно среднеорбитного спутника может быть измерена с точностью порядка 1 мм/сек [1]. Поскольку реализация этих измерений значительно проще, чем измерения дальности, целесообразно рассмотреть вопрос о возможности их использования для определения местоположения объекта.

Ограничимся определением местоположения неподвижного объекта. При этом погрешности измерений, связанные с ионосферой, тропосферой, синхронизацией и др., учитывать не будем.

Приведем известные соотношения для геометрических значений дальности, радиальной скорости и радиального ускорения между объектом и спутником [2]:

$$\rho_i = [(x_{kai} - x_n)^2 + (y_{kai} - y_n)^2 + (z_{kai} - z_n)^2]^{1/2}; \quad (1)$$

$$\dot{\rho}_i = \frac{(x_{ka} - x_n)(\dot{x}_{ka} - \dot{x}_n)}{\rho_i} + \frac{(y_{ka} - y_n)(\dot{y}_{ka} - \dot{y}_n)}{\rho_i} + \frac{(z_{ka} - z_n)(\dot{z}_{ka} - \dot{z}_n)}{\rho_i}; \quad (2)$$

$$\ddot{\rho}_i = [-\dot{\rho}_i^2 + (\dot{x}_{ka} - \dot{x}_n)^2 + (\dot{y}_{ka} - \dot{y}_n)^2 + (\dot{z}_{ka} - \dot{z}_n)^2 - (x_{ka} - x_n)(\ddot{x}_{ka} + \frac{\mu x_{ka}}{r^3}) - (y_{ka} - y_n)(\ddot{y}_{ka} + \frac{\mu y_{ka}}{r^3}) - (z_{ka} - z_n)(\ddot{z}_{ka} + \frac{\mu z_{ka}}{r^3})] / \rho_i, \quad (3)$$

где ρ_i – дальность «спутник – потребитель»;

$x_{kai}, y_{kai}, z_{kai}$ – известные координаты спутник в инерциальной системе координат;

$\dot{\rho}_i$ – радиальная скорость;

$\ddot{\rho}_i$ – радиальное ускорение;

$x_n, y_n, z_n, \dot{x}_n, \dot{y}_n, \dot{z}_n, \ddot{x}_n, \ddot{y}_n, \ddot{z}_n$ – соответственно, местоположение, скорость и ускорение потребителя в инерциальной системе координат;

μ – гравитационный параметр Земли, $\mu=398600,436 \text{ км}^3/\text{с}^2$.

Местоположение, скорость и ускорение неподвижного на Земном эллипсоиде объекта в инерциальной системе координат определяется из соотношений [2]:

$$x_n = G_1 \cos j \cos Q; \quad (4)$$

$$y_n = G_1 \cos j \sin Q; \quad (5)$$

$$z_n = G_1 \sin j; \quad (6)$$

$$\dot{x}_n = -y_n \dot{Q}; \quad \dot{y}_n = x_n \dot{Q}; \quad \dot{z}_n = 0, \quad (7)$$

$$\ddot{x}_n = -x_n \dot{Q}^2; \quad \ddot{y}_n = -y_n \dot{Q}^2; \quad \ddot{z}_n = 0, \quad (8)$$

где

$$G_1 = \frac{a_e}{\sqrt{1 - (2f - f^2)\sin^2 j}} + h;$$

$$G_2 = \frac{(1 - f)^2 a_e}{\sqrt{1 - (2f - f^2)\sin^2 j}} + h;$$

$$Q = Q_{g0} + W(t - t_0) + \lambda_E;$$

j – широта;

l_E – восточная долгота;

a_e – большая полуось эллипсоида вращения модели фигуры Земли;

f – сжатие, равное разности большой – a и малой – b полуосей эллипсоида вращения модели фигуры Земли, деленной на большую полуось:

$$f = \frac{a - b}{a};$$

Q_{g0} – гринвичское Звездное время для $0^h UT$ (всемирного времени) как функция юлианской даты;

W – угловая скорость вращения Земли;

$W = 4,3752695 \times 10^{-3}$ рад/мин.;

h – геодезическая высота над поверхностью эллипсоида.

Для определения местоположения объекта по спутникам соотношения (1), (2), (3) необходимо линеаризовать относительно расчетного положения объекта, в результате чего получим соотношения:

$$D\rho_i = \frac{\partial \rho_i}{\partial x_n} Dx_n + \frac{\partial \rho_i}{\partial y_n} Dy_n + \frac{\partial \rho_i}{\partial z_n} Dz_n; \quad (9)$$

$$D\phi_i = \frac{\partial \phi_i}{\partial x_n} Dx_n + \frac{\partial \phi_i}{\partial y_n} Dy_n + \frac{\partial \phi_i}{\partial z_n} Dz_n + \frac{\partial \phi_i}{\partial \lambda_n} D\lambda_n + \frac{\partial \phi_i}{\partial \psi_n} D\psi_n + \frac{\partial \phi_i}{\partial \delta_n} D\delta_n; \quad (10)$$

$$D\lambda_i = \frac{\partial \lambda_i}{\partial x_n} Dx_n + \frac{\partial \lambda_i}{\partial y_n} Dy_n + \frac{\partial \lambda_i}{\partial z_n} Dz_n + \frac{\partial \lambda_i}{\partial \lambda_n} D\lambda_n + \frac{\partial \lambda_i}{\partial \psi_n} D\psi_n + \frac{\partial \lambda_i}{\partial \delta_n} D\delta_n + \frac{\partial \lambda_i}{\partial \lambda_n} D\lambda_n + \frac{\partial \lambda_i}{\partial \psi_n} D\psi_n + \frac{\partial \lambda_i}{\partial \delta_n} D\delta_n. \quad (11)$$

Учитывая, что для неподвижного объекта

$$D\lambda_n = -W Dy_n; \quad D\psi_n = W Dx_n; \quad \delta_n = 0; \quad (12)$$

$$D\lambda_i = -W^2 Dx_i; \quad D\psi_i = W^2 Dy_i; \quad \delta_i = 0, \quad (13)$$

соотношения (9) – (11) можно привести к виду:

$$D\rho_i = a_1 Dx_n + b_1 Dy_n + c_1 Dz_n; \quad (14)$$

$$D\phi_i = a_2 Dx_n + b_2 Dy_n + c_2 Dz_n; \quad (15)$$

$$D\lambda_i = a_3 Dx_n + b_3 Dy_n + c_3 Dz_n, \quad (16)$$

где коэффициенты a_1, \dots, c_3 определяются путем вычисления соответствующих производных в (9) – (11), и для краткости изложения их значения не приводятся, а знак D означает разность между расчетным значением параметра и его фактическим значением.

Однако, как показало численное моделирование, определение местоположения объекта по трем среднеорбитным спутникам непосредственно с использованием соотношения (3) и его аналога (16) получается с большими погрешностями ввиду плохой численной обусловленности, вызванной малым значением детерминанта соответствующей системы линейных уравнений. Поэтому соотношение (16) необходимо преобразовать. С этой целью используем модифицированное уравнение Лапласа для определения орбиты спутника [2]:

$$\left(\frac{\dot{L}\dot{L}}{r^3} - \frac{\mu}{r^3}\right)r - \frac{\mu}{r^3}\bar{L} \times \bar{R} = \ddot{\rho} + \bar{L} \times \ddot{\mathbf{R}}, \quad (17)$$

где \bar{L} представляет собой единичный вектор, направленный вдоль наклонной дальности r , $\dot{L} = \frac{\dot{r}}{r}$.

\bar{R} – вектор местоположения потребителя $\bar{R} = \bar{R}(x_n, y_n, z_n)$ в инерциальной системе координат,

$\ddot{\mathbf{R}}$ – вектор ускорения потребителя $\ddot{\mathbf{R}} = \ddot{\mathbf{R}}(\ddot{x}_n, \ddot{y}_n, \ddot{z}_n)$ в инерциальной системе координат;

$\ddot{\rho}$ – радиальное ускорение, $\ddot{\rho} = \frac{d^2\rho}{dt^2}$;

r – радиус орбиты спутника в момент наблюдений.

Линеаризуя соотношение (17) относительно расчетного местоположения объекта, будем иметь соотношение вида:

$$\begin{aligned} & \left(2D\dot{L}\dot{L} - D\left(\frac{\mu}{r^3}\right)\right)r + \left(\frac{\dot{L}\dot{L}}{r^3} - \frac{\mu}{r^3}\right)Dr - D\left(\frac{\mu}{r^3}\right)\bar{L} \times \bar{R} - \\ & - \frac{\mu}{r^3}D\bar{L} \times \bar{R} - \frac{\mu}{r^3}\bar{L} \times D\bar{R} = D\ddot{\rho} + D\bar{L} \times \ddot{\mathbf{R}} + L \times D\ddot{\mathbf{R}}. \end{aligned} \quad (18)$$

Учитывая, что $L_x = \frac{x_{KA} - x_n}{\rho}$, $\dot{L}_x = \frac{(\dot{x}_{KA} - \dot{x}_n)r - (x_{KA} - x_n)\dot{r}}{\rho^2}$,

определим

$$DL_x = \frac{(Dx_{KA} - Dx_n)\rho - (x_{KA} - x_n)D\rho}{\rho^2},$$

$$D\dot{L}_x = \left[2\frac{(x_{KA} - x_n)}{\rho^3}\dot{\rho} - \frac{\dot{x}_{KA} - \dot{x}_n}{\rho^2}\right]D\rho - \frac{x_{KA} - x_n}{\rho}D\rho + \left[\frac{Dx_n}{\rho^2}\dot{\rho} - \frac{D\dot{x}_n}{\rho}\right].$$

Аналогичные выражения можно получить для

$L_y, \dot{L}_y, L_z, \dot{L}_z, DL_y, DL_z, D\dot{L}_y, D\dot{L}_z$ путем замены x на y и z .

С учетом соотношений (14), (15) выражение (18) можно привести к виду:

$$A Dx_n + B Dy_n + C Dz_n = D\ddot{\rho}. \quad (19)$$

Для сравнения точностных характеристик определения местоположения объекта, рассчитанных по формулам (19), (14), (15) было проведено моделирование решения навигационной задачи по измерениям $\ddot{\rho}, \dot{\rho}, \rho$ по трем среднеорбитным спутникам. Предполагалось, что спутники расположены в трех равномерно разнесенных по экватору плоскостях. Для демонстрации возможностей рассматриваемого подхода и простоты модели геометрический фактор не учитывался, измерения производились от

«восхода» трех спутников в каждой из плоскостей с шагом $T=30$ минут. В начальный момент измерений погрешности эфемерид спутников приняты равными 5,0 м; 4,3 м; и 5,8 м соответственно.

Расчетное местоположение объекта полагалось с координатами – $j_c = 60^\circ$, $l_c = 30^\circ$, «истинное» местоположение – $j_{и} = 60^\circ + 120\phi$ $l_{и} = 60^\circ + 180\phi$ $h = 0$.

Путем линеаризации выражений (4), (5), (6) относительно расчетного местоположения определялись искомые поправки Dj , DI , Dh ; и их погрешности относительно «истинного» местоположения Dx – восточная и Dh – северная составляющие погрешности определения местоположения потребителя, Dh – высотная погрешность.

В таблице приведены результаты моделирования.

Погрешности определения местоположения объекта по измерениям радиального ускорения, радиальной скорости, дальности

T мин.	Погрешности эфемерид КА ДЭ (м)			Dx (м)	Dh (м)	Dh (м)	Dx (м)	Dh (м)	Dh (м)	Dx (м)	Dh (м)	Dh (м)
0	4,98	4,3	5,8	2,1	1,2	3,7	0,13	0,28	1,73	2,9	0,79	14,2
30	5,14	5,14	7,8	11	1,2	15	2,5	0,34	3,86	2,9	0,62	13,1
60	7,6	6,0	6,0	12,6	0,14	18/8	5,2	0,2	7,77	4,3	1,2	7,7
90	7,6	7,3	7,3	14,0	1,9	19,5	7,2	0,4	10,2	4,5	0,55	5,4
120	8,8	8,8	8,8	2,8	2,6	37	23	0,66	32	4,1	1,1	4,03
150	10,7	10,7	10,7	4,2	2,2	6,3	198	0,4	259	3,3	2,4	3,6
180	12,3	12,3	12,3	19,0	2,4	25	61	0,2	83	2,0	2,4	3,9
210	14,2	14,2	14,2	149,6	13,5	214	40	0,7	58	12,0	1,69	4,0
240	16,2	16,2	16,2	20,8	2,6	32	44	0,27	60	12	7,7	2,6
270	18,2	18,0	18,0	9,0	0,03	17	13,0	11,0	19,5	13,6	4,6	3,1

Как показывает анализ данных таблицы, при небольших погрешностях эфемерид спутника и соответствующем геометрическом факторе погрешности определения местоположения объекта соизмеримы с измерениями дальности.

Однако при использовании измерений $D\phi$ и $D\phi$ наблюдаются значительные выбросы на 150 и 210 минутах моделирования, которые можно объяснить плохой обусловленностью матрицы соответствующих систем уравнений. В этом случае для более точного решения задачи определения местоположения объекта целесообразно использовать методы регуляризации [3, 4].

Поскольку измерения указанных выше радиальных скоростей и ускорений можно получить по фазе несущей частоты сигнала, передаваемого со спутника, то рассматриваемый подход может быть использован для производства дешевой аппаратуры для определения координат объекта.

На основании изложенного представляется целесообразным провести исследования возможности применения измерений радиальной скорости и

ускорения между объектом и спутником не только для определения его места, но также и для определения его скорости и ускорения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cobb S., O'Connor M. Pseudolites: Enhancing GPS with Ground-based Transmitters // GPS World – March 1998.– P. 55–60.
2. Эскобал П. Методы определения орбит. – М.: Мир, 1970. – 471 с.
3. Тихонов А. П., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. – М: Наука, 1979. – 285 с.
4. Икрамов Х. Д. Численное решение матричных уравнений. – М: Наука, 1984. – 190 с.

Estimate of Possibility to Solve the Navigation Problem for Fixing the Position of an Object Using the Measurement Data of Radial Velocities and Accelerations by Medium-Altitude Navigation Satellites

V. V. GAVRILOV, G. K. DANILOVA (GNINGI, RF MoD)

It is shown that the positioning accuracy of an object using the data of radial velocities and accelerations relative to medium-altitude navigation satellites is close to that obtained in the range measurements.

ГРНТИ 47.49.31

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕВРОПЕЙСКИМ СОЮЗОМ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ГАЛИЛЕО

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

В статье приводятся сведения о состоянии и развитии европейской спутниковой системы ГАЛИЛЕО, рассматриваются вопросы возможности использования ее в военных целях.

В настоящее время ведущие страны Европы заметно активизировали деятельность по созданию в рамках Европейского Союза (ЕС) военно-политических и военных структур, которые позволили бы этой организации реализовывать единую европейскую политику в области безопасности и обороны и самостоятельно решать задачи по предупреждению кризисных ситуаций и урегулированию конфликтов. В 2001 г. в рамках Евросоюза были сформированы и приступили к работе комитет по вопросам политики и безопасности, военный комитет и военный штаб. В 2004 г. сформированы европейский генеральный штаб, командование транспортной авиации, европейское агентство вооружения и другие органы управления.

В стадии организационного становления находятся «коллективные Вооруженные Силы ЕС», способные самостоятельно как в Европе, так и за ее пределами проводить миротворческие операции различного характера и масштаба (установление и поддержание мира, оказание гуманитарной помощи, эвакуация).

В связи с этим интерес представляет следующее. Принято принципиальное решение о создании в рамках ВС ЕС «тактических групп реагирования» для локализации военно-политических кризисов и конфликтов в «зонах нестабильности мира». В частности, к 2007 г. руководство ЕС планирует создать группировку Сухопутных войск (СВ), Военно-морских сил (ВМС) и Военно-воздушных сил (ВВС) численностью 1500 чел. для «деятельности в африканских странах». В апреле 2004 г. министры обороны стран ЕС приняли решение создать собственные органы планирования – Генштаб ВС ЕС в составе 30 штабных офицеров, которые, очевидно, образуют основу Генштаба. Судя по сообщениям из Брюсселя, в Генштаб может быть включен личный состав Главного штаба ВС ЕС (создан в 2002 г.), который ныне разрабатывает основы теории формирования, подготовки и функционирования соединений ВС ЕС. По мнению экспертов, наиболее вероятным принципом формирования и подготовки подразделений и частей ВС ЕС будет территориально-мобилизационный, предполагающий в повседневных условиях нахождение участников «тактических групп реагирования» в местах постоянной дислокации, в портах и базах своих стран, а также проведение ими учений на «регулярной основе», руководствуясь оперативно-тактическими документами Объединенных вооруженных сил (ОВС) НАТО.

По расчетам западных военных специалистов, для успешного выполнения поставленных задач эти ВС должны иметь около 250 тыс. военнослужащих, входящих в силы реагирования (СР) и резервные силы. В составе СР предполагается сформировать сухопутный, воздушный и морской компоненты, насчитывающие около 130 тыс. военнослужащих, до 400 боевых самолетов ВВС и ВМС, свыше 110 боевых кораблей. Наибольший вклад в строительство ВС ЕС вносят Франция, Германия, Великобритания и Италия, которые, по-видимому, будут определять военную политику этой организации [1].

В 2004 г. по решению министров обороны стран ЕС создано Агентство по вооружению для координации работ Военно-промышленного комплекса государств и интеграции научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ крупнейших национальных концернов вооружений. Создание Агентства обусловлено формированием ЕС объединенных вооруженных сил и необходимостью оснащения их соответствующей боевой техникой [2].

Поскольку практически каждая новая боевая система будет использовать спутниковую навигационную технологию, то надежное управление в той или иной степени будет зависеть от спутниковой поддержки.

Производители оружия в государствах-членах ЕС хотели бы самостоятельно реализовывать высокоточное оружие за океан без санкции США на использование высокоточного (закрытого) кода системы GPS для определения координат места.

Быстрорастущий рынок спутниковых систем позиционирования и стремление к независимости от американской GPS подтолкнули ЕС к развертыванию собственной европейской спутниковой радионавигационной системы ГАЛИЛЕО.

Основной причиной создания ГАЛИЛЕО в Европе, кроме политической независимости, является то, что система будет иметь ряд преимуществ перед GPS. И, как считают европейцы, важнее всего то, что в ГАЛИЛЕО планируется наличие сигнала целостности, который позволит информировать потребителей о состоянии радионавигационного сигнала.

Для США настало время серьезно отнестись к созданию крепкой, безопасной и готовой к взаимодействию системы – Глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) в многосистемном мире [3].

Исследования по созданию системы ГАЛИЛЕО ведутся с 1998 г., однако только в марте 2002 г. на заседании министров транспорта и связи стран Европейского союза в Брюсселе было принято решение о ее разработке.

На сессии совета ЕС по транспорту в июне 2000 г. было заявлено о том, что система ГАЛИЛЕО будет системой гражданского и коммерческого назначения. В то же время министерства обороны Франции и Германии активно выступали за пересмотр первоначальной концепции применения этой системы исключительно в интересах гражданского сектора и требовали расширения сферы ее использования, в том числе и в военных целях. Нейтральные же страны ЕС (Австрия, Швеция и Финляндия) высказывали категорическое несогласие с идеей военного использования системы. Однако комитет по проекту создания системы, в который входят представители стран-участниц и представитель Европейского космического агентства (ЕКА), предварительно уже разработал комплект документов, в которых содержатся вопросы, касающиеся возможного использования системы ГАЛИЛЕО в военных целях, а именно: каким военным структурам и на каких условиях может быть предоставлено право на применение этой системы и каким органам управления (военным или гражданским) будет поручена координация ее использования в период возникновения кризисов [4].

ЕС и ЕКА совместно финансируют разработку навигационной системы ГАЛИЛЕО.

В мае 2003 г. страны ЕКА пришли к соглашению о реализации проекта ГАЛИЛЕО и распределили между собой финансирование этапа разработки и демонстрации системы. Переговоры по этому вопросу были довольно продолжительными и трудными, однако в конце концов в ходе их дополнительного раунда участникам удалось договориться о том, что страны «большой четверки» внесут по 17,31% общей суммы, т. е. по 95,7 млн. евро, а оставшиеся 170 млн. будут распределены между остальными 11 государствами-участниками.

Для управления и координацией проекта ГАЛИЛЕО ЕКА и ЕС образовали совместное предприятие Galileo Joint Undertaking со штаб-

квартирой в Брюсселе. В июле 2003 г. в исследовательском и технологическом центре ESTEC ЕКА были подписаны контракты на создание первых спутников системы ГАЛИЛЕО, т. е. была подведена черта под длительным периодом споров и «притирок» европейских стран и фирм, которые претендовали на участие в проекте.

Предполагаемая структура ГАЛИЛЕО включает следующие сегменты: космический, региональный, локальный и сегмент потребителей. К настоящему времени разработчики склоняются к тому, что космический сегмент будет включать 30 спутников (27 действующих и 3 резервных), размещенных на трех круговых околоземных орбитах высотой 23616 км и наклоном 56°. Это наклонение немного больше, чем у спутников системы GPS (55°), но значительно меньше, чем в российской системе ГЛОНАСС (64,8°). Тем не менее их сигналы будут способны обеспечивать надежное покрытие поверхности Земли вплоть до широты 75° (мыс Нордкап – северная оконечность Норвегии) и даже в более высоких широтах. Большое число спутников, оптимизация их размещения и наличие трех резервных спутников гарантируют то, что потеря даже одного из них не будет заметна для потребителя.

Спутники будут передавать 11 сигналов на частотах диапазона L1 и УВЧ (последняя для использования в поисково-спасательных операциях), обеспечивая целый ряд дополнительных услуг. Они включают определение местоположения, скорости и времени (position, velocity and time, PVT), доступные для всех потребителей с точностью около 4 м в горизонтальной плоскости, и 8 м по вертикали, 30 нс по времени и услуги в режиме государственного регулирования PRS (Public Regulated Service) – регулируемым доступом в целях гражданской безопасности и для полувоенных вариантов. Последний предусматривает более низкие точности (12 м по вертикали и 100 нс по времени), но будет обеспечивать гарантированную доступность.

Предполагается, что ГАЛИЛЕО дополнительно будет включать функции обмена данными, что позволит в большей степени использовать ее для нужд поиска и спасения при взаимодействии с системой КОСПАС-САРСАТ и системой управления движением в реальном масштабе времени.

Хотя система ГАЛИЛЕО официально не предназначена для военных целей, она обладает многими качествами, которые делают ее пригодной для их решения. Она включает надежный сигнал и слежение за кодом, короткое время захвата и интегрирования, высокую точность даже при наличии многолучевости, большую зону действия в полярных регионах, достаточную мощность передатчика для прохождения через подстилающую поверхность, высокий темп передачи данных, связанных с навигацией, и хорошую помехозащищенность.

Для осуществления контроля функционирования спутников и управления навигационной системой на Европейской территории планируется

развернуть два центра управления GCC (Galileo Control Centre). В них будет сосредоточиваться информация, предоставляемая двадцатью наземными станциями слежения GSS (Galileo Sensor Station). Центры GCC также будут осуществлять синхронизацию шкал времени на всех спутниках и наземных станциях. Обмен данными между центром управления и космическим сегментом планируется осуществлять с помощью пяти передающих станций, работающих в S-диапазоне, и 10 станций, работающих в C-диапазоне.

Зависимость потребителей от существующих спутниковых навигационных систем такова, что последствия исчезновения сигнала от них могут оказаться настолько серьезными, что затронут не только экономическую эффективность использования транспортных средств, но и их безопасность. Именно поэтому ЕС посчитал необходимым создание собственной европейской спутниковой системы глобального позиционирования.

Фирма Thales Electronics прогнозирует рынок сбыта для 500000 приемников ГАЛИЛЕО в течение 10 лет для оснащения в индивидуальном варианте солдат и наземных средств транспорта для работы в автономном варианте, но они должны быть как можно более совместимы с GPS. Приемники с возможностью доступа к обеим системам будут иметь большую надежность, доступность и точность (особенно в городских условиях) при небольшой дополнительной стоимости. Эти двухрежимные приемники должны иметь две отдельные карты (по одной на каждую услугу) с разными устройствами защиты. Однако, несмотря на эти меры защиты, официальные представители Госдепартамента и Министерства обороны США с очень большими оговорками согласились на доступ таких устройств в режимы определения места с повышенной точностью по GPS [5].

В перспективе в ГАЛИЛЕО планируется четыре навигационных режима обслуживания L6:

- открытый доступ – OS (Open Service);
- коммерческий доступ – CS (Commercial Service);
- режим государственного регулирования, то есть доступ для правоохранительных и военных ведомств – PRS (Public Regulated Service);
- доступ для служб с повышенным риском для жизни – SoL (Safety-of-life Service).

Все спутники системы ГАЛИЛЕО будут работать на одних и тех же частотах, для различия сигналов спутников предполагается использовать принцип кодового разделения каналов CDMA. Шесть сигналов, включая три с дальномерными кодами без модуляции цифровой информации (ЦИ), будут приниматься всеми потребителями ГАЛИЛЕО на частотах E5a, E5b и L1 для режимов открытого доступа (OS) и доступа к обслуживанию в приложениях, связанных с повышенным риском для жизни (SoL).

Два сигнала на E6 содержат закрытые коды, причем один канал свободен от ЦИ. Они доступны потребителям, зарегистрированным через провайдеров коммерческой службы (CS).

Кроме того, два сигнала (один на E6 и другой на E2-L1-E1) с закрытыми дальномерными кодами и ЦИ предназначены для использования зарегистрированными потребителями в режиме доступа, предназначенного для правоохранительных органов и военных ведомств (PRS).

Будучи совместимой с GPS и ГЛОНАСС, ГАЛИЛЕО станет краеугольным камнем Глобальной навигационной спутниковой системы (Global Navigation Satellite System – GNSS). При этом ГАЛИЛЕО будет обеспечивать беспрецедентную для гражданских систем точность местоопределения до 1 м в режиме реального времени, гарантировать доступ при всех, за исключением экстремальных, обстоятельствах и информировать потребителей об отказе любого спутника в течение нескольких секунд. Это сделает ее незаменимой при решении таких задач, как управление движением железнодорожного транспорта или посадкой самолетов [6].

Учитывая возможности и перспективы совместного использования систем ГЛОНАСС, GPS и ГАЛИЛЕО, проводятся исследования точностных характеристик различных сочетаний их использования.

Камнем преткновения между ЕС и США стал вопрос о целесообразности отключения от «сигнала» ГАЛИЛЕО стран с режимами, противоречащими политическим амбициям США, особенно после получения инвестиций от Израиля, Индии и Китая. Европейцы заявляют, что не собираются отключать, либо вносить в сигналы намеренные искажения, даже если какое-либо государство будет использовать их в боевых действиях против США. Американцы дали понять, что в таком случае они предпримут ответные «обратимые» действия и, в крайнем случае, могут пойти на «необратимые» меры; что означает, видимо, то, что они готовы при необходимости уничтожить систему. Так, в официальном документе командования ВВС США датированном 2004 г., заместитель министра ВВС США Питер Титс ставит вопрос: «Что же мы должны предпринять через десять лет, когда жизнь американцев окажется под угрозой из-за того, что противник решит воспользоваться системой GPS или, возможно, спутниками системы ГАЛИЛЕО для того, чтобы нанести точный удар по американским войскам?» [7].

После длительных переговоров 25 февраля 2004 г. было достигнуто соглашение между США и ЕС по большинству общих вопросов взаимодействия GPS и ГАЛИЛЕО, по критериям национальной безопасности и обеспечения высоких технических характеристик. Для практической реализации договоренностей принято решение об организации четырех рабочих групп. Ряд процедурных и юридических вопросов предполагалось решить позже, однако основная цель подписания соглашения к саммиту ЕС – США в июне 2004 г. была достигнута.

Достигнуты договоренности по вопросам:

- принятия единой базовой структуры сигнала для соответствующих открытых служб;
- подтверждения приемлемости структуры базового сигнала для Службы государственного регулирования (PRS);
- процесса, допускающего совместную или отдельную оптимизацию базовых структур сигнала с целью дальнейшего повышения рабочих характеристик;
- повышения совместимости геодезических и временных стандартов для упрощения совместного использования GPS и ГАЛИЛЕО;
- недискриминационной политики в области торговли навигационными продуктами и услугами;
- поддержания условий сохранения национальной безопасности;
- соглашения о неограниченности пользования или доступа к соответствующим открытым службам конечных потребителей;
- соглашения о завершении разработки руководящих документов.

26 июня 2004 г. Госсекретарь США Колин Пауэл, вице-президент Европейской Комиссии Лойола де Паласио и министр иностранных дел Ирландии Брайан Кауэн подписали Соглашение на 10 лет между США и Европейской Комиссией по взаимодействию и совместному использованию СНС GPS и ГАЛИЛЕО и их функциональных дополнений при создании ГНСС [8].

Это историческое соглашение защищает интересы безопасности стран-союзниц и прокладывает при этом путь к фактическому удвоению количества спутников, которые будут передавать общий гражданский сигнал по всему миру, способствуя тем самым лучшему и всестороннему обслуживанию потребителей. Соглашение гарантирует, что сигналы ГАЛИЛЕО не будут наносить ущерб военной мощи вооруженных сил Соединенных Штатов и стран Атлантического блока, и то, что Соединенные Штаты и ЕС смогут решать индивидуальные и общие проблемы безопасности, а также устанавливает недискриминационные и открытые рынки для торговли гражданской спутниковой навигационной продукцией и услугами [9].

Основные положения соглашения устанавливают:

- выбор общей структуры сигнала для будущей «открытой» службы и оптимальную структуру сигнала для военного М-кода США в системе GPS и для криптостойкого кода PRS в системе ГАЛИЛЕО;
- продажу, экспорт технологии и обеспечение национальной безопасности;
- совместную или отдельную (индивидуальную) обработку (моделирование) сигналов, что позволит в дальнейшем улучшить его базовую структуру при будущем использовании ГНСС;

- утверждение и внутреннюю сходимостью стандартов служб времени и геодезии при совместном использовании систем GPS и ГАЛИЛЕО.

В соответствии с соглашением Вашингтону необходимо будет заранее информировать ЕС о любом изменении в М-коде, с тем чтобы можно было устранить возможные последствия для закодированного сигнала ГАЛИЛЕО с государственным регулированием (PRS). ЕС согласился с общим определением открытого сигнала, известного под названием стандарт с двойным сдвигом несущей (BOC 1,1), вместо менее строго определяемых стандартов BOC 1,5 или 2,2, которые он предлагал раньше.

После длительного противостояния ЕС и США достигли согласия относительно систем GPS и ГАЛИЛЕО. Это основа всестороннего сотрудничества не только в плане взаимодействия и совместимости систем, но и в вопросах торговли и государственной безопасности. Уровень доверия и доброй воли достиг такой отметки, при которой рабочие группы готовы обмениваться закрытой информацией, которая позволит судить о технике безопасности служб PRS ГАЛИЛЕО и М-кода GPS с целью исключения взаимных помех между системами.

Кроме того, были согласованы задачи с целью:

- выработки механизма постоянных политических консультаций по проблемам ГНСС;
- организации сотрудничества при эксплуатации систем и создании линий открытой связи диспетчеров GPS и ГАЛИЛЕО;
- создания совместного комитета безопасности, который будет оценивать угрозы для обеих систем и ситуации, в которых может потребоваться постановка активных помех или загробление гражданских сигналов.

По части ГАЛИЛЕО необходимо подготовить меморандум о статусе, владении, доступе к документации, условиях участия в строительстве и эксплуатации, в экспорте технологий ГНСС и допустимом участии европейских партнеров в программе GPS.

США и ЕС также пришли к соглашению об общей структуре открытого сигнала в будущем. Это по существу означает, что будущие спутники GPS III смогут передавать так же, как и ГАЛИЛЕО, применяемый в настоящее время открытый сигнал системы GPS [10].

С коммерческой точки зрения обе стороны согласились принять недискриминационный подход в отношении спутниковых навигационных товаров и услуг, а также свободу доступа к соответствующим открытым услугам.

Соглашение предусматривает создание четырех рабочих групп, с целью выработки в последующем единого мнения по следующим вопросам:

- исключению интерференции и оптимизации структуры сигнала для гражданской навигации и службы времени;
- продажи (торговли) и гражданского применения ГНСС;

- совместных работ по проектированию и будущему развитию следующего этапа гражданского поколения спутниковых систем для навигации, службы времени и безопасности их использования.

Первая группа сосредоточит свое внимание на возможности совместной работы систем (совместимость радиочастот) и будет на высоком техническом уровне решать вопросы снятия противоречий между ГАЛИЛЕО и GPS, а также оценивать модификации, вносимые в каждую из этих систем, для обеспечения соответствия данному соглашению. Вторая будет заниматься вопросами торговли, которые по договоренности двух сторон должны определяться правилами Всемирной торговой организации. Третья группа займется вопросами разработки будущей системы. Четвертая группа – комиссия по безопасности, созданная для решения вопросов между военными и с целью исключения возможности использования противником точных сигналов спутников.

Кроме того, соглашение предусматривает создание группы высокого уровня, при которой будет функционировать Совет для разработки перспектив развития ГНСС.

Хотя статус ГАЛИЛЕО как гражданской системы будет юридически гарантирован, что послужит предпосылкой для оплаты услуг, тем не менее, подобно GPS, основной сигнал ГАЛИЛЕО станет бесплатным.

Европейское космическое агентство заключило контракты на изготовление двух экспериментальных спутников системы ГАЛИЛЕО. Они будут занимать полосы частот системы и обеспечивать испытания основного оборудования, в том числе атомных часов для передачи точного времени.

Спутник GSTB–V/2A построен в Великобритании компанией Surrey Space Technology Ltd и запущен 28 декабря 2005 г., спутник GSTB–V/2B будет построен Galileo industries – консорциумом, возглавляемым Alcatel Space, Alenia Spazio and Astrium, в течение 2006 г..

GSTB– V/2B послужит в качестве резерва в случае сбоя в работе первого спутника. Для вывода на орбиту первых двух спутников системы ГАЛИЛЕО ЕКА выбрало ракету-носитель «Союз» [11, 12].

Полномасштабная эксплуатация системы ГАЛИЛЕО должна начаться с 2008 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евросоюз (ЕС) // Морской сборник. – 2004. – №9. – С. 72–73/
2. Смоловский А. Новости ВМС иностранных государств (Евросоюз) // Морской сборник. – 2004. – №1. – С. 80–81.
3. Gibbons G. Galileo and Security //GPS World. – 2003. – №9. – Р. 6
4. Питерский Ю. Европейская космическая система «Галилей» // Зарубежное военное обозрение. – 2003. – №9. – С. 48–55.
5. Jane's International Defense Review. – 2003. – V. 36. – No7, July. – Р. 57.
6. Соловьев Ю. А. Спутниковая навигация и ее приложения. – М.: Эко-трендз, 2003 – 326 с.
7. Копик А. Проблемы системы GALILEO // Новости космонавтики. – 2005. – №32. – С. 61.
8. Обзор бюллетеня института навигации США. 2003 – 2004 гг., Т. 13, №4, зима // Новости навигации. – 2004. – №3. – С. 44–45.

9. ПРЕСС-РЕЛИЗ – офис пресс секретаря Белого дома 26 июня 2004 г. Саммит США-ЕС: Соглашение о сотрудничестве GPS – Галилео // Новости навигации. – 2004. – №3. С. 49–50.
10. Обзор журнала GPS-WORLD – июнь 2004 г. // Новости навигации. – 2004. – №3 – С. 48–49.
11. Aviation week & Space Technology. – 2003. – September 8. – P. 61–62.
12. Aviation week & Space Technology. – 2004. – March 8. – P. 24–25.

Prospects for Creation and Employment of Galileo Satellite System by the European Union

B. I. LOBOIKO, V. N. BARINOV, V. S. TREGUBOV (GNINGI, RF MoD)

The information about the state and development of the GALILEO European satellite system is presented. The aspects of its possible employment for the military aims are considered.

ГРНТИ 78.25.31

ТРЕНАЖЕРНЫЙ КОМПЛЕКС «РЕГЕЛЬ» ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ШТУРМАНОВ ВМФ

А. А. БЕЛИКОВ, В. В. ВАРЛАМОВ, К. А. СМЕРНОВ
(ЗАО «Морские навигационные системы»),
К. Н. ЛЕБЕДЕВ (ГУНиО МО РФ),

Приводится описание специализированного тренажерного комплекса «Регель» для штурманской подготовки офицеров Высших специализированных офицерских курсов ВМФ, разработанный ЗАО «Морские навигационные системы» (Санкт-Петербург).

В настоящее время на фоне возрастающей ответственности офицеров-штурманов Военно-морского флота за обеспечение безопасности мореплавания из-за сложившихся социально-экономических условий резко снижена интенсивность плавания кораблей ВМФ России, выполнения боевых упражнений и боевых служб в море. Обострилась проблема поддержания заданного уровня профессиональных знаний и навыков личным составом кораблей флота в условиях дефицита выходов в море. Это оказывает существенное негативное влияние на уровень профессиональной подготовленности экипажей кораблей и судов ВМФ России.

В связи с вышеизложенным и в соответствии с указаниями Главнокомандующего ВМФ основное внимание при подготовке экипажей кораблей и судов в настоящее время сосредоточивается на качестве базовой подготовки в ходе отработки курсовых задач, а также на обеспечении полной загрузки учебных заведений ВМФ, береговых тренажеров, полигонов и учебных классов при максимальном использовании возможностей обучающих систем, ориентированных на реально применяемые морские средства навигации.

Специалистам давно известны преимущества использования тренажеров: безопасность, экономичность, малые временные затраты на обучение, широкие вариации начальных условий и нештатных (аварийных) ситуаций в тренировочных упражнениях, возможности их повторения и

изменения временного масштаба (замедление или ускорение), возможность повторного контроля, анализа действий обучаемых и др.

Одной из особенностей современного развития тренажерной базы ВМФ является качественное изменение самой идеи построения тренажерных средств. Сейчас они создаются на основе компьютерных систем и информационных технологий, темп прогресса которых значительно опережает темп разработки современных технических средств, в том числе и морских средств навигации.

Внедрение высокопроизводительных компьютерных систем обучения, объединение их в единую локальную сеть, разработка и применение специализированного программно-математического обеспечения позволяет значительно повышать динамичность проводимых занятий, увеличивать число одновременно обучаемых специалистов, осуществлять действенный контроль за качеством обучения и тем самым добиваться максимальной эффективности их подготовки.

В соответствии с требованиями времени и основными концептуальными положениями по развитию учебной материальной базы для штурманской подготовки офицеров Высших специализированных офицерских курсов (ВСОК) ВМФ, выработанными ГУНиО МО РФ совместно с ГНИНГИ МО РФ, ЗАО «Морские навигационные системы» (г.Санкт-Петербург) разрабатывает специализированный тренажерный комплекс (СТК) «Регель» (см. рисунок).



Специализированный тренажерный комплекс «Регель»

СТК «Регель» является одной из составных частей тактико-специального тренажерного комплекса «Командор» и обеспечивает проведение занятий в целях повышения уровня подготовки офицеров-слушателей 6 ВСОК ВМФ по кругу своих функциональных обязанностей при решении задач обеспечения безопасности плавания, решении специальных задач тактического маневрирования, характерных для кораблей ВМФ, а также по эксплуатации реально применяемых на кораблях морских средств навигации (МСН).

В СТК «Регель» предусмотрена автоматизация повседневной деятельности преподавателей при разработке планов подготовки занятий, расписаний занятий, учета результатов обучения, учета успеваемости слушателей.

СТК обеспечивает проведение групповой и индивидуальной подготовки слушателей.

В состав СТК «Регель» входят:

- пост руководителя обучением (ПРО);
- автоматизированные рабочие места обучаемого штурмана (АРМО-Ш) и автоматизированные рабочие места обучаемого флагманского штурмана (АРМО-ФШ) – 16 комплектов.

ПРО, АРМО-Ш и АРМО-ФШ объединены компьютерной локальной вычислительной сетью для реализации информационного обмена между ними.

АРМО штурмана и АРМО флагманского штурмана созданы на базе ПЭВМ и включают программно-математическое обеспечение (ПМО) по освоению функциональных обязанностей по занимаемой должности и ПМО электронной картографической и навигационно-информационной системы (ЭКНИС). В состав АРМО включается также учебно-действующая модель планшета автопрокладчика (УДМ ПАП) для работы с бумажными картами и планами.

Пост руководителя обучения представляет собой автоматизированное рабочее места руководителя обучением (АРМ РО) на базе ПЭВМ со специальным программно-математическим обеспечением. Для обеспечения решения всего комплекса задач дополнительно на посту руководителя обучением установлены: система отображения информации коллективного пользования; устройства ввода графической и текстовой информации (сканер, цифровой фотоаппарат); устройства вывода информации, подлежащей документированию на бумажных носителях (принтер).

С поста руководителя обучением в СТК обеспечивается:

- задание начальных координат и элементов движения объектов учебного мероприятия;
- задание координат навигационных объектов;
- отображение обстановки учебного мероприятия на фоне электронной карты;

- выдача вводных по аварийному состоянию своих морских средств навигации или ограничений на их использование;
- контроль и оценка действий слушателей, управляющих своими объектами-кораблями;
- выдача исходных данных для оценки уровня подготовки слушателей;
- управление документированием действий слушателей;
- подготовка данных для проведения разбора занятий;
- изменение масштаба времени учебного мероприятия.

При подготовке занятия руководитель обучением (инструктор) обеспечивает конфигурацию АРМО в соответствии с замыслом проведения занятия по командам с ПРО, распределение слушателей по АРМО в соответствии с командами, передаваемыми ПРО. Одновременно на соответствующие АРМО загружаются необходимые информационные модели и учебное задание.

В ходе проведения занятия основными функциями ПРО являются управление смоделированными объектами и средствами, а также контроль за действиями обучаемых.

Управление смоделированными объектами и средствами осуществляется в соответствии с замыслом проведения упражнения и складывающейся учебной обстановкой. При этом документируются действия обучаемых и вся текущая обстановка.

В СТК обеспечивается реализация следующих основных режимов работы: технологического; подготовки данных; проведения учебных мероприятий (индивидуальных, групповых комплексных (совместных) теоретических и практических); разбора занятий.

Для обеспечения контроля за действиями обучаемых во время учебного мероприятия предоставляется возможность отображения текущего состояния экрана любого из АРМО на средствах отображения поста руководителя обучением.

Пост руководителя обучения обеспечен мультимедийной связью с участниками учебного мероприятия.

Режим разбора занятий осуществляется путем анализа ситуаций и соответствующих действий слушателей на базе архивированных файлов, данных регистрации действий обучаемых и данных развития занятия в реальном времени. Процессом разбора занятий, проводимых на СТК, управляет руководитель обучением.

Основным элементом разбора является воспроизведение на средства отображения информации коллективного пользования (СОИ КП) хода тренировки в ускоренном времени с паузами для комментариев и демонстрации действий обучаемых. При разборе занятия преподавателю предоставлены следующие возможности управления процессом проведения

разбора занятия: остановка; скачок назад; скачок вперед; изменение масштаба времени.

При создании СТК разработчиком применяются следующие современные технические принципы и подходы:

- магистрально-модульное построение вычислительной техники (ВТ) и сетей для обеспечения возможности сопряжения функциональных элементов тренажера, коллективного использования их однотипных функциональных устройств в целях уменьшения количества последних, а также для поэтапного ввода, модернизации тренажера;
- поэтапное наращивание тренажерного комплекса с целью подключения необходимого количества оборудования при доработке или при введении в СТК новых разработок морских средств навигации, доработок программного обеспечения, определяемых поэтапным развертыванием;
- рациональное применение методов математического моделирования, которые позволяют значительно снизить затраты и время, необходимые на разработку тренажерного комплекса;
- информационная достаточность контроля при наладке и настройке тренажерного комплекса как в период разработки, так и при подготовке тренажера к работе и проведении тренировок.

При создании СТК максимально используются имеющиеся у разработчика технические заделы по созданию специализированного программно-математического обеспечения, средствам цифровой имитации обстановки, средствам связи, коммуникационной сети.

СТК «Регель» в соответствии с заложенными в него принципами построения позволяет реализовать основные положения в системе базовой подготовки специалистов ВМФ и обеспечить:

- начальную (теоретическую) подготовку (усвоение теоретических основ по специальности);
- предтренажерную подготовку (формирование психологической надежности действий обучаемого, целью которой является сокращение разрыва между теоретической и практической подготовкой и «плавный» переход к выработке интеллектуальных навыков);
- тренажерную подготовку (формирование физиологической надежности действий обучаемого по отношению к временным устойчивым отказам техники или собственным ошибкам из-за развития усталости, стрессовых ситуаций и т. д.);

В СТК «Регель» предусмотрена возможность наращивания и модернизации специального программного обеспечения с учетом реалий времени. По своим техническим характеристикам СТК «Регель» может обеспечить подготовку специалистов-штурманов в системах военного образования и боевой подготовки ВМФ при обеспечении заданного уровня их профессионализма и минимальных затратах.

Simulator for Training the Navigators of the Navy

A. A. BELIKOV, V. V. VARLAMOV, K. N. LEBEDEV,
(«Marine Navigation Systems» closed-type joint stock Company)
K. A. SMIRNOV (HDNO, RF, MoD)

The special-purpose simulator «Regel» for training the navigators of the Navy Higher Officers' Classes is described. The simulator was designed by the «Marine Navigation Systems» close-type joint stock Company (St. Petersburg).

ГРНТИ 47.49.31, 47.43.25

**К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ РАСЧЕТА АМПЛИТУД И ФАЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
ПОЛЯ В СВ ДИАПАЗОНЕ ЧАСТОТ**

А. А. ПЫЛАЕВ, Л. Г. ТАМКУН
(НИИ Радиофизики Санкт-Петербургского
государственного университета),
В. С. ТРЕГУБОВ (ГНИНГИ МО РФ)

Рассматривается программно реализованный авторами метод расчета амплитуд и фаз радиосигналов СВ диапазона при их распространении над однородными по расстоянию и слоистыми по глубине трассами. Особенностью метода является его относительно высокая точность, достигнутая как за счет использования более строгих алгоритмов расчета электромагнитного поля, так и за счет применения предложенного авторами алгоритма сопряжения («сшивания») решений, полученных различными математическими методами.

Методы расчета электромагнитного поля обычно используются при разработке высокоточных радионавигационных систем (РНС), оценке и выборе алгоритмов обработки их выходного сигнала, их оптимизации и т. п. Для расчета можно использовать стационарные компьютеры общего применения, так как обычно не ставится задача большого быстродействия и минимизации памяти, но точностные показатели должны быть достаточно высокими.

Реальные трассы распространения радиоволн весьма сложны. При их расчете необходимо учитывать условия трехмерных неоднородностей – по расстоянию, по глубине-высоте и по площади. Существует большое число алгоритмов и соответствующих программ для расчета амплитуд и фаз радиосигналов, однако методы вычислений по ним относительно сложны и громоздки, а возможность применения результатов расчета при тех или иных неоднородностях и частотных диапазонах требует обязательной проверки. На настоящем этапе мы ограничимся одномерными по протяженности трассами (т. е. есть без учета поперечных неоднородностей) при их слоистом строении по вертикальной координате ниже линии горизонта и при однородном полупространстве выше нее. Такая модель позволяет учесть влияние слоев льда, леса, а при необходимости и геоэлектрических неоднородностей.

Для учета неоднородностей вдоль трассы распространения существуют различные интегральные уравнения, однако выбор того или иного уравнения и способ его численного решения обычно представляет собой достаточно

сложную проблему. Расчеты, выполненные многими авторами, показали высокую точность эвристического метода Миллингтона [1], в том числе и для слоистых, т. е. описываемых импедансом, трасс распространения радиоволн. Сам метод Миллингтона – это представление функции ослабления неоднородной по протяженности трассы (в «кусочно-однородной» модели) в виде некоторой комбинации функций ослабления однородных трасс, которые и надо уметь рассчитывать. Однородная трасса, таким образом, становится эталоном, и методы расчета электромагнитного поля для нее должны быть надежными, точными и удобными.

Однако даже в этом, однородном случае ситуация оказывается не такой простой. Дело в том, что не найдено единой формы решения для функции ослабления во всем требуемом диапазоне расстояний. В ближней зоне, где справедлива модель плоской Земли, решение обычно представляется в виде рядов, сначала по прямым, а потом по обратным степеням так называемого численного расстояния [2]. В дальней же зоне, где уже требуется учитывать сферичность Земли, решение, полученное В. А. Фоком, представляется в виде ряда по так называемым нормальным волнам [3]. В промежуточной области эти решения должны «сшиваться», однако точки сшивания, то есть границы применимости плоской модели Земли, сильно зависят от частоты и электрических свойств подстилающей поверхности, как это видно из графиков, представленных в работе [2]. В результате не получается единого высокоточного решения, справедливого во всем требуемом диапазоне расстояний, а зависимость точек сшивания от частоты и электрических свойств трассы оказывается «рваной». Это приводит, в частности, к серьезным трудностям при поиске оптимальных проводимостей во время процедуры калибровки радионавигационных систем.

Чтобы избежать указанных недостатков, нами в программах проведена следующая модернизация.

1. На малых расстояниях от наземной РНС до потребителя рекомендуется применять решение интегрального уравнения для функции ослабления над однородной по импедансу сферической Землей в виде ряда по полуцелым степеням расстояния. Благодаря использованию выбранного интегрального уравнения, в этом случае обеспечивается соответствующее теории поведение функции ослабления на расстояниях вплоть до нулевых, и теоретически строго обеспечивается непрерывный переход к решению по нормальным волнам (большие расстояния) [4].

2. Ряд по полуцелым степеням, являясь решением уравнения Вольтерра [4], математически строго сходится при любых расстояниях между корреспондентами (наземная станция – корабль), однако на практике максимальное расстояние при расчетах по этому алгоритму приходится ограничивать и осуществлять переход к нормальным волнам. Причины этого – чисто вычислительные и связаны с ограниченностью разрядной сетки используемых ЭВМ при суммировании данного знакопеременного ряда.

Особенно существенным становится этот фактор для трасс с большими импедансами, что имеет место на высоких частотах и при плохих проводимостях. Поэтому в качестве границы перехода от одного метода вычислений к другому нами предлагается выбирать расстояние, при котором достигается максимальная близость получаемых решений. Пусть W и V – соответствующие им комплексные функции ослабления. Тогда мерой их близости будет близость их отношения к единице, что равносильно максимальной близости к нулю натурального логарифма этого отношения. А этот логарифм, в свою очередь, есть комплексное число, реальная часть которого есть разность логарифмов модулей обеих функций ослабления, а мнимая часть – разность их фаз. Переходя от комплексных величин к действительным, естественно вычислять квадрат модуля этого комплексного числа, равный сумме квадратов его реальной и мнимой частей, а затем искать его минимум по расстоянию. Обозначив минимизируемую величину через D , получим для нее следующее выражение:

$$D = \left| \ln \frac{W}{V} \right|^2 = (\ln |W| - \ln |V|)^2 + (\psi - j)^2,$$

где $|W|$ и $|V|$ – модули, ψ и ϕ – аргументы функций ослабления, сосчитанные при использовании обоих сопрягаемых алгоритмов, т. е. ряда по полуволновым степеням расстояния и ряда по нормальным волнам. Из проведенных нами расчетов следует, что на расстояниях до 1000 км и для реальных проводимостей такой минимум обеспечивает невязку дополнительного запаздывания в десятые доли наносекунды, что соответствует малым долям метра в линейной шкале.

Выполненные нами исследования показали, что требуемый минимум D для больших импедансов и высоких частот достигается на расстояниях в единицы километров. Чтобы обеспечить при этом точность расчета дополнительного запаздывания в десятые доли наносекунды, приходится при расчетах по ряду нормальных волн увеличивать их число. В анализируемом диапазоне частот 1500–2300 кГц (применительно к наземным РНС БРАС, РС–10, СПРУТ–1Н) максимальное число учитываемых нормальных волн было доведено нами до тысячи. При этом вычисления членов ряда проводились по методу итераций Ньютона от выбранных начальных приближений [5], что обеспечило как учет сложного поведения корней решаемого трансцендентного уравнения для трасс с сильно индуктивными импедансами (лес, лед на море), так и достаточную скорость вычислений.

Расчеты по обоим алгоритмам показывают, что положение минимума D на шкале расстояний есть функция модуля соответствующего импеданса и частоты сигнала. В качестве примера в нижеприведенной таблице иллюстрируется зависимость положения оптимальной точки сшивания R_0 от проводимости трассы и, соответственно, от модуля импеданса $|\delta|$ для частоты 1,9 МГц.

Зависимость положения точки сшивания R_0 от свойств трассы

R_0 , км	23,4	19,5	14,5	11,5	8,0	6,0
σ , Сим/м	0,032	0,01	0,0032	0,001	0,0032	0,0001
$ \delta $	0,06	0,10	0,18	0,29	0,40	0,47

Отметим, что на анализируемых частотах при проводимостях хуже чем $\sigma=0,0032$ Сим/м, на величину импеданса значительное влияние начинает оказывать значение диэлектрической проницаемости среды ϵ . Связь между проводимостью и диэлектрической проницаемостью взята нами из работы [6].

По результатам расчетов в СВ диапазоне частот и для реальных проводимостей была найдена эмпирическая формула, описывающая зависимость координаты точки «сшивания» двух решений R_0 (км) от модуля импеданса и частоты сигнала. Эта формула имеет вид

$$R_0 = (14,5 + 10,5X - 0,5X^2)(1 - 0,1Y),$$

где $X = 2 \lg \frac{\sigma |\delta_0(f)|}{\epsilon |\delta(f)|}$

$|\delta_0(f)|$ – модуль импеданса «средней» трассы с удельной проводимостью $\sigma=3,16$ Сим/м и относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon=9,4$;

$|\delta(f)|$ – модуль импеданса анализируемой трассы;

$Y = (f - 1900) / 200$;

f – частота (кГц).

Если расстояние R между корреспондентами меньше найденной величины R_0 , то программа использует для расчета функции ослабления ряды для интегрального уравнения, а если больше, то ряды по нормальным волнам. В этом случае обеспечивается точность «сшивания» дополнительного запаздывания в десятые доли наносекунды, то есть практическая непрерывность результатов расчетов по расстоянию, электрическим свойствам Земли и частоте. Кроме того, выполняются все предельные переходы. В частности, модуль функции ослабления (в дБ) и дополнительное запаздывание строго равны нулю на нулевом расстоянии и зависят от него как корень квадратный, а на больших расстояниях – те же зависимости строго линейны, так как в этом случае «работает» уже только одна нормальная волна, по определению имеющая линейную зависимость логарифма комплексной функции ослабления от расстояния.

Пример качества «сшивания» демонстрируется на рис. 1, 2 для ледовой трассы с сильно индуктивным импедансом, при котором наблюдается рост функции ослабления с расстоянием. Обеспечивается «гладкость» сопряжения результатов расчетов по обоим алгоритмам. Оптимальная точка «сшивания» при этом оказалась на расстоянии 24 км от излучающей антенны. При использовании же варианта, когда на малых расстояниях от наземной станции

до объекта применяются ряды для функции ослабления над плоской Землей [6], соответствующие кривые в лучшем случае пересекаются, и точки пересечения оказываются, как правило, на разных расстояниях для амплитуды и фазы сигнала [2].

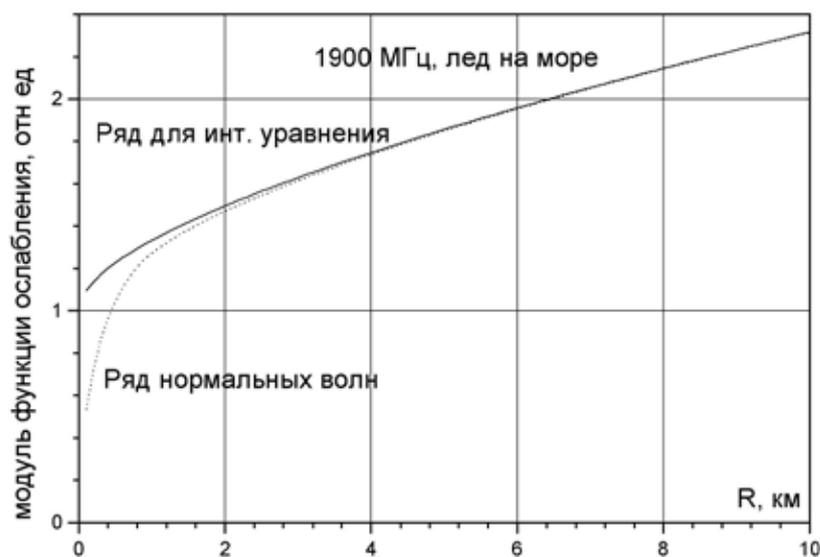


Рис. 1. Зависимость модуля функции ослабления от расстояния между наземной станцией и объектом при использовании ряда для интегрального уравнения (кривая 1) и ряда для нормальных волн (кривая 2)

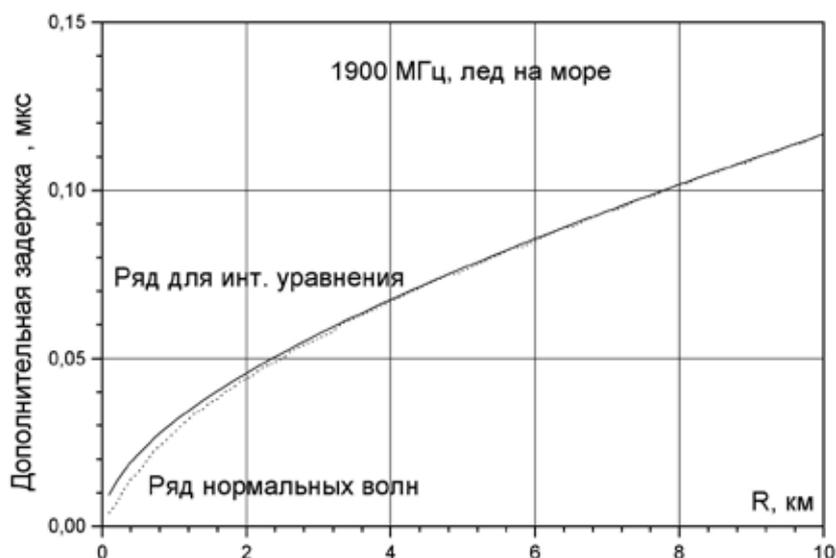


Рис. 2. Зависимость дополнительного запаздывания от расстояния между наземной станцией и объектом при использовании ряда для интегрального уравнения (кривая 1) и ряда для нормальных волн (кривая 2)

Авторы выражают благодарность ст. научному сотруднику НИИ Радиофизики СПбГУ К. Н. Хованскому за помощь при разработке и тестировании ПМО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Millington G. Ground wave propagation over an inhomogeneous smooth earth. // PIRE. – 1949, Part III, 96. – P. 53–64.
2. Гюннинен Э. М., Макаров Г. И., Новиков В. В., Рыбачек С. Г. Распространение электромагнитных импульсов и их гармонических составляющих над земной поверхностью // Проблемы дифракции и распространения волн. – Л.: Изд-во ЛГУ. – 1964. – Вып. 3. С. 5–191.
3. Фок В. А. Дифракция радиоволн вокруг земной поверхности. М.: Изд-во АН СССР, 1946. – 86 с.
4. Горшенев А. М. Решение интегрального уравнения для функции ослабления над импедансной сферической Землей // Проблемы дифракции и распространения волн. – Л.: Изд-во ЛГУ. – 1981. – Вып. 18., С. 165–170.
5. Гюннинен Э. М., Копейкин В. Н. Функция ослабления радиоволн для сферической Земли с сильно индуктивным поверхностным импедансом // Проблемы дифракции и распространения волн. – Л.: Изд-во ЛГУ. – 1977. – Вып. 15. – С. 43–46.
6. Фейнберг Е. Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 546 с.

On Methods of Calculation the Amplitudes and Phases of Electromagnetic Field in Medium Frequency Band

A. A. PYLAEV, L. G. TAMKUN (The Research Institute of Radiophysics),
V. S. TREGUBOV (GNINGI, RF MoD)

The method of calculating the amplitudes and phases of medium frequency band radio signals when they propagate along the paths over the flat terrain and layered structure is considered. For this aim the special program was developed by the authors. The specific feature of the method is its relatively high accuracy achieved both by using the stricter algorithms for calculation of the electromagnetic field and employment of the solutions conjugation algorithm obtained by various mathematical methods that was proposed by the authors.

ГРНТИ 73.34.17

О ДОСТОВЕРНОСТИ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ НАВИГАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВАНИЯ ПО ЗАДАННОМУ МАРШРУТУ

Б. Е. ИВАНОВ
(ГНИНГИ МО РФ)

В статье анализируются предложенные Н. М. Груздевым зависимости для расчета вероятности навигационной безопасности плавания по заданному маршруту. Доказывается их ошибочность и предлагается реальный путь решения рассматриваемой задачи.

В учебнике [1], рекомендованном курсантам военно-морских институтов, и в монографии [2], предназначенной для командиров и офицеров кораблей, преподавателей и курсантов военно-морских учебных заведений, гражданских судоводителей, предложено решение задачи по оценке

вероятности навигационной безопасности плавания (ВНБП) по заданному маршруту. О несостоятельности этого предложения сообщалось в работах [3, 4]. Однако автор книг [1, 2] категорически не согласился с критикой и высказал аргументы, которые, по его мнению, обосновывают достоверность предложенных им зависимостей [5, 6]. В связи с вышеизложенным целесообразно проанализировать как сами зависимости, так и аргументы для обоснования их достоверности. Такая задача решается ниже.

1. В книгах [1, 2] предлагается вычислять ВНБП по формуле

$$P = 1 - \prod_{j=1}^n (Q_j \prod_{i=j}^{n-1} P_{ni}), \quad (1)$$

где j и i – порядковые номера участка маршрута движения;

n – количество участков на заданном маршруте движения;

$Q_j = 1 - P_{nj}$ – вероятность навигационного происшествия на j -ом участке маршрута движения;

P_{ni} и P_{nj} – вероятности безопасного плавания на i -ом и j -ом участках соответственно.

Прежде всего следует отметить, что неискушенным читателям и тем более курсантам трудно понять формулу (1), т. к. ее запись не соответствует принятой в математике и навигации. Обычно при $i \neq j$ индекс над знаком произведения не приводится (см., например, [7, стб. 632]) или указывается его значение, соответствующее индексу над предшествующим знаком суммы (см., например, [8, стр. 173]). Таким образом, вместо $n - 1$ над знаком произведения в формуле (1) должно быть записано n или не записано ничего.

В статье [6] автор книг [1, 2] пытается доказать правильность записи формулы (1), ошибочно полагая, что индекс над знаком произведения соответствует **числу** сомножителей, а не последнему **номеру** сомножителя.

Формулу (1) предлагается использовать только тогда, когда «исходные вероятности не менее 0,99» [1, 2, 6]. Это свидетельствует о субъективном подходе к решению задачи, поскольку при объективной зависимости, полученной на основе корректного использования положений теории вероятностей, не должны накладываться ограничения на частные вероятности, которые могут принимать значения от 0 до 1. К тому же в случае невыполнения указанного ограничения в книгах [1, 2] и в докладе [5] предлагается рассчитывать ВНБП отдельно на **каждом участке**, а в статье [6] – по отдельным **группам участков**.

Формула (1) является ошибочной, поскольку противоречит как положениям теории вероятностей, так и теории и практике навигации. Во-первых, ей соответствует неправдоподобное навигационное происшествие, когда корабль попадает в аварийную ситуацию (садится на мель, тонет и т. п.) на одном из участков маршрута, но тут же ликвидирует последствия этой ситуации и свободно продолжает движение через оставшиеся участки

маршрута. Во-вторых, расчеты по формуле (1) показали, что при увеличении числа n участков ВНБП P сначала уменьшается, а затем, достигнув минимального значения, начинает увеличиваться и стремится к единице [4]. Получается абсурд – чем больше опасностей встретится на пути корабля, тем безопаснее будет его плавание!

Расчет составляющих вероятностей P_{ni} и P_{nj} предлагается выполнять по формуле [1, 2]

$$P_n = [P_o P_{сч} P_1 + P_o (1 - P_{сч}) P_2 + (1 - P_o) P_{сч} P_3 + (1 - P_o) (1 - P_{сч}) P_4] P_p P_T, \quad (2)$$

где P_o и $P_{сч}$ – вероятности выполнения качественной обсервации и счисления соответственно;

P_k – вероятность безопасного положения корабля относительно навигационной опасности при использовании k -го варианта работы морских средств навигации ($k = 1, 2, 3, 4$);

P_p – вероятность правильной оценки обстановки и решения задач;

P_T – вероятность безотказной работы движительно-рулевого комплекса.

Кроме того, при оценке составляющих вероятностей P_{ni} и P_{nj} в монографии [2] предлагается в правую часть равенства (2) включить P_y – вероятность отсутствия столкновения с кораблями и судами.

Формула (2) также ошибочна. Во-первых, в ней непрерывное счисление и дискретная обсервация неоправданно представлены однородными, полностью взаимозаменяемыми событиями. Второе и четвертое слагаемые в квадратных скобках, когда отсутствует счисление, не соответствуют реальному процессу навигации на подводной лодке и в общем случае на надводном корабле. В любом варианте работы морских средств навигации следует предусмотреть счисление, пусть даже пониженной точности. Во-вторых, третье и четвертое слагаемые соответствуют событию, при котором отсутствует качественная обсервация. Не ясно, предполагается ли «некачественная» обсервация? Если она не предполагается, то последнее слагаемое должно быть исключено, так как относится к случаю полной неопределенности в положении и ориентировке корабля в связи с отсутствием и обсервации, и счисления. Если эта обсервация предполагается, то необходимо в формулу (2) включить соответствующие слагаемые и учесть вероятность выполнения «некачественной» обсервации. В-третьих, формула (2) с учетом зависимости для P_k никак не определяет ВНБП через отдельный участок. В ней не учтены ни размеры, ни число опасностей, ни их расположение в участке. Формула для вероятности P_k соответствует выражению вероятности попадания случайной величины на заданный интервал [9] и определяет только ВНБП мимо одиночной безразмерной опасности.

Вероятность счисления $P_{сч}$, которая входит составной частью в формулу (2), предлагается вычислять по формуле [1, 2].

$$P_{сч} = P_{л} P_{инс} + P_{л} (1 - P_{инс}) + P_{инс} (1 - P_{л}) + (1 - P_{л}) (1 - P_{инс}), \quad (3)$$

где $P_{\text{л}}$ и $P_{\text{инс}}$ – вероятности счисления по данным системы счисления, включающей лаг, и с помощью инерциальной навигационной системы соответственно.

Если раскрыть скобки в формуле (3), то окажется, что $P_{\text{сч}} = 1$. Опять получается абсурд, когда при любой работе указанных средств счисления и даже при выходе всех их из строя событие счисления пути корабля всегда будет достоверным. К тому же эта формула получена при условии, что события с вероятностями $P_{\text{л}}$ и $P_{\text{инс}}$ являются независимыми. На самом деле эти события зависимые, поскольку инерциальная навигационная система демпфируется показаниями лага. Кроме того, в формуле (3) не учтена возможность использования таких резервных средств как магнитный компас и указатель частоты оборотов движителя. Именно потенциальная возможность использования резервных средств делает процесс счисления пути корабля практически достоверным событием.

Наряду с формулой (1) и сопутствующими ей формулами (2) и (3), ошибочной является и приближенная формула из книг [1, 2]

$$P = 1 - n Q \exp(-n Q), \quad (4)$$

где Q – усредненная вероятность навигационного происшествия на отдельном участке маршрута.

Автор книг [1, 2] получил формулу (4) путем применения закона Пуассона к своей ошибочной вероятностной модели, аргументируя это тем, что навигационное происшествие является редким событием, а его вероятность Q мала. Действительно, закон Пуассона известен под названием «закон редких явлений» [9]. Однако сформулированная в книгах [1, 2] аргументация ошибочна даже без учета качества вероятностной модели. Это связано с тем, что второе слагаемое в правой части равенства (4) соответствует формуле, которая выведена в работе [9] при условии постоянства произведения $n Q$ и стремлении числа n опытов (в данном случае – числа участков маршрута) к бесконечности, а вероятности Q – к нулю. В связи с изложенным автор книг [1, 2] должен бы рекомендовать формулу (4) для использования только при **большом** числе n участков. Однако это не согласуется с реальным процессом кораблевождения и требованием из статьи [6] об ограничении числа участков.

Если бы автор книг [1, 2] точно следовал своей ошибочной вероятностной модели, то при выводе приближенной формулы он должен бы использовать биномиальное распределение, а не распределение Пуассона. Тогда на основании работы [9] вместо формулы (4) он бы получил

$$P = 1 - n (1 - P_0) P_0^{n-1}, \quad (5)$$

где P_0 – усредненная вероятность безопасного прохождения отдельного участка маршрута.

К тому же формула (5) точно соответствует формуле (1) в случае, когда все вероятности P_i и P_j равны $P_0 = 1-Q$.

2. Ошибочные положения из книг [1, 2] подверглись критике на заседании постоянно действующего семинара секции «Морская навигация, гидрография, геофизика и гидрометеорология» Российского научно-технического общества судостроителей имени академика А. Н. Крылова 12 февраля 2004 г. и на Пятой российской научно-технической конференции «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии» («НО-2004»), проходившей 10–12 марта 2004 года [3]. При этом никто из участников семинара и конференции не поддержал предложения автора книг [1, 2]. Последний попытался аргументировать достоверность своих положений [5].

Одним из главных аргументов в попытке доказать достоверность формулы (1) являлась не теоретическая обоснованность, а ссылка на практику кораблевождения. Никто не может возражать против основного критерия истины – практики. Однако для того, чтобы проверить достоверность формулы (1) необходимо иметь большой объем данных о фактической аварийности судов с разделением на группы с однородными условиями навигационной обстановки и, в частности, с фиксированным числом n участков маршрута. Таких данных, к сожалению, нет, а приведенные в работах [1, 2, 5, 6] обобщенные данные не могут решить задачу. Кроме того, необходимо иметь достоверную зависимость для оценки вероятности безопасного прохода отдельного участка маршрута. Иначе говорить о каком-либо соответствии формулы (1) практике кораблевождения просто бессмысленно. Как показано выше, такая зависимость в книгах [1, 2] не обоснована.

Попытка в статье [6] подтвердить «вполне аргументированное обоснование» формулы (1) с учетом «желаемого» и «нежелательного» событий является простым рассуждением, в котором не содержится ни одного аргумента для доказательства достоверности этой формулы.

Ознакомившись с критикой из статьи [4], автор книг [1, 2] устанавливает ограничение на число n участков маршрута [6], соответствующее отмеченному в п. 1 минимуму ВНБП. Введение второго ограничения на использование формулы (1) еще раз свидетельствует о субъективном подходе при ее выводе. Таким образом, обоснование формулы (1) связывается с сопоставлением ее с практикой кораблевождения и введением ограничений. По сути дела это представляет собой комбинацию теоретического и эмпирического путей вывода формул. Здесь такая комбинация больше похожа на подгонку под желаемый ответ, чем на обоснование вероятностной зависимости.

Теперь относительно критики автором книг [1, 2] формулы из монографии В. Т. Кондрашихина [10]

$$P = \prod_{i=1}^n P_{ni}. \quad (6)$$

Критика сводится к тому, что при увеличении числа опасностей ВНБП, вычисленная по формуле (6), убывает значительно быстрее, чем ВНБП, вычисленная по формуле (1), а при больших значениях n становится нереально малой. На это можно ответить следующее. Во-первых, при сравнении формул использовалась частная вероятность, равная 0,95 и 0,99 [5, 6]. Это означает, что навигационное происшествие должно произойти соответственно при 20 и 100 прохождениях корабля мимо опасности. В общем случае такая вероятность соответствует нереально высокой степени аварийности.

Во-вторых, формула (6) теоретически обоснована, чего нельзя сказать о формуле (1). При этом В. Т. Кондрашихин прямо указал, что формула (6) может применяться **только** при условии, когда прохождение опасностей можно считать **независимыми событиями**. Это является единственным ограничением для формулы (6), которое связано с корректным применением положений теории вероятностей, а не с субъективным подходом к решению задачи. Кстати, такое ограничение обязательно должно сопутствовать и формуле (1). Однако почему-то ни в одной из работ [1, 2, 5, 6] об этом ничего не сказано. Если независимость событий нарушается (например, при прохождении корабля мимо протяженной опасности или нескольких рядом лежащих опасностей), то как формула (6), так и формула (1) не должны использоваться для оценки ВНБП. Таким образом, ограничение для формулы (6) должно связываться с нарушением независимости событий, а не с числом участков маршрута, как это пытался представить автор книг [1, 2].

Следует отметить, что достоверность формулы (6) обоснована в статье [4], а автор книг [1, 2] не опроверг теоретическую корректность этой формулы.

В-третьих, при выводе формулы (1) предусматривается, что «маршрут движения состоит из n участков» [1, 2], т. е. весь маршрут разбивается на участки. Вместо этого можно предложить выделять только те участки, в которых находятся объекты, действительно представляющие навигационную опасность для данного корабля и маршрута. В большинстве случаев значительная часть маршрута удалена от навигационных опасностей настолько, что событие навигационной безопасности плавания в ней можно считать практически достоверным. К выделенным участкам маршрута можно отнести термин «опасные участки», который применен в статье [4]. При оценке ВНБП события безопасного прохождения двух опасных участков можно считать практически независимыми, тем более что эти участки могут быть несмежными. Тогда будет соблюдаться условие, установленное В. Т. Кондрашихиным при выводе формулы (6). Если для двух смежных

участков независимость событий все-таки нарушается, то их можно объединить в один участок маршрута.

В-четвертых, утверждение из доклада [5] о том, что при количестве участков, не превышающих 100–300, формула (1) дает более адекватный действительности результат, чем формула (6), не имеет никакого обоснования. Делать такой вывод на основе простого сравнения значений ВНБП, вычисленных по двум формулам, просто некорректно. При количестве опасных участков не более 20–30 значения ВНБП, вычисленные по формулам (1) и (6), различаются между собой на малую величину, которой можно пренебречь при практических расчетах. Можно ожидать, что на практике число опасных участков не превысит указанный предел. Поскольку обе формулы дают практически одинаковый результат, то возникает вопрос, зачем же рекомендовать для обучения курсантов и для практических расчетов формулу (1), которая теоретически некорректна, предложена более чем на 20 лет позже формулы (6) и не имеет никакого преимущества при сравнении с последней. По нашему мнению, на практике, и тем более, в учебном процессе должна использоваться формула (6), так как она давно известна широкому кругу специалистов, теоретически обоснована и значительно проще формулы (1).

Следует заметить, что автор книг [1, 2] почему-то формулу (6) приписывает оппоненту, хотя последний никогда на нее не претендовал, всегда подчеркивая авторство В. Т. Кондрашихина.

Если в докладе [5] автор книг [1, 2] категорически возражал против вывода из работы [3] о том, что по его модели после навигационного происшествия корабль беспрепятственно продолжает движение, то в статье [6] такого возражения уже нет. Более того, есть признание указанной особенности модели, которая, что бы не утверждал этот автор, делает его модель неадекватной реальному процессу кораблевождения.

Вместо признания ошибки автор книг [1, 2] пытается любым путем выдать формулу (3) за правильную, хотя очевидно, что она ошибочна. Он признает, что вероятность счисления $P_{сч}$ нельзя вычислять по формуле (3) с учетом всех ее слагаемых, и предлагает на практике выбирать только необходимое слагаемое [5]. Такое объяснение вызывает недоумение. Возможно предполагается, что штурман может выбрать слагаемое $(1-P_{л})(1-P_{инс})$? Однако это слагаемое соответствует событию **отсутствия счисления**, включено в формулу вероятности события **выполнения счисления** по ошибке и потому должно быть из нее исключено.

3. Завершив анализ зависимостей из книг [1, 2] и аргументов для обоснования их достоверности, рассмотрим, каким образом при планировании похода корабля можно оценить ВНБП по заданному маршруту.

Во-первых, из заданного маршрута следует выделить опасные участки, к которым можно отнести акватории портов, пунктов базирования кораблей и подходы к ним, шхерные районы, заливы, проливы и т. п.

Во-вторых, для каждого опасного участка необходимо оценить свою ВНБП. Для решения этой задачи в качестве модели погрешностей определения места целесообразно использовать случайную функцию, а не случайную величину. Это позволит выполнять оценку с учетом корреляции погрешностей определения места. Тогда ВНБП по одному опасному участку можно оценить как вероятность выбросов случайной функции за заданный уровень при установленном интервале времени или длине пути [11–13]. При этом заданный уровень погрешности должен определяться для каждого участка отдельно как расстояние между линией пути корабля и навигационной опасностью с учетом навигационного запаса.

В-третьих, ВНБП по всему заданному маршруту можно оценить по формуле (6) на основе полученных ВНБП по каждому опасному участку.

4. Следует отметить и некорректность в работах [5, 6], когда при анализе статьи [4] опровергается даже то, чего в этой статье просто нет, когда ошибки, допущенные в книгах [1, 2], относятся на счет оппонента, а изложение материала перемешивается с попытками представить оппонента некомпетентным и не заслуживающим доверия человеком. Автор настоящей статьи отвергает личностные высказывания в свой адрес, но не отвечает на них, полагая, что это не является предметом научной дискуссии.

Выводы.

1. Формулы (1) – (4) и сопутствующая им формула (5) противоречат основным положениям теории вероятностей, теории и практики навигации. Они являются ошибочными и не должны использоваться ни при практических расчетах, ни в учебном процессе.

2. При планировании похода корабля оценку ВНБП по заданному маршруту целесообразно проводить путем выделения опасных участков, оценки ВНБП на каждом из них на основе теории случайных функций и окончательной оценки ВНБП по маршруту с использованием формулы (6).

ЛИТЕРАТУРА

1. Груздев Н. М. Безопасность плавания. Учебник – СПб.: СПбВМИ, 2002. – 211 с.
2. Груздев Н. М. Навигационная безопасность плавания. – СПб.: ГУНиО МО РФ, 2002. – 221 с.
3. Иванов Б. Е. К вопросу о навигационной безопасности плавания // Труды Пятой российской научно-технической конференции «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии» («НО-2004»). Т.1. – СПб.: ГНИНГИ МО РФ, 2004. – С.82–85.
4. Иванов Б. Е. Об оценке вероятности безопасного плавания по заданному маршруту // Записки по гидрографии. – 2005. – № 263. – С. 93–103.
5. Груздев Н. М. Анализ обоснованности критических выступлений по проблеме навигационной безопасности плавания // Труды Пятой российской научно-технической конференции «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии» («НО-2004»). Т.1. – СПб.: ГНИНГИ МО РФ, 2004. – С.86–88.
6. Груздев Н. М. Несостоятельная критика оппонента с предвзятым мнением // Записки по гидрографии. – 2005. – № 263. – С. 103–111.
7. Математическая энциклопедия. Т. 2. Д-Коо / Гл. ред. И. М. Виноградов. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 1104 стб.
8. Кондрашихин В. Т. Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения. – М.: Транспорт, 1969. – 256 с.

9. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Учебник для высших технических учебных заведений. Изд. 3-е, испр. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
10. Кондрашихин В. Т. Определение места судна. – М.: Транспорт, 1981. – 206 с.
11. Свешников А. А. Прикладные методы теории случайных функций. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Наука, 1968. – 263 с.
12. Дмитриев С. П., Колесов Ю. М., Осипов А. В. Информационная надежность, контроль и диагностика навигационных систем. – СПб.: ГНЦ ЦНИИ «Электроприбор», 2003. – 206 с.
13. Михальский В. А., Катенин В. А. Пути решения задачи навигационной безопасности плавания при множественных опасностях // Труды Пятой российской научно-технической конференции «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии» («НО-2004»). Т.1. – СПб.: ГНИНГИ МО РФ, 2004. – С. 91–93.

On Validity of the Probability Estimate of Navigation Safety Along the Set Route

V. E. IVANOV
(GNINGI, RF MoD)

The relationships proposed by professor N. M. Gruzdev for the probability estimate of the navigation safety along the set route and his arguments intended to substantiate the validity of these relationships are analysed. The erroneousness of both the relationships and the arguments is proved. Another way to solve the given problem is proposed.

ГРНТИ 78.21.41.19

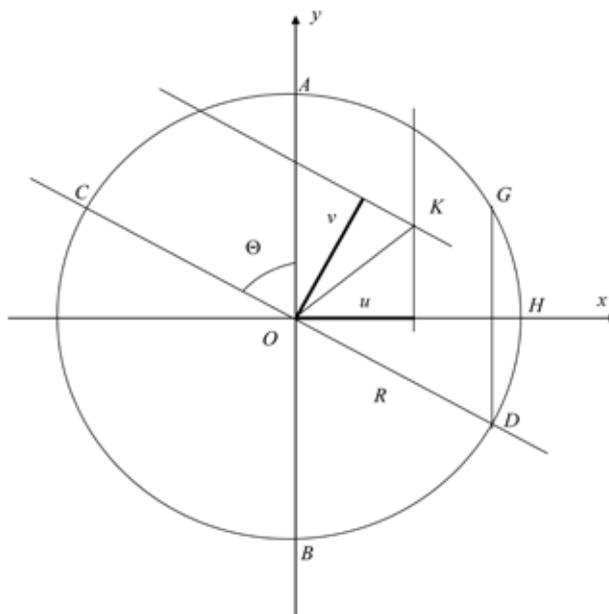
ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ НАХОЖДЕНИЯ МЕСТА В КРУГЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛАПЛАСА

Б. Е. ИВАНОВ
(ГНИНГИ МО РФ)

В статье выведены зависимости для оценки вероятности нахождения места в круге для случая, когда погрешности измерения навигационных параметров подчиняются распределению Лапласа. Достоверность полученных зависимостей проверена методом статистического моделирования.

Для обеспечения навигационной безопасности плавания кораблей и судов часто используется вероятность нахождения их места в круге с заданным радиусом. Такая задача рассматривалась в работе [1] для случая, когда погрешности измерения навигационных параметров подчиняются нормальному распределению, которое обычно применяется в навигации. В то же время при обеспечении навигационной безопасности плавания в методиках [2] рекомендуется использовать распределение Лапласа. В связи с этим целесообразно решить указанную задачу с учетом распределения Лапласа, что и делается в данной статье.

Пусть место точки O определено по двум линиям положения AB и CD , пересекающимся под углом Θ (см. рисунок). В связи с их погрешностями u и v , подчиняющимися распределению Лапласа, истинное место находится в точке K . Требуется оценить вероятность нахождения места K в пределах круга с радиусом R .



Место O , определенное по линиям положения AB и CD с погрешностями u и v в круге с радиусом R

Для решения этой задачи необходимо учитывать плотность распределения $\varphi(x, y)$ погрешности определения места в системе плоских прямоугольных координат xOy при использовании распределения Лапласа. В соответствии со статьей [3] эта плотность распределения выражается зависимостью

$$j(x, y) = \frac{1}{4} \alpha \beta \sin Q e^{-(\alpha|u| + \beta|v|)}, \quad (1)$$

где α и β – параметры распределения Лапласа.

С учетом рисунка погрешности u и v могут определяться по формулам

$$\begin{aligned} u &= x; \\ v &= x \cos Q + y \sin Q. \end{aligned} \quad (2)$$

Параметры распределения Лапласа равны

$$\begin{aligned} a &= \sqrt{2} / m_u; \\ b &= \sqrt{2} / m_v. \end{aligned} \quad (3)$$

где m_u и m_v – средние квадратические погрешности (СКП) линий положения AB и CD соответственно.

Для оценки искомой вероятности необходимо проинтегрировать выражение (1) по площади круга. В связи с тем, что в формуле (1)

учитывается модуль погрешностей, эта задача решается по отдельным частям круга. Во-первых, рассматривается фигура, ограниченная отрезками AO , OD , DG и дугой GA . В пределах этой фигуры погрешности имеют только положительные значения. Тогда с учетом рисунка и формул (1) и (2) вероятность P_1 нахождения места в ее пределах будет равна

$$P_1 = \frac{1}{4} \alpha \beta \sin Q \int_0^{R \sin Q \sqrt{R^2 - x^2}} \int_{-x \operatorname{ctg} Q}^{\infty} e^{-[(\alpha + \beta \cos Q)x + \beta \sin Q y]} dy dx. \quad (4)$$

Взяв внутренний интеграл в равенстве (4), получим

$$P_1 = \frac{1}{4} (1 - e^{-\alpha R \sin Q}) - \frac{1}{4} \alpha \int_0^{R \sin Q} e^{-[(\alpha + \beta \cos Q)x + \beta \sin Q \sqrt{R^2 - x^2}]} dx. \quad (5)$$

Во-вторых, рассматривается сегмент, ограниченный хордой GD и дугой GHD . В нем так же, как в уже рассмотренной фигуре, погрешности имеют только положительные значения. Тогда по аналогии с формулой (4) вероятность P_2 нахождения места в пределах сегмента будет равна

$$P_2 = \frac{1}{4} \alpha \beta \sin Q \int_{R \sin Q}^R \int_{\sqrt{R^2 - x^2}}^{\sqrt{R^2 - x^2}} e^{-[(\alpha + \beta \cos Q)x + \beta \sin Q y]} dy dx. \quad (6)$$

Взяв внутренний интеграл в равенстве (6), получим

$$P_2 = -\frac{1}{4} \alpha \int_{R \sin Q}^R e^{-(\alpha + \beta \cos Q)x} \left[e^{-\beta \sin Q \sqrt{R^2 - x^2}} - e^{\beta \sin Q \sqrt{R^2 - x^2}} \right] dx. \quad (7)$$

В-третьих, рассматривается сектор, ограниченный отрезками AO , OC и дугой AC . В нем погрешность u имеет только отрицательные значения, а погрешность v – положительные значения. Поскольку в формуле (1) учитывается модуль погрешностей, то вводится дополнительная переменная $z = -x$. В этом случае формулы (2) примут вид

$$\begin{aligned} |u| &= z; \\ v &= -z \cos Q + y \sin Q. \end{aligned}$$

Тогда вероятность P_3 нахождения места в пределах сектора будет равна

$$P_3 = \frac{1}{4} \alpha \beta \sin Q \int_0^{R \sin Q \sqrt{R^2 - z^2}} \int_{z \operatorname{ctg} Q}^{\infty} e^{-[(\alpha - \beta \cos Q)z + \beta \sin Q y]} dy dz. \quad (8)$$

Взяв внутренний интеграл в равенстве (8), получим

$$P_3 = \frac{1}{4}(1 - e^{-\alpha R \sin Q}) - \frac{1}{4} \alpha \int_0^{R \sin Q} e^{-(\alpha - \beta \cos Q)z + \beta \sin Q \sqrt{R^2 - z^2}} dz. \quad (9)$$

Сумма вероятностей P_1 , P_2 и P_3 соответствует вероятности нахождения места в пределах половины круга. Тогда с учетом симметричности плотности распределения погрешности места вероятность P нахождения места в пределах всего круга будет равна

$$P = 2(P_1 + P_2 + P_3). \quad (10)$$

Методом численного интегрирования по формулам (3), (5), (7), (9) и (10) вычислены значения P для различных Θ , m_u , m_v и R . Результаты вычисления представлены в таблице, в которой вместо R указывается коэффициент k , равный отношению R к СКП места, формула для которой приведена в работе [1]. В таблице приведены значения вероятности при коэффициенте k , равном 1, 2 и 3. При $k > 3$ эти значения изменяются на меньшую величину. Так, при $k = 4$ вероятность P изменяется от 0,997 до 0,999, а при $k = 5$ – от 0,999 до 1,000.

Вероятность нахождения места в круге

Θ	m_v / m_u	$k = 1$		$k = 2$		$k = 3$	
		P	P_M	P	P_M	P	P_M
30°	1,0	0,728	0,729	0,948	0,947	0,991	0,991
	1,5	0,733	0,734	0,947	0,946	0,990	0,990
	2,0	0,740	0,740	0,946	0,946	0,989	0,989
	2,5	0,745	0,745	0,945	0,945	0,988	0,988
	3,0	0,749	0,748	0,944	0,944	0,987	0,987
45°	1,0	0,723	0,723	0,950	0,950	0,992	0,992
	1,5	0,729	0,728	0,949	0,949	0,991	0,991
	2,0	0,738	0,737	0,948	0,948	0,989	0,989
	2,5	0,744	0,744	0,946	0,945	0,988	0,988
	3,0	0,749	0,748	0,945	0,945	0,988	0,987
60°	1,0	0,715	0,715	0,953	0,953	0,993	0,993
	1,5	0,723	0,724	0,951	0,951	0,992	0,992
	2,0	0,734	0,733	0,949	0,949	0,990	0,990
	2,5	0,743	0,743	0,947	0,948	0,989	0,989
	3,0	0,748	0,748	0,946	0,946	0,988	0,988
75°	1,0	0,709	0,709	0,954	0,954	0,994	0,994
	1,5	0,718	0,718	0,953	0,953	0,992	0,992
	2,0	0,731	0,732	0,951	0,951	0,990	0,990
	2,5	0,741	0,740	0,948	0,948	0,989	0,989
	3,0	0,747	0,748	0,947	0,946	0,988	0,988
90°	1,0	0,707	0,707	0,955	0,955	0,994	0,994
	1,5	0,716	0,716	0,954	0,954	0,993	0,993
	2,0	0,730	0,729	0,951	0,952	0,991	0,991
	2,5	0,740	0,740	0,949	0,948	0,989	0,989
	3,0	0,747	0,746	0,947	0,948	0,988	0,988

Из таблицы видно, что при увеличении угла пересечения линий положения вероятность P уменьшается не более, чем на 0,02, а при

увеличении радиуса круга увеличивается не менее, чем на 0,2. При увеличении отношения m_v/m_u вероятность увеличивается при $k = 1$ и уменьшается при $k > 1$.

Проверка полученных зависимостей выполнена методом статистического моделирования. Для этого на персональной электронной вычислительной машине по формулам из статьи [4] моделировались $N = 30000$ пар случайных погрешностей u и v с соответствующими СКП. Для каждой пары этих погрешностей вычислялось случайное расстояние r , равное длине отрезка OK (см. рисунок), по формуле

$$r = \sqrt{u^2 + (v/\sin Q - \text{uctg}Q)^2}.$$

Далее определялось число n значений r при условии $r > R$. Затем вычислялась вероятность P_m нахождения места в круге с радиусом R по формуле

$$P_m = 1 - \frac{n}{N}.$$

Значения P_m приведены в таблице, из которой видно, что разность между P и P_m не превышает 0,001. Это подтверждает достоверность полученных зависимостей.

Таким образом, задача оценки вероятности нахождения места в круге для случая, когда погрешности измерения навигационных параметров подчиняются распределению Лапласа, решена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сорокин А. И. Теоретические основы гидрографических исследований. – Л.: ГУНиО МО СССР, 1972. – 196 с.
2. Методики вероятностных расчетов при решении навигационных задач на кораблях и судах ВМФ (МВР-96). – СПб.: ГУНиО МО РФ, 1999. – 218 с.
3. Иванов Б. Е. Оценка точности определения места при использовании распределения Лапласа // Навигация и гидрография. – 1996. – № 2. – С. 66–72.
4. Иванов Б. Е. Моделирование погрешностей, подчиняющихся распределению Лапласа // Навигация и гидрография – 1998. – № 6. – С. 38–40.

The Estimate of Probability of Fixing the Position in a Circle, Using the Laplace Distribution

B. E. IVANOV
(GNINGI, RF MoD)

The relationships that can be used to estimate the probability of fixing the position in a circle for the case when the errors of navigation parameters measurements follow the Laplace distribution have been derived. The validity of the relationships obtained was checked by the statistical modelling method.

**НЕТРАДИЦИОННЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ПРИРОДЕ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ИНТЕРЕСАХ НАВИГАЦИИ****П. И. МАЛЕЕВ**
(ГНИНГИ МО РФ)

Проведен анализ ряда публикаций, указывающих на существование в природе ранее неизвестных взаимодействий, обладающих по данным некоторых авторов чрезвычайно высокой проникающей способностью и практически мгновенной скоростью распространения. Оценены возможные области его использования в интересах навигации подвижных объектов.

Международный научный Конгресс-2004 «Фундаментальные проблемы естествознания и техники», проходивший в Санкт-Петербурге со 2 по 8 августа 2004 г., констатировал, что накопилось большое количество научных работ с результатами исследований, необъяснимыми в рамках существующих физических представлений. Конгресс обратился к мировому научному сообществу с призывом о необходимости развития новых подходов к постижению «мира, данного нам в движении». Рассматриваемые ниже нетрадиционные взаимодействия имеют непосредственное отношение к одному из таких новых направлений развития физики.

История развития науки и техники показывает, что наиболее существенные улучшения характеристик приборов и устройств различного назначения достигаются прежде всего за счет использования нетрадиционного подхода к их созданию. При этом чрезвычайно высокие требования к средствам навигации и ограниченные возможности совершенствования уже существующих их образцов, делают задачу поиска нетрадиционных путей решения стоящих проблем особенно актуальной. Однако последние десятилетия характеризуются бурным развитием многих новых научных направлений. Открыто и исследуется большое число новых физических принципов, явлений и эффектов. Некоторые из них имеют непосредственное отношение к рассматриваемой проблеме.

Анализ научно-технической литературы показывает, что ряд авторов связывает перспективы создания новых технических средств с наличием в природе нетрадиционных взаимодействий, вынуждающих физиков вводить в рассмотрение понятие «пятое поле», а также с возможностью создания локально-структурированного пространства [1–2]. В последние годы этим вопросам уделяется значительное внимание. Основной упор в проводимых исследованиях делается на экспериментальное подтверждение их существования и теоретическое осмысление результатов. Представляется целесообразным дать краткий обзор этих исследований и оценить возможность использования нетрадиционных взаимодействий в интересах навигации. Но прежде следует напомнить, что понятие «поле» введено в науку как удобный способ описания дистантного взаимодействия объектов. Фактически ни гравитационное, ни электромагнитное, ни внутриядерные поля

как самостоятельные сущности никто экспериментально не наблюдал. Это понятие, как и понятия пространства и времени, бессмысленны без указания средств и процедуры измерения, т. е. пробных тел, линеек, часов и т. п.

Прежде чем обсуждать, что понимается под термином локально-структурированное пространство, необходимо уяснить, а что же представляет собой пространство вообще и какова его структура. В этом вопросе пытаются разобраться уже более четырех столетий. Было выдвинуто немало гипотез, и особенно много их появилось после того, как Эйнштейн жестко связал пространство со временем. Почти каждая из них имеет право на существование, поскольку пытается высветить если не всю проблему, то хотя бы ее часть.

Одна из таких гипотез предполагает наличие в пространстве эфира как носителя различного рода излучений. В ее основе лежит, в частности, утверждение, что электромагнитные волны при прохождении должны на что-то опираться. Однако теория относительности Эйнштейна исключает наличие эфира. Как же тогда осуществляется прохождение электромагнитных волн? Не имея ответа на этот вопрос, приходится соглашаться со сторонниками эфира. Но что он представляет собой, не ясно.

В древнеиндийских ведах отмечается, что пространство – это не пустота, а своеобразная материя – прародитель всего во Вселенной, рождающий элементарные частицы, а затем и все сущее.

В последние годы ряд ученых вместо эфира в основу пространства вкладывает так называемый квантовый или физический вакуум (ФВ). Изучение структуры и свойств квантового вакуума – одна из центральных задач современной фундаментальной физики. Полагают, что структура вакуума во многом определяет свойства элементарных частиц и их взаимодействие.

Под квантовым вакуумом понимается материальная среда, изотропно заполняющая все пространство (и свободное пространство, и вещество), имеющая квантовую структуру и ненаблюдаемая (в среднем) в невозмущенном состоянии. Возбуждение такой скомпенсированной системы ведет к ее поляризации, появлению других изменений.

Простейший процесс, в результате которого возник физический вакуум, заключается в аннигиляции электрон-позитронной пары. Принято считать, что при этом масса покоя частиц полностью превращаются в энергию двух или трех гамма квантов, а в точке аннигиляции ничего не остается. Однако из соображений симметрии следует, что в точке аннигиляции непременно должны остаться безмассовый спин и беззарядовый электромагнитный диполь, а из соображений причинности следует, что информация об этих квантовых свойствах частиц вещества должна всегда как бы «до востребования» содержаться в любой точке физического пространства. Беззарядовый электромагнитный диполь, остающийся в точке аннигиляции электрон-позитронной пары, обладает одной существенной особенностью – в нем векторы E и H не ортогональны друг другу, как в обычной

электромагнитной волне, а параллельны (или антипараллельны). Континуум таких точек и образуют ФВ-непрерывную материальную среду [3].

Под локально структурированным пространством понимается область ограниченного пространства, в котором тем или иным способом создается возбуждение с устойчивой структурой. Физическая природа последствий этого возбуждения до сих пор еще не изучена. Однако имеется ряд экспериментальных фактов, как бы указывающих на его наличие. Одним из таких фактов является образование особых областей пространства в пирамидах, построенных с соблюдением определенных законов. В частности, это имеет место в Египетских пирамидах. Благодаря особой конфигурации в пирамиде наблюдаются значительные изменения естественного фона. Меняются структура и плотность квантовых состояний волновых функций электронов, нулевых колебаний вакуума и тем самым изменяется структура, физические и химические свойства вещества и состояние помещенных в них биообъектов [4].

Имеются основания полагать, что структурированное пространство (подобно тому, что имеет место в пирамиде) можно получить и иными способами. Исследование возможности создания и перспектив использования такого пространства в интересах навигации представляет несомненный интерес.

Высказываются мнения, что нетрадиционные взаимодействия являются одной из характеристик физического вакуума. По оценке ряда авторов силовое воздействие, характеризуемое этим полем, по сравнению с гравитационным, находится на уровне 5×10^{-10} .

На квантовом языке каждому взаимодействию отвечает его переносчик – кванты поля. Для электромагнитного взаимодействия – это фотоны, для слабого внутриядерного – легкие элементарные частицы лептоны, для сильного – тяжелые частицы андроны, для гравитационного поля – гравитоны (электрически нейтральные частицы, не имеющие массы покоя). А для «пятого поля»?

К настоящему времени выявлен ряд отличительных особенностей этого поля. Отметим некоторые из них. Полагают, что оно характеризует взаимодействия с чрезвычайно высокой проникающей способностью, которые распространяются в природных средах практически без поглощения. Скорость их распространения практически мгновенная. Взаимодействия носят не энергетический, а информационный характер. Отсюда и передатчики и приемники этого взаимодействия должны существенно отличаться от используемых в настоящее время передатчиков и приемников электромагнитного поля.

Из значительного числа экспериментальных данных по обнаружению этого нового типа взаимодействий наиболее ранними по нашим данным являются результаты по регистрации истинного положения небесных тел. Эти эксперименты в 1977–79 гг. провел пулковский астроном Н. А. Козырев [5–7]. Суть экспериментов состояла в следующем. Обычный 50-дюймовый

телескоп-рефлектор он дополнил датчиком из четырех резисторов, включенных по схеме моста Уинтсона. При этом один из этих резисторов был помещен в фокусе телескопа и использовался в качестве чувствительного элемента. Затем телескоп с таким датчиком наводился не только на видимое положение небесных тел (звезд, планет), но и на то их положение, в котором они должны быть в данный момент, и откуда свет и вообще электромагнитное излучение (в силу ограниченности их скорости, равной скорости света), на Землю не должны доходить. Тем не менее датчик реагировал на истинное положение звезд и планет. Отсюда можно сделать вывод о существовании в природе взаимодействия, распространяющегося со значительно большей скоростью, чем скорость света. Более того, взаимодействие наблюдалось и тогда, когда входное окно закрывалось пластинкой, в том числе и металлической (дюраль толщиной около 2 мм).

Интересно отметить, что датчик реагировал не только на истинное, но и на видимое положение звезд и планет, хотя выходной сигнал в этом случае был слабее.

В процессе проведения экспериментов Н. А. Козырев наблюдал около 40 небесных тел и практически всегда был один и тот же результат [5].

Примерно через 10 лет, в 1989 г. эти эксперименты, но с более тщательной экранировкой от помех, были повторены группой физиков СО АН СССР под руководством академика М. И. Лаврентьева [8]. Используя многочисленные (20 шт.) варианты измерительных мостов, исследователи пришли к выводу, что «не было отмечено ни одного факта, противоречившего наблюдениям Н. А. Козырева». И далее: «действительно имеет место дистанционное воздействие звезды на резистор.... Видимое положение звезды оказывает в несколько раз более слабое воздействие на резистор, чем истинное». О существовании дистанционного воздействия не электромагнитной природы свидетельствовало также сканирование различных участков неба. Повторное сканирование тех же участков приводило к тем же результатам.

Еще более убедительные результаты были получены ими при регистрации истинного положения Солнца [9]. Наблюдения проводились и при полном перекрытии главного зеркала телескопа «МИЦАР» ТАЛ-1 пластмассовой заслонкой. Эти эксперименты также подтвердили наличие дистанционного воздействия как от истинного, так и от видимого положения Солнца. Позднее подобные результаты были получены и киевскими исследователями.

Известен ряд других экспериментальных данных, указывающих на существование в природе необычных взаимодействий. В частности, академик М. М. Лаврентьев с сотрудниками сканировали небо теми же датчиками с телескопом и установили существование в небе значительных аномалий [10], а также наблюдали изменения свойств некоторых материалов и аномалий, коррелирующих с падением осколков кометы Шумейкер–Леви на планету Юпитер в июле 1994 г. [11, 12]. Фиксировался оптический сигнал от

происходящего на Юпитере события и опережающий его примерно на 43 минуты (время распространения света от Юпитера на Землю) мгновенный сигнал об этом событии.

Особый интерес при рассмотрении данной проблемы представляют результаты экспериментальных исследований реакции вещества на внешние, находящиеся не на небе, а на Земле необратимые процессы различной природы [13–18]. В работах академика Лаврентьева с сотрудниками в качестве необратимого процесса были использованы процессы испарения жидкого азота, растворение смеси сахара и сорбита в воде, остывание кипящей воды и другие физико-химические процессы [13].

Опыты по дистанционному воздействию земных неравновесных процессов на свойства вещества выгодно отличаются от астрофизических измерений тем, что эти опыты, подобно механическим, можно выполнять в хорошо контролируемых, многократно воспроизводимых условиях.

В статье [17] описан генератор неэлектромагнитных излучений «НГК-Вега», с помощью которого экспериментально обнаружена его способность взаимодействовать с фоновыми флуктуациями неэлектромагнитных информационных потоков.

Значительное число экспериментальных исследований нелокального взаимодействия макроскопических естественных диссипативных геофизических процессов проведены в Институте геоэлектромагнитных исследований РАН [19]. Результаты исследований также оказались положительными. Таким образом, не только искусственные диссипативные источники, но и естественные источники диссипативных процессов приводят к одним и тем же результатам, позволяющим говорить о наличии нетрадиционных взаимодействий.

За рубежом исследования, посвященные дистанционному воздействию, которое не удается свести к электромагнитному или гравитационному посредством каких-либо известных механизмов, проводились в лаборатории Д. Сэвиджа [19]. Описаны подобные работы и в публикациях [20–26].

Особенно много экспериментальных данных по рассматриваемым нетрадиционным взаимодействиям получено в микромире [27].

Помимо отмеченного выше телескопа-рефлектора с четырьмя резисторами, реагирующего на нетрадиционные взаимодействия, апробирован ряд других устройств-приемников. К таким, в частности, относятся высокочувствительные крутильные весы [28].

С. М. Коротаев в экспериментальных исследованиях геофизических диссипативных процессов использовал два типа детекторов: фотоумножитель и электроды в электролите [19]. Измерения проводились непрерывно в течение года с дискретностью вначале 5, а затем 30 минут и тщательно обрабатывались различными методами. Результаты эксперимента с обоими датчиками оказались близкими.

Весьма чувствительной к энергоинформационному воздействию является вода за счет наличия в ней низкоэнергетических водородных связей.

Дистанционное неэлектромагнитное воздействие на воду и водные растворы наблюдали в Санкт-Петербургском технологическом институте [29].

В. Ф. Панов и др. наблюдали кристаллизацию сульфата меди в водном растворе под действием нетрадиционных взаимодействий [18]. Неэлектромагнитное взаимодействие с водой наблюдалось и в образцах дистиллированной воды, помещенных в контейнер с толщиной стенок 3 мм и находящихся на расстоянии 1 м от работающего телевизора. В таких контейнерах с контрольными образцами воды подобного не наблюдалось. Е. Г. Бондаренко для регистрации нетрадиционных взаимодействий использовал переходы на пленках, а также устройства с внешним физическим возбуждением [27]. Исследовались также и другие двойные электрические слои, в качестве которых использовались системы жидкость – металл и полупроводниковые переходы [27].

В Санкт-Петербургском Институте точной механики и оптики применялись растворы хлорида натрия и датчики теплового потока [30].

В качестве приемников рассматриваемых взаимодействий могут быть использованы и литейные сплавы, в частности на основе алюминия [31]. Эксперименты, проведенные в Институте проблем материаловедения, подтвердили эту возможность.

В работе [32] показано, что под действием нетрадиционных взаимодействий в полупроводниках и кристаллах происходят процессы миграции дефектов и примесей, наблюдается «отжиг», аналогичный термической обработке. Отмечено влияние этого взаимодействия и на жидкокристаллические структуры.

Несмотря на приведенные выше и другие экспериментальные данные, указывающие на существование в природе новых сил взаимодействия, фундаментальная теория этого взаимодействия еще не разработана. Однако существует ряд феноменологических и полуфеноменологических теорий, которые возникли под давлением экспериментальных фактов и представляют собой по существу методы систематизации данных опыта. Остановимся кратко на существовании некоторых из этих теорий.

Одна из них принадлежит Г. И. Шипову [27]. Если в классической механике Ньютона пространство и время рассматриваются независимо друг от друга, в теории относительности Эйнштейна они связаны, и пространство представляется искаженным, то в развиваемой Г. И. Шиповым теории пространство представляется закрученным. Полагают, что любая форма вращения порождает поле вращения и поле это, как и гравитационное, связано с изменением геометрии пространства.

Как известно, источником электромагнитного поля служат электрические заряды, а гравитационного – масса тел. Кроме того, все тела от микрочастиц до космических объектов обладают еще одной, также подчиняющейся закону сохранения характеристикой, – угловым моментом. Полагают, что угловой момент и порождает крутильное «пятое поле», связывающее, подобно гравитации, все тела нашего мира.

Физический вакуум, через который распространяются взаимодействия, ведет себя как голографическая среда. В этой среде распространение происходит через фазовый портрет голограммы. Этим объясняется сверхвысокая их скорость, а также то, что их характер не энергетический, а информационный. Практически мгновенная передача информации не противоречит теории относительности, поскольку при этом нет движения материальных тел.

Определенный интерес в плане рассматриваемой проблемы представляет и корпускулярно-волновая теория. Согласно квантово-механическим представлениям, все микро- и макро- объекты рассматриваются как волновые пакеты. Часть из этого пакета заключена внутри поверхности, занимаемой объектом, а остальная, хотя и меньшая, задаваемая «хвостами» волновых функций, – в любой точке пространства. Отсюда каждый физический объект только частично находится в данный момент времени в данной точке, какая-то его часть распределена во всем Мировом пространстве и мгновенно реагирует на воздействие.

Интересной концепции придерживается Р. Авраменко [33]. Он полагает, что, помимо безмассового реликтового излучения фотонов, существует естественный фон электронного Бозе-конденсата. Вселенная заполнена полем этих электронов, спаренных по типу куперовских пар в сверхпроводниках. Слабое взаимодействие электронов Бозе-конденсата с макроскопическими объектами обусловлено низкой энергией куперовских пар, длина волны де-Бройля которых может существенно превышать размеры «лабораторий».

Волны де-Бройля являются материальной волной в реальном пространстве и характеризуются всеми необходимыми атрибутами реальной волны. Они распространяются, имея фазовую и групповую скорость, интерферируют, дифрагируют и т. п. В отличие от кулоновского поля, описывающего взаимодействие точечных заряженных частиц, взаимодействие волн де-Бройля (согласно уравнениям Шредингера, Клейна-Гордона-Фока, Дирака) осуществляется мгновенно.

Имеется и другие теории нетрадиционных взаимодействий. Одна из них основывается на предположении о наличии в природе так называемых нелокальных связей между системами. В отличие от известных локальных полевых связей, нелокальные не зависят от разделения в пространстве, возмущения передаются мгновенно, не экранируются средой распространения, а сила связи не зависит от расстояния [34].

Л. Лесковым выдвинута гипотеза о бинарной структуре Вселенной, содержащей два слоя реальности: мир материальных объектов и информационное поле. Физическим носителем его служит МЭОН – разновидность физического вакуума.

И. Л. Герловин рассматривает энергоинформационные взаимодействия в рамках модели физического вакуума и единой теории поля [35]. Им выдвинута идея о наличии струнной компоненты физического вакуума и ее роли в объяснении сверхслабых энергоинформационных взаимодействий.

Наглядно ее можно представить в виде бесконечно тонких нитей – струн. Эти струны начинаются от элементарных частиц тел и оканчиваются на других элементарных частицах, либо уходят в бесконечность.

Известна также концепция аксионных полей, развиваемая В. Ю. Татурой [36], и предполагающая наличие сверхлегких частиц, которые отображают мир элементарных частиц как бы через уменьшительное стекло.

Проблемой энергоинформационных взаимодействий занимаются практически все университеты мира. Из зарубежных работ наиболее известны результаты, полученные Р. Джана и Б. Данна [37], которые обобщили огромный материал по этому направлению исследований. Под их руководством в Принстонском университете (США) более 10 лет проводились тщательно подготовленные эксперименты, подтвердившие, по их мнению, наличие в природе нетрадиционных взаимодействий.

Следует упомянуть и широкомасштабный эксперимент под кодовым названием «Полярный круг», проведенный в 1989–1993 гг. под руководством академика РАМН В. П. Казначеева [38–41]. В одном из экспериментов принимало участие 4500 человек из 12 стран, расположенных в различных географических условиях северного полушария. По мнению руководителей, эксперимент также подтвердил наличие нетрадиционных взаимодействий. В нем использовалась специальная система алюминиевых зеркал (так называемые «зеркала Козырева»). Считается, что они фокусируют различные виды излучений, в том числе и от биологических объектов, каким является человек. Полагают, что такие зеркала обладает свойствами не только приемной, но и передающей антенны. В декабре 1991 г. во время этого эксперимента осуществлялась мысленная передача образов из заполярного поселка Диксон, принимали их в различных точках бывшего Советского Союза. А в июне 1993 г. трансляция осуществлялась из Новосибирска и Диксона, а прием – в различных пунктах Европы, Азии и Америки. Эти эксперименты, по мнению ряда ученых, доказали не только наличие нетрадиционных взаимодействий, но и возможность дистантной передачи и приема мысленных образов. Качество такой связи зависит от обученности людей в этой нетрадиционной области. Отмечалось, что в США и Канаде точно принимали информацию 98% принимающих. В 1997 г. ученые из Новосибирска провели подобные эксперименты с английскими коллегами. В эксперименте участвовало более 200 человек.

На факт передачи мысли на расстояние указывал еще в 1927 г. А. Л. Чижевский [42]. Л. Л. Васильев в конце 1950-х – начале 1960-х годов на основе экспериментальных данных также пришел к выводу о существовании феномена передачи мысли на расстояние [43, 44]. Он отмечал, что ни экранирование, ни расстояние не ухудшали результаты взаимодействия. Ряд авторов указывает на возможность дистанционного воздействия человеком не только на живые объекты, но и на электронные физические системы [45, 46]. Впервые на этот факт еще в 20-х годах прошлого столетия обратили внимание Н. Бор и В. Гейзенберг. Они отмечали, что экспериментатор может вносить

возмущения в эксперимент. Это возмущение осуществляется, по-видимому, через информационное поле.

Несмотря на существование перечисленных теорий, ряд ученых категорически отрицает само наличие нетрадиционных взаимодействий. Им, однако, не следует забывать, что история развития науки и техники изобилует примерами категорических отрицаний, опровергнутых впоследствии. Так, например:

- Герц отрицал возможность дальней связи с помощью электромагнитных волн;
- Бор полагал маловероятным использование атомной бомбы вообще;
- Эйнштейн за 10 лет до создания атомной бомбы считал невозможным создание атомного оружия;
- генетика и кибернетика объявлялись лженауками.

В науке принято канонизировать великих ученых. Однако, отдавая дань уважения их трудам, нельзя забывать, что боязнь новых решений может привести к застою в науке.

Итак, имеется значительное число экспериментальных данных, указывающих на существование в природе нетрадиционных взаимодействий. Судя по приведенным сведениям, рассматриваемые взаимодействия обладают свойствами, пригодными для построения новых средств навигации, которые способны работать в любой среде, в реальном масштабе времени и на значительные, в том числе космические, расстояния. Несмотря на то, что фундаментальная теория этих взаимодействий еще не разработана, а ряд ученых ставит под сомнение само их наличие, работы в данном направлении все же следует продолжать. Указанные выше источники информации свидетельствуют о том, что на основе рассмотренного нового типа взаимодействий могут быть созданы более совершенные аналоги астронавигационных (АНС), спутниковых и наземных радионавигационных систем, не подверженных атмосферным и температурным помехам и пригодным для использования не только на надводных, но и на подводных морских объектах.

В основе создания более совершенных АНС с использованием нетрадиционных взаимодействий может быть, по-видимому, регистрация истинного положения Солнца и звезд. Поскольку истинное положение небесных тел в тот или иной момент времени может быть рассчитано с высокой точностью, а среда не оказывает существенного влияния на распространение взаимодействия, такая АНС может быть всепогодной и глобальной.

Для создания аналогов спутниковых и наземных РНС на основе нетрадиционных взаимодействий необходимо найти пригодный для возбуждения источник с мощным необратимым процессом. Одним из таких источников, судя по экспериментальным данным, может быть, в частности, электромагнитное поле, поскольку полагают, что там, где возбуждается электромагнитное поле, появляется и нетрадиционное взаимодействие, а

модуляция его тем или иным способом ведет к такой же модуляции нетрадиционных взаимодействий.

Для практической реализации рассматриваемых систем навигации необходимо осуществить поиск наиболее эффективных источников нетрадиционных взаимодействий, а также приемников для их регистрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Faller J.E. et. al. // IEEE Trans. Instr. and Meas. – 1989. – Т. 38. – No2. – P. 180–188.
2. Haysaka H., Takenchi S. Anomalous Weight Redaction on Gyroscope's Right Rotation Around the Vertical Axis on the Earth // Phys. Rev. Lett. 1989. – Vol. 63. – P. 2701.
3. Жвирблис В. Е. О формах вещей // Сознание и физическая реальность. – 1998. – Т. 3. – №1. – С. 26–32.
4. Мякин С. В., Васильева И. В., Руденко А. В. Исследования влияния формируемого пирамидой поля на материальные системы // Сознание и физическая реальность. – 2002. – №2. – С. 45–53.
5. Козырев Н. А., Насонов В. В. Новый метод определения тригонометрических параллаксов на основе измерения разности между истинным и видимым положением Звезды / Астрономия и небесная механика. – М, Л; 1988. – С. 168–179.
6. Козырев Н. А. Вспыхивающие звезды. – Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1977. – С. 209–226.
7. Козырев Н. А. Насонов В. В. Проявление космических факторов на Земле и звездах / Проблемы исследования Вселенной. – М, Л.: Наука, 1980. – Вып. 9. – С. 76–84.
8. Лаврентьев М. М., Еганова И. А. и др. О дистанционном воздействии звезд на резистор // Доклады АН СССР. 1990. – Т. 314. – №2. – С. 352–355.
9. Лаврентьев М. М., Гусев В. А. и др. О регистрации истинного положения солнца // Доклады АН СССР. – 1990. – Т. 315. – №2. – С. 368–370.
10. Лаврентьев М. М. и др. О сканировании звездного неба датчиком Козырева // Доклады АН СССР. – 1992. – Т. 323. – №4. – С. 649–652.
11. Berisov I. A., Eganova I. A., Lavrentiev M. M. Some anomalies on the time of jovian catastrophe (Manuskript) // Физическая мысль России. – 1996. – Вып. 3/4. – С. 112.
12. Lavrentiev M. M. Astronomical study of possibilities of transmission of information in the space-time (Manuskript) // Физическая мысль России. 1996. – Вып. 3/4. – С. 118.
13. Лаврентьев М. М. и др. О регистрации реакции вещества на внешний необратимый процесс // Доклады АН СССР. – 1991. – Т. 317. – С. 635–639.
14. Патент №2107105. Россия. Способ коррекции микроструктуры металлических литейных сплавов. Абрамов А. А. и др. Приоритет от 29.11.1996.
15. Патент No P 9313624 A2. Япония. Kasai Hideji. 1997.
16. Патент №2132708 с1. Россия. Полевой генератор «Экотрон». Ястремский Ю. Н., Жданов И. А. 1999.
17. Каравайкин А. Применение генератора неэлектромагнитного информационного влияния для изучения неэлектромагнитных информационных взаимодействий в природе // Сознание и физическая реальность. – 2005. – Т. 10. – №3. – С. 15–21; №4. – С. 17–19.
18. Панов В. Ф., Стрелков В. В. и др. Влияние торсионного поля на кристаллизацию меди в водном растворе // Сознание и физическая реальность. – 2002. – Т. 7. – №5. – С. 48–50.
19. Коротчаев С. М. и др. Экспериментальные исследования нелокального взаимодействия макроскопических диссипативных процессов // Физическая мысль России. – 1998. – Вып. 2. – С. 1–17.
20. Quini T., Picard A. The mass of spinning rotors: no dependence on speed or sense of rotation // Nature. – 1990. – Vol. 343. – P. 732.
21. Fokker A. D. Ein invariater Variationssatz fur die Bewegung mehrerer electriccher Massenteilchen. // Zeit. fur Physic. – 1929. – Bd. 58. – S. 368.
22. Hehl F. W., Heyde P. General relativity with spin and torsion: foundation and prospects. // Rev. mod. Phys., 1976. – No3. – P. 393.
23. Степанов А. М., Можайский Ф. М. Дистантные информационные воздействия и их независимая регистрация // Сознание и физическая реальность. – 1998. – Т. 3. – №1. – С. 67–71.
24. Бинчи В. Н. О возможном механизме действия торсионного поля на биологические объекты // Сознание и физическая реальность. – 1998. – Т. 3. – №5. – С. 45–48.
25. Мельник И. А. Обзор экспериментальных исследований по дистанционному влиянию вращающихся объектов на полупроводниковый детектор и радиоактивный распад // Новая энергетика. – 2005. – №1(20). – С. 59–70.

26. Акимов А. Е., Тарасенко В. Я., Толмачев С. Ю. Торсионная связь – новая физическая основа для систем передачи информации // Электросвязь. – 2001. – №5. – 24–30.
27. Шипов Г. И. Теория физического вакуума. – М.; Н-Т центр, 1993. – 361с.
28. Дельта инженера В. Беляева // Терминатор. – 1998, №1–2. – С. 42–44.
29. Татарин Ю. П., Мякин С. В. и др. Спектрометрическое исследование бесконтактного энергоинформационного воздействия на жидкость // Сознание и физическая реальность. – 1998. – Т. 3. – №3. – С. 57–62.
30. Агеев И. Л., Дульнев Г. Н., Ипатов А. П. и др. Регистрация процесса нетрадиционного способа передачи информации // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. – 2002. – №1. – С. 26–35.
31. Патент №2107105. Россия. Способ коррекции микроструктуры металлических литейных сплавов. Абрамов А. А. и др. Приоритет от 29 ноября 1996 г.
32. Тарасюк И. И. Возникновение явления холодного отжига в полупроводниках при спин-торсионном воздействии // Сознание и физическая реальность. – 2002. – Т. 7. – №4. – С. 40–47; 2006. – Т. 11. №1. – С. 24–32.
33. Авраменко М. Будущее открывается квантовым ключом. Сб. статей. – СПб.: Химия, 2000. –351 с.
34. Спасский В. И., Московский А. В. О нелокальности в квантовой физике // УФН. – 1984. – Т. 142. – В. 4. – С. 599–617.
35. Герловин И. Л. Подходы к теории единого поля. – М.: Мир, 1989. – 153 с.
36. Татура В. Ю. Тайны нового мышления. М.: Прогресс, 1990. – 132 с.
37. Джан Р. Г., Данн Б. Д. Роль сознания в физическом мире / Границы реальности. – М.: Объединенный институт высоких температур РАН, 1995. – 287 с.
38. Казначеев В. П., Трофимов А. В. Энергоинформационные взаимодействия в биосфере: Опыт, теория и экспериментальные исследования // Русская мысль. – 1992. – №1. – С. 22–27.
39. Казначеев В. П., Трофимов А. В. Информационное поле Земли. Итоги глобальных экспериментов // Вестник ИТАР-ТАСС ассоциации «Экология непознаваемого». – 1994. – №3–4.
40. Бюллетень СО АМН СССР. – 1988. – №4
41. Казначеев В. П. Сознание и физика // Физика сознания и жизни, космология и астрофизика. – 2002. – №1. – С. 5–21.
42. Прокофьев В. Ф. Тайное оружие информационной войны: атака на подсознание. – М.: Синтез, 2003. – 295.
43. Васильев В. В. Экспериментальные исследования мысленного внушения // Л.: Изд-во ЛГУ, 1962. – 26 с.
44. Васильев В. В. Таинственные явления человеческой психики. М.: Госполитиздат, 1959. – 71 с.
45. Дульнев Г. Н., Ипатов А. П. Исследование явлений энергоинформационного обмена: экспериментальные результаты. – СПб.: Гос. институт точной механики и оптики, 1998. – 78 с.
46. Порвин Л. М., Сперанский С. В. Исследование связи «человек – животное» на дистанции Москва – Новосибирск // Парапсихология и психофизика. – М.: Изд-во фонда парапсихологии им. Л. Л. Васильева, 1993. – №1(9). – С. 8–29.

Unconventional Interactions in Nature and Possibilities of their Employment in Navigation

P. I. MALEYEV
(GNINGI, RF MoD)

The results of analysis for a number of publications showing the existence of interactions in nature that had not been known before are presented. According to a number of authors, these interactions possess extremely high penetrability and practically instantaneous velocity of propagation. The possible areas of their employment for the movable objects navigation are estimated.

ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

ГРНТИ 78.21.39.17.17.19

КАЛИБРОВКА МНОГОЛУЧЕВЫХ ЭХОЛОТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭТАЛОННЫХ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Э. С. ЗУБЧЕНКО
(ВМА им. Н. Г. Кузнецова)

Рассматривается способ калибровки многолучевых эхолотов, заключающийся в сравнении измеренных эхолотом глубин и их координат с глубинами и координатами устанавливаемых на дне эталонных подводных объектов. Обосновывается методика выполнения измерений для определения углового рассогласования осей систем координат антенны эхолота, датчиков качки и курса с судовой системой, времени запаздывания координатной привязки и получения поправок глубин и координат. Приводятся формулы для вычисления элементов рассогласования и искомых поправок. Выполнена оценка точности определения глубины и координат эталонных подводных объектов.

В настоящее время концепция калибровки многолучевых эхолотов (МЛЭ) разрабатывается по двум направлениям. Первое связано с возможностью обнаружения объектов на дне, что предусмотрено новыми требованиями к съемке рельефа дна стандарта Международной гидрографической организации (МГО). При съемке особой категории минимальный различаемый объект должен соответствовать кубу с ребром, равным 1 м, а при съемке 1-й категории – 2 м [1]. При этом максимальная глубина, на которой обнаруживаются такие объекты при съемке 1-й категории, должна составлять 40 м.

Так, разработанная методика калибровки МЛЭ EM1002 и EM3000 Dual фирмы Kongsberg Simrad [2] включала создание подводных объектов кубической формы с размерами ребра 2; 1; 0,5; 0,25 м со специальным покрытием, имитирующим скальный грунт, размещение этих объектов на дне на различных глубинах и их выявление по данным съемки калибруемым эхолотом.

Другое направление связано с разработкой методики калибровки МЛЭ как измерительной системы, решающей задачу съемки рельефа дна, с целью выявления и устранения систематических погрешностей измерений [3]. Для определения систематической погрешности учета углов крена и используются данные с галса, проложенного на участке акватории с ровным дном. Для корректировки погрешности в местоположении глубины вследствие времени задержки системы позиционирования с момента наблюдения до момента измерения глубины, а также погрешности учета углов дифферента,

определения рассогласования осей системы координат антенны эхолота и курсоуказателя используют данные, полученные на галсах, проложенных в совпадающих или противоположных направлениях с различными скоростями через участок дна с характерными формами рельефа дна.

Такая методика калибровки МЛЭ рекомендована Руководством МГО по съемке рельефа дна [4]. Подобный подход был применен для калибровки многолучевых эхолотов, предназначенных для съемки глубоководных акваторий [5].

По оценке, приведенной в работе [3], калибровка по данной методике не обеспечивает достижения требуемой точности для внешних лучей (для эхолота SEABAT 9001 угол наклона внешнего зондирующего луча 45° , а для эхолота SEABAT 8101 – 75°).

Новым аспектом разработки концепции калибровки многолучевых гидроакустических систем является выявление систематических погрешностей, имеющих переменный характер. Так, в работе [6] отмечается, что традиционные процедуры калибровки МЛЭ направлены, главным образом, на оценку вклада статических систематических погрешностей. Однако существуют систематические погрешности, имеющие переменный характер, они варьируют, например, с периодом, соответствующим спектру волнения, либо могут иметь период, определяющийся долгопериодными ускорениями вследствие изменения курса или скорости судна. Погрешности этого типа приводят к так называемому поперечному рифлению получаемой по данным съемки поверхности модели рельефа дна, что характерно для многих типов МЛЭ.

Для выявления таких погрешностей также выполняют съемку на участке акватории с характерными формами рельефа дна. Сравнивая градиент измеренных глубин со съемочных галсов с характеристиками реального рельефа дна при съемке по различным направлениям и/или на различных скоростях, делают вывод о наличии погрешностей, связанных с особенностями системной интеграции датчиков. После выполнения этих калибровок остаются неопределенными поправки за счет отклонения скорости звука от расчетного значения, поправки за учет осадки судна, смещения антенны эхолота, проседания судна и высоты прилива.

Наиболее общий подход в выявлении и исключении систематических погрешностей этого типа – выполнение калибровки в специальном метрологическом полигоне с эталонным батиметрическим полем. Для создания такого полигона должна быть произведена площадная съемка рельефа дна с погрешностью, не превышающей одну третью часть допустимого уровня погрешности съемки. Например, для обеспечения съемки особой категории СКП глубин и их положения s_z , s_{xy} на полигоне не должны превышать значений $s_z \leq 0,16 \sqrt{0,25^2 + (0,0075z)^2}$, $s_{xy} \leq 0,3$ м, где z – глубина данной точки полигона.

Очевидно, что для достижения требуемой точности эталонного батиметрического поля съемка должна производиться с повышенной точностью с помощью откалиброванных гидроакустических систем. Кроме того, она должна производиться в полигоне периодически, поскольку в результате возможных штормов в данном районе может произойти перестройка рельефа дна. Съемку также необходимо повторять из-за возможных процессов переноса осадков приливными течениями. Это существенно усложняет использование данного способа.

Таким образом, ни один из рассмотренных способов не обеспечивает решения всего комплекса задач калибровки МЛЭ. Учитывая эти обстоятельства, калибровку МЛЭ с целью метрологического подтверждения его точности и получения значений поправок в измеряемые глубины и их координаты предлагается осуществлять с использованием подводных объектов на дне с известными глубинами над ними и координатами места их установки. Назовем эти объекты эталонными подводными объектами (ЭПО). Рассмотрим концепцию калибровки МЛЭ данным способом.

Калибровка МЛЭ в первую очередь предназначена для определения и исключения систематических погрешностей измерения глубины и горизонтального отстояния точки отражения дном акустического сигнала и для оценки случайных погрешностей измерений этих величин. Она также должна подтвердить возможность обнаружения объектов определенных размеров и на установленных глубинах, предусмотренных Стандартом МГО, и позволить получить значения параметров, характеризующих качество выполнения съемки рельефа дна системой в целом. Такими параметрами в соответствии со Стандартом МГО [1] являются СКП глубины и ее местоположения.

К систематическим погрешностям измерений глубины и горизонтального отстояния глубины относятся:

- погрешность учета средней скорости звука в воде и скорости звука на горизонте антенны;
- погрешность учета рефракции зондирующих лучей;
- погрешность учета временных задержек моментов измерения параметров качки судна (наклонов и вертикального перемещения);
- погрешности учета временных задержек моментов обсерваций судна на галсе.

К случайным погрешностям относятся погрешности гидроакустических измерений и погрешности, вызываемые случайными изменениями параметров водной среды.

Для выполнения калибровки МЛЭ по предлагаемой методике в районе предстоящей съемки на дне устанавливаются ЭПО кубической формы с размером ребра, соответствующим требованиям стандарта МГО к минимальным размерам обнаруживаемого объекта для данной категории съемки, например, 1 или 2 м. Их местоположение может быть определено с

помощью судовой навигационной гидроакустической системы, обеспечивающей требуемую точность [7] или прямой засечкой с теодолитных постов при вертикальном положении троса, на котором будет опускаться ЭПО, в момент его достижения им грунта. Глубина постановки ЭПО может быть установлена по меткам на маркированном тросе с минимальной ценой деления, равной 5 см, при его вертикальном положении. Для учета в момент калибровки фактической глубины над ЭПО его необходимо оборудовать датчиками гидростатического давления, оснащенными аналого-цифровыми преобразователями и устройствами для передачи данных измерений по каналам радиосвязи на судно, производящее калибровку эхолота. Передающее устройство может быть установлено на привязном бую, связанном с датчиком гидростатического давления кабель-тросом.

Калибровку МЛЭ по ЭПО целесообразно осуществлять в такой последовательности:

- 1) определение времени запаздывания момента координатной привязки по отношению к моменту измерения глубины;
- 2) определение наклона измерительной плоскости эхолота в вертикальной продольной плоскости носителя;
- 3) определение угла рассогласования между начальной плоскостью курсоуказателя и измерительной плоскостью эхолота;
- 4) определение угла рассогласования между нормалью, вырабатываемой ИНС, и осью аппликата приборной системы координат (ПСК);
- 5) определение поправок глубин и их координат за рефракцию и скорость звука в воде на горизонте антенны эхолота.

Для определения времени запаздывания ЭПО устанавливаются примерно на одинаковой глубине на расстоянии около 0,75 ширины полосы съемки d , вычисляемой по формуле

$$d = 2 z \operatorname{tg} \theta, \quad (1)$$

где z – глубина установки ЭПО;

θ – угол наклона внешнего зондирующего луча.

Измерения производятся на галсе, пересекающем посередине линию между двумя ЭПО под углом примерно 90° .

На рисунке показано положение судна на галсе относительно фактического и измеряемого положений ЭПО при калибровке МЛЭ для определения задержки обсервации относительно момента измерения глубины и рассогласования приборной системы координат по курсу, углам дифферента и крена с использованием ЭПО.

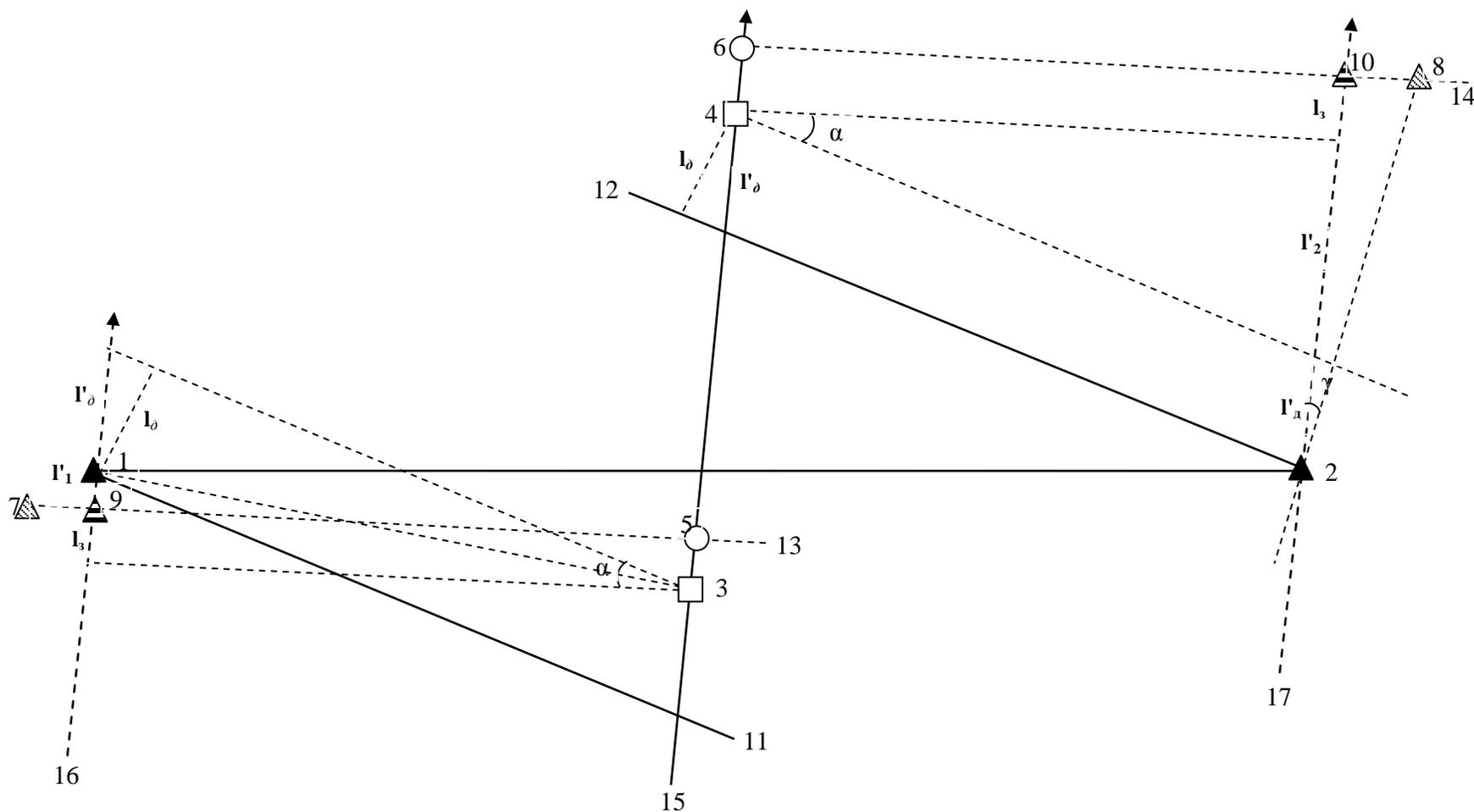


Схема положения судна на галсе относительно фактического и измеряемого положений ЭПО при калибровке МЛЭ для определения задержки обсервации относительно момента измерения глубины и рассогласования приборной системы координат по курсу, углам дифферента и крена с использованием ЭПО (объяснения в тексте)

Вследствие отклонения измерительной плоскости эхолота от вертикали судно, находясь фактически на галсе 15 в точке 3, примет отраженный сигнал от ЭПО 1, но из-за задержки времени положение судна будет отнесено к точке 5. Чтобы получить расчетное положение 7 ЭПО 1, необходимо отложить измеренное горизонтальное расстояние до ЭПО по направлению, перпендикулярному линии курса.

Линейной мерой углового рассогласования ПСК по углу дифферента является отклонение l_d сечения 11 измерительной плоскости от его теоретического положения 13, проходящего через точку положения судна 3. Аналогично определяется и отрезок l_d для точки 4 как смещение следа измерительной плоскости 12 от ее теоретического положения 14. Оба отрезка l_d на рисунке спроецированы на линии курса 16 и 17, проложенные через ЭПО 1 и 2, как l_d' .

Угловой мерой рассогласования по дифференту является острый угол прямоугольника с противолежащим и прилежащим катетами l_d' и z .

Линейной мерой запаздывания момента обсервации по отношению к моменту приема отраженного сигнала от ЭПО являются отрезки l_3 на линии курса между точками 3, 5 и 4, 6 фактических и обсервованных положений судна. Эти отрезки спроецированы на линии курса 16 и 17 как l_3 .

Угловой мерой рассогласования ПСК по курсу является острый угол между сечением измерительной плоскости 13 со следом вертикальной поперечной плоскости 15 при приеме отраженного сигнала от ЭПО 1 и между сечением измерительной плоскости 14 со следом вертикальной поперечной плоскости при приеме отраженного сигнала от ЭПО 2.

Пусть в результате измерений по левому борту смещение расчетного положения ЭПО 1 по линии курса равно отрезку l_1' , а по правому борту – отрезку l_2' .

В соответствии с рисунком рассогласование по курсу α при приеме отраженного сигнала от ЭПО 1 по левому борту можно рассчитать по формуле

$$\alpha = \arctg \frac{l_3 + l_1' + l_d'}{S_1}, \quad (2)$$

где S_1 – длина перпендикуляра из точки 3 на линию курса 16.

Аналогично при приеме отраженного сигнала от ЭПО 2 по правому борту для угла рассогласования по курсу α запишем выражение

$$\alpha = \arctg \frac{l_2' - l_3 - l_d'}{S_2}, \quad (3)$$

где S_2 – длина перпендикуляра из точки 4 на линию курса 17.

Приравняем аргументы в выражениях (2) и (3) и после преобразования получим

$$S_2(l_3 + l_1' + l_d') - S_1(-l_3 + l_2' - l_d') = 0. \quad (4)$$

Величины S_1 и S_2 в уравнении (4) найдем как длину перпендикуляра из обсервованных положений в точках 5 и 6 на линии курсов 16 и 17, проложенных соответственно через положения ЭПО 1 и 2.

Уравнения этих прямых в общем виде можно записать [8]:

$$\begin{aligned} ax - y - ax_1 + y_1 &= 0; \\ ax - y - ax_2 + y_2 &= 0, \end{aligned} \quad (5)$$

где $a = \operatorname{tg} T$, а T – дирекционный угол, соответствующий курсу судна; x_i, y_i ($i = 1, 2$) координаты ЭПО 1 и 2

Длина перпендикуляров S_1 и S_2 из обсервованных точек 5 и 6 на эти прямые вычисляется по формулам аналитической геометрии [7]:

$$S_1 = \frac{x_{обс1} \operatorname{tg} T + y_{обс1} + (y_1 + x_1 \operatorname{tg} T)}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 T + 1}}; \quad (6)$$

$$S_2 = \frac{x_{обс2} \operatorname{tg} T + y_{обс2} + (y_2 + x_2 \operatorname{tg} T)}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 T + 1}}, \quad (7)$$

где $x_{обсi}, y_{обсi}$ ($i = 1, 2$) – обсервованные координаты точек 5 и 6.

В выражении (4) – два неизвестных l_3 и l_d' . Для их определения необходимо как минимум два уравнения. Их можно получить, выполнив измерения на другом галсе, проложенном, например, в обратном направлении и пересекающем базу при других значениях S_1, S_2 и курса.

С целью повышения достоверности результата целесообразно выполнить измерения не менее чем на трех галсах. Решив систему уравнений вида (4), определим значения l_3 и l_d' . Полученные значения используем для вычисления величины рассогласования по курсу по формулам (2) и (3).

Угол рассогласования по дифференту и время запаздывания в соответствии данными выше определениями вычисляются по формулам

$$\delta = \operatorname{arctg} \frac{l_d'}{z}; \quad (8)$$

$$t_3 = \frac{l_3}{v}, \quad (9)$$

где v – скорость судна.

После калибровки по курсу, по времени запаздывания и по углу дифферента выполняют калибровку рассогласования по углу крена. С этой целью прокладывают галс перпендикулярно базе, производя одновременные измерения глубин над ЭПО и горизонтальных расстояний до них.

Линейной мерой рассогласования ПСК по крену являются отрезки l_3 на линии курса между точками 3, 5 и 4, 6 фактических и обсервованных положений судна. Эти отрезки спроецированы на линии курса 16 и 17 как l_3 .

Угловой мерой рассогласования ПСК по курсу является острый угол между сечением измерительной плоскости 13 со следом вертикальной поперечной плоскости 15 при приеме отраженного сигнала от ЭПО 1 и между сечением измерительной плоскости 14 со следом вертикальной поперечной плоскости при приеме отраженного сигнала от ЭПО 2.

Угол рассогласования по крену может быть найден из соотношения для вычисления глубины и ее горизонтального отстояния при отсутствии и при наличии угла рассогласования по крену β соответственно:

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{d_{\text{ЭПО}}}{z_{\text{ЭПО}}}; \quad (10)$$

$$\theta - \beta = \operatorname{arctg} \frac{d_{\text{изм}}}{z_{\text{изм}}}, \quad (11)$$

где $z_{\text{ЭПО}}$, $z_{\text{изм}}$ – истинное и измеренное значения глубины над ЭПО;
 $d_{\text{ЭПО}}$, $d_{\text{изм}}$ – истинное и измеренное горизонтальное отстояние антенны эхолота до ЭПО.

Из выражений (10) и (11) для искомого угла β , получим

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{d_{\text{ЭПО}} z_{\text{изм}} - d_{\text{изм}} z_{\text{ЭПО}}}{z_{\text{ЭПО}} z_{\text{изм}} + d_{\text{ЭПО}} d_{\text{изм}}}. \quad (12)$$

Выполнив калибровку эхолота по указанным параметрам, необходимо выполнить его калибровку как измерительной съемочной системы с целью определения систематических и случайных погрешностей измерения глубин и их положения.

Калибровка заключается в многократных измерениях с помощью эхолота наклонных расстояний до ЭПО по фиксированным направлениям приема отраженных лучей на галсах, прокладываемых перпендикулярно линии, соединяющей ЭПО. Сравнения вычисленных по данным измерений глубин и координат ЭПО с их эталонными значениями позволят вычислить поправки для глубин и координат для двух крайних направлений зондирования. Для промежуточных направлений поправки должны быть проинтерполированы.

Получаемые поправки для измеряемых глубин и их координаты учитывают и исключают все систематические погрешности, в том числе и

имеющие переменный характер. С этой целью калибровка должна производиться на скорости, равной скорости судна при выполнении съемки.

При прокладывании нескольких галсов калибровки появляется возможность оценить и уровень случайных погрешностей путем статистической обработки данных измерений глубин и координат ЭПО.

Для получения поправок во всем диапазоне глубин сначала один ЭПО устанавливается на минимальной, а другой – на максимально возможной глубине, которую позволяет уклон дна. При этом должно выполняться условие равенства горизонтального расстояния d_1 между ЭПО, соответствующего разности глубин их установки и уклону дна, и горизонтального расстояния d_2 между токами на глубинах установки ЭПО для максимально и минимально возможного углов наклона направлений приема отраженного ЭПО зондирующего импульса:

$$d_1 = d_2; d_1 = (z_2 - z_1) \operatorname{ctg} \vartheta; d_2 = z_1 \operatorname{tg} \varphi_1 - z_2 \operatorname{tg} \varphi_2, \quad (13)$$

где z_1, z_2 – минимальная и максимальная возможная глубина установки ЭПО;

φ_1, φ_2 – максимальный и минимально возможный угол наклона направления приема отраженных сигналов на ЭПО;

ϑ – угол наклона дна по направлению с первого ЭПО на другой.

При известных значениях величин $z_1, \varphi_1, \varphi_2, \vartheta$ глубина установки другого ЭПО z_2 может быть найдена из уравнения (13) по формуле

$$z_2 = \frac{z_1 (\operatorname{tg} \theta_1 + \operatorname{ctg} \vartheta)}{\operatorname{tg} \theta_2 + \operatorname{ctg} \vartheta}. \quad (14)$$

Тогда расстояние между ЭПО, как следует из условия (13), определится из выражения

$$d = z_1 \operatorname{tg} \varphi_1 - z_2 \operatorname{tg} \varphi_2. \quad (15)$$

Например, при $\vartheta = 1^\circ, z_1 = 10$ м, $\varphi_1 = 70^\circ, \varphi_2 = 20^\circ$ вычисленная по формуле (14) глубина $z_2 = 10,4$ м, а вычисленное по формуле (15) расстояние между ЭПО $d = 23,7$ м.

После установки ЭПО и определения глубин и координат ЭПО должна быть выполнена серия измерений с помощью МЛЭ глубин и координат ЭПО на галсах, прокладываемых перпендикулярно линии, соединяющей ЭПО, на расстоянии d_1 , вычисляемом при пересечении базы слева от ЭПО по формуле

$$d_1 = z_1 \operatorname{tg} \varphi_1, \quad (16)$$

и при пересечении базы справа от ЭПО по формуле

$$d_1 = z_2 \operatorname{tg} \varphi_1 \quad (17)$$

для задаваемых значений угла φ_1 .

Далее ЭПО переносят в другой участок акватории с глубиной, соответствующей следующему поддиапазону глубин калибровки, например, $z_1 = 20$ м. Второй ЭПО устанавливают по направлению максимального склона на глубине z_2 , вычисляемой по формуле (14) на расстоянии d , вычисляемом по формуле (15).

Для данного поддиапазона глубин калибровка производится аналогично, т. е., как и для первого поддиапазона, путем прокладки галсов, перпендикулярно линии, соединяющей ЭПО, слева и справа от них на расстоянии от второго ЭПО, вычисляемого по формулам (16), (17).

В данном случае появляется возможность прокладки дополнительного галса также перпендикулярно линии, соединяющей 2-й и 1-й ЭПО на расстоянии от второго ЭПО, вычисляемом по формуле (15).

Перенос ЭПО и необходимые действия, выполнявшиеся для предыдущего поддиапазона глубин калибровки, осуществляются до тех пор, пока не будут охвачены все поддиапазоны в районе съемки.

Измерения при калибровке должны проводиться с таким расчетом, чтобы обеспечить получение поправок с гарантированной величиной погрешностей.

В результате измерений эхолотом глубин и координат ЭПО по двум направлениям приема (лучам) отраженных сигналов и сравнений полученных значений с их эталонными величинами вычисляют поправки глубин и координат для каждого поддиапазона глубин калибровки z_T для каждого борта по формулам

$$\begin{aligned} \Delta z_T(\mathbf{q}_1) &= z_{\text{ЭПО}_1} - z_{\text{изм}}(\mathbf{q}_1); \\ \Delta X_T(\mathbf{q}_1) &= X_{\text{ЭПО}_1} - X_{\text{изм}}(\mathbf{q}_1); \\ \Delta Y_T(\mathbf{q}_1) &= Y_{\text{ЭПО}_1} - Y_{\text{изм}}(\mathbf{q}_1); \\ \Delta z_T(\mathbf{q}_2) &= z_{\text{ЭПО}_2} - z_{\text{изм}}(\mathbf{q}_2); \\ \Delta X_T(\mathbf{q}_2) &= X_{\text{ЭПО}_2} - X_{\text{изм}}(\mathbf{q}_2); \\ \Delta Y_T(\mathbf{q}_2) &= Y_{\text{ЭПО}_2} - Y_{\text{изм}}(\mathbf{q}_2), \end{aligned} \tag{18}$$

где $\Delta z_T(\mathbf{q}_i)$, $\Delta X_T(\mathbf{q}_i)$, $\Delta Y_T(\mathbf{q}_i)$ ($i = 1, 2$) – поправки к глубинам и их координатам, измеренным эхолотом по направлениям \mathbf{q}_1 , и \mathbf{q}_2 приема отраженных сигналов;

$z_{\text{ЭПО}_i}$, $X_{\text{ЭПО}_i}$, $Y_{\text{ЭПО}_i}$ ($i = 1, 2$) – глубина над ЭПО и горизонтальное отстояние до ЭПО;

$z_{изм}(q_i)$, $X_{изм}(q_i)$, $Y_{изм}(q_i)$ ($i = 1, 2$) – измеренные глубина над ЭПО и геодезические координаты ЭПО по направлениям приема q_1 и q_2 отраженных сигналов.

Величины в левых частях уравнений (18) представляют суммарные поправки калибровки, учитывающие систематические погрешности средней скорости звука в воде, рефракцию акустических лучей, рассогласование осей приборных (антенны эхолота, датчиков качек, курса) и судовой систем координат, погрешность учета смещения их начал, погрешность учета положения антенны эхолота относительно уровня воды. Для вычисления поправок глубин и координат точек дна на данной глубине калибровки по промежуточным направлениям между q_1 и q_2 приема отраженных сигналов должна проводиться линейная интерполяция:

$$\begin{aligned} \Delta z_T(q_1) &= \frac{Dz_T(\theta_1) + Dz_T(\theta_2)}{\theta_1 - \theta_2} (\theta_i - \theta_2) + \Delta z_T(\theta_2); \\ \Delta X_T(q_1) &= \frac{DX_T(\theta_1) + DX_T(\theta_2)}{\theta_1 - \theta_2} (\theta_i - \theta_2) + \Delta X_T(\theta_2); \\ \Delta Y_T(q_1) &= \frac{DY_T(\theta_1) + DY_T(\theta_2)}{\theta_1 - \theta_2} (\theta_i - \theta_2) + \Delta Y_T(\theta_2), \end{aligned} \quad (19)$$

где $\Delta z_T(q_i)$, $\Delta X_T(q_i)$, $\Delta Y_T(q_i)$ ($i = 1, 2$) – значения поправок для промежуточного значения угла наклона зондирующего луча q_i .

Из выражений (18) следует, что погрешность получения поправок к глубине и координатам, измеряемым МЛЭ, будет определяться погрешностью глубины и координат ЭПО.

Следует особо отметить, что в момент измерений глубина ЭПО будет отличаться на высоту мгновенного уровня. Для учёта высоты мгновенного уровня в районе калибровки должны проводиться уровенные наблюдения на специально оборудованных дополнительных или временных уровенных постах или на самом ЭПО. Получаемая поправка к измеренной глубине будет исключать систематическую погрешность учета высоты мгновенного уровня над нулем глубин.

Учитывая перечисленные выше обстоятельства, можно считать, что одной из основных процедур калибровки будет установка ЭПО в различных участках акватории, подлежащей промеру, чтобы охватить весь диапазон глубин в данном районе, а также определение глубины и координат ЭПО.

Для установки ЭПО должно привлекаться судно с грузоподъемным устройством для подъема с палубы и спуска для установки на дне, а затем подъема и установки на палубе специальных конструкций в форме куба с размером ребра до 2 м, масса которых может достигать 0,5 т.

На дополнительном уровне или временном посту, разворачиваемом для обеспечения промера, на момент установки конструкции ЭПО на грунт измеряют высоту уровня воды. Погрешность глубины и положения ЭПО не должны превышать величины одной трети допускаемой Стандартом МГО погрешности измерения глубины и ее положения для данной категории съемки.

Будем считать, что СКП глубины ЭПО является суммой СКП измерения глубины по маркированному тросу и СКП приведения измерений глубины к нулю глубин. Считая, что при измерении глубины рассматриваемым способом СКП измерения глубины ЭПО составит не более наименьшей цены деления маркированного троса (т. е. 0,05 м), а погрешность приведения измеренной глубины к нулю глубин равна 0,1 м, получим погрешность определения глубины 0,11 м, что будет соответствовать требуемой точности определения глубины над ЭПО, используемым для калибровки МЛЭ.

В соответствии со Стандартом МГО [1] допустимая погрешность определения положения глубины при съемке особой категории s_{xy} не должна превышать 1 м, а при съемке первой категории должна удовлетворять условию

$$s_{xy} \leq 0,5(5 + 0,05z). \quad (20)$$

Следовательно, при калибровке МЛЭ, используемого для съемки особой категории, положение ЭПО должно определяться с погрешностью не более 0,3 м, а при съемке 1-й категории – 1/3 величины, вычисляемой по формуле (20). Расчет по формуле (20) для глубин в диапазоне 10–40 м показывает, что допустимая СКП определения положения глубины ЭПО при калибровке МЛЭ для съемки 1-й категории не должна превышать 1,2 м.

Выполненные оценки показывают, что такая точность может быть достигнута при определении места установки ЭПО прямой засечкой с двух береговых теодолитных постов СКП, положения опорных геодезических пунктов которых соответствуют пунктам аналитической сети АС-0,4, т. е. 0,4 м, СКП измерения направлений с теодолитных постов равно 10", а расстоянии не превышает 9,5 км при углах пересечения линий положения от 60° до 110°.

В случае калибровки МЛЭ с использованием ЭПО выполняются измерения наклонных расстояний, по которым вычисляют глубины и координаты ЭПО по двум направлениям приема отраженных эхосигналов для каждой глубины калибровки, соответствующей глубине установки каждого ЭПО. Для повышения надежности данных калибровки измерения должны выполняться как минимум дважды для зондирующих лучей каждого борта судна. При этом полученным значениям глубин и координат ЭПО будут соответствовать значения углов крена α и дифферент ϕ судна. При калибровке измеряется скорость звука на горизонте антенны, а в момент измерения t наклонных расстояний до ЭПО должны быть известны высота

мгновенного уровня над нулем глубин. Следовательно, при каждом измерении будет получаться набор данных $z_1, \alpha, \beta, \theta_1, c$ для одного ЭПО и $z_2, \alpha, \beta, \theta_2, c$ — для другого ЭПО. На момент измерений t известны высота мгновенного уровня над нулем глубин и счислимые или обсервованные координаты судна, высота вертикальной качки, курс судна. Наборы таких данных должны быть получены при как минимум двукратной калибровке левым и правым бортами. Задача заключается в вычислении поправок $\Delta z, \Delta X, \Delta Y$ для данной глубины калибровки (глубины над ЭПО) и данного наклона зондирующего луча и интерполяции этих поправок для промежуточных углов наклона зондирующих лучей.

Рассмотренный способ калибровки многолучевых эхолотов позволяет с большей достоверностью, чем существующий метод калибровки по рельефу дна, определить элементы углового рассогласования осей координат антенны эхолота, датчиков качки и курса, время запаздывания момента координатной привязки по отношению к моменту измерения глубины. Предлагаемая методика позволяет, кроме определения возможности обнаружения подводных объектов заданных размеров, получить поправки глубин и координат. Приведенные данные оценки точности определения глубины и координат эталонных объектов существующими методами подтверждают возможность использования рассмотренного способа калибровки.

ЛИТЕРАТУРА

1. IHO Standards for Hydrographic Surveys // International Hydrographic Organization Special Publication. Monaco. – 1998. – No44.
2. Haga K. H., Pehner F., Nilsen K. Testing Multibeam Echo Sounder versus IHO S-44 Requirements// International Hydrographic Review. – 2003. – Vol. 4. – No2. – P. 31–40.
3. Hirokazy Mori, Tadashi Yamamoto and Isao Tedokon. Hydrographic Survey Using SEABAT //International Hydrographic Review. – 2001. – Vol. 2. – No2.– P. 70–76.
4. Manual on Hydrography. Final draft. Monaco: published by the International Hydrographic Bureau of International Hydrographic Organization. – 2005. – 46 p.
5. Clark E. H. Dynamic Motion Residuals in Swath Sonar Data ironing out the creases // International Hydrographic Review. – 2003. – Vol. 4. – No1. – P. 6–23.
6. Крюков В. И. Оценка влияния случайных погрешностей в определении углов ориентации судна и скорости звука в воде на качество измерения глубин многолучевым эхолотом // Разведка и охрана недр. – 2002. – №9. – С. 58–60.
7. Harris P. USBL Calibration Procedures // Hydro-2001-USA-27-th March, 2001. – P. 22–1 – 22–40.
8. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов – М.: Наука, 1980. – 976 с.

Calibration of Multibeam Echosounders Using the Reference Underwater Objects

E. S. ZOUBCHENKO

(The Kuznetsov Naval Academy)

The method of multibeam echosounder calibration is considered. It consists in comparison of the depths and co-ordinates measured by the echosounder with those of the reference underwater objects installed on the bottom. The technique of measurements intended to determine the following elements is substantiated: the angular mismatch of the co-ordinate system axes for the echosounder transducer, the ship motion and course sensors and the ship system; the time delay of the co-ordinate reference; the reception of corrections for depth and co-ordinates. The accuracy of determining the depth and co-ordinates for the reference underwater objects is estimated.

ГРНТИ 38.61.05

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МЕЛКОВОДНЫХ РАЙОНАХ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ (УСТЬ-ЛУГА, БУХТА ПОРТОВАЯ, БУХТА ГРАЙФСВАЛЬД)

А. Н. ДОБРОТВОРСКИЙ,

С. А. ДРУЖЕВСКИЙ (ГНИНГИ МО РФ),

В. М. КУШНИР (Морской гидрофизический институт
Национальной АН Украины),

И. В. ЛАВРЕНОВ

(Государственный научный центр РФ Арктический и
Антарктический научно-исследовательский институт;
ГНИНГИ МО РФ)

В статье приведены результаты расчетов деформаций рельефа дна, выполненных путем математического моделирования литодинамических процессов, происходящих в мелководных районах Балтийского моря (Усть-Лужский канал на акватории Лужской губы и на участках подхода к берегу Северо-Европейского газопровода).

Создание и использование математических моделей деформаций дна под воздействием гидрометеорологических факторов относится к числу важнейших проблем обеспечения морской деятельности на мелководных акваториях с подвижным донным материалом. Это относится как к навигации на каналах, фарватерах и акваториях портов, так и строительству различных объектов на шельфе.

К гидрометеорологическим факторам, влияющим на интенсивность литодинамических процессов, в первую очередь относятся поверхностные волны и течения по всей толще воды, поскольку они взмучивают и переносят донный материал. В результате происходит размыв дна в одних местах и образование отмелей в других. Разработка моделей таких явлений позволяет прогнозировать возможные изменения фарватера, определять периодичность и объемы работ по расчистке дна от образовавшихся отмелей, а также

экономически выгодно и, главное, безопасно проектировать морские сооружения.

Математическая модель указанного типа была создана и опробована для условий Усть-Лужского канала, который проложен в сложных литодинамических условиях прибрежной зоны южного берега Финского залива. Сложность их обусловлена следующими факторами:

- открытые берега и обширные зоны малых глубин (2–3 м) по берегам канала с песчаным донным материалом, имеющим относительно высокую подвижность под действием волн и течений;
- наличие на левом берегу канала песчаных отмелей, очертания которых постоянно меняются под действием динамики наносов;
- сложный рельеф дна в зоне канала с глубинами от 7 до 0 м.

Литодинамические процессы сильно усложняли навигацию по Усть-Лужскому каналу, так как вследствие деформаций дна в зоне фарватера возникали локальные отмели, а ось фарватера с глубинами 4–5 м значительно изменялась. Эксплуатация канала была сложной в плане его долгосрочного использования в связи с планированием работ по обследованию и очистке фарватера от наносов (периодичность, объем выемки грунта) и укреплением береговой зоны со стороны наибольшего поступления донного материала. Эти трудности в значительной мере были устранены путем создания и использования диагностической модели для оперативных расчетов деформаций дна под воздействием указанных гидрометеорологических факторов.

Результаты выполненных расчетов деформаций дна в районе Усть-Лужского канала и сопоставление их с данными непосредственных измерений показало, что созданная модель динамики наносов на основе усвоения гидрометеорологических данных достаточно адекватно описывает реальные литодинамические процессы в этом районе. Это послужило основанием для получения представлений о механизме деформаций дна в указанном районе.

На основании полученных данных в 2000 г. был выполнен расчет прогноза деформаций дна (рис. 1) вдоль судоходного канала на акватории Лужской губы (южная часть Финского залива) в течение одного года при условии действия среднестатистического количества штормов.

Время показало, что расчеты полностью оправдались и канал успешно эксплуатируется без навигационных происшествий и крупных экономических затрат на поддержание его в рабочем состоянии.

С проблемой обеспечения безопасности от воздействия природной среды столкнулись специалисты и при проектировании Северо-Европейского газопровода, который будет обеспечивать поставку природного газа в страны Западной Европы по дну Балтийского моря. Это связано с рисками, которые могут возникнуть при строительстве и эксплуатации подводного газопровода.

Они обусловлены:

- изменением расчетного (проектного) режима эксплуатации трубопровода вследствие естественных деформаций рельефа дна и изменений береговой черты;
- динамическими нагрузками на трубу вследствие воздействия придонных течений и вызванного ими транспорта донного материала;
- изменением естественной структуры придонных течений лежащим на грунте трубопроводом.

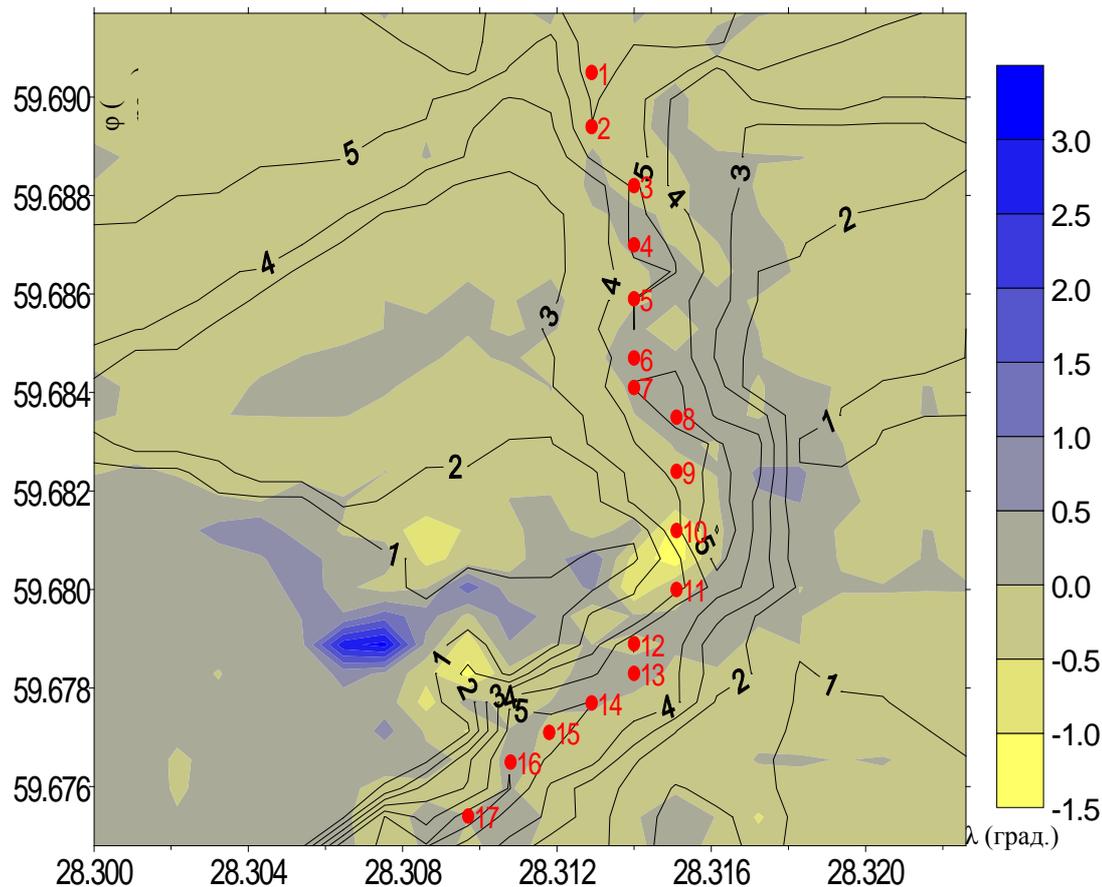


Рис. 1. Результаты расчета прогноза деформаций дна (метры) на акватории Лужской губы (южная часть Финского залива) в течение одного года при условии действия среднестатистического количества штормов

Для определения и учета этих факторов специалистами Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института совместно со специалистами Научно-исследовательского института Арктики и Антарктики и Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН в 2004 г. были выполнены исследования процессов переформирования рельефа дна под воздействием гидрометеорологических факторов на участках подхода к берегу в районе

бухты Портовая Финского залива Балтийского моря и бухте Грайфсвальд (Германия) в южной части Балтийского моря.

Схема трубопровода на подходах к берегу приведена на рис. 2.

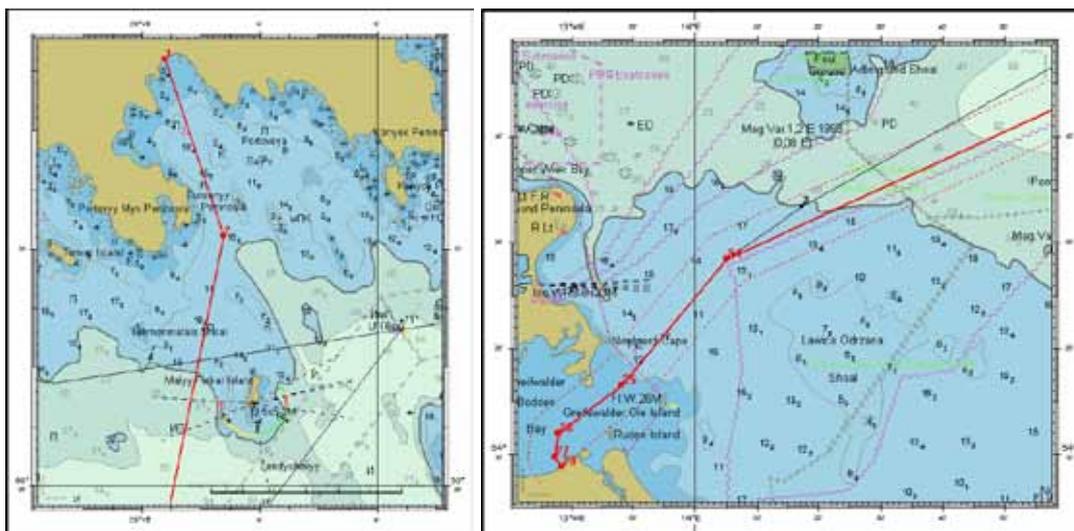


Рис. 2. Схемы выхода трассы Северо-Европейского газопровода на берег в бухте Портовая (слева) и в бухте Грайфсвальд (справа)

По результатам анализа фондовых материалов были получены гидрометеорологическая характеристика района, инженерно-геологические и навигационно-гидрографические условия района выхода на берег проектируемого трубопровода. Полученные данные были использованы при численном моделировании волн, течений, и литодинамических процессов.

Комплекс использованных моделей включал в себя:

- модель приводного слоя атмосферы, позволяющую рассчитывать атмосферные параметры (включая скорость ветра и его направление) по исходным синоптическим данным (по картам приземного атмосферного давления и данным синоптических станций);
- гидродинамическую модель циркуляции водных масс, описывающую ветровой дрейф и сгонно-нагонные эффекты;
- модель ветрового волнения, которая позволяет рассчитывать не только элементы ветрового волнения, но и волновые движения по всей глубине;
- модель транспорта наносов, которая использует результаты расчетов вышеописанных моделей в качестве исходных данных.

Для выполнения численных расчетов с учетом характера изменения глубин Балтийского моря были сформированы расчетные области с разным пространственным разрешением.

Расчетная область по всей Балтике (рис. 3) составляла 43×49 узлов численной области, шаг по широте $0,25^\circ$ ($\sim 27,75$ км), шаг по долготе $0,50^\circ$ ($\sim 27,75$ км).

При оценке режима волнения учитывалось наличие ледяного покрова, который зимой и весной изменяет размеры открытой акватории моря (рис. 4).

Расчеты по всей акватории Балтийского моря послужили для получения граничных условий для так называемых «вложенных сеток», более детальных и необходимых для определения параметров ветрового волнения в прибрежных районах прокладки трубы.

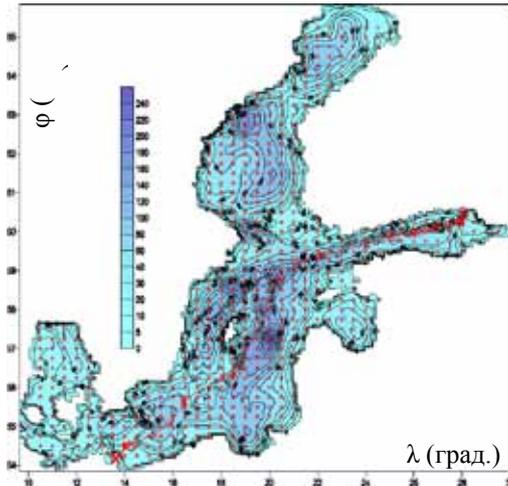


Рис. 3. Расчетные сетка и батиметрия для акватории Балтийского моря (518 морских точек)

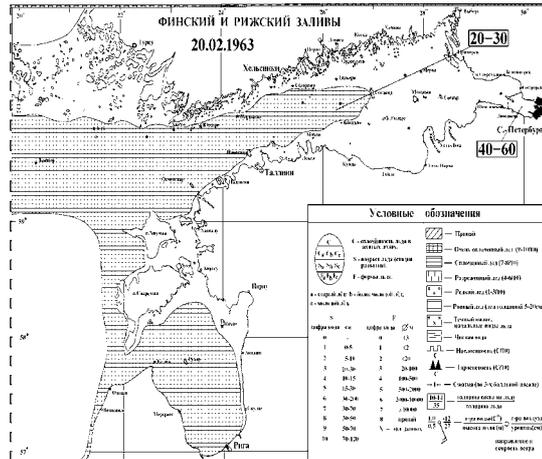


Рис. 4. Пример ледовой обстановки в восточной части Балтийского моря в суровую зиму (по данным Северо-Западного УГМС)

Для бухты Портовая (рис. 5) использовалась сетка: 51×33, шаг по широте 0,1 (~185 м), шаг по долготе 0,2 (~185 м). Для бухты Грайфсвальд – сетка 40×30, шаг по широте 0,541' (~1 км), шаг по долготе 0,928' (~1 км) (рис. 6).

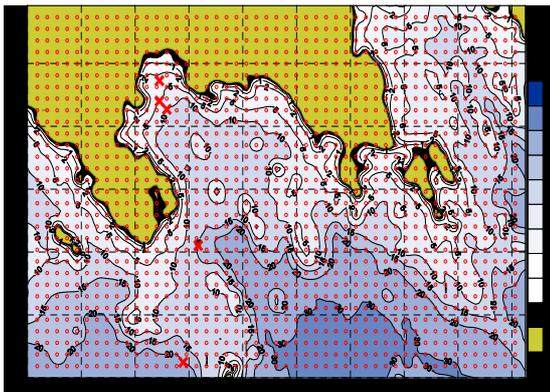


Рис. 5. Бухта Портовая

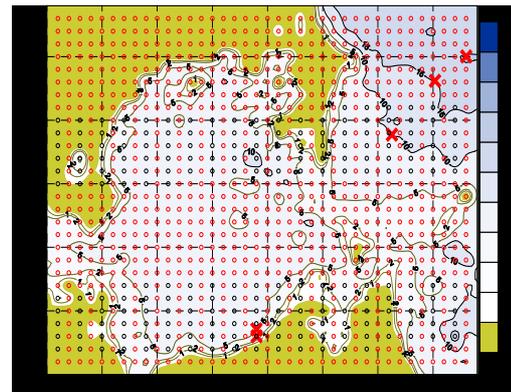


Рис. 6. Бухта Грайфсвальд

Расчет параметров волн, возможных один раз в 1,5,10,20,50 и 100 лет был выполнен по данным о максимальных скоростях ветра и разгонах волн на волноопасных направлениях. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Экстремальные значения скорости ветра, средних высот и средних периодов волн на волноопасных направлениях, возможных 1 раз в N лет

<i>Бухта Портовая</i>	<i>1 год</i>	<i>5 лет</i>	<i>10 лет</i>	<i>20 лет</i>	<i>50 лет</i>	<i>100 лет</i>
Скорость ветра, м	19,0	22,7	24,6	26,3	28,3	30,0
Средняя высота волны, м	1,8	2,1	2,2	2,8	3,0	3,5
Средний период волны, сек.	5,6	5,7	5,8	6,2	6,5	7,0
<i>Бухта Грайфсвальд</i>	<i>1 год</i>	<i>5 лет</i>	<i>10 лет</i>	<i>20 лет</i>	<i>50 лет</i>	<i>100 лет</i>
Скорость ветра, м	16,0	17,5	18,0	20,0	22,0	23,0
Средняя высота волны, м	1,4	2,1	2,7	3,3	4,2	4,5
Средний период волны, сек.	5,0	7,0	8,0	8,5	10,0	10,5

Расчет течений и колебаний поверхности моря в бухте Портовая был выполнен по модели, основанной на полных уравнениях движения вязкой несжимаемой жидкости в приближениях Буссинеска и гидростатики, уравнениях переноса тепла и соли и уравнения состояния морской воды в форме ЮНЕСКО. На поверхности жидкости задается кинематическое условие и решается прогностическое уравнение для свободной поверхности.

Для определения деформаций рельефа дна под воздействием гидрометеорологических факторов использовались методы математического моделирования, результаты обобщения натуральных наблюдений и лабораторных экспериментов.

Основными причинами изменений рельефа в мелководной зоне могут быть деформации, связанные с процессами размыва и аккумуляции осадков, обусловленные штормовым перемещением материала, а также деформации, вызванные формированием и перемещением донных образований – рифелей и подводных валов.

1. Прогноз деформаций, обусловленных перемещением осадков, осуществлялся двумя методами – оценкой локального баланса наносов и на основе сравнения профилей динамического равновесия.

В основе метода локального баланса наносов лежит предположение о том, что изменения глубин h вдоль расчетного профиля определяются путем интегрирования уравнения сохранения массы.

Идея метода сравнения профилей динамического равновесия (ПДР) состоит в том, что под воздействием определенного шторма береговой профиль стремится к профилю динамического равновесия. Отличия его от фактического профиля указывают на величину возможных деформаций дна. Для аппроксимации ПДР используется составной профиль, объединяющий модели в зонах до и после обрушения волн.

2. Размеры деформаций дна, обусловленные процессами формирования рифелей, определяются их высотой. Для соответствующего прогноза используются методы, основанные на представлениях о специфической кинематической структуре придонной области с высокими градиентами скорости и большими значениями касательного напряжения на дне.

На рис. 7 представлено распределение штормовых деформаций дна при экстремальных штормах различной повторяемости в бухтах Портовая и Грайфсвальд вдоль проектируемой трассы трубопровода. Максимальные амплитуды деформаций при экстремальных штормах приведены в табл. 2. Отрицательным деформациям отвечает размыв дна.

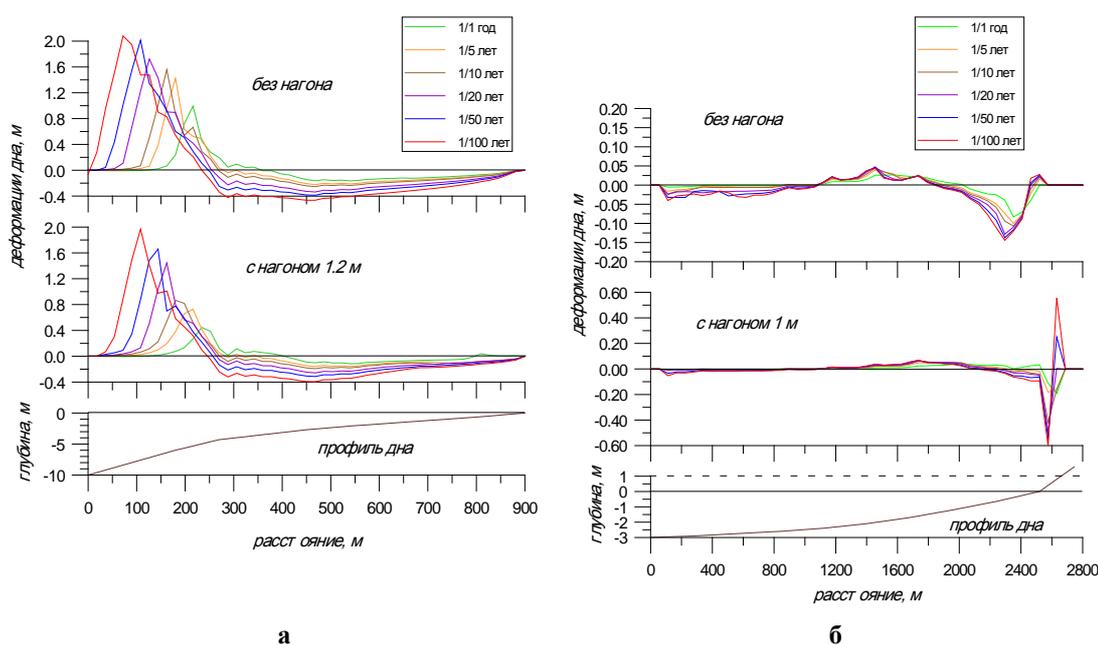


Рис. 7. Распределение штормовых деформаций дна при экстремальных штормах различной повторяемости в бухтах Портовая (а) и Грайфсвальд (б)

Таблица 2

Максимальные амплитуды деформаций при экстремальных штормах и нагонах

Повторяемость 1 раз / N лет	Бухта Портовая		Бухта Грайфсвальд	
	Максимальный размыв, м	Максимальная аккумуляция, м	Максимальный размыв, м	Максимальная аккумуляция, м
1/1	-0,16	0,72	-0,19	0,03
1/5	-0,22	0,96	-0,19	0,03
1/10	-0,25	1,56	-0,42	0,05
1/20	-0,33	1,72	-0,49	0,05
1/50	-0,39	2,01	-0,54	0,25
1/100	-0,46	2,08	-0,60	0,55

По итогам моделирования получены следующие результаты.

1. В районе бухты Портовая:

- При ветро-волновых условиях в акватории Финского залива, примыкающей к бухте Портовой, и характере донных осадков по трассе трубопровода более или менее заметные деформации дна могут ожидать только в прибрежной области с глубинами менее 10 м.
- Из всего набора типичных волновых ситуаций (с учетом их суммарной продолжительности в течение года) главную роль в деформациях рельефа играют умеренные и сильные штормы южного румба, при которых размыв дна достигает 0,4 м, а аккумуляция – 0,8 м.
- Максимальные абсолютные значения деформаций достигаются при экстремальных штормах редкой повторяемости. В полосе глубин менее 5 м они вызывают размыв дна до 0,5 м. Вынесенный материал откладывается на глубинах 6–9 м, где толщина слоя аккумуляции может превышать 2,1 м.
- Процессы рифелеобразования не вносят заметного вклада в штормовые деформации рельефа.
- Достаточно существенными могут быть деформации, обусловленные миграцией подводных валов ($\pm 0,8$ м). Таким образом, границы всего диапазона потенциальных деформаций рельефа в рассматриваемом районе характеризуются значениями от $-0,8$ м (размыв) до 2,1 м (аккумуляция).

2. В районе бухты Грайфсвальд:

- При ветро-волновых условиях, существующих в акватории бухты, и характере донных осадков по трассе трубопровода наиболее заметные деформации дна могут ожидать в приурезовой области, включающей пляж. В открытой части бухты и у входа в нее штормовые деформации пренебрежимо малы. Для оценки деформаций на более глубоководном участке перед бухтой в дальнейшем потребуются данные о статистике дрейфовых течений в этом районе.
- Максимальные абсолютные значения деформаций достигаются при экстремальных штормах редкой повторяемости, действующих на фоне нагона. При этом в подводной части пляжа возможен размыв дна до 0,6 м, а в надводной его части – аккумуляция, также до 0,6 м. Указанные величины должны быть уточнены в дальнейшем на основе дополнительной информации о морфометрии профиля пляжа в районе трассы трубопровода.
- Процессы рифелеобразования не вносят заметного вклада в штормовые деформации рельефа.
- Динамические условия в бухте не исключают возможность существования подводных валов (в зоне глубин менее 3 м), миграции которых могут вызвать деформации дна в пределах $\pm 0,5$ м.

Математическое моделирование в рассматриваемых мелководных районах позволило исходя из наиболее общей метеорологической, гидрологической и морфометрической информации, а также данных о

распределении донных отложений, получить ответы относительно характера литодинамических процессов, их качественных и количественных характеристик.

Mathematical Modelling of Lithodynamic Processes in the Shallow-Water Areas of the Baltic Sea (Ust-Luga, the Portovaya Bight, the Greifswald Bight)

N. A. DOBROTVORSKY, S. A. DRUZHEVSKY, (GNINGI, RF MoD),

V. M. KUSHNIR, (The Marine Hydrophysical Institute, The National Academy of Sciences, the Ukraine),

I. V. LAVRENOV, (The State Scientific Centre of the Russian Federation «The Arctic and Antarctic Research Institute» of Roshydromet)

The calculation results of the bottom relief deformations are presented. The calculations were carried out using the mathematical modelling of lithodynamic processes that take place in the shallow-water areas of the Baltic Sea (in the area of the Ust-Luga canal in the Luga Bay and the coast approach sections of the North-European gas pipeline).

ГРНТИ 38.61.05

**ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ЛЕДОВОЙ ЭКЗАРАЦИИ В СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
ФИНСКОГО ЗАЛИВА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

А. Н. ДОБРОТВОРСКИЙ, С. А. ДРУЖЕВСКИЙ
(ГНИНГИ МО РФ),

И. В. ЛАВРЕНОВ

(Государственный научный центр РФ Арктический и
Антарктический научно-исследовательский институт;
ГНИНГИ МО РФ)

В статье приведено описание математической модели, использованной для моделирования ледовой экзарации в северо-восточной части Финского залива, приведены полученные результаты и их подтверждение материалами гидролокационной съемки в данном районе.

Для определения факторов, способных повлиять на проектные решения при строительстве Северо-Европейского газопровода, специалистами Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института совместно со специалистами научно-исследовательского института Арктики и Антарктики в 2004 году были выполнены теоретические и экспериментальные исследования процессов переформирования рельефа дна под воздействием ледяного покрова на участке подхода к берегу в районе бухты Портовая Финского залива Балтийского моря.

Теоретические исследования включали сбор, обработку и анализ имеющихся фондовых материалов и на их основе математическое моделирование переформирования дна в результате воздействия ледовых образований. Несмотря на то, что Финский залив – один из самых изученных

районов, и по основным его характеристикам имеются репрезентативные данные, зимой 2002–2003 гг. наблюдались ледовые явления, с которыми ранее не приходилось сталкиваться.

По результатам анализа фондовых материалов были выявлены ледовые условия и характеристики ледовых условий в исследуемом районе. Повторяемость суровых зим в Балтийском море, рассчитанная по ряду наблюдений продолжительностью с 1703 г. по настоящее время, оказалась значительной, и составляет около 27,2%. На рис. 1, 2 приводится пример ледовых условий в Финском заливе в суровую зиму 2002–2003 гг. На фотографиях изображены возникшие в результате сжатия льда в марте 2003 г. гряды торосов, высота которых в районе проектирования достигает 12 м. В табл. 1 приведены экспертные оценочные максимальные значения толщины ровного льда в бухте Портовая, возможные 1 раз в N (1, 5, 10, 20, 50 и 100) лет.



Рис. 1. Гряды торосов в районе работ



Рис. 2. Гряды торосов в районе работ

Таблица 1

Экспертные оценочные максимальные значения толщины ровного льда в бухте Портовая, возможные 1 раз в N лет

N , лет	1	5	10	20	50	100
$H_{\text{льда}}$, см	56	68	78	86	90	93

При взаимодействии дрейфующих ледяных образований с донным грунтом в последнем могут возникать борозды различной глубины, ширина которых достигает десятков метров.

Математическое моделирование выполнялось для статистической оценки вероятности появления борозд определенных размеров на заданном участке шельфа с учетом параметров встречающихся торосов и возможных характеристик скорости дрейфа льда. Эмпирически подобранный закон распределения глубины экзарации позволяет экстраполировать ее значения в область малых вероятностей.

Схема сил, действующих на торос в процессе взаимодействия с грунтом, приведена на рис. 3. Движение тороса в контакте с грунтом рассчитывается с помощью уравнения баланса количества движения:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{1}{M_t} (F_a - F_w - F_c),$$

где W – скорость движения тороса в контакте с грунтом, F_a и F_w – движущие силы ветра и воды, F_c – сила сопротивления грунта, M_t – масса тороса.

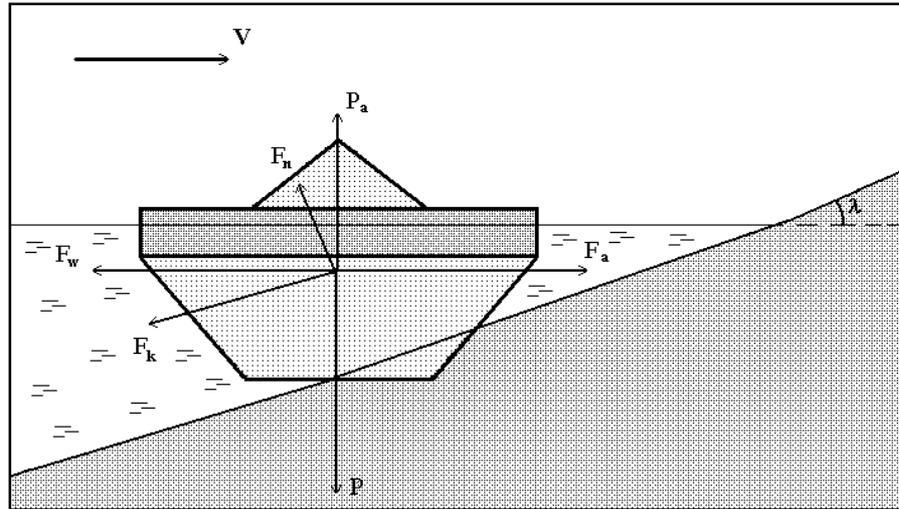


Рис. 3. Схема сил, действующих на торос в процессе взаимодействия с грунтом (объяснения в тексте)

Нестационарная модель взаимодействия ледяного образования (ЛО) с грунтом учитывает баланс внешних напряжений на верхней и нижней поверхностях ЛО, а также нормальные и касательные составляющие реакции грунта, силы тяжести и плавучести. Следовательно, помимо квазистационарных внешних сил и реакции грунта, учитываются и силы инерции, возникающие при изменении скорости ЛО. Принимается во внимание и то обстоятельство, что нижняя, менее прочная часть киля в процессе экзарации разрушается и не участвует в формировании борозды. В результате в зависимости от наклона дна определяются глубина борозды и время, затраченное на ее образование.

При решении задачи о взаимодействии тороса с морским дном очень большое значение имеет вопрос об интегральной прочности подводной части тороса. Иными словами, во время контакта тороса и грунта может происходить либо разрушение тороса, либо деформация грунта (для упрощения задачи в первом приближении будем игнорировать возможный «смешанный» вариант).

В данном случае примем следующую гипотезу: киль тороса имеет в разрезе треугольную форму, а прочность кия на сдвиг возрастает от нижней точки кия к поверхности воды. Поэтому на первой стадии контакта между килем и грунтом разрушается киль, т. е. нижняя, наименее прочная часть кия отсекается. Однако с уменьшением глубины моря в контакт с грунтом вступают все более прочные слои кия, в какой-то момент киль становится прочнее грунта, и начинается деформация последнего.

Для выполнения расчетов по изложенной схеме необходимо задать следующие исходные данные:

- информацию о морфометрии ледяного покрова: толщина ровного льда, размер льдины, высота надводной и осадка подводной частей тороса;
- скорость и направление ветра;
- рельеф дна в районе возможного контакта;
- информацию о свойствах грунта: удельный вес с учетом сил плавучести, коэффициент горизонтальной составляющей пассивного давления, угол внутреннего трения.

Как отмечалось ранее, параметры экзарации определяются сочетанием ледовых и ветровых условий, а также рельефом дна и характером донного грунта. При этом характеристики дна переменны в пространстве и постоянны во времени, тогда как ледовые и ветровые условия переменны как во времени, так и в пространстве.

Теоретически в природе могут встречаться любые сочетания реальных для данного района ледовых и ветровых условий, например: «толщина льда 25 см, размер льдины 75 м, высота тороса 1 м, ветер северо-западный, 15 м/с» или «толщина льда 50 см, размер льдины 300 м, высота тороса 0,5 м, ветер юго-западный, 20 м/с» и т. д.

Исходя из этого было решено просчитать параметры экзарации по каждому месяцу ледового периода при каждом возможном сочетании ледовых и ветровых условий.

Каждое сочетание теоретически может привести к определенным, но, что особенно важно, заранее неизвестным последствиям в смысле экзарации. Исходя из этого было решено просчитать параметры экзарации по каждому месяцу ледового периода при каждом возможном сочетании ледовых и ветровых условий.

Общее количество возможных сочетаний

$$N_{\text{общ}} = N_{\text{толщ}} \cdot N_{\text{размер}} \cdot N_{\text{торос}} \cdot N_{\text{ветер}},$$

где $N_{\text{толщ}}$ – количество градаций толщины льда (равно 6),

$N_{\text{размер}}$ – количество градаций размеров льдин (равно 5),

$N_{\text{торос}}$ – количество градаций высоты торосов (равно 4),

$N_{\text{ветер}}$ – количество градаций скорости и направлений ветра (равно 40, т. е. 5 градаций скорости по 8 направлениям).

Таким образом, общее количество возможных сочетаний ледовых и ветровых условий равно 4800. Важно отметить, что каждая градация каждого ледового параметра и каждая градация скорости и направления ветра имеют свою повторяемость. Из этого следует, что повторяемость сочетания есть произведение повторяемостей каждого элемента, составляющего данное сочетание:

$$P_{ijkl} = P_i(\text{толщ}) \cdot P_j(\text{размер}) \cdot P_k(\text{торос}) \cdot P_l(\text{ветер})$$

где P_i (толщ) – повторяемость i -той градации толщины льда;
 P_j (размер) – повторяемость j -той градации размера льдины;
 P_k (торос) – повторяемость k -той градации высоты тороса;
 P_l (ветер) – повторяемость l -той градации ветра.

Следующий важный момент заключается в том, что, как отмечалось выше, параметры дна (прежде всего рельеф) обладают определенной пространственной изменчивостью. Этот фактор был учтен путем аппроксимации регулярной сеткой с пространственным шагом, который для бухты Портовой был принят равным 185 м.

Таким образом, расчет экзарации производится для каждой ячейки сетки всем возможным сочетаниям ледовых и ветровых условий для каждого месяца ледового сезона. В результате для каждого месяца и для каждого района получается 4800 вариантов пространственного распределения параметров экзарации. Излишне говорить, что такое обилие информации требует обобщения.

Обобщение результатов было нацелено на получение оценок пространственного распределения вероятности экзарации заданной глубины.

При этом необходимо было получить ответы на три вопроса:

- Где может произойти экзарация ?
- Какова может быть ее интенсивность (прежде всего, глубина) ?
- Какова вероятность проявления именно такой экзарации именно в этом месте?

Для этого по каждой ячейке сетки суммируются вероятности тех сочетаний, которые приводят к экзарации заданной глубины в данной ячейке.

В результате получают карты распределения вероятности экзарации заданной глубины в данный месяц ледового сезона. Пример такой карты приведен на рис. 4.

Из рисунка видно, что экзарация глубиной от 10 до 25 см в бухте Портовая в апреле может происходить на большей части акватории с вероятностями от 0,00001 до 0,01%, местами – до 1%. Преобладающая длина борозд не превышает 20 м, местами – от 20 до 50 м.

Глубина экзарации в бухте Портовой в апреле может достигать почти 2 м, но с очень незначительной вероятностью – порядка 10^{-5} – 10^{-6} % (это

примерно соответствует повторяемости – 1 раз за 100–150 лет). Экзарация повторяемостью порядка 10^{-3} – 10^{-4} % достигает глубины 0,6–0,8 м.

Пример функции распределения глубины экзарации по району бухты Портовая в апреле приведен на рис. 5.

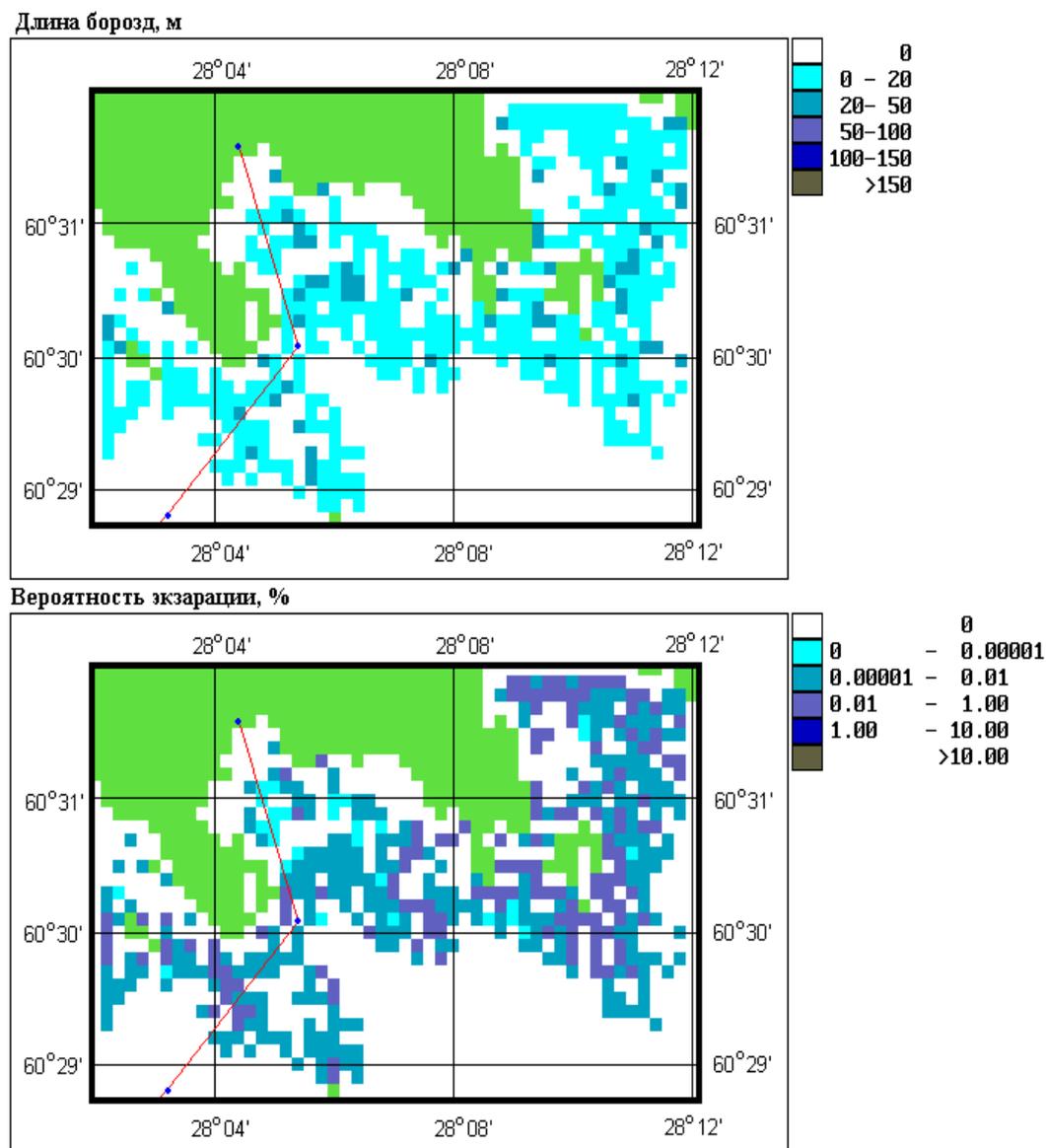


Рис. 4. Пример распределения длины и вероятности экзарации глубиной 0,10–0,25 м в бухте Портовая (апрель)

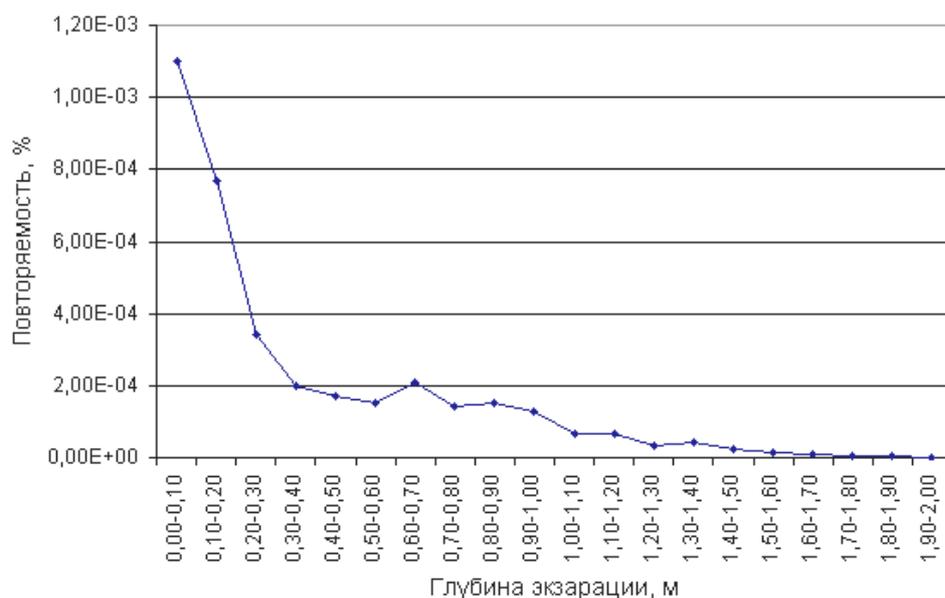


Рис. 5. Пример функции распределения глубины эскарации по району бухты Портовая (апрель)

Параметры экстремальной эскарации малой повторяемости («раз в N лет») приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры экстремальной эскарации малой повторяемости («раз в N лет»)

Бухта Портовая	1 раз в N лет					
	1	5	10	20	50	100
Высота паруса торога, м	1,5	2,0	2,4	2,6	2,8	3,0
Скорость ветра, м/с	19	22	24	26	28	30
Средняя длина борозды, м	19	23	30	31	33	34
Максимальная длина борозды, м	47	48	48	50	52	53
Средняя глубина борозды, м	0,17	0,25	0,33	0,34	0,35	0,39
Максимальная глубина борозды, м	0,99	1,17	1,67	1,74	1,78	1,86

Результаты моделирования косвенно подтверждаются материалами гидролокационной съемки. На рис. 6 представлен образец сонограммы, полученной по результатам гидролокационной съемки 2004 г. в районе бухты Портовая.

На ней обнаружены донные формирования, не нашедшие своей интерпретации. Они имеют вид вытянутых углубленных борозд и параллельных им протяженных поднятий дна. Их длина составляет до нескольких десятков метров, ширина – до нескольких метров. По своей форме эти донные образования имеют вид схожий с бороздами, возникающими в

результате экзарации, происходящей под воздействием ледовых образований на дно бухты.

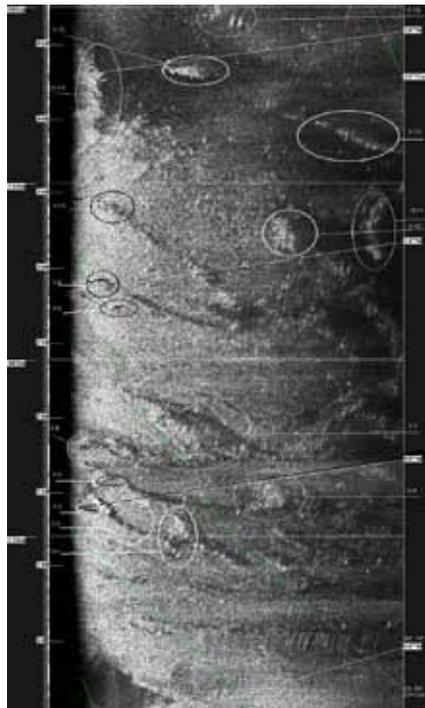


Рис. 6. Образец сонограммы, полученной по результатам гидролокационной съемки 2004 г. в районе бухты Портовая

Съемка была выполнена осенью, т. е. в тот период, когда причинами возникновения приведенных донных формирований могли послужить и другие факторы (например, литодинамические процессы под воздействием волн), поэтому для уточнения параметров ледовой экзарации планируется выполнение ледовой экспедиции зимой 2005–2006 гг. и обследование рельефа дна непосредственно после освобождения района ото льда.

Таким образом, систематическое моделирование и натурные исследования подтверждают возможность ледовой экзарации в данном районе при наступлении суровой зимы.

Estimate of Ice Exaration Parameters in the North-East Part of the Gulf of Finland Based on the Mathematical Modelling Results

A. N. DOBROTVORSKY, S. A. DRUZHEVSKY, (GNINGI, RF MoD),

I. V. LAVRENOV

(The State Scientific Centre of the Russian Federation «The Arctic and Antarctic Research Institute» of Roshydromet)

The mathematical model used for modelling the ice exaration in the north-east part of the Gulf of Finland is described. The results obtained and their confirmation by the materials of sonar survey in this area are presented.

МОДЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ АНОМАЛИЙ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЙ И ГРАДИЕНТОВ ПЛОТНОСТИ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ**В. А. РЯБЧЕНКО, В. А. ГОРЧАКОВ,
А. Ю. ДВОРНИКОВ, В. Н. КОНОПЛЕВ**

(Санкт-Петербургский филиал Института им. Ширшова РАН),

Ю. М. ЛИБЕРМАН(Санкт-Петербургский центр по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды)

На основе трехмерной модели общей циркуляции океана Принстонского университета (РОМ) рассчитана сезонная изменчивость течений и термохалинной структуры Баренцева моря в аномально теплое 1990 г. Сравнение результатов расчетов температуры и солёности с данными наблюдений в типичные месяцы (март, май, сентябрь и ноябрь) свидетельствует об их неплохом качественном, а зачастую и количественном соответствии. Согласно модельному решению максимальные скорости течений достигаются в поверхностном слое моря летом, превышая в районе Нордкапского и прибрежного Мурманского течений 0,4 м/с. Другие области аномальных скоростей течений, превышающих 0,2 м/с, в сентябре отмечаются в проливе Карские ворота, вблизи Кольского полуострова, у побережья Новой Земли, в окрестности архипелага Шпицберген. Рассчитанные вертикальные градиенты плотности достигают максимальных значений (до 0,15 кг/м⁴) в августе и локализуются в северной половине моря. Весной, и особенно зимой, вертикальные градиенты плотности существенно меньше летних. Рассчитанные максимальные (в пределах всей толщи моря) значения модуля горизонтального градиента плотности на несколько порядков меньше вертикального градиента.

1. Постановка задачи

Важной практической задачей современной океанографии является выделение опасных для движущихся подводных объектов районов морей и океанов. Решение этой задачи на основе данных наблюдений при весьма редкой сети метеорологических и гидрологических станций в северных морях России вряд ли возможно. Имеющиеся данные наблюдений, большая часть которых систематизирована в океанографических архивах, получены преимущественно в результате экспедиционных исследований, охватывающих в основном южную, незамерзающую часть Баренцева моря и относящихся, как правило, к летне-осеннему периоду [1]. Эти данные дают представление о средних значениях гидрофизических полей и не могут дать достоверной информации об их мелкомасштабных и высокочастотных аномалиях. Единственной альтернативой представляется модельный подход, позволяющий на основе современных моделей общей циркуляции океана выделить районы и время существования максимальных значений гидрофизических параметров, влияющих на безопасность эксплуатации подводных лодок. К таким параметрам, наряду с некоторыми другими, могут быть отнесены аномальные градиенты плотности и аномальные скорости течений.

Цель настоящей работы – выделить такие районы в Баренцевом море, где в определенные периоды годового цикла могут наблюдаться аномально высокие значения градиентов плотности и скоростей течений.

Моделирование циркуляции вод Баренцева моря до настоящего времени выполнялось как в рамках моделей для всего Северного Ледовитого океана на грубых сетках [2–4], так и на сетках высокого пространственного разрешения собственно для Баренцева моря [5–7]. Исследования второй группы основаны на динамическом методе расчета течений по метеорологической информации на поверхности моря и имеющимся данным о трехмерных полях температуры и солености морской воды. Основной недостаток динамического метода и его модификаций – фиксация поля плотности морской воды, не позволяющая учесть влияние поля скорости течений на распределение плотности. К другим ограничениям этих исследований можно отнести отсутствие в расчетах касательного напряжения трения ветра [5] и воспроизведение циркуляции только для летнего сезона [6, 7]. Указанные ограничения преодолены в настоящей работе, где на основе трехмерной модели общей циркуляции океана Принстонского университета (РОМ) [8] рассчитывается сезонная изменчивость течений и термохалинной структуры Баренцева моря.

Исследование аномалий гидрофизических полей океана требует выделения аномальных лет относительно среднего (климатического) состояния системы океан – атмосфера в период систематических наблюдений и основанного на них моделирования атмосферы и океана. Этот период охватывает вторую половину 20-го столетия, когда, помимо традиционных методов измерений параметров атмосферы и океана, были разработаны новые дистанционные методы измерений характеристик поверхности океана и созданы глобальные модели общей циркуляции атмосферы и океана. Оценки площади распространения морского льда в Арктическом Океане по данным спутниковых наблюдений NORSEX (Norwegian Remote Sensing Experiment) [9] в период с 1979 по 2000 г. показывают, что площадь распространения морского льда в сентябре, когда достигается ее минимум в сезонном ходе, была минимальна в 1990 и 1995 гг. В то же время согласно результатам восстановления состояния атмосферы в период с 1948 г. по настоящее время, максимумы температуры воздуха в Арктике отмечались в 1981, 1990, 1995 и 2001 гг. [10]. Анализ архивов океанографических наблюдений в Баренцевом море показал, что наилучшим по информационному освещению является 1990 г., который и был выбран для анализа в настоящей работе как один из аномально теплых и хорошо обеспеченных данными.

2. Условия расчета

Ниже обсуждаются результаты расчета сезонной изменчивости гидрофизических полей (ГПФ) в Баренцевом море в 1990 г., выполненного на основе адаптированной к условиям моря модели РОМ [8]. В качестве начального момента времени принято 1 января 1990 г. Предполагалось, что морской лед на поверхности моря отсутствовал в течение всего

рассматриваемого периода. Это предположение могло приводить к искажениям рассчитанной скорости течений в северной части моря зимой, когда отсутствие в модели ледяного покрова вызывало завышение касательного напряжения ветра, воздействующего на морскую поверхность. Вместе с тем отсутствие ледяного покрова не оказывало прямого влияния на поверхностные поля температуры и солёности, так как последние были заданы. Расчет был выполнен на регулярной прямоугольной сетке 100 км, имеющей 32 равноудаленных -уровня по вертикали. Шаг по времени составлял 15 мин.

Исходная информация для обсуждаемого расчета включала поле глубин морского дна, внешние воздействия на границе раздела море–атмосфера (скорость ветра, температура и солёность на поверхности моря), граничные условия на открытых боковых границах моря и начальные условия (для скорости течений, температуры и солёности). Массив глубин дна получен на основе навигационных карт с применением геоинформационных технологий, реализованных в системах ARC/INFO и ARC/VIEW.

Средние суточные поля скорости ветра были заданы по данным архива NCEP/NCAR, полученным на основании реанализа атмосферной циркуляции [11]. Температура и солёность на поверхности моря, а также скорости течений, температура и солёность на открытых боковых границах моря в каждый момент времени восстанавливались путем линейной интерполяции их средних месячных значений для 1990 г. Последние получены по результатам расчетов изменчивости состояния Мирового океана в 1979–1994 гг. на основе Гамбургской модели общей циркуляции океана (HOPE-G) [12]. В качестве начальных полей скорости течений, температуры и солёности были использованы средние январские поля для 1990 г., взятые из того же решения.

3. Сравнение результатов расчетов с данными наблюдений

Сравнение результатов расчетов температуры и солёности с данными наблюдений (как на отдельных горизонтах, так и на стандартных разрезах) в типичные месяцы (март, май, сентябрь и ноябрь) свидетельствует об их удовлетворительном качественном, а зачастую и количественном, соответствии. Расхождения между моделью и данными сводятся к тому, что модель завышает проникновение теплых и соленых атлантических вод в Баренцево море и занижает влияние холодных арктических вод на формирование термохалинной структуры моря. Особенно сильны эти отличия на глубинах 100–200 м. К возможным причинам указанных расхождений следует отнести следующие: 1) неполное соответствие задаваемых модельных распределений скорости течений, температуры и солёности на открытых боковых границах бассейна фактическим данным; 2) недостаточное время интегрирования модели (1 год), в результате чего модельное решение, не успевшее адаптироваться к задаваемым граничным и начальным условиям, может содержать существенные погрешности, присущие периоду адаптации; 3) неадекватный выбор параметров модели, контролирующей турбулентную

диффузию. Следует также учитывать, что обеспеченность данными наблюдений часто недостаточна для надежного восстановления пространственной структуры полей температуры и солёности, особенно в северной и восточной частях моря, где и отмечаются наибольшие расхождения между данными наблюдений и моделью.

4. Определение районов и времени существования максимальных значений гидрологических характеристик

Полученное модельное решение для 1990 г. было использовано для определения максимально возможных в Баренцевом море в течение годового цикла значений гидрологических характеристик: модуля скорости течений, вертикальных и горизонтальных градиентов плотности. Выделение областей и времени существования таких особенностей ГФП выполняется по средним месячным значениям. Применительно к течениям опасными для движущихся подводных объектов считаются течения со скоростями свыше 0,2 м/с, тогда как для градиентов плотности критерий опасности не установлен.

Скорость течений. По результатам расчетов общей циркуляции Баренцева моря в 1990 г. были построены карты модуля горизонтальной скорости течений на отдельных горизонтах (0, 50, 100 и 200 м) для четырех типичных месяцев (март, май, сентябрь и ноябрь), характеризующих соответственно зимние, весенние, летние и осенние условия. Анализ этих карт показал, что максимальные скорости течений отмечаются в верхнем слое моря. Распределения модуля скорости течений на морской поверхности приводятся на рис. 1–4.

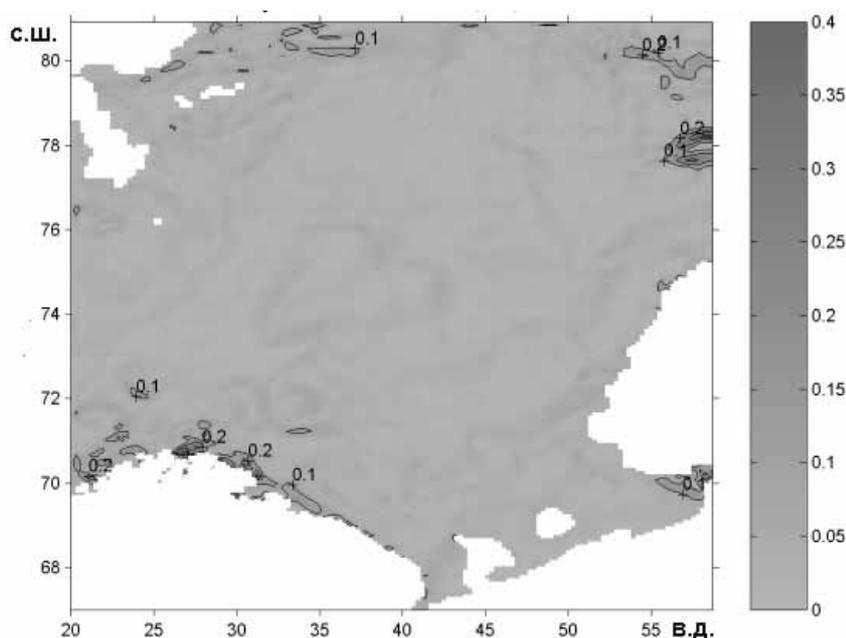


Рис. 1. Модуль горизонтальной скорости течений в м/с на поверхности моря в марте 1990 г.

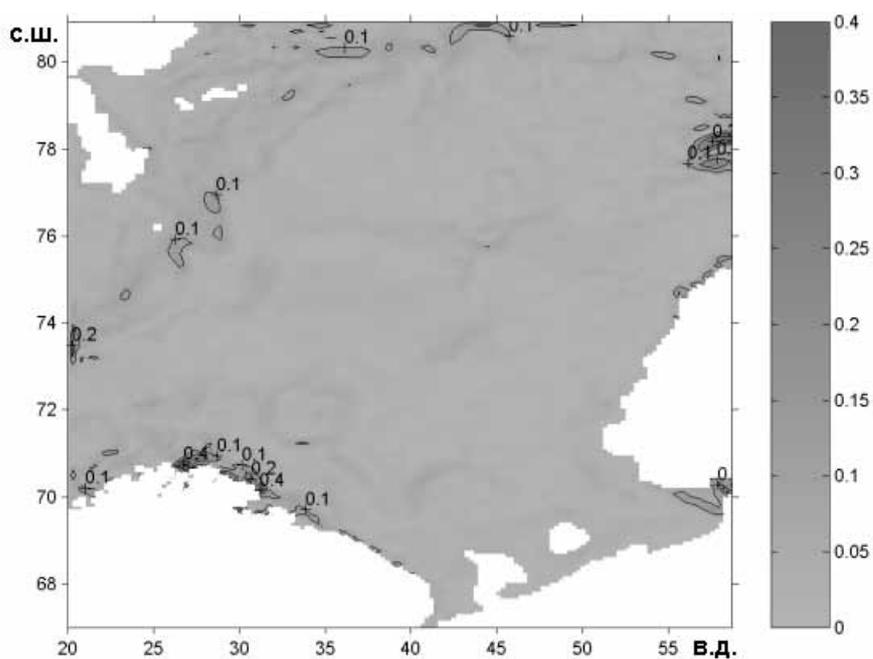


Рис. 2. Модуль горизонтальной скорости течений в м/с на поверхности моря в мае 1990 г.

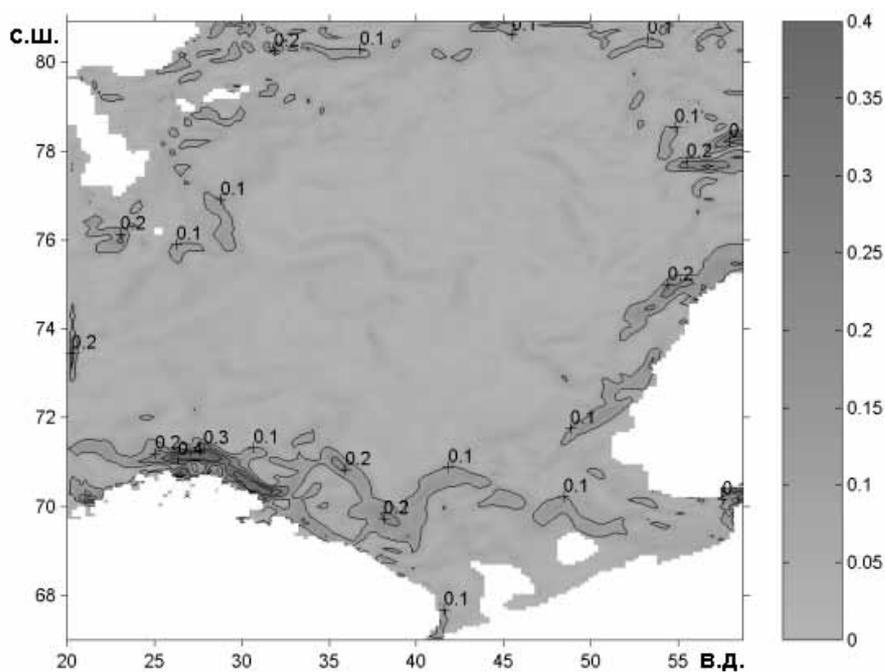


Рис. 3. Модуль горизонтальной скорости течений в м/с на поверхности моря в сентябре 1990 г.

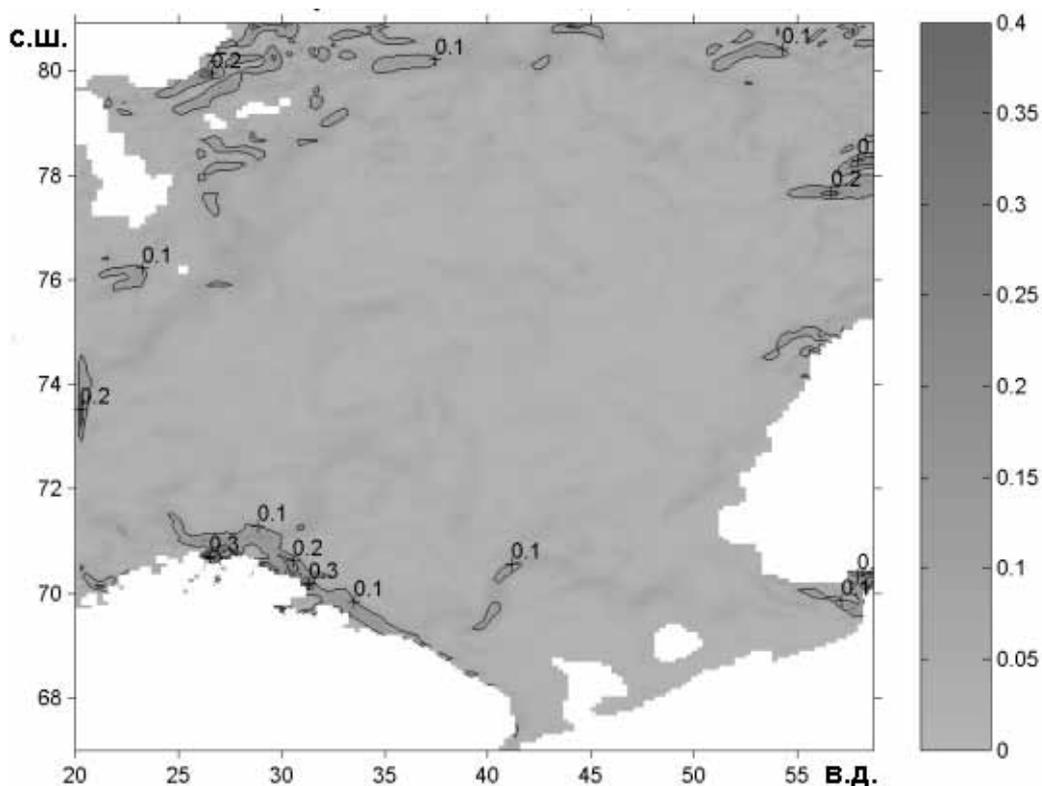


Рис. 4. Модуль горизонтальной скорости течений в м/с на поверхности моря в ноябре 1990 г.

Как видно на рис. 1, в марте течения со скоростями свыше 0,2 м/с отмечаются у побережья Скандинавского полуострова в Нордкапском течении и в прибрежной ветви Мурманского течения в зоне между 26° и 32° в. д., в проливе Карские ворота (Колгуево-Печорское течение) и у восточной границы моря между Новой Землей и Землей Франца-Иосифа в окрестности 78°с. ш. в течении арктического происхождения, направленном на запад. В остальной части моря скорости течений не превосходят указанного выше значения. В мае (рис. 2) ситуация почти не меняется, за исключением лишь того, что небольшие области повышенных значений скорости появляются у западной и северной границ моря соответственно в окрестности 73,5° с. ш. и 44° в. д. В сентябре отмечается заметная интенсификация поверхностных течений на всей акватории моря (рис. 3). Область повышенных скоростей в районе Нордкапского и прибрежного Мурманского течений заметно расширяется по сравнению с зимним и весенним периодами, охватывая зону между 24° и 33° в. д., а модуль скорости здесь достигает своих максимальных в течение годового цикла значений – более 0,4 м/с. Также интенсифицируются течения в проливе Карские ворота, у восточной,

западной и северной границ моря. Кроме того, возникают новые области повышенных скоростей вблизи Кольского полуострова, у побережья Новой Земли, в окрестности архипелага Шпицберген (Восточно-Шпицбергенское течение). Ноябрьская ситуация (рис. 4) в целом напоминает майскую с тем лишь исключением, что небольшие области повышенных значений скорости обнаруживаются в Восточно-Шпицбергенском течении.

Вертикальные градиенты плотности. С целью оценки максимальных вертикальных градиентов плотности в каждой горизонтальной точке модельной сетки было рассчитано максимальное значение этого градиента в пределах всей толщи моря. Анализ его средних месячных горизонтальных распределений показал, что максимальные значения вертикального градиента плотности достигаются в августе. На рис. 5–8 приводятся карты рассматриваемой характеристики для марта, мая, августа и ноября, дающие представление о ее сезонной изменчивости.

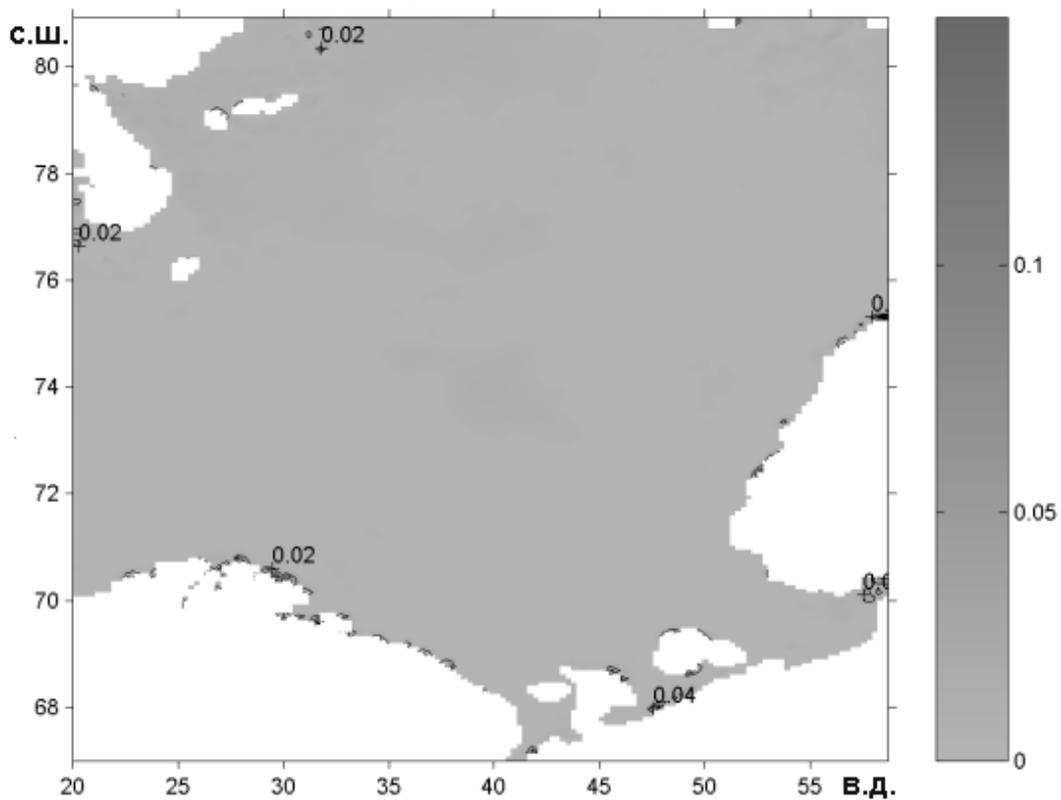


Рис. 5. Максимальный (по вертикали) вертикальный градиент плотности воды (кг/м^4) в марте 1990 г.

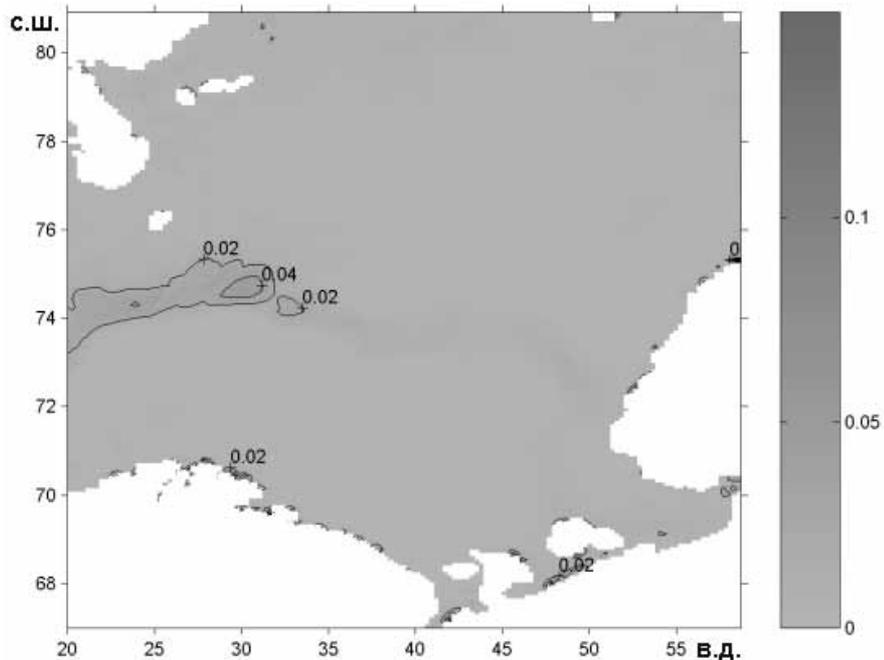


Рис. 6. Максимальный (по вертикали) вертикальный градиент плотности воды (кг/м⁴) в мае 1990 г.

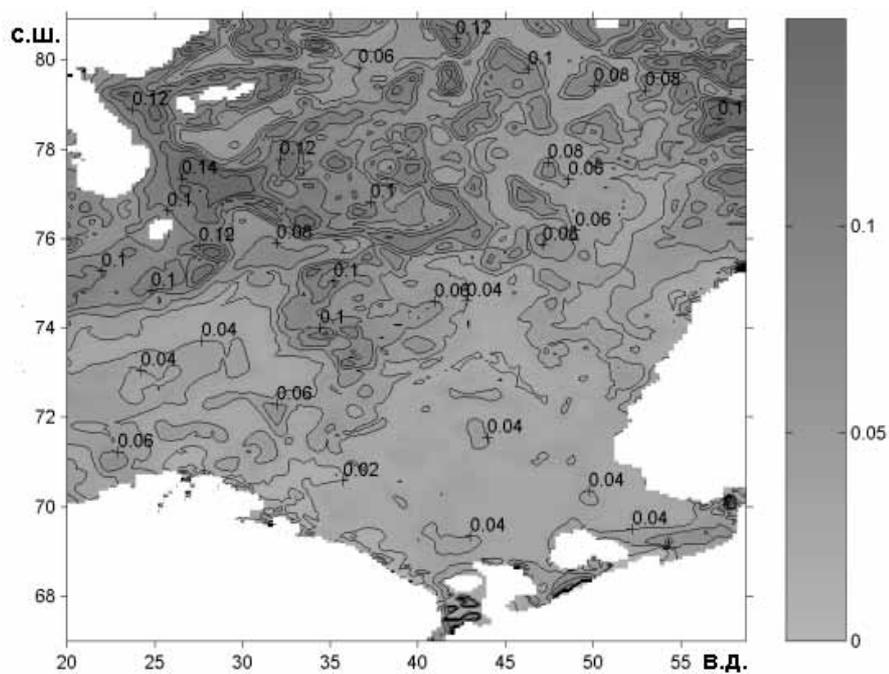


Рис. 7. Максимальный (по вертикали) вертикальный градиент плотности воды (кг/м⁴) в августе 1990 г.

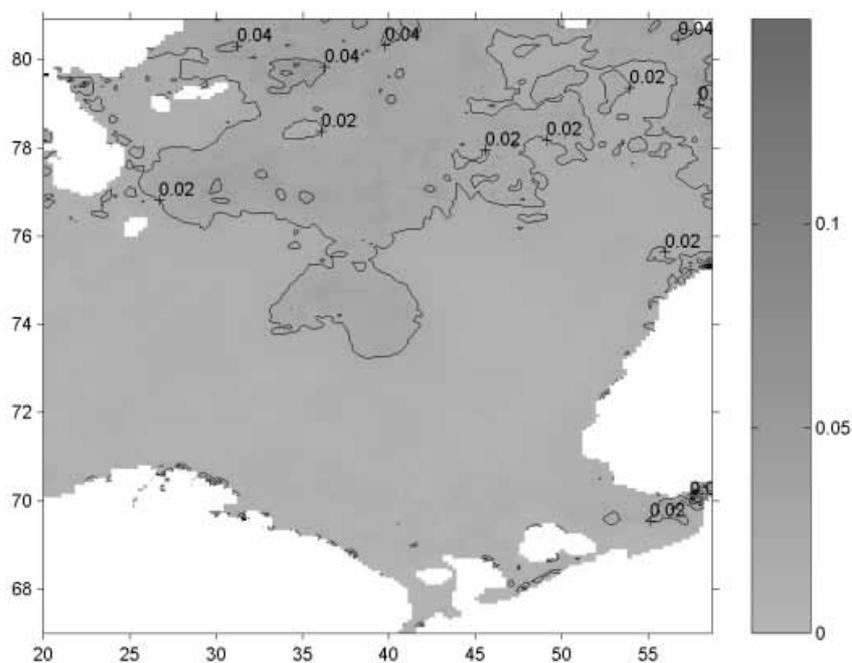


Рис. 8. Максимальный (по вертикали) вертикальный градиент плотности воды ($\text{кг}/\text{м}^4$) в ноябре 1990 г.

В марте (рис. 5) вертикальные градиенты плотности не превосходят $0,02 \text{ кг}/\text{м}^4$ на всей акватории Баренцева моря, за исключением малых «пятен» повышенных значений в проливе Карские ворота и в прибрежной зоне у мыса Нордкап, Кольского полуострова, полуострова Канин, о-вов Колгуев и Новая Земля. В мае (рис. 6) значения вертикального градиента плотности в этих пятнах несколько увеличиваются, а в окрестности 74°с. ш. появляется узкая струеобразная область повышенных значений градиента (до $0,04 \text{ кг}/\text{м}^4$), вытянутая в зональном направлении от западной границы моря к его центру. По существу, эта область представляет собой атлантическую водную массу, распространяющуюся как северное Нордкапское течение. Ситуация кардинально меняется в августе (рис. 7, верхний фрагмент), когда прогрев верхнего слоя океана превалирует над процессами горизонтального тепло- и солеобмена. В этот период достигаются максимальные в течение годового цикла значения вертикального градиента плотности (до $0,15 \text{ кг}/\text{м}^4$), причем они локализуются в северной части моря вблизи Шпицбергена и в области холодного прибрежного течения у Земли Франца-Иосифа. Значения градиентов в северной половине моря оказались заметно выше, чем в южной. Это, по-видимому, связано с формирующейся под сильным влиянием холодных арктических вод пониженной температурой воды в глубоких слоях на севере моря. Обратим также внимание на «пятнистость» вертикального градиента плотности вне области атлантической водной массы,

свидетельствующую о более интенсивном вихреобразовании за ее пределами. В ноябре (рис. 8) вследствие интенсивного конвективно-ветрового перемешивания вертикальная структура поля плотности приближается к однородной, и вертикальные градиенты плотности сильно ослабевают (максимальные их значения составляют около $0,04 \text{ кг/м}^4$). В северной половине моря они так же, как и в августе, остаются более высокими, чем в южной.

Горизонтальные градиенты плотности. Для оценки максимальных горизонтальных градиентов плотности в каждой точке модельной сетки по средним месячным полям плотности было рассчитано максимальное значение модуля этого градиента в пределах всей толщи моря. Как и в случае вертикальных градиентов плотности, оказалось, что максимальные значения этой характеристики достигаются в августе. В качественном отношении карты максимального значения модуля горизонтального градиента плотности для марта, мая, августа и ноября довольно близки к картам максимального вертикального градиента плотности. Вместе с тем горизонтальные градиенты плотности на несколько порядков величины меньше, чем вертикальные: их максимальные значения в августе не превышают 10^{-4} кг/м^4 .

5. Выводы

Согласно модельному решению скорости течений в течение всего года, как правило, выше в поверхностном слое моря и достигают максимальных значений летом, превышая в районе Нордкапского и прибрежного Мурманского течений значение $0,4 \text{ м/с}$. Другие области аномальных скоростей течений, превышающих $0,2 \text{ м/с}$, отмечаются в сентябре в проливе Карские ворота, вблизи Кольского полуострова, у побережья Новой Земли, в окрестности архипелага Шпицберген, а также в небольших областях у восточной, западной и северной границ моря. В другие сезоны (осенью, зимой и весной) течения во всем море ослаблены, так что их аномальные значения сохраняются лишь в Нордкапском и прибрежном Мурманском течениях, в проливе Карские ворота и в прибрежном течении Земли Франца-Иосифа.

Рассчитанные вертикальные градиенты плотности достигают максимальных значений (до $0,15 \text{ кг/м}^4$) в августе и локализуются в северной половине моря вблизи Шпицбергена и в области холодного арктического течения у восточной границы моря. В этот период годового цикла, а также осенью вертикальные градиенты плотности в северной половине моря заметно (в несколько раз) выше, чем в южной. Весной и особенно зимой вертикальные градиенты плотности существенно меньше летних, так что их максимальные значения лишь в отдельных небольших областях достигают $0,02\text{--}0,04 \text{ кг/м}^4$.

Рассчитанные максимальные (в пределах всей толщи моря) значения модуля горизонтального градиента плотности на несколько порядков меньше вертикального градиента. Даже в августе, когда эти значения максимальны, они не превышают 10^{-4} кг/м^4 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том I. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. – Л.: Гидрометеоиздат, 1990. – 280 с.
2. Кулаков М. Ю., Павлов В. К. Диагностическая модель циркуляции вод Северного Ледовитого океана /Тр. ААНИИ. – Т. 413. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1988. – С. 5–16.
3. Яковлев Н. Г. Моделирование распространения атлантических вод в Северном Ледовитом океане // Метеорология и гидрология. – 1998. – № 2. – С. 73–84.
4. Proshutinsky A. et al. Multinational Effort Studies Differences Among Arctic Ocean Models // *Eos, Transactions, American Geophysical Union*. – 2001, –Vol. 82. – No. 51. – P. 637, 643–644.
5. Булушев М. Г., Сидорова А. Н. Расчет среднемесячной циркуляции в Баренцевом море // Метеорология и гидрология. – 1994. – №4. – С. 78–87.
6. Яковлев Н. Г. Восстановление среднемесячной циркуляции Баренцева моря и анализ ее чувствительности к водообмену на открытых границах // Известия АН. Физика атмосферы и океана. – 999. – Т. 35. – №6. С. 1–12.
7. Семёнов Г. А., Чвилёв С. В. Численное исследование межгодовой изменчивости циркуляции вод Баренцева моря в летний сезон // Океанология. – 1996. – Т. 36. – № 4. – С. 498–511.
8. Blumberg A. F., Mellor G. L. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. / Heaps N. (Ed.), *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*. American Geophysical Union, Washington, D.C. – 1987. –208 pp.
9. NORSEX (Norwegian Remote Sensing Experiment), 2001. CD. http://nsidc.colorado.edu/NASA/GUIDE/docs/dataset_documents.
10. Рябченко В. А., Алексеев Г. В., Неелов И. А., Дворников А. Ю. Воспроизведение климатических изменений в Арктическом бассейне на основе модели циркуляции океана и льда без привязки к климатической солёности на поверхности океана / Тр. ААНИИ. – СПб, Гидрометеоиздат, 2003. – Т. 446. – С. 60–82.
11. NCEP/NCAR Reanalysis, 2002. <http://dss.ucar.edu/pub/reanalysis>
12. DKRZ Report No. 21: Climatology of the HOPE-G Global Ocean - Sea Ice General Circulation Model. Deutsches Klimarechenzentrum (DKRZ). Hamburg, September 1999.

Model Estimates of Anomalies for Velocity of Currents and Density Gradients in the Barents Sea

V. A. RYABCHENKO, V. A. GORCHAKOV, A. Y. DVORNIKOV, V. N. KONOPLYEV

(St. Petersburg branch of Shirshov Institute of Oceanology, RAS),

Y. M. LIBERMAN (St. Petersburg Centre for Meteorology and Environment Monitoring with regional functions)

Based on the 3D model of the ocean circulation POM developed at Princeton University, the seasonal variability of currents and thermohaline structure of the Barents Sea in the anomalously warm 1990 has been simulated. The comparison of calculation results for temperature and salinity with observation data during typical months (March, May, September, and November) shows their rather good qualitative – and often quantitative as well – agreement. According to the model solution, the maximum velocities of currents occur in the surface layer of the sea in summer; their values exceed 0.4 m/s in the area of the Nordkapp and Murmansk currents. The other areas of the anomalous current velocities exceeding 0.2 m/s have been detected in September in the Kara Strait, near the Kola Peninsula, near the coast of the Novaya Zemlya, around the Spitsbergen Archipelago. The calculated vertical density gradients reach the maximum values (as high as 0.15 kg/m⁴) in August and are localized in the north half of the sea. In spring and especially in winter, the vertical density gradients are considerably smaller than in summer. The calculated maximum (within the whole depth range of the sea) values of the horizontal density gradient modulus are smaller than the vertical gradient values by several orders of magnitude.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ВНУТРЕННИХ ПРИЛИВНЫХ ВОЛН В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

**А. С. САФРАЙ, И. В. ТКАЧЕНКО,
С. М. ГОРДЕЕВА, М. Ю. БЕЛЕВИЧ**

(Санкт-Петербургский филиал Института океанологии
им. П. П. Ширшова РАН)

В статье представлены результаты расчетов приливной динамики в юго-западном районе Баренцева моря в различные сезоны. Результаты получены с помощью численного интегрирования уравнений трехмерной негидростатической модели. Анализируются различия полученных численных решений и причины их порождающие. В январе, когда воды района стратифицированы почти нейтрально, вследствие затока теплых вод из Атлантики, основным механизмом перемешивания является конвекция. Длинные внутренние волны локализованы во впадинах дна и формируют систему «стоячих волн». В сентябре, в условиях устойчивой стратификации, над склоном формируются пакеты внутренних волн с амплитудой до 10 м.

Введение. Внутренний прилив (ВП) генерируется над неровностями дна под воздействием баротропного прилива (БП) в условиях устойчивой стратификации океана. Формирование ВП зависит как от интенсивности БП, так и от направления его по отношению к склону, угла наклона и высоты склона. Максимальная генерация ВП происходит при угле, близком к наклону характеристики волны ВП, близости по глубине максимума стратификации и неоднородности дна, и при перпендикулярном к склону направлении прилива. Близость частоты прилива к инерционной ослабляет процесс генерации и при их равенстве исключает его. Для рассматриваемого в настоящей работе полусуточного БП М2 широтой, где эти частоты равны, является 75°N , называемая критической. Севернее её колебания являются вынужденными. Стратификация океана меняется от сезона к сезону. Изучению влияния этого фактора на генерацию ВП и посвящена настоящая статья. Наиболее современный обзор результатов измерений ВП в Арктике представлен в работе [1]. Там же приводятся данные новейших измерений и численных экспериментов с двумерной моделью В. И. Власенко [2]. В качестве ещё одного удачного примера численного моделирования ВП можно назвать эксперименты К. Лэмба [3]. Не расширяя список литературы, отметим, что число работ по двумерному моделированию ВП в настоящее время растёт, но цитируемые работы по-прежнему содержат наиболее интересную и полную информацию о явлении.

Уравнения модели. Для численного моделирования внутриволновой динамики используется трехмерная негидростатическая модель, включающая осреднённые по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса, уравнение неразрывности и сконструированного из них трехмерного уравнения Пуассона для расчёта давления (при этом давление разделяется на гидростатическое и негидростатическое), а также уравнения статики,

переноса температуры и солёности. Для замыкания модели используется k-eps модель типа Канты-Клайсон. С её помощью рассчитываются коэффициенты вертикальной диффузии в уравнениях движения, а также числа Прандтля для расчёта вертикальной диффузии тепла и соли. Коэффициенты горизонтальной диффузии вычисляются согласно параметризации Смагоринского.

Численная схема и сетка. Численная задача решалась методом конечных элементов (кэ) на тетраэдрах, что обеспечило полную трёхмерность и позволило сгущать сетку в районах морфологических особенностей дна и берега. Область решения разбита на 3647617 кэ. По вертикали используется «растянутая» Z координата (с введением в уравнения соответствующих метрических множителей) с тем, чтобы максимальное сгущение приходилось на зону, где наиболее вероятна генерация внутренних волн (ВВ). Максимальное разрешение по горизонтали – 5 км, минимальное – 200 м. По вертикали разрешение меняется от 5 до 20 м. Интегрирование по времени осуществлялось методом Рунге-Кутты. Численная схема имеет второй порядок точности как по пространству, так и по времени.

Граничные условия. На дне испытывались четыре типа граничных условий: прилипания, скольжения, квадратичный закон трения, а также кинематическое условие. На поверхности задавалось условие твёрдой крышки, а также соответствующие ей добавки к гидростатическому давлению, пересчитанные из данных по возвышению свободной поверхности [4]. В последнем случае, дабы избежать переопределения, добавки задавались всюду, кроме границ области. Этот приём использовался для более быстрого «разгона» решения от начальных данных. На всех четырёх вертикальных границах области задавались горизонтальные векторы скорости [4]. Для ослабления отражения ВВ на этих открытых границах, испытывались условия излучения Орланского и Флэзера. Основные эксперименты были проведены с условиями Орланского, вносящими наименьшие искажения в численное решение. Наиболее эффективным для уменьшения временного шага оказалось задание «движущегося дна» – приём, часто используемый как при численном, так и при лабораторном моделировании ВВ. В этом случае вынуждающий прилив имеет одинаковый эллипс для всех точек выбранной области, однако, учитывая малость оной в данном эксперименте, а также относительно небольшую (<3%) вариацию характеристик БП на границах, вносимые искажения оказываются незначительными. Для уравнений переноса температуры, солёности, турбулентной кинетической энергии и скорости её диссипации на открытых границах также использовалось условие излучения, а на остальных – равенство нулю потока соответствующей переменной модели.

Начальные условия. В качестве начальных условий выбиралось векторное поле скорости из решения баротропной задачи для Северного Ледовитого Океана на пятикилометровой сетке с ассимиляцией данных

наблюдений для корректировки решения [4], а также поля температуры и солёности из решения модели NOPE-G [5] за январь и сентябрь 1990 г.

Район исследования. Для исследования был выбран район с координатами $33^{\circ} 20' - 34^{\circ} 40'$ в. д. и $69^{\circ} 30' - 70^{\circ} 20'$ с. ш. в юго-западной части Баренцева моря. Выбор района определялся исходя из данных батиметрии. Была использована карта глубин из архива ИВСаО [6] с односторонним разрешением. В январе в этом районе океан стратифицирован неустойчиво по температуре и устойчиво по солёности. В целом океан в оба выбранных месяца стратифицирован устойчиво, в среднем устойчивость выше в сентябре, но пикноклин залегает относительно высоко (40–50 м). Поэтому образующийся ВП может распространяться на относительно большие (в зависимости от величины амплитуд вынуждающего прилива) расстояния. В то же время пикноклин в январе находится ближе к неоднородностям дна (130–260 м), однако вследствие большой крутизны склонов следует ожидать образование «стоячих волн» в ложбинах. Выбор года определялся климатически аномально тёплой температурой воды на поверхности океана. Необходимо отметить, что гидрологическая ситуация в районе крайне трудна для воспроизведения: в январе в большей части толщи вод этого района господствует конвекция – явление, конкурирующее с внутренними волнами при перемешивании вод. Наша модель описывает и этот процесс, что позволяет ожидать более надёжных результатов численного моделирования, но затрудняет его реализацию. Соответственно, ВВ могут генерироваться и распространяться лишь на относительно больших глубинах, хотя и там градиенты плотности не слишком велики. Выше происходит разрушение ВВ как за счёт турбулизации среды при больших наклонах изопикн (склонов волны), так и, главным образом, за счёт упорядоченной конвекции. В сентябре стратификация вод в целом более устойчива, относительно хорошо выделяется лишь термоклин, но градиенты там не слишком велики и эта зона расположена значительно выше максимальных неоднородностей морского дна. Однако гидрологическая ситуация в этом месяце более благоприятна для возникновения и эволюции ВВ.

Результаты численных экспериментов. Предварительно необходимо отметить, что вследствие громадных затрат машинного времени была выбрана область небольших размеров, на которой удалось воспроизвести лишь процесс генерации и начальной эволюции внутренних вод, а решение анализировалось на относительно малых временах, составляющих 3–4-ый приливной период (M2). Мы не фильтровали волну M2 из полученного решения, поскольку считали, что демонстрация и анализ абсолютных колебаний изопикнических поверхностей даёт более интересную информацию. На всех иллюстрациях (но не в тексте) глубина отсчитывается от уровня океана.

Январь. На рис. 1 представлен вертикальный разрез поля плотности через районы максимальных градиентов дна. Максимальные изменения

положения изопикн приходится на зоны максимально устойчивой стратификации, находящиеся во впадинах. На основании этой картины для дальнейшего анализа была выбрана изопикна $1027,57 \text{ кг/м}^3$, не выходящая из южной впадины (рис. 2). Отчётливо видна система из двух пакетов волн, включающая также и волны меньшей длины и амплитуды. Основное направление соответствует длинной оси приливного эллипса, но трёхмерность волновой структуры очевидна. Максимальная амплитуда не превышает 3 м. Амплитуда более коротких волн меньше 1,5 м. Из сопоставления картин, соответствующих разным моментам времени периода, явствует, что волны практически не перемещаются по изопикне, последнее вызывается как углом наклона склонов, так и незначительной величиной приливного течения на этой глубине. Вертикальный разрез векторного поля скорости подтверждает вывод о наличии систем стоячих волн в каждой впадине. Смещение максимумов скорости с их разбеганием от холма, расположенного посередине разреза, происходит только на глубинах 50–70 м в зонах устойчивой стратификации (рис. 3), выше, при неустойчивой и слабоустойчивой стратификации, ВВ нет. Интересно отметить, что амплитуды колебаний изотерм и изохалин существенно различаются не только по величине, но и по месту локализации их максимумов в пространстве.

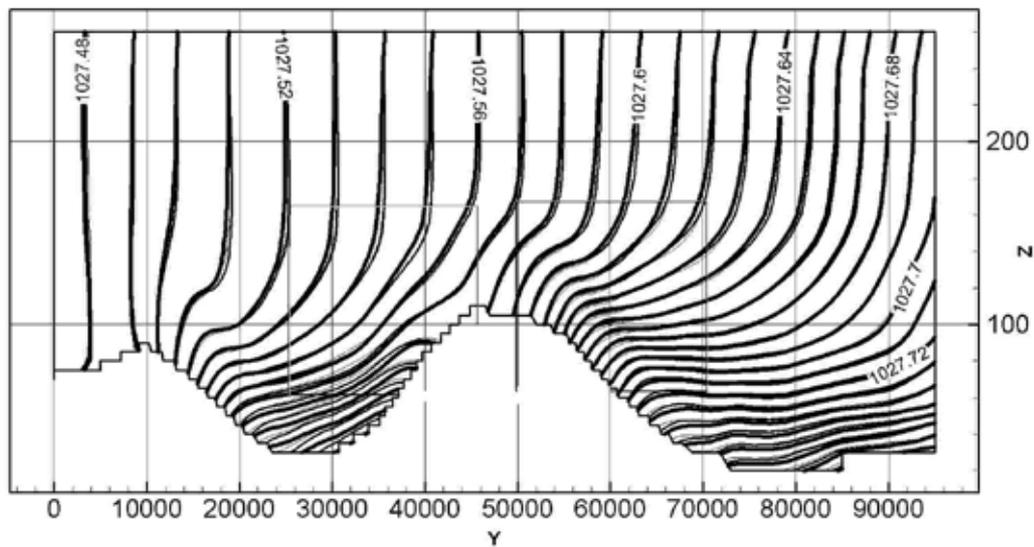


Рис. 1. Вертикальное распределение плотности на разрезе $X=12000$ м в моменты $1/6T$ (тонкая) $1/2T$ (полужирная), T (жирная линия) в январе

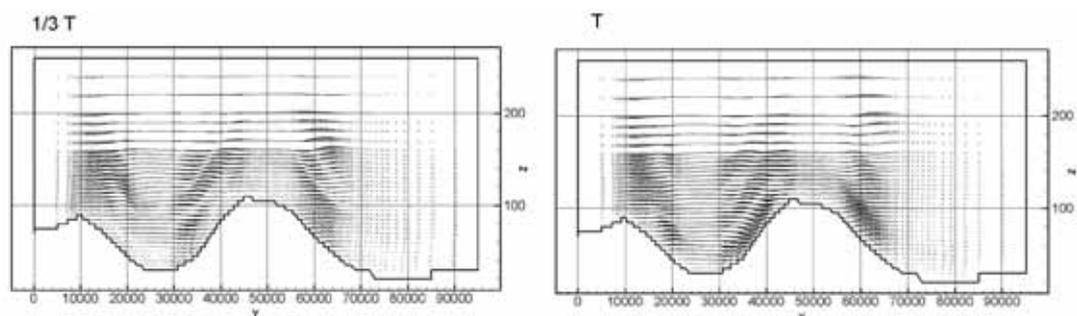


Рис. 2. Вертикальное распределение векторов скорости на разрезе $X=12000\text{м}$ в моменты $1/3T, T$ в январе

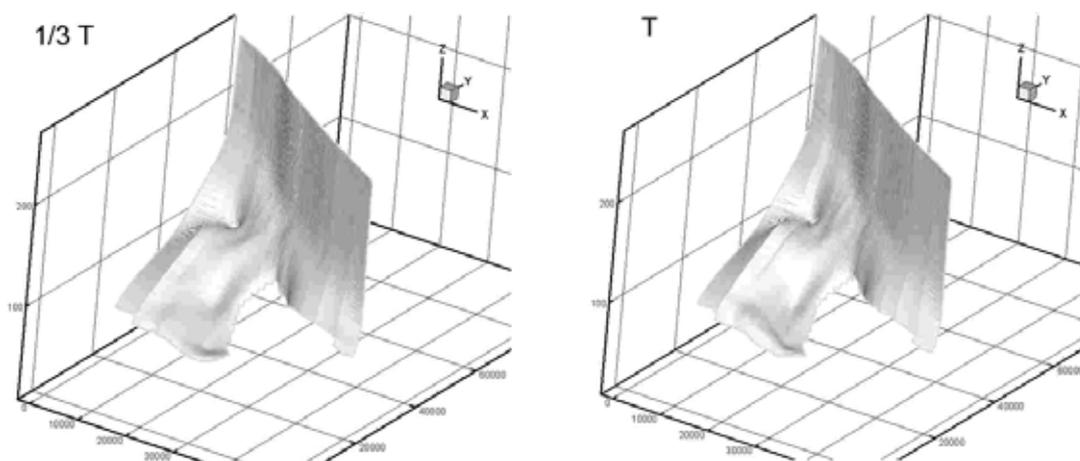


Рис. 3. Изопикна $1027,57\text{кг/м}^3$ в моменты $1/3T, T$ в январе

Сентябрь. В сентябре пикноклин расположен на глубинах 30–50 м, т. е. значительно выше дна (рис. 4). Поэтому амплитуды внутренних волн там незначительны (2–2,5 м). Отчётливо прослеживается движение двух пакетов в одном направлении в течение всего периода. Максимальные амплитуды локализованы на глубинах 70–150 м (7–9 м). Они имеют гораздо более сложную пространственную и временную структуру. Нагляднее всю сложность трёхмерной структуры ВВ можно видеть на рис. 5, где представлена изопикна $1027,6\text{ кг/м}^3$. Отчётливо видны три пакета волн, распространяющихся в направлении главной оси эллипса. Строение каждого из этих пакетов существенно трёхмерно. Хорошо различимо наличие в каждом из них трех–четырех гребней и системы отходящих от них на восток волн малой амплитуды. Вертикальные амплитуды волн в направлении запад–восток лишь на 20–30% меньше оных в направлении север–юг. Их длины

также вполне соизмеримы. Крутизна склонов волн также существенно не различается. В отличие от января, когда при малых смещениях ВВ с малой скоростью, передний фронт волны положе заднего склона, в сентябре фронт гораздо круче, что соответствует картине, наблюдавшейся в экспериментах Торпа [7].

Предварительная попытка выявления пространственной и временной структуры волн осуществлялась с помощью построения соответствующих спектров-периодограмм (рис. 6а–г). Пространственный спектр строился по изопикне $1027,7 \text{ кг/м}^3$ на разрезах $X=14000 \text{ м}$ (а) и $Y=15000, 38000, 57000 \text{ м}$ (б). Основное отличие заключается в том, что в спектрах поперечных («захваченных») волн преобладают волны меньших длин в коротковолновой части спектра. Временной спектр рассчитывался по временным рядам с шагом 10 минут в точках, расположенных в центрах южной ложбины (в) и следующего за ней подводного хребта (г) на глубинах 80, 105, 140, 180 и 220 м. Сразу оговоримся, что поскольку мы анализировали неустановившееся решение, то на рисунках проявляются пики с периодами, большими, чем приливной (M_2), что объясняется временным трендом, который также сглаживает пики малых периодов.

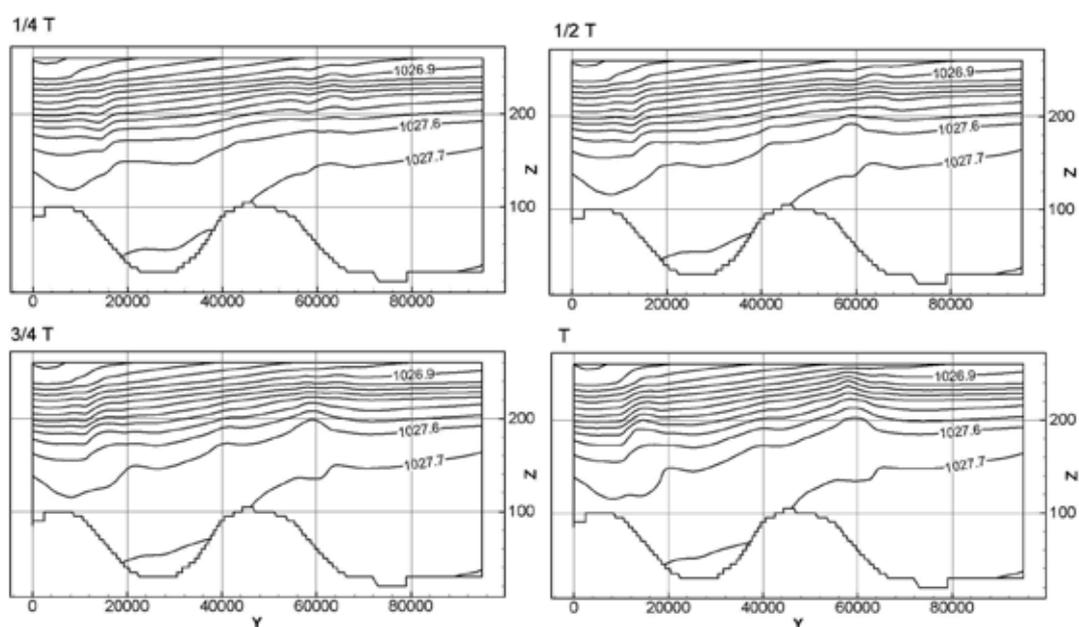


Рис. 4. Вертикальное распределение плотности на разрезе $X=12000 \text{ м}$ в моменты $1/4T$, $3/4T$ в сентябре

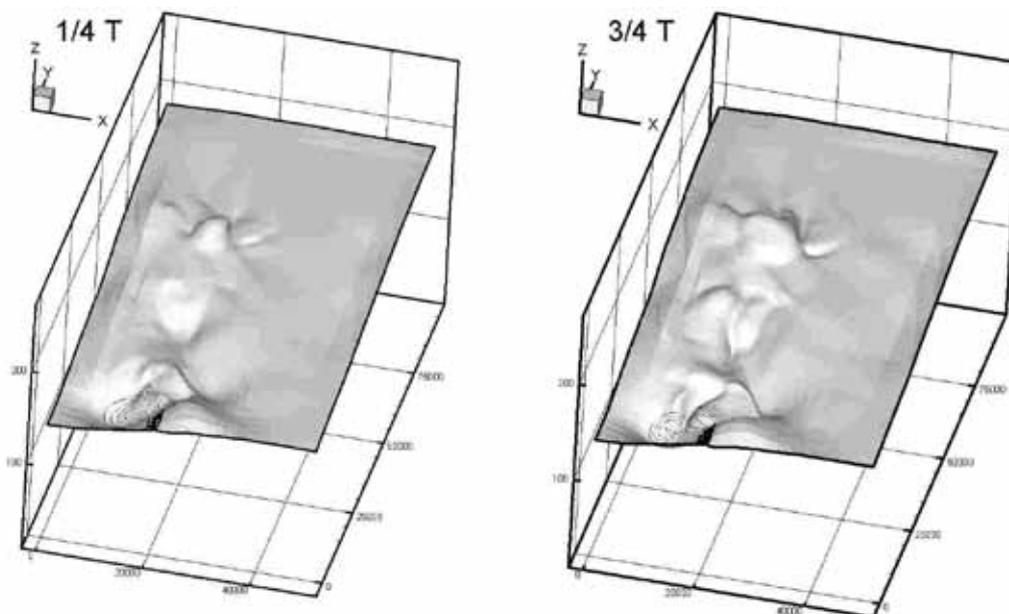


Рис. 5. Изопикна 1027,6 кг/м³ в моменты 1/4T, 3/4T в сентябре

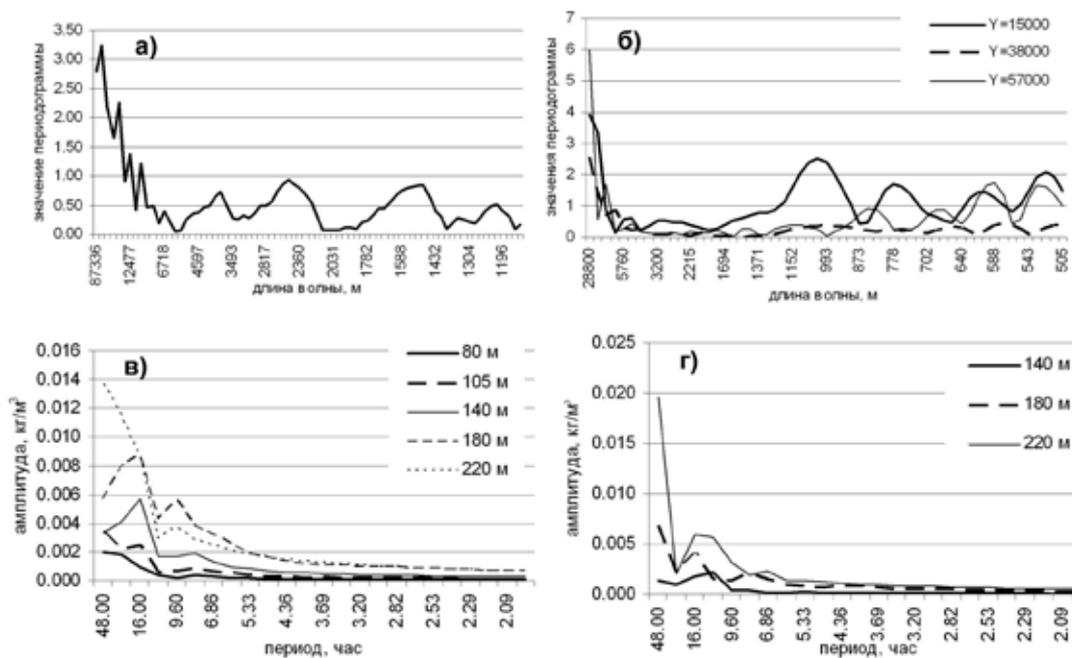


Рис. 6. Пространственный спектр изопикны 1027,7кг/м³ на разрезе X=14000 м (а); то же – на разрезах по Y (б). Временные спектры для амплитуд гармоник плотности на разных горизонтах в точках X=13000 м, Y=27000 м (в); X=8000 м, Y=52000 м (г)

Выводы. Полученные решения позволили выявить трёхмерную структуру ВВ, а также их характеристики и особенности формы, эволюции и динамики в разное время года. В январе вследствие локализации наибольших градиентов плотности у крутых склонов ВВ в основном составляют систему стоячих волн во впадинах морского дна. На несколько меньших глубинах они «разбегаются» от вершины подводного хребта, но их скорость и амплитуды малы. Отчётливо различимы два пакета волн в направлении север–юг. Вертикальные амплитуды волн не превышают 3 м. В сентябре, когда океан в этом районе в среднем стратифицирован более устойчиво, структура волновых пакетов, форма волн, их эволюция более разнообразны, несмотря на то, что пикноклин залегает достаточно далеко от дна. Прослеживаются три пакета ВВ со сложной структурой каждый. Значительно больше (до 9 м), чем в январе, их вертикальные амплитуды. Поперечные (захваченные) волны не менее развиты, чем те, что движутся вдоль основной оси эллипса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поверхностные и внутренние волны в арктических морях. Под ред. И. В. Лавренова и Е. Г. Морозова. – СПб.: Гидрометеониздат, 2002. – 364 с.
2. Власенко В. И. Нелинейная модель генерации бароклинных приливов над протяжёнными неоднородностями дна // Морской гидрофизический журнал. – 1991. – №6. – С. 300–308.
3. Lamb K. G. Numerical experiments of internal wave generation by strong tidal flow across a finite amplitude bank edge // Journal of Geophysical Research. – 1994. – Vol. 99. – NC1. – P. 843–864.
4. <http://www.coas.oregonstate.edu/research/p0/research/tide/region.html>
5. DKRZ Report N21. Climatology of the HOPE-G Global Ocean-Sea-Ice General Circulation Model: Deutsches Klimarechencentrum (DKRZ). – Hamburg. September 1999.
6. <http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/ibcaoversion1.html>
7. Thorpe S. A. On the shape of a progressive internal waves // Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. – 1968. – Vol. A263. – P. 563–614.

Modelling the Seasonal Variability of Internal Tidal Waves in the Barents Sea

A. S. SAFRAY, I. V. TKACHENKO, S. M. GORDEYEVA, M. Y. BELEVICH
(St. Petersburg branch of Shirshov Institute of Oceanology, RAS)

The calculation results for tidal dynamics in the south-west area of the Barents Sea in different seasons are presented. The results were obtained by numerical integration of equations of 3D nonhydrostatic model. The difference in the numerical solutions obtained and causes giving rise to it are analysed. In January, when the stratification of the waters in the area is about neutral due to the inflow of warm waters from the Atlantic, the convection is the principal mechanism of mixing. The long internal waves are localized in the seabottom depressions and form the system of «standing waves». In September, under the conditions of stable stratification, the packages of internal waves with amplitudes up to 10 m are formed above the slopes.

АДВЕКЦИЯ АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД В МОРЕ ЛАПТЕВЫХ В 2003–2004 гг.

С. И. МАСТРЮКОВ
(ГНИНГИ МО РФ)

В статье изложены некоторые результаты анализа данных наблюдений, полученных в рамках международного проекта NABOS/ABL – 2003/2004. Дано краткое описание проекта. Показано, что атлантические воды в район поступают неравномерно. Получены средние скорости перемещения атлантических вод вдоль континентального склона в районе моря Лаптевых. Выявлена связь между мощностью слоя атлантических вод и скоростью перемещения воды в восточном направлении.

Атлантические воды в Северном Ледовитом океане (СЛО) являются важным компонентом арктической климатической системы. Основная струя атлантических вод после прохождения пролива Фрама распространяется вдоль склона евразийского шельфа.

Сложный рельеф дна, наличие обособленных бассейнов, обуславливают сложный характер трансформации атлантических вод. В целом, по мере продвижения атлантических вод в СЛО их теплосодержание уменьшается, что говорит об отдаче тепла окружающим водным массам и подтверждает их важную роль в арктической климатической системе. При этом максимальные теплотери отмечаются на континентальном склоне в районе моря Лаптевых.

В море Лаптевых наблюдается разделение основной струи атлантических вод на две: одна из них пересекает хребет Ломоносова и вдоль материкового склона поступает в Канадский бассейн, другая поворачивает на север, распространяясь вдоль западного склона хребта Ломоносова (бассейн Амундсена).

В северо-западной части моря Лаптевых вдоль восточных берегов Северной Земли зона материкового склона совпадает с положением Великой Сибирской полыньи. Здесь наблюдается широкий спектр океанографических процессов, таких как глубокая зимняя конвекция, образование холодных и более соленых вод и скатывание их по склону под атлантические воды и др.

Помимо того, что атлантические воды являются важным компонентом арктической климатической системы, они являются своего рода индикатором изменений климата северной Атлантики. В последние годы все большее внимание уделяется проблеме глобального потепления. В соответствии с одной из теорий быстрого изменения климата глобальное потепление приведет, как это ни парадоксально, к похолоданию в отдельных районах Земли и увеличению «амплитуды колебаний» климатической системы. Механизм такого изменения связывают, в частности, с распреснением вод, поступающих из бассейна СЛО с Восточно-Гренландским и Лабрадорским течениями, в Атлантический океан. Это, по мнению авторов гипотезы, приведет к распространению этих (становящихся все более легкими) вод в

поверхностном слое все дальше на юг и блокирует выход теплых вод Северо-атлантического течения на поверхность вблизи восточного побережья США. В результате поступление теплых вод в северо-европейский бассейн и СЛО будет носить пульсирующий характер с увеличивающейся амплитудой колебаний.

С этой точки зрения изучение атлантических вод в СЛО важно и для более глубокого понимания проблем, связанных с глобальными изменениями климата.

Все перечисленные факты и обстоятельства дали основание для начала комплексного изучения атлантических вод в СЛО. На первом этапе США и Россия выбрали для изучения район моря Лаптевых. Такой проект в русской транскрипции получил название АВЛАП – Атлантические воды в море Лаптевых, а в американской – NABOS (Nansen and Amundsen basins observation system) – система наблюдений в бассейнах (котловинах) Нансена-Амундсена.

Проект разработан в Международном арктическом центре при университете штата Аляска (IARC) и в ГНЦ ААНИИ [1]. Ведущие специалисты именно этих организаций Л. А. Тимохов (ААНИИ) и И. А. Дмитренко (IARC) являлись соруководителями трех экспедиций в район исследований. Наряду с этими организациями в исследованиях принимали участие специалисты ряда известных отечественных и зарубежных мореведческих организаций, в том числе и ГНИНГИ МО РФ.

В качестве примера на рис. 1 приведена схема первой экспедиции 2002 г. Тогда была выполнена 21 гидрологическая станция и поставлена одна притопленная буйковая станция (ПБС). В 2003 г. эта ПБС была поднята и выставлено две новых. В 2004 г. удалось поднять одну ПБС и поставить две новые. Вторая ПБС не была найдена. Расположение ПБС отмечено на рис. 1 красным треугольником.

ПБС были выбраны в качестве основного средства достижения научных целей проекта не случайно. Основное средство измерений профилемер MPP «McLane Moored Profiler», устанавливаемый на ПБС, позволяет совершать вертикальные движения датчиков измерений вдоль троса от подповерхностного горизонта до придонного и обратно по одному разу в сутки в течение года. В процессе подъема и опускания измерительной системы производится регистрация температуры, солености и компонент скорости течений. Движение профилемера и частота измерений программируются заранее. Все это обеспечивает уникальные возможности для мониторинга состояния морской толщи в течение длительного времени.

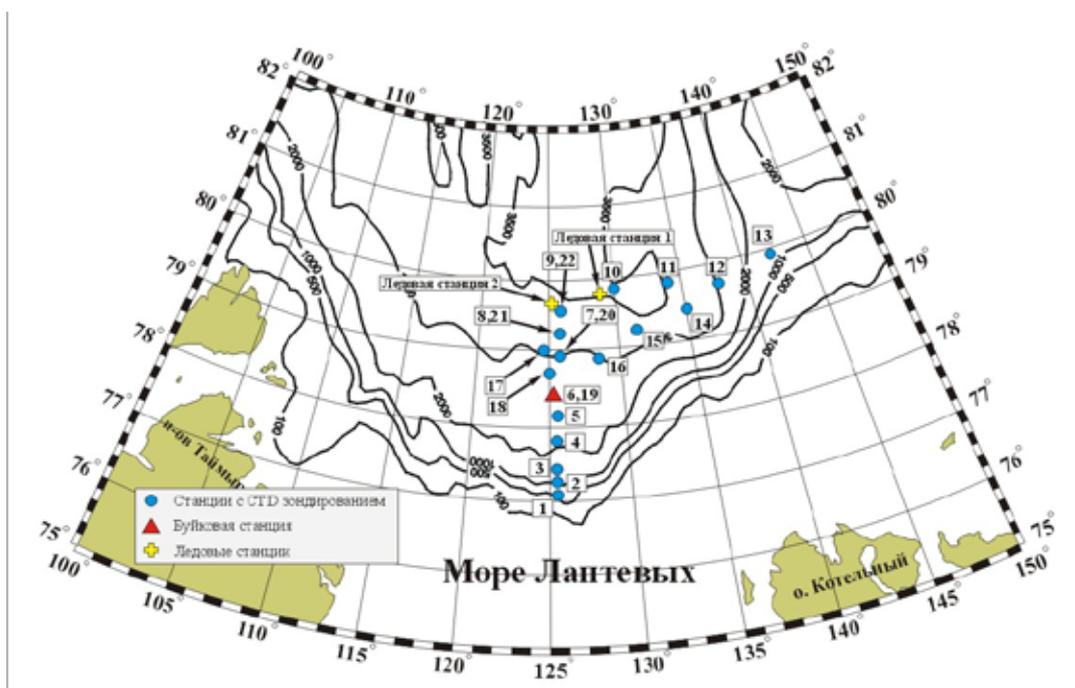


Рис.1. Схема станций экспедиции NABOS/АВЛАП –2002

Для контроля измерений гидрофизических параметров на ПБС дополнительно в приповерхностном и придонном слоях устанавливалось специальное оборудование.

Основные характеристики профилера MPP «McLane Moored Profiler»:

- диапазон измеряемых скоростей течений до 295 см/с;
- точность измеренных скоростей течений до 1 см/с;
- точность измеренных направлений течений до 5 град;
- диапазон измеряемых температур -2 – +35 °С;
- точность измеренных температур 0,005 °С;
- диапазон измеряемой электрической проводимости 0,001–7,0 с/м;
- точность измеряемой электрической проводимости 0,0005 с/м.

Общий вид прибора приведен на рис. 2.

Следует отметить, что постановка MPP в ледовых условиях с борта ледокола явилась первой работой такого рода. Подробное описание технического оборудования и методов работы с техническими средствами приведено в отчетах об экспедициях, например в отчете [2].

Ниже изложены некоторые предварительные результаты анализа годовой изменчивости гидрофизического состояния на континентальном склоне моря Лаптевых по данным MPP. Зондирование толщи воды происходило в слое 104 м – 1510 м.

Отметим, что число сбоев измерительной аппаратуры ММР не превышало сотых долей процента от общего числа измерений. В основном сбои происходили в тракте измерения компонент течения.

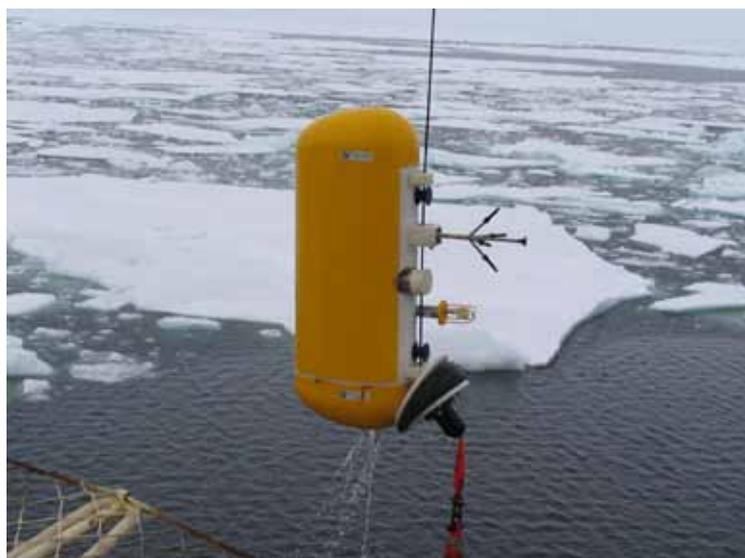


Рис. 2. Профилемер МРР «McLane Moored Profiler»

Вместе с тем к результатам анализа течений на станции следует относиться осторожно, во-первых, потому что они не дублировались данными других измерителей течения, а во-вторых, в связи с тем, что измерения хотя и производились с высоким вертикальным разрешением (десятые доли метра), но всего 1 раз в сутки. Это обстоятельство в приливном море снижает представительность анализа. Рис. 3, на котором представлен фрагмент записи придонного давления (дб) в районе работ, свидетельствует о наличии здесь полусуточного прилива величиной около 0,6 м.

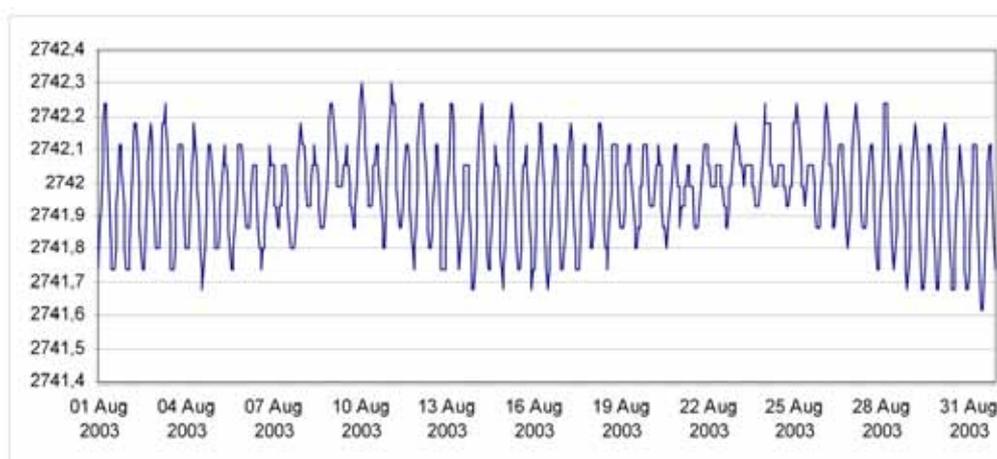


Рис. 3. Фрагмент годового хода давления (децибары) на дне в районе работ

На рис. 4 представлены аналоги прогрессивно-векторных диаграмм для горизонтов 150, 300, 500 и 1000 м со 2 сентября 2003 г. по 2 сентября 2004 года. Стрелками представлено результирующее смещение за год. Слой воды, где распространяются атлантические воды, характеризуют горизонты 300 и 500 м.

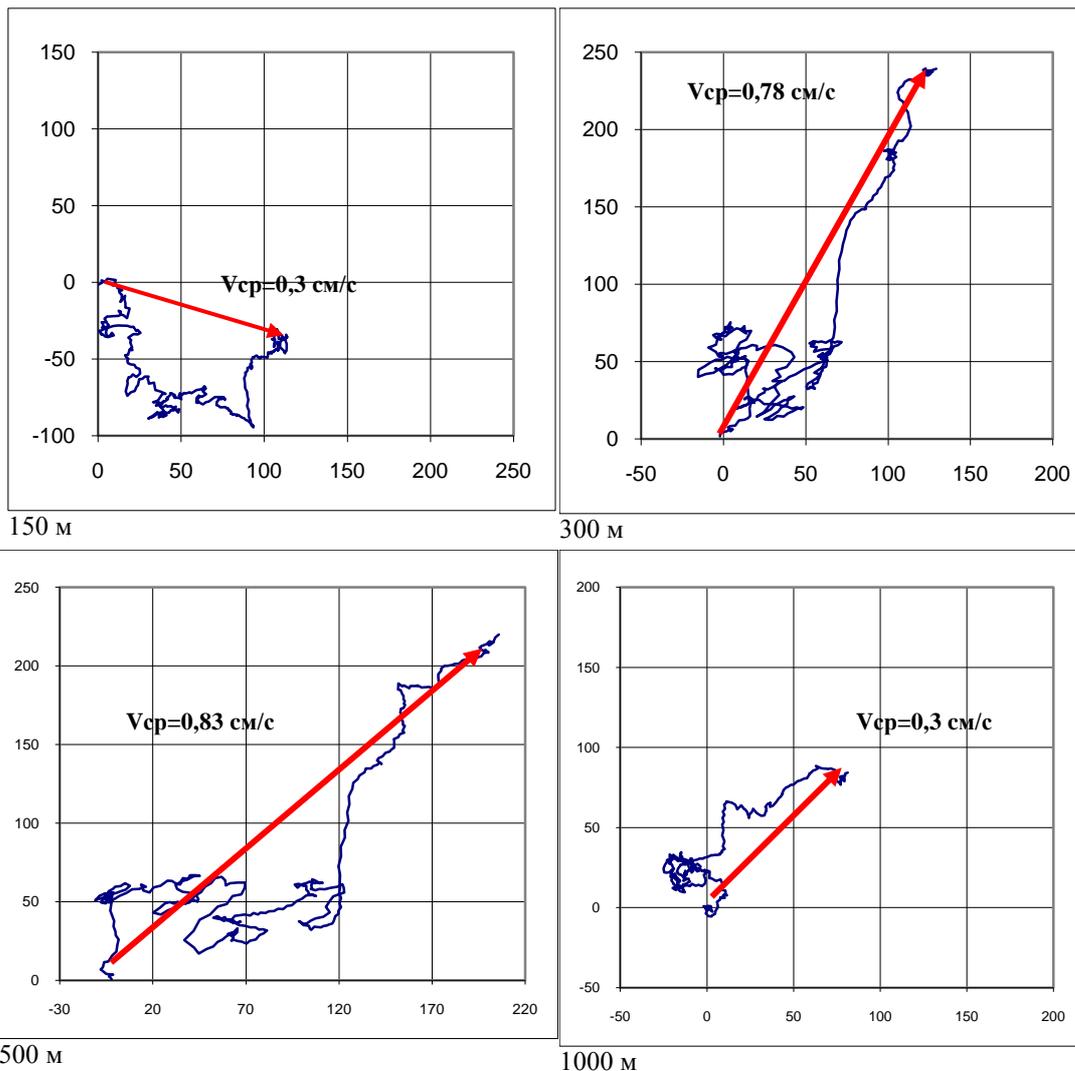


Рис. 4. Прогрессивно-векторные диаграммы течений на глубинах 150, 300, 500 и 1000 м

Хотя характерные скорости течений в слое атлантических вод составляют 2–3 см/с, а максимальные 5–6 см/с, результирующая за год скорость течений в слое атлантических вод составила около 1 см/с. При этом направление течения на горизонте 300 м составляет около 30°, а на глубине 500 м – 45°. В приповерхностном слое на глубине 150 м и глубже 1000 м, среднегодовая скорость течения существенно меньше и составляет около 0,3 см/с. Такие скорости течений по существу свидетельствуют о ламинарном

перемещении водных масс, что подтверждается долгим временем жизни микроструктурных особенностей вертикальной структуры гидрофизических параметров.

Отметим, что на глубине 1000 м вид диаграммы аналогичен виду диаграммы на глубине 500 м. Это, видимо, свидетельствует о том, что глубинные воды вовлекаются в движение под воздействием атлантических вод.

Главное же, на наш взгляд, на что следует обратить особое внимание, это то, что в течение первых четырех месяцев прогрессивно-векторная диаграмма на горизонтах 300 и 500 м имела петлеобразный характер. Это свидетельство того, что притока свежих порций атлантической воды в этот период не было.

На рис. 5 приведен ход компоненты скорости течения на параллель (U) и накопленной за два предшествующих месяца суммы скорости этой компоненты (Сумма U), которую можно считать характеристикой устойчивости переноса воды в восточном направлении. Действительно, обращает на себя внимание как коротко-, так и долгопериодная изменчивость скорости течения. По существу в сентябре–октябре заток свежих атлантических вод не было, в середине ноября и начале декабря произошло два незначительных, и мощный заток имел место в период с середины декабря до середины февраля.

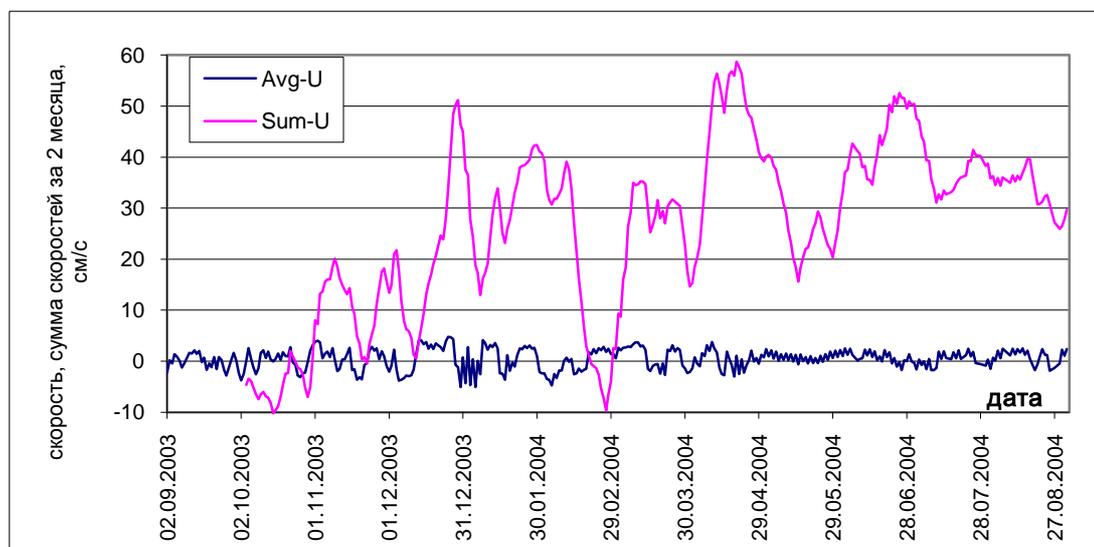


Рис. 5. Ход компоненты (U) скорости течения и накопленной за предшествующие 2 месяца суммы скорости компоненты течения (Сумма U) в слое 250–500 м

На рис. 6 приведен сглаженный годовой ход вертикального распределения температуры воды. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что мощность и температура слоя атлантических вод

изменяются с некоторым запаздыванием по отношению к выбранному показателю переноса атлантических вод.

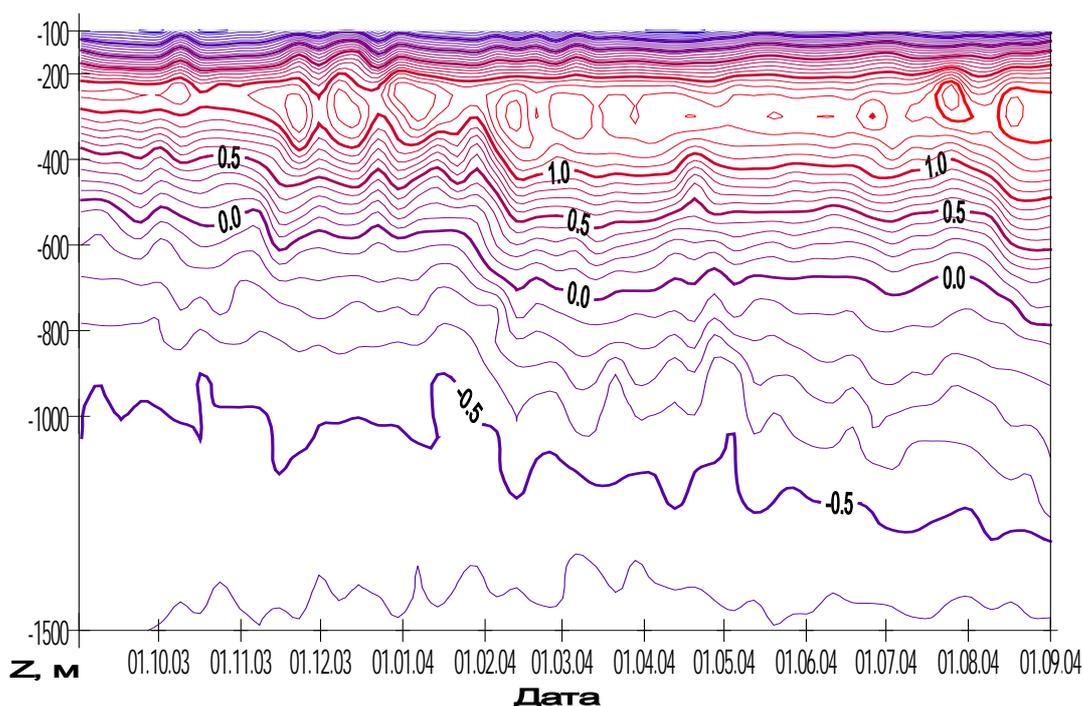


Рис. 6. Годовой ход вертикального распределения температуры воды

Недостаточная когерентность изменений, как уже отмечалось, скорее всего, вызвана недостаточной частотой измерения скорости течения в приливном море. Хотя при обработке за счет осреднения скоростей течения во всем слое атлантических вод эффект алайзинга в некоторой степени нивелирован.

Главное же, обращает на себя внимание резкое увеличение мощности слоя атлантических вод, происшедшее в начале февраля 2004 г.

Интенсивность затока атлантических вод можно проследить и по изменению верхней и нижней границ слоев воды с температурой выше 0 и 1°C.

Диаграмма изменения этих характеристик (без сглаживания) приведена на рис. 7. Поражает резкое (в 2 раза) увеличение мощности слоя теплой атлантической воды, происшедшее за 2 суток.

Таким образом, впервые в практике океанографических исследований в условиях моря Лаптевых в штатном режиме в течение года отработал профилемер McLane Moored Profiler (ММР) и осуществлен его подъем в сложных ледовых условиях при сплоченности ледяного покрова 10 баллов.

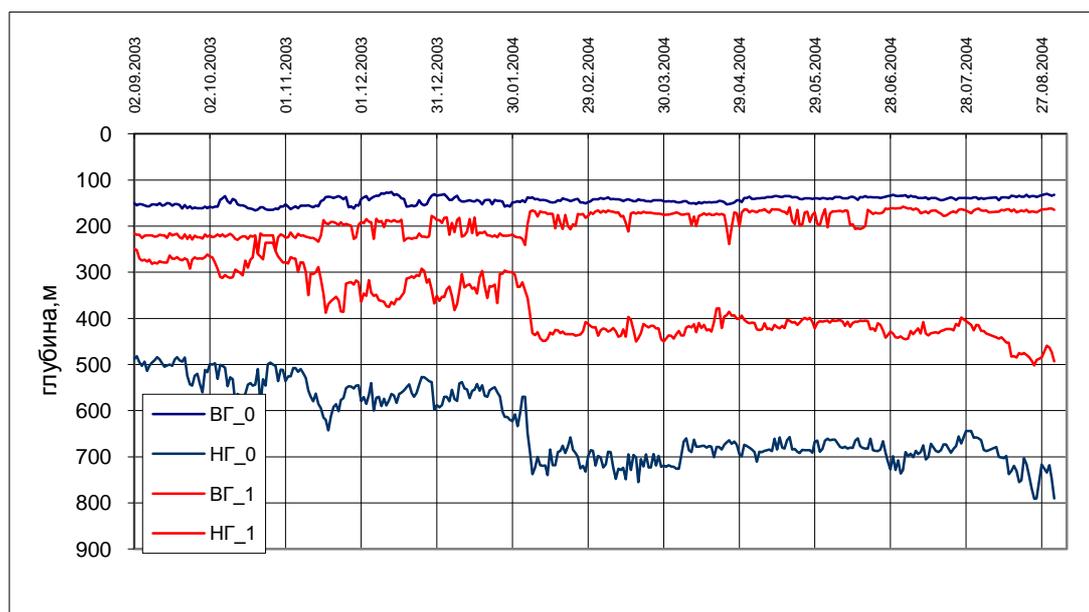


Рис. 7. Годовой ход верхней (ВГ) и нижней (НГ) границ залегания слоя с температурой выше 0 и 1°C

Также впервые выполнена достоверная оценка средней и характерной скоростей перемещения атлантической воды на континентальном шельфе моря Лаптевых. Получено подтверждение пульсирующего характера затоков атлантических вод в Северный Ледовитый океан, что косвенно подтверждает гипотезу быстрых изменений климата вследствие глобального потепления, и зарегистрировано не отмечавшееся ранее резкое, за 1–2 дня увеличение температуры и мощности слоя атлантических вод.

Продолжение исследований в рамках проекта и расширение зоны эксперимента позволит получить обоснованные оценки процессов трансформации атлантических вод в Северном Ледовитом океане.

ЛИТЕРАТУРА

1. Polyakov I., Walsh D., Dmitrenko I. et al. Along-term circulation and water mass monitoring program for Arctic ocean // EOS, Transaction, American Geophysical Union. – Vol. 84, – No 30, 29 July 2003. – P. 281–285.
2. Cruise Report of NABOS-04 Expedition to northern Laptev Sea aboard icebreaker Kapitan Dranitsyn. September 2004, IARC, 2004. – 80 p.

Advection of the Atlantic Waters in the Laptev Sea in 2003-2004

S. I. MASTRYUKOV

(GNINGI, RF MoD)

Some results of analysis of observation data obtained in the framework of the NABOS/AB/JAIP-2003-2004 project are presented. The project is described in brief. It is shown that the Atlantic waters come to the area irregularly. The average velocities of the Atlantic waters movement along the continental slope in the area of the Laptev Sea have been determined. The relationship between the thickness of the Atlantic waters layer and the velocity of the water movement in the eastward direction has been found.

ГРНТИ ВМФ 73.34.15

**К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ЗАТРАТ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ
НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ**

В. Н. ГОРШКОВ

(ГНИНГИ МО РФ)

Приводятся результаты анализа затрат на эксплуатацию и содержание океанографических необитаемых подводных аппаратов.

Океанографические необитаемые подводные аппараты (ОНПА) являются одним из элементов системы технических средств навигационно-гидрографического обеспечения (НГО). При океанографических работах подводные аппараты используются как средства, дополняющие судовые измерители, для уточнения величин, полученных с надводных судов, а также в том случае, когда судовыми средствами невозможно выполнить съемку с требуемой точностью. Следует отметить, что даже самая высокоточная судовая аппаратура не позволяет определить на глубинах более 500 м объекты естественного и искусственного происхождения размером в несколько метров, и решить эту задачу можно только с помощью подводных аппаратов, которые способны приблизиться к объекту исследований.

Оценка затрат на эксплуатацию и содержание ОНПА проведена исходя из опыта эксплуатации экспериментальных образцов ОНПА «Лортодромия-II-АН», «Лортодромия-3-ДВН», «Лортодромия-1РВО» и «Линотип-РВО», а также судов НГО.

Стоимость эксплуатации и содержания ОНПА ($C_{ЭК}^{ПА}$) в общем виде можно представить суммой из пяти слагаемых:

$$C_{ЭК}^{ПА} = R_{ЛС} + R_{мтс} + R_{рм} + R_{ам} + R_{хр}, \quad (1)$$

где $R_{ЛС}$ – стоимость содержания личного состава эксплуатирующего ОНПА;

$R_{мтс}$ – стоимость материально-технического снабжения;

$R_{рм}$ – стоимость ремонта и модернизации;

$R_{ам}$ – отчисления на амортизацию;

$R_{хр}$ – стоимость хранения.

Стоимость содержания личного состава включает [1]:

- заработную плату по должностным окладам (и званиям), $R_{\text{ЛС}}^{(1)}$;
- выплаты стимулирующего характера (премии, надбавки за профессиональное мастерство и т. п.), $R_{\text{ЛС}}^{(2)}$;
- выплаты компенсирующего характера (режим работы, условия труда – например, за секретность, «морские» и т. д.), $R_{\text{ЛС}}^{(3)}$;
- выплаты по районным коэффициентам, $R_{\text{ЛС}}^{(4)}$;
- выплаты за выслугу лет (надбавки за стаж работы), $R_{\text{ЛС}}^{(5)}$;
- другие выплаты (оплата дополнительных отпусков, учебы, и т. п.), $R_{\text{ЛС}}^{(6)}$.

К этой же статье расходов относятся:

- отчисления на социальные нужды (страхование, пенсионный фонд, фонд занятости), $R_{\text{ЛС}}^{(\text{соц})}$;
- затраты на бесплатное питание, $R_{\text{ЛС}}^{(\text{п})}$;
- затраты на бесплатную спецодежду, $R_{\text{ЛС}}^{(\text{од})}$;
- затраты на постельное и посудохозяйственное имущество, $R_{\text{ЛС}}^{(\text{пх})}$;
- затраты на культмассовое обслуживание, $R_{\text{ЛС}}^{(\text{к})}$;
- затраты на медицинское обслуживание, $R_{\text{ЛС}}^{(\text{м})}$.

Таким образом,

$$R_{\text{ЛС}} = R_{\text{ЛС}}^{(1)} + R_{\text{ЛС}}^{(2)} + R_{\text{ЛС}}^{(3)} + R_{\text{ЛС}}^{(4)} + R_{\text{ЛС}}^{(5)} + R_{\text{ЛС}}^{(6)} + R_{\text{ЛС}}^{(\text{соц})} + R_{\text{ЛС}}^{(\text{п})} + R_{\text{ЛС}}^{(\text{од})} + R_{\text{ЛС}}^{(\text{пх})} + R_{\text{ЛС}}^{(\text{к})} + R_{\text{ЛС}}^{(\text{м})}. \quad (2)$$

Эти затраты напрямую связаны с количеством личного состава, обслуживающего ОНПА. Так, в 1982 г., при работах по поиску пл К-8 в Атлантике были использованы два аппарата – автономный «Лортодромия – П-АН» и буксируемый «Лортодромия – 3-ДВН». Состав одной вахты по их обслуживанию составлял соответственно 3 и 5 человек.

Ранее на Тихоокеанском и Черноморском флотах и ЛенВМБ существовали штатные партии подводных исследований, но к 1990 г. они были сокращены. В настоящее время штат по обслуживанию ОНПА отсутствует. Поэтому на период работ для этих целей необходимо специальным приказом назначать требуемых специалистов и оплату вести по их штатным должностям, но такое решение может быть временным. Для эксплуатации ОНПА, являющегося сложным техническим средством, требуются постоянные штатные специалисты.

Затраты на материально-техническое снабжение $R_{\text{мтс}}$ включают стоимость:

- технического имущества (аккумуляторные батареи и грузы для ОНПА, кабель-тросы для БНПА, светильники, фото- и видеопленки, магнитные ленты и CD, спирт и т. д.), $R_{\text{МТС}}^{(T)}$;
 - горюче-смазочных материалов (керосин, масла, компаунд, герметик и т. д.), $R_{\text{МТС}}^{(F)}$;
 - шкиперского имущества, $R_{\text{МТС}}^{(Ш)}$;
 - пресной воды, для промывки аппаратов после подъема на борт, $R_{\text{МТС}}^{(B)}$.
- Таким образом,

$$R_{\text{МТС}} = R_{\text{МТС}}^{(I)} + R_{\text{МТС}}^{(F)} + R_{\text{МТС}}^{(Ш)} + R_{\text{МТС}}^{(B)} . \quad (3)$$

Ремонт ОНПА производится, как правило, после каждой экспедиции. При этом ремонту подвергается не только сам аппарат, но и гидроакустическая навигационная система, а так же судовой вычислительный комплекс. На самом аппарате ремонтируются научно-исследовательская и навигационная аппаратура, корпуса и движители. У БНПА особо слабым местом являются гермовводы и кабель-трос, которому иногда требуется не только ремонт, но и полная замена.

Модернизация ОНПА является неременным условием их жизненного цикла. И, как правило, все они (как отечественные, так и зарубежные) проходят за период своей службы хотя бы одну модернизацию.

Следовательно,

$$R_{\text{PM}} = R_{\text{PM}}^{(P)} + R_{\text{PM}}^{(M)} , \quad (4)$$

где $R_{\text{PM}}^{(P)}$ – стоимость ремонта;

$R_{\text{PM}}^{(M)}$ – стоимость модернизации.

Амортизационные расходы на ОНПА R_{AM} включают амортизационные отчисления на их полное восстановление, исчисленные исходя из:

- стоимости разработки и создания ОНПА, S_a ;
- ликвидационной стоимостью ОНПА, $S_{\text{ла}}$;
- стоимости ремонта ОНПА, $R_{\text{PM}}^{(P)}$;
- стоимости модернизации ОНПА, $R_{\text{PM}}^{(M)}$;
- срока службы ОНПА, T_a .

Они определяется по формуле

$$R_{\text{AM}} = \frac{S_a - S_{\text{ла}} + R_{\text{PM}}^{(P)} + R_{\text{PM}}^{(M)}}{T_a} . \quad (5)$$

Для полуторамесячных экспедиционных работ в Тихом океане с использованием одного БНПА и одного АНПА в июне 1996 г. ИПМТ требовалось 78200 долларов США.

Из них:

- подготовка техники – 3200 долл.;
- расходные материалы (серебряно-цинковые аккумуляторы, кабель-трос, спирт и т. д.) – 25000 долл.;
- амортизация – 40000 долл.;
- прибыль института (15%) – 10000 долл.

Расходы на БНПА и АНПА соотносятся, как один к двум.

Следует отметить, что в данной статье сделана первая попытка разработать подход к оценке затрат на содержание ОНПА и по мере накопления статистических данных работа в этом направлении будет продолжена.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика расчета стоимости содержания и эксплуатации судов НГО, СПб, НИНГИ МО, 1992, 3с.

On Calculating of Expenditures for Operation of Oceanographic Unmanned Underwater Vehicles

V. N. GORSHKOV (GNINGI, RF MoD)

The results of analysis of expenditures for operation and maintenance of oceanographic unmanned underwater vehicles are presented.

ГРНТИ 551.508.9

ОБ ОЦЕНКЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА МЕЖДУ НАПРАВЛЕНИЯМИ НА ОПОРНЫЙ И ОПРЕДЕЛЯЕМЫЙ ПУНКТЫ

Ю. Н. ЖУКОВ
(ГНИНГИ МО РФ)

Предлагается основанный на применении теории цепных дробей способ оценки точности измерения угла между направлениями на опорный и определяемый пункты по единичному измерению.

В практике гидрографических работ довольно часто встречаются задачи, связанные с измерениями углов. Принято погрешности измерения углов оценивать с помощью статистических методов. Однако в ситуации, когда проводится единичное измерение угла, статистические методы не применимы. Одним из вариантов оценки точности угла может быть способ использования некоторого фиксированного интервала $\pm D$, заданного на основе априорной оценки точности. В данной работе предлагается формальный способ оценки сектора, в котором может находиться направление на опорный пункт.

Пусть в точке O проводится единичное измерение угла A_0 на пункт C относительно опорного пункта B (рис. 1). Единичное измерение угла A_0 дает угол A , отличающийся от истинного значения A_0 . Конкретная величина погрешности единичного измерения неизвестна. Положим, что погрешность измерения проявляется в «искажении» некоторого числа последних значащих цифр.

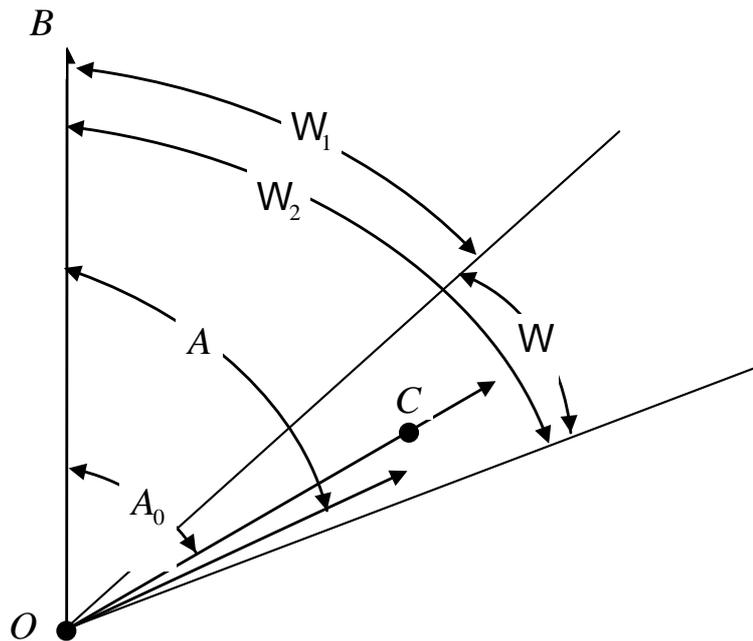


Рис. 1. Взаимное расположение между направлениями на опорный и определяемый пункты

A_0 – истинный угол в точке O между направлением на пункт C и опорным направлением на пункт B ; W – искомый сектор, в котором расположено направление на пункт C ; W_1 и W_2 – углы между направлением на пункт B и лучами, образующими сектор W

На практике измерение угла дается в дуговой мере (градусы, минуты, секунды). Обозначим величину одной единицы последнего (самого правого) разряда числового значения измеренного угла через ϵ . Например, если измерения угла проводятся до секунд, то ϵ представляет величину одной секунды. Перейдем от представления угла в дуговой мере к радианной мере в интервале $(0, 2\pi]$. В радианной мере измеренный угол всегда выражается иррациональным числом.

Заметим, что все числовые формы представления иррациональных чисел имеют бесконечное число членов, а в практических вычислениях возможно

только конечное представление иррационального числа. Будем представлять значение угла A в радианной мере в десятичном виде с конечным числом r разрядов после запятой $f_0, f_1 f_2 \dots f_r$ (r – натуральное число). Для согласования значащих цифр в значениях угла в дуговой мере A_D и в радианной A_R величина r должна быть больше значения $1 + \lceil \log_{10}(\varepsilon_R) \rceil$, где ε_R – величина ε , выраженная в радианной мере, а знак $\lceil x \rceil$ – наибольшее целое число, меньшее x . Очевидно, что нерепрезентативные цифры в последних разрядах числа A_D приводят к искажению в значащих цифрах некоторых последних разрядов числа A_R . Начиная с некоторого десятичного разряда $0 < r_0 < r$ все цифры числа A_R в десятичном представлении искажены ошибкой измерения. Так как величина ошибки в измеренном угле неизвестна, то неизвестно и значение r_0 .

Идеальная цель состоит в замене нерепрезентативных цифр в числе A_R на репрезентативные. На практике это невозможно. Просто отбросить все нерепрезентативные цифры в A_R также нельзя, потому что их неизвестно число. Задача заключается в нахождении способа, который позволял бы на основе известных A_R и ε оценить сектор W , в котором находится истинное значение соответствующего угла A . Изложенное выше наводит на мысль, что этот способ должен оставлять неизменными некоторые r_0 десятичных цифр старших разрядов в числе A_R , а остальные $r - r_0$ заменять другими, причем так, чтобы в одном случае получаемое число было меньше A_R и давало оценку W_1 , а в другом случае – больше A_R и давало оценку W_2 .

В основу способа положим теорию цепных дробей [1]. Это связано с тем, что цепные дроби обладают наилучшими свойствами аппроксимации иррациональных чисел, к которым относятся измерения углов, выраженных в радианной мере. Они позволяют достаточно просто находить приближенные значения изображаемого ими иррационального числа с заданной наперед точностью таким образом, что разность между аппроксимируемым числом и последовательными приближениями строго поочередно меняет знак.

В нашем случае необходимы следующие исходные определения. Простейшей цепной дробью называется выражение вида:

$$\omega = a_0 + \frac{1}{a_1 + \frac{1}{a_2 + \dots}} \quad (2)$$

В соответствии с нашими целями будем a_0, a_1, a_2, \dots всегда считать натуральными числами. Эти числа называются элементами данной цепной

дроби. Число элементов может быть либо конечным (только для рациональных чисел), либо бесконечным (только для иррациональных чисел).

Каждая простейшая цепная дробь представляет некоторое вещественное число ω . Если мы обрываем цепную дробь на первом, втором, третьем, ... частном, то мы получим рациональные, так называемые «подходящие дроби»:

$$d_0 = a_0 = \frac{p_0}{q_0} ; \quad d_1 = d_0 + \frac{1}{a_1} = \frac{p_1}{q_1} ; \quad d_2 = d_0 + \frac{1}{a_1 + \frac{1}{a_2}} = \frac{p_2}{q_2} . \quad (3)$$

Здесь p_k и q_k – целые (k – порядковый номер аппроксимации, $k = 0, 1, 2, \dots$). Все подходящие дроби несократимы. Эти дроби представляют собой хорошие приближения к числу ω , представляемому цепной дробью. Каждая из них дает самое лучшее приближение, какого только возможно достигнуть, не увеличивая знаменатель приближенной дроби. Это объясняется тем, что знаменатели подходящих дробей возрастают не медленнее, чем по закону геометрической прогрессии, точнее для любого $k \geq 2$:

$$q_k \geq 2^{\frac{k-1}{2}} . \quad (4)$$

Верхняя граница аппроксимации числа ω цепной дробью определяется выражением

$$\left| \omega - \frac{p_k}{q_k} \right| \leq \frac{1}{q_k q_{k+1}} . \quad (5)$$

Теперь приведем основное свойство цепных дробей, которое позволяет решить поставленную задачу: представляя число ω в виде цепной дроби, мы заключаем его при помощи подходящих дробей в пределы, постоянно суживающиеся сверху подходящими дробями нечетного порядка и снизу подходящими дробями четного порядка. При этом любая подходящая дробь нечетного порядка больше любой подходящей дроби четного порядка.

Чтобы использовать подходящие дроби для решения поставленной задачи, необходимо ограничить число шагов аппроксимаций некоторым подходящим значением k_0 . Мы полагаем, что величина k должна соответствовать первому по порядку натуральному числу k_0 , при котором впервые достигается неравенство $|A_R - d_k| < \frac{1}{2} \varepsilon_R$. Заметим, что при этом для всех $k < k_0 - 1$ с необходимостью $|A_R - d_{k-1}| > \varepsilon_R$, а для $k = k_0 - 1$ $|A_R - d_{k-1}| \gg \varepsilon_R$. Это следует из выражения (5). Поэтому целесообразно в

качестве границ угла W взять симметричные границы относительно A_R в виде

$$W_1 = A_R - |A_R - d_{k_0-1}|, \quad W_2 = A_R + |A_R - d_{k_0-1}|.$$

Учитывая изложенное, алгоритм оценки сектора W по единичному измерению A_D состоит в следующем:

1. Определяются A_R и ε_R .

Последовательно вычисляются подходящие дроби d_k ($k = 1, 2, 3, \dots$) для A_R до тех пор, пока при некотором k_0 не выполнится неравенство

$$|A_R - d_{k_0-1}| < \frac{1}{2} \varepsilon_R.$$

Для числа A_R k -я подходящая дробь d_k вычисляется путем построения простейшей цепной дроби для A_R с первыми $a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$ элементами по алгоритму

$$a_0 = \ddot{A}_R \hat{u}, \quad X_0 = \frac{1}{A_R - a_0},$$

$$a_1 = \ddot{X}_0 \hat{u}, \quad X_1 = \frac{1}{X_0 - a_1},$$

$$a_2 = \ddot{X}_1 \hat{u}, \quad X_2 = \frac{1}{X_1 - a_2},$$

.....

$$a_k = \ddot{X}_{k-1} \hat{u}.$$

2. Вычисляется десятичное значение d_k путем прямого расчета, построенной цепной дроби с k элементами.

3. Определяются искомые границы $W_1 = A_R - |A_R - d_{k_0-1}|$, $W_2 = A_R + |A_R - d_{k_0-1}|$.

Приведем результаты вычислительных экспериментов, которые состояли в следующем. Предполагалось, что погрешность измерения угла имеет нормальный закон распределения с нулевым математическим ожиданием и дисперсией σ^2 . Это предположение приближенно выполняется для малых значений σ^2 [2]. Использовались значения σ в интервале от $\varepsilon = 1$ дуговой секунды до $\varepsilon = 10$ дуговым секундам с дискретностью в 1 секунду. Для каждого конкретного значения σ генерировалась нормально распределенная последовательность $\theta(\sigma)$ из N значений. Истинные значения углов A имитировались генерированием равномерно распределенных N

значений A_0 на интервале $(0,360^0]$. Имитация процедуры измерения состояла в получении последовательности $A_D(\sigma)$ путем сложения A_0 с $\theta(\sigma)$ и последующим округлением до 1 секунды. Затем последовательность $A_D(\sigma)$ переводилась в радианную меру $A_R(\sigma)$ с последующим применением вышеизложенного алгоритма расчета $\Omega_1(\sigma)$ и $\Omega_2(\sigma)$. Для всего вычислительного процесса значение $\frac{1}{2}\varepsilon_R$ было постоянным и равным радианной мере половине дуговой минуты ($2,424068405547680 \cdot 10^{-6}$).

Адекватность способа определялась по двум критериям: 1) по числу случаев K попадания значений A_0 в диапазон между соответствующими значениями W_1 и W_2 ; 2) по числу случаев M_i , когда фиксированный интервал $2D = |W_1 - W_2|$ меньше или равен 6σ ($i = 1$), 4σ ($i = 2$), 2σ ($i = 3$) при условии выполнения первого критерия. Результаты вычислений оценки эффективности при $N = 10000$ представлен на рис. 2.

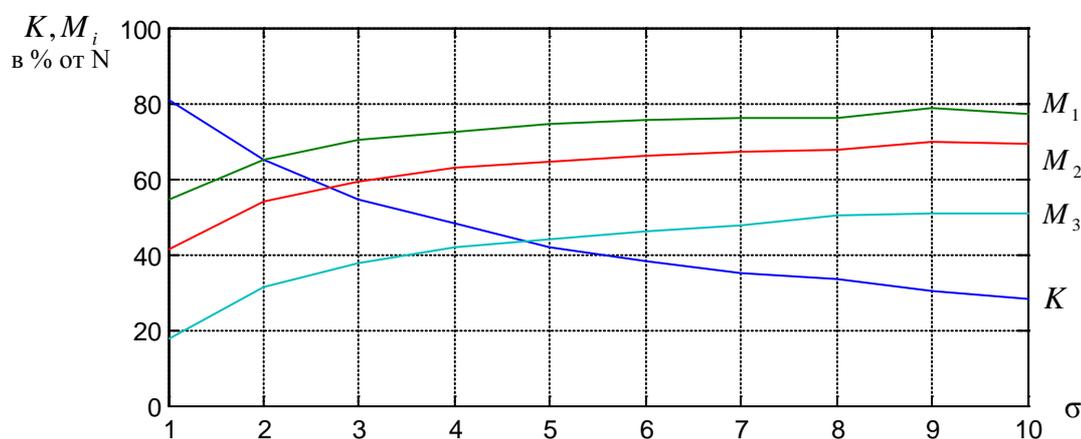


Рис. 2. Изменение K и M_i в зависимости от σ

Анализ результатов вычислений свидетельствует о приемлемости предлагаемого способа в качестве подхода к оценке сектора, содержащего истинное направление на объект, по единичному измерению. Известный способ с использованием фиксированного интервала D более эффективен по сравнению с предлагаемым способом при $D > 2\sigma$. В то же время при $\sigma < D$ более эффективным является предложенный способ.

Эффективность предлагаемого метода основана на рандомизирующем свойстве аппроксимации цепными дробями иррациональных чисел. Дело в том, что существует большой разброс в скорости сходимости цепной дроби к разным иррациональным числам, а «распределение» скорости на интервале $(0,1)$ чрезвычайно хаотично.

В заключении заметим, что все необходимые операции требуют довольно громоздких и точных вычислений, которые легко реализуются на вычислительных машинах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хинчин А. Я. Цепные дроби. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 112 с.
2. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М.: «Сов. радио», 1974. – 552 с.8

On the Estimate of the Angle Measurement Accuracy between Directions at a Reference Point and the Point to be Determined

Y. N. ZHUKOV
(GNINGI, RF MoD)

The method based on the use of continued fractions theory, in order to estimate the accuracy of measuring the angle between the directions at a reference point and the point to be determined, is proposed.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ОКЕАНОГРАФИЯ

ГРНТИ 78.21.43

К ОБОСНОВАНИЮ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ ОСВЕЩЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА БАЗЕ ДРЕЙФУЮЩИХ АВТОНОМНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

**С. А. ДРУЖЕВСКИЙ,
Г. И. ИЛЬЮЩЕНКО,
В. С. АНОСОВ**
(ГНИНГИ МО РФ)

Рассмотрены подходы к обоснованию тактико-технических требований, предъявляемых к формируемым локальным сетям на основе дрейфующих автономных гидрометеорологических станций. Эти сети предназначены для вскрытия и освещения гидрометеорологической обстановки при решении задач гидрометеорологического обеспечения в интересах обороны, хозяйственной и научной деятельности в Мировом океане.

Составной частью системы гидрометеорологического обеспечения (ГМО) сил и средств флота при решении различного рода задач в оперативно важных районах Мирового океана является система оперативного вскрытия и освещения гидрометеорологической обстановки на базе дрейфующих автономных гидрометеорологических станций (АГМС), предназначенная для получения текущей метеорологической информации в приповерхностном слое атмосферы и гидрологической – в приповерхностном слое воды.

Локальные сети, формируемые на основе дрейфующих АГМС, являются источником получения исходной информации для прогнозирования гидрометеорологических условий на методической или инерционной основе, а также оперативного обеспечения решения задач боевой подготовки, хозяйственной и научной деятельности.

Использование данных от локальных сетей дрейфующих АГМС для прогнозирования гидрометеорологических условий осуществляется в структуре постоянно действующей стационарной сети гидрометеорологических станций и постов. Однако для обеспечения решения частных задач в заданном районе и определенное время необходимо производить развертывание локальных сетей дрейфующих АГМС, функционирующих независимо от стационарной сети.

Развертывание таких локальных сетей кратковременного существования (как правило, около 2–30 буев на акватории размером 100х100 миль, сроком существования от 15 до 30 суток) осуществляется в зависимости от характера решаемых задач, физико-географических условий районов, с учетом

требований по пространственному распределению АГМС, временному интервалу измерений.

Тактика использования дрейфующих АГМС, образующих локальные сети, основывается на том, что постановка осуществляется по мере надобности в заданном районе в определенное время и по возможности скрытно.

А. Обоснование тактико-технических требований к дрейфующим АГМС и формируемым на их основе локальным сетям для ГМО решения отдельных оперативно-тактических задач в интересах обороны, научной и хозяйственной деятельности страны

В состав рассматриваемых оперативно тактических задач в интересах обороны, научной и хозяйственной деятельности страны, эффективность решения которых в существенной степени зависит от влияния гидрометеорологических условий входит следующее.

1. Обеспечение боевой и повседневной деятельности сил и средств флота, включая:

- высадку морских десантов;
- минные постановки и траление;
- поисковые и аварийно-спасательные работы и другие.

2. Обеспечение безопасности эксплуатации морских газонефтедобывающих комплексов и их инфраструктуры, включая:

- обслуживание газонефтяных морских терминалов;
- контроль аварийных разливов нефтепродуктов и других загрязняющих веществ и их распространение.

3. Обеспечение безопасности мореплавания судов, включая:

- уточнение срока начала замерзания Арктических и Дальневосточных морей;
- получение гидрометеорологических данных с акваторий морей и океанов неосвещенных (мало освещенных) в гидрометеорологическом отношении;
- пополнение банка гидрометеорологических данных.

Решение этих задач связано с освещением в гидрометеорологическом отношении локальных, относительно небольших размеров (приблизительно 100´ 100 миль) районов морей и океанов.

К ним относятся:

- районы (полигоны) проведения боевой подготовки флота;
- районы постановки минных полей или траления мин;
- прибрежные районы для высадки морского десанта;
- районы аварий судов, кораблей, самолетов;

- районы проведения геологоразведочных работ и расположения газонефтедобывающих платформ;
- моря Арктического бассейна.

Требования к составу измеряемых гидрометеорологических параметров и точности их измерения при решении указанных задач, возлагаемых на дрейфующие АГМС, обоснованы в НИР ГНИНГИ МО РФ и КБ Океанографической техники РАН («Бросок», «Конструкция-99», «Дрифтер»), работах [1, 2] и приведены в табл. 1.

Таблица 1

Требования к диапазонам и точности измерения гидрометеорологических параметров дрейфующих АГМС

Измеряемый параметр	Диапазон измерений	Точность измерений
Атмосферное давление, гПа	930 ÷ 1050	1,0
Температура воздуха, град. С	-10 ÷ +40	0,5
Температура воды, град. С	-2 ÷ +35	0,2

В рамках проведенных работ также обоснованы требования к точности определения координат местоположения и скорости дрейфа АГМС по сигналам спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС и GPS. Точность определения соответственно составляет:

- географических координат – не более 5 м;
- скорости дрейфа – не более 0,1 м/с.

Б. Обоснование пространственной дискретности постановки АГМС и временной дискретности измерений гидрометеорологических параметров

Наиболее простой подход к определению пространственной и временной дискретности измерений гидрометеорологических параметров состоит в том, что для получения статистически значимых данных необходимо согласно теореме Котельникова выполнить 8–10 измерений на временном или пространственном отрезке минимального периода изменчивости, т. е.

$$Dt(Dl) = (0,125, 0,100)\tau_{i,l}, \quad (1)$$

где $Dt(Dl)$ – временная (пространственная) дискретность измерений;
 $\tau_{i,l}$ – временной (пространственный) период изменчивости.

Так, например, если в районе преобладает полусуточный прилив, то временная дискретность измерений составит примерно 1 час. При пространственной изменчивости равной 50 милям, расстояние между дрейфующими АГМС должно составлять около 5 миль.

Другой подход к определению пространственной и временной частоты измерений состоит в том, что по данным измерений необходимо построить диагностическую карту или графики изоплет с погрешностью, не

превышающей заданную. Для построения карт и графиков обычно используется линейная интерполяция, а в качестве весовых коэффициентов принимаются корреляционные моменты связи

$$f'_0 = \sum_{i=1}^n P_i f'_i, \quad (2)$$

где P_i – весовые коэффициенты;

$f'_i = f_i - \bar{f}$ – отклонения от среднего \bar{f} измеренного элемента f_i .

Тогда погрешность интерполяции согласно [3] может быть определена по формуле

$$\sigma_{\text{инт}}^2 = K(0) - \sum_{i=1}^n P_i K_C \frac{\sigma^2 l}{\sqrt{2} \sigma}, \quad (3)$$

где $K(0)$ – дисперсия;

$K_C \frac{\sigma^2 l}{\sqrt{2} \sigma}$ – ненормированный корреляционный момент связи;

l – расстояние или время (частота измерений).

При определении $\sigma_{\text{инт}}$ в любой точке отрезка

$$\sigma_{\text{инт}}^2 = K(0) - \frac{K^2(r) + K^2(l-r)}{K(0) + K(l)}, \quad (4)$$

где r – расстояние от начала отрезка до точки в которой производится интерполяция.

При интерполяции по двум точкам на середину отрезка:

$$\sigma_{\text{инт}}^2 = K(0) - \frac{K^2 \frac{\sigma^2 l}{\sqrt{2} \sigma}}{K(0) + K(l)}. \quad (5)$$

При интерполяции по трем точкам, расположенным в вершинах треугольника

$$\sigma_{\text{инт}}^2 = K(0) - \frac{3K^2 \frac{\sigma^2 l}{\sqrt{3} \sigma}}{K(0) + 2K(l)}. \quad (6)$$

При интерполяции по четырем точкам, расположенным в вершинах квадрата

$$\sigma_{\text{инт}}^2 = K(0) - \frac{4K^2 \frac{\partial l}{\partial \sqrt{2l}}}{2K(l) + K(\sqrt{2l}) + K(0)}. \quad (7)$$

Временную и пространственную дискретность измерений лучше всего определять по формуле (4), а формулы (5–7) использовать для интерполяции в узлы регулярной сетки карты.

Для определения временной дискретности измерений используется временная корреляционная функция, рассчитываемая по данным многосуточных измерений в фиксированной точке по каждому району с использованием стационарных АГМС, а для определения пространственной ковариационной функции согласно принципа «замороженной» турбулентности, основные положения которого изложены в работах [4, 5] и других работах, необходимо временную шкалу функции путем умножения на среднюю скорость течения в районе преобразовать в пространственную.

Исходя из наличия связи между корреляционной и структурной функциями для стационарных процессов приведенные формулы можно выразить через структурные функции, определяющие средний квадрат разности значений гидрометеорологического элемента в двух рядом отстоящих точках или моментов времени.

$$\beta(t, l) = \overline{[f_1(t_1; l_1) - f_2(t_2; l_2)]^2}, \quad (8)$$

где черта сверху означает осреднение.

При этом ошибка интерполяции на середину отрезка между двумя точками (временными или пространственными) определяется по формуле

$$\sigma_{\text{инт}}^2(t, l) = b\left(\frac{t}{2}; \frac{l}{2}\right) - \frac{1}{4}b(t; l). \quad (9)$$

В этом случае частота измерений (дискретность) определяется следующим образом. Варьируя t или l , составляем матрицу чисел $\sigma_{\text{инт}}$. Входя в полученную матрицу с требуемой (допустимой) σ (табл. 2), вычисляем l или t – дискретность измерений.

В качестве примера приводятся результаты расчета, произведенные по формуле (9) временной дискретности измерений с использованием структурной функции, полученной по данным измерений температуры воды в приводном слое в одном из районов северной части Атлантического океана летом 1960 г. (рис. 1, табл. 2).

Таблица 2

Погрешность интерполяции в зависимости от временной дискретности измерений температуры воды в районе северной части Атлантического океана

$S_{\text{треб}}$	t , часы	$b(t/2)$	$1/4 b(t)$	$b(t/2) - 1/4 b(t)$	$S_{\text{инт}}$
0,2°C	5	0,15	0,04	0,11	0,33
	10	0,16	0,05	0,11	0,33
	15	0,18	0,05	0,13	0,36
	20	0,20	0,06	0,14	0,37
	2,5	0,13	0,04	0,09	0,30
	1,0	0,03	0,02	0,01	0,10

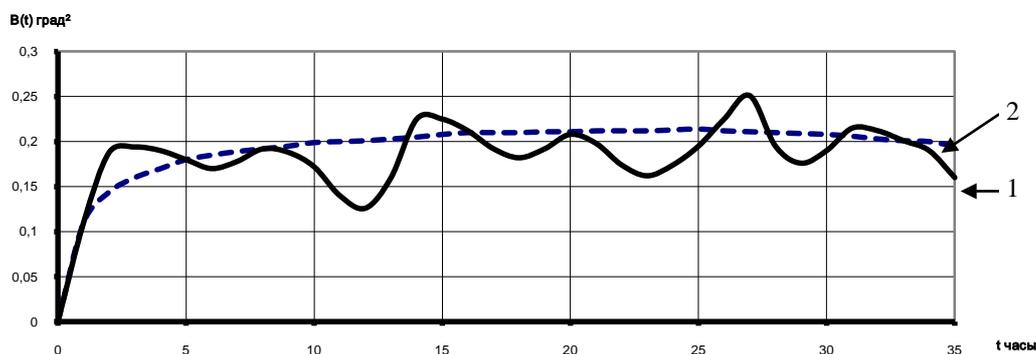


Рис. 1. Структурная функция температуры воды в приповерхностном слое (Атлантический океан, 1960 г.), полученная: 1 – по данным измерений; 2 – путем временного сглаживания

Из табл. 2 следует, что временная дискретность измерения, отвечающая требованиям по точности измерения параметра, должна составлять для данного района около 2-х часов.

Соответственно, пространственная дискретность измерений согласно проведенного расчета (рис. 2, табл. 3) для того же района должна составлять примерно 10 миль.

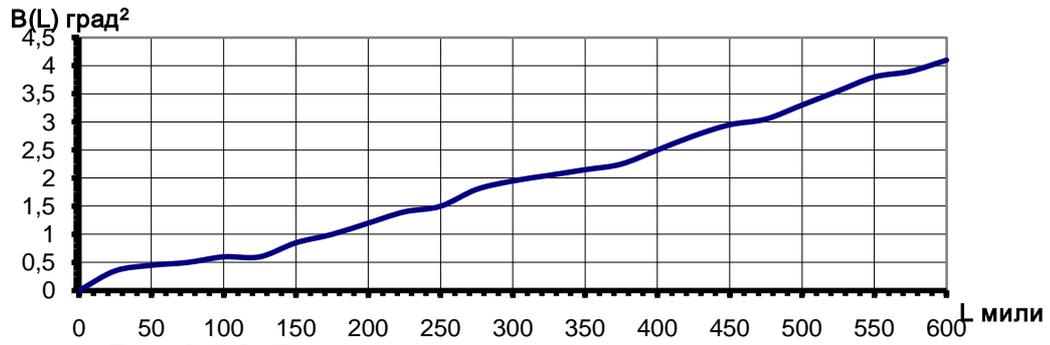


Рис. 2. Пространственная функция, полученная по данным измерения температуры воды в приповерхностном слое (Атлантический океан, 1960 г.)

Таблица 3

Погрешность интерполяции в зависимости от пространственной дискретности измерений температуры воды в районе северной части Атлантического океана

$s_{\text{треб}}$	l , мили	$b (l/2)$	$1/4 b (l)$	$b (l/2) - 1/4 b (l)$	$s_{\text{инт}}$
0,2°C	10	0,1	0,05	0,05	0,22
	25	0,25	0,09	0,16	0,40
	50	0,35	0,11	0,24	0,49

Другой подход к определению временной и пространственной дискретности измерений связан с использованием ненормированной корреляционной функции. При этом пространственная ковариационная функция определяется исходя из временной в соответствии с принципом «замороженной турбулентности».

В качестве исходных данных при определении временной и пространственной дискретности измерений использованы временные и корреляционные функции температуры воды, полученные летом 1957 г. по наблюдениям в приповерхностном слое в Фареро-Исландском районе (рис. 3, 4).

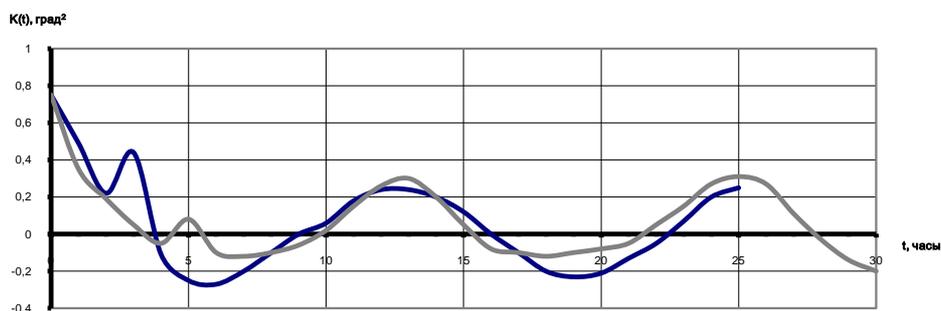


Рис. 3. Временные функции температуры воды в приповерхностном слое (Атлантический океан, Фареро-Исландский район, 1957 г.)

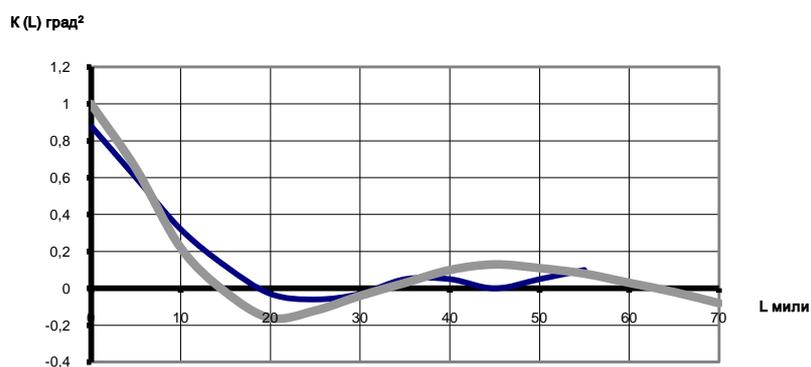


Рис. 4. Корреляционные функции температуры воды в приповерхностном слое (Атлантический океан, Фареро-Исландский район, 1957 г.)

Расчеты временной и пространственной дискретности измерений, проведенные по формуле (5) представлены в табл. 4, 5.

Таблица 4

Результаты расчета временной дискретности измерений

$S_{\text{треб}}$	t , часы	$K(0)$	$K^2(b/2)$	$K(t)$	$K(0)+K(t)$	$K(0) - \frac{K^2(t)}{K(0)+K(t)}$	$S_{\text{инт}}$
0,2°C	1	0,76	0,25	0,32	1,08	0,53	0,73
	0,5	0,76	0,38	0,55	1,31	0,47	0,68

Таблица 5

Результаты расчета пространственной дискретности измерений

$\sigma_{\text{треб}}$	l , миль	$K(0)$	$K^2(l/2)$	$K(l)$	$\sigma_{\text{инт}}$
0,2°C	5	0,88	0,56	0,75	0,73

Как следует из данных, приведенных в табл. 4, 5, требуемая дискретность измерений не должна превышать:

- по времени – 0,5 часа;
- по пространству – 2 мили.

Таким образом, с учетом приведенных частных случаев можно сделать вывод: перед постановкой дрейфующих АГМС необходимо оценить гидрологические условия района и после этого принять решение о выборе пространственной дискретности постановки и временной дискретности измерений, количестве станций, необходимых для гидрометеорологического обеспечения решения различного рода задач.

Применение того или иного из предложенных подходов при определении временной и пространственной дискретности измерений осуществляется в зависимости от наличия имеющейся информации о корреляционных либо структурных функциях по интересующим районам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дружевский С. А., Ильющенко Г. И. Основные тактико-технические требования по формированию систем освещения гидрометеорологической обстановки в Мировом океане на базе позиционных АГМС. – СПб.: ФГУП «ГНИНГИ Минобороны России». Труды Пятой российской научно-технической конференции «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии» («НО-2004»). Т.2. – СПб.: ГНИНГИ МО РФ, 2004.–С. 113–119.
2. Дружевский С. А., Ильющенко Г. И. Принципы построения измерительных комплексов и исследовательских океанографических систем на базе дрейфующих автономных станций. – СПб.: ФГУП «ГНИНГИ Минобороны России». Труды Пятой российской научно-технической конференции «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии» («НО-2004»). Т.2. – СПб.: ГНИНГИ МО РФ, 2004. – С. 119–124.
3. Доценко С. В. Случайные процессы в гидрофизических измерениях. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 240 с.
4. Монин А. С., Каменкович В. М., Корт В. Г. Изменчивость Мирового океана. – Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 261 с.
5. Озмидов Р. В. Горизонтальная турбулентность и турбулентный обмен в океане. – М.: «Наука», 1968. – 199 с.

On Substantiation of Tactical-Technical Requirements to the System of Hydrometeorological Situation Coverage Based on Drifting Autonomous Hydrometeorological Stations

**S. A. DRUZHEVSKY, V. S. ANOSOV,
G. I. ILYUSHCHENKO** (GNINGI, RF MoD).

Approaches to defining the tactical-technical requirements to the local networks formed on the basis of the drifting autonomous hydrometeorological stations are considered. The networks are intended to determine and cover the hydrometeorological situation when solving the problems of hydrometeorological support in the interests of defence, economic and scientific activities in the World ocean.

**СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КОРАБЕЛЬНЫХ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ В ВМФ РОССИИ**

А. Е. ДРОЗДОВ, В. И. ЛАПШИН (ГНИНГИ МО РФ),
В. Ю. ШАРОМОВ, А. А. ФЕДОРОВ (ГУНИО МО РФ)

В статье дан краткий анализ функциональных возможностей гидрометеорологических станций, установленных на надводных кораблях ВМФ в настоящее время, и показаны возможные пути, по которым пойдет создание новых технических средств, предназначенных для решения различных задач гидрометеорологического обеспечения сил и средств флота.

Современное состояние гидрометеорологического обеспечения (ГМО) характеризуется постоянным ростом требований к количеству измеряемых гидрометеорологических параметров, точности измерений, формам представления и оперативности доведения необходимой информации до командования, штабов и гидрометеорологических центров, а также непосредственно до сил флота в интересах решения задач обеспечения безопасности мореплавания и эффективного применения оружия, технических средств и полетов авиации.

Актуальность гидрометеорологического обеспечения значительно возросла в связи с поступлением на вооружение ВМФ высокоточного оружия, а также новых классов кораблей, имеющих на вооружении корабельные летательные аппараты (ЛАК).

В соответствии с руководящими документами [1, 2, 3] корабли с одиночным и групповым базированием ЛАК комплектуются корабельными метеорологическими станциями.

До настоящего времени основной корабельной метеостанцией являлась КМС-3, разработанная в конце 70-х годов 20-го века, предназначенная для автоматического измерения параметров ветра, температуры и влажности воздуха и атмосферного давления. Для обеспечения необходимого уровня измерения метеорологических параметров в 80-х годах была выполнена модернизация КМС-3. Модернизированной станции присвоен шифр КМС-3М-01. В настоящее время парк станций КМС-3 технологически и физически устарел и не соответствует современным требованиям к ГМО сил и средств флота. В частности, отсутствует возможность приема спутниковой гидрометеорологической информации и гидрометеоданных от радиометеорологических центров, поступающих по каналам радиосвязи. Кроме того, станция не обеспечивает измерение высоты нижней границы облаков и метеорологической (оптической) дальности видимости, а также автоматизированную выдачу обработанных данных корабельным потребителям.

В целях достижения необходимого тактико-технического уровня корабельных средств ГМО, определенного современными задачами, по заказу ВМФ ЗАО «НИИИТ-РК» г. Челябинск, была выполнена опытно-

конструкторская работа по созданию «Корабельной автоматизированной информационно-измерительной системы гидрометеорологического обеспечения безопасности полетов корабельной авиации», шифр ОКР «Касметео-К».

В состав системы «Касметео-К» входит:

- корабельный специализированный метеорадиолокатор «Контур-К»;
- аппаратура приема и обработки спутниковой гидрометеорологической информации, а также информации, поступающей по радиоканалам «Сюжет-К»;
- корабельная гидрометеорологическая станция (ГМСК) «Характер-К»;
- аппаратура подсистемы обработки, анализа и доведения гидрометеорологической информации до командных пунктов корабля, а также электропитания системы.

Система «Касметео-К» обеспечивает:

а. Наблюдение метеоусловий, определение метеоявлений и высоты верхней границы облачности в ближней (до 200 км) зоне корабля с помощью метеорадиолокатора «Контур-К».

б. Приём, обработку и отображение сигналов от орбитальных метеорологических искусственных спутников земли, факсимильной и телеграфной гидрометеорологической информации, принимаемой от радиометеорологических центров штатным корабельным радиоприемным устройством с помощью аппаратуры «Сюжет-К».

в. Измерение гидрометеорологических параметров с помощью аппаратуры «Характер-К» (в указанных пределах):

- | | |
|--|-------------|
| - скорости кажущегося ветра, м/с, | 1 – 50; |
| - направления кажущегося ветра, град., | 0 – 360; |
| - скорости истинного ветра, м/с, | 1 – 50; |
| - направления истинного ветра, град., | 0 – 360; |
| - атмосферного давления, гПа, | 880 – 1050; |
| - температуры воздуха, °С, | -40 – +50; |
| - относительной влажности воздуха при температуре от – 20 до + 50°С, %, | 30 – 100; |
| - высоты нижней границы облаков, м, | 15 – 5000; |
| - метеорологической (оптической) дальности видимости, м, | 10 – 5000; |
| - температуры морской воды, °С, | -2 – +35; |
| - избыточного гидростатического давления, МПа, | 0 – 20; |
| - относительной электрической проводимости морской воды, относительных единиц, | 0,1 – 1,6. |

Метрологические характеристики системы подтверждены соответствующим сертификатом об утверждении типа средств измерения военного назначения.

В 2002 г. корабельная автоматизированная система успешно прошла государственные испытания. Конструкторской документации присвоена литера О1 для организации серийного производства системы.

Приказом ГК ВМФ от 4.06.2005 г. № 264. [4] система «Касметео-К» принята на снабжение Военно-Морского Флота.

Разработанная система имеет модульный принцип построения и позволяет формировать самостоятельные изделия для оснащения надводных кораблей и судов ВМФ различных классов:

- «Корабельная автоматизированная информационно-измерительная система гидрометеорологического обеспечения безопасности полетов корабельной авиации», шифр «Касметео-К» (индекс ГЕС), предназначенная для оснащения кораблей с групповым базированием летательных аппаратов (ЛАК);
- «Комплекс гидрометеорологического обеспечения надводного корабля», шифр «Сюжет-КМ» (индекс ГЕН), предназначенный для оснащения кораблей с одиночным базированием летательных аппаратов;
- «Гидрометеостанция корабельная», шифр «Характер-К» (индекс ГЕО), предназначенная для оснащения кораблей и вспомогательных судов ВМФ, на которых летательные аппараты не базируются.

Установка системы «Касметео-К» на корабли с авиационным вооружением позволит по различным оценкам повысить эффективность применения сил и использования технических средств ВМФ в среднем на 20–25%.

Дальнейшее перспективное развитие технических средств ГМО надводных кораблей ВМФ России предполагает переход от создания образцов технических средств к созданию комплексов и систем на основе модульных решений, широкого применения вычислительной техники, а также с учетом обеспечения требований стандартизации, унификации и сокращения типажа образцов технических средств.

Разработки корабельных (судовых) гидрометеорологических станций для ВМФ должны характеризоваться:

- широким использованием технологий, аппаратуры и системотехнических средств двойного назначения;
- низкими массогабаритными характеристиками и использованием встроенных приемоиндикаторов спутниковых навигационных систем и средств организации сетевого взаимодействия по радио- и проводным каналам;

- переходом к созданию миниатюрных (объемом до 15 кубических сантиметров) гидрометеорологических приборов нового поколения на основе достижений в области микромеханики и микроэлектроники;
- массовым применением малогабаритной аппаратуры приема информации и терминальных комплексов удаленного доступа к базам данных гидрометеорологических центров;
- возможностью ввода и передачи измеренных параметров по радио и телеканалам с использованием соответствующих автоматизированных систем связи;
- созданием и внедрением интегрированных средств дистанционного и контактного зондирования (включая доплеровские метеорадиолокаторы, акустические и лазерные профилографы, автономные пункты приема информации и др.), обеспечивающих решение задач мезомасштабной гидрометеорологии с высоким пространственно-временным разрешением, необходимым для применения высокоточного оружия и современных средств ПЛО, ПРО, ПВО и др.

В дальнейшем развитие корабельных гидрометеорологических станций должно пойти по пути создания сложных многофункциональных систем. К основным функциям гидрометеорологических станций необходимо добавить решение задач, направленных не только на измерение, усвоение и архивацию данных о параметрах среды, но и на использование этих параметров для адаптации оружия и техники к данной конкретной гидрометеорологической ситуации с целью достижения наилучших, возможных по условиям среды, тактических характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по гидрометеорологическому обеспечению ВМФ (РГМО-84) – приказ ГК ВМФ №123-1984 г. – 144 с.
2. Наставление по метеорологической службе авиации Вооруженных сил СССР (НАМС-86). – М.: Воен. Изд., 1987. – 184 с.
3. Наставление по метеорологическому обеспечению гражданской авиации СССР (НМО ГА-90). – Л.: Гидрометиздат, 1990. – 104 с.
4. Приказ ГК ВМФ № 264-2005 г.

Status and Prospects of Development for Shipborne Hydrometeorological Stations in the Russian Navy

A. E. DROZDOV, V. I. LAPSHIN

(GNINGI, RF MoD),

A. A. FEDOROV, V. Y. SHAROMOV

(HDNO, RF MoD),

The functionality of hydrometeorological stations carried in surface ships of the Navy are analysed in brief. The possible ways of creating the new technical aids intended to solve various problems of hydrometeorological support for the Navy forces, aids and facilities are presented.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ
ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗОН ВИДИМОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ**

А. А. ФЕДОРОВ, (ГУНиО МО РФ),
Н. И. ШАДРИН, (ГНИНГИ МО РФ)

В статье показаны преимущества метода метеорологических измерений перед существующими методами определения атмосферной рефракции применительно к решению задач радиометеорологического обеспечения ПВО надводного корабля.

Состояние атмосферы существенно влияет на условия распространения радиоволн. В зависимости от вертикального и горизонтального распределения метеорологических параметров (температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, скорости ветра и др.) наблюдаются различные типы распространения радиоволн, что обусловлено эффектами отражения, поглощения, рассеяния и преломления (атмосферной рефракции).

Неоднородности распределения показателя преломления в атмосфере, связанные с турбулентными процессами и конвекцией, ведут к флуктуациям амплитуды и фазы радиосигнала с широким частотным спектром. Флуктуации амплитуды и фазы радиосигнала обуславливают замирания радиосигнала при его распространении и приеме. При этом замирания, имеющие продолжительность от нескольких секунд до нескольких минут, оказывают значительное влияние на дальность обнаружения воздушных целей с помощью радиолокационных станций (РЛС) и требуют их учета.

Из факторов, влияющих на дальность обнаружения воздушных целей, определяющим является атмосферная рефракция. Основная характеристика оценки ее влияния на распространение радиоволн – вертикальный профиль показателя преломления атмосферы. В качестве критерия количественной оценки атмосферной рефракции обычно используется отношение эффективного радиуса Земли к ее геометрическому радиусу, которое для нормальной рефракции составляет 4:3 [1].

Известны следующие методы определения рефракции атмосферы [2]:

1. метеорологических измерений;
2. интерференционный;
3. погонного затухания;
4. радиолокационный;
5. радиометрический.

Все перечисленные методы, за исключением метода метеорологических измерений, требуют применения приемопередающей системы с двумя пунктами. В качестве первого пункта, который является базовым, используют РЛС корабля, расположение второго приемопередающего пункта предполагается на мачтах и надстройках кораблей. В качестве альтернативного варианта можно воспользоваться границей вода–атмосфера.

Действие указанной приемопередающей системы часто бывает неэффективным для оценки слоя атмосферы от 0 до 3000 м на наклонных трассах распространения радиолучей, поскольку требует использования различных летательных аппаратов и делает процесс получения данных об атмосферной рефракции более дорогостоящим.

Метод метеорологических измерений включает комплекс стандартных наблюдений в приводном слое и аэрологическое зондирование атмосферы в слое до 3000 м.

Следует отметить, что использование комплекса стандартных наблюдений в приводном слое удовлетворяет требованиям оценки условий атмосферной рефракции только на горизонтальных трассах распространения радиолучей и не обеспечивает эффективную оценку условий тропосферной рефракции в слое, необходимом для обеспечения решения задач ПВО надводного корабля (на наклонных трассах). В связи с этим наиболее перспективным является аэрологическое зондирование атмосферы с использованием парашютного способа доставки радиозонда с постановкой с авиационных или ракетных носителей.

Другие известные способы доставки радиозонда – шар-пилотный и радиопилотный – имеют ряд недостатков.

Так, принятый в ВМФ способ зондирования с помощью шаров-пилотов не гарантирует бесперебойного получения необходимых данных, так как неприменим при наличии сильного ветра и волнения. На точность определения метеопараметров этим методом влияют непостоянство вертикальной скорости шар-пилота, качка и тепловое поле корабля. При больших скоростях встречного ветра шар-пилот не достигает заданной высоты. Кроме того, для шар-пилотного способа зондирования характерна относительно высокая скорость подъема на начальном участке зондирования. При этом процесс подготовки к наблюдениям длительный, а подготовка и выпуск шара затруднительны в корабельных условиях.

Что касается времени, в течение которого производится подготовка к наблюдениям, их выполнение и обработка, то парашютный способ зондирования атмосферы также имеет значительные преимущества как перед шар-пилотным, так и перед радиопилотным способами. В частности, определение скорости и направления ветра до высоты 10 км с помощью парашютов составляет около 15 минут. На наблюдения в этих условиях шар-пилотным или радиопилотным способами необходимо затратить от 30 до 50 минут.

Преимущество доставки метеозонда в точку парашютным способом с помощью авиационных или ракетных носителей проявляется и в том случае, когда требуется произвести зондирование с движущегося корабля при сильных встречных ветрах, так как такая доставка возможна без ограничений по силе и направлению ветра.

Предлагаемый способ реализован в Интегрированной системе прогнозирования рефракции (IREPS), успешно используемой в ВМС США. В частности, применяется ее модификация, установленная на борту кораблей типа AEGIS [3]. Как описано в работе [3], эта система была оснащена малогабаритной бортовой ЭВМ. Радиозонд доставлялся на заданную высоту (700–800 м) специальной ракетой и после отсоединения опускался на парашюте. После отсоединения радиозонд начинал передавать информацию с дискретностью 4 м на приемник, который располагался на расстоянии 100 м от ЭВМ и был соединен опτικο-волоконным кабелем. Весь процесс сбора и обработки данных занимал около 30 минут. Радиозонд опускался на парашюте до точки приводнения, что позволяло осуществлять сбор данных о приводном слое, который, также имеет важное значения для оценки условий атмосферной рефракции при решении задач ПВО надводного корабля. Следует отметить, что такого результата невозможно достичь при использовании шар-пилотного и радиопилотного способов, когда оказывают влияние высота палубы и надстройки корабля.

Большое значение для оценки зон видимости корабельных РЛС имеет возможность учета тонкой структуры атмосферных волноводов, которая подвержена значительной изменчивости и может представлять собой сплошной слой или ряд независимых атмосферных волноводов (толщиной не менее 10 м). Для оценки тонкой структуры атмосферных волноводов и нижнего слоя тропосферы в целом необходимо проведение зондирования атмосферы с высокой дискретностью. Затем необходимо последовательно рассчитать градиенты температуры, влажности воздуха и показателя преломления атмосферы. Получение вертикальных профилей показателя преломления атмосферы позволяет стратифицировать интересующий нас слой тропосферы (от 0 до 3000 м) с заданной дискретностью и выдавать потребителям (прежде всего РТС корабля) данные для построения трехмерных зон видимости РЛС.

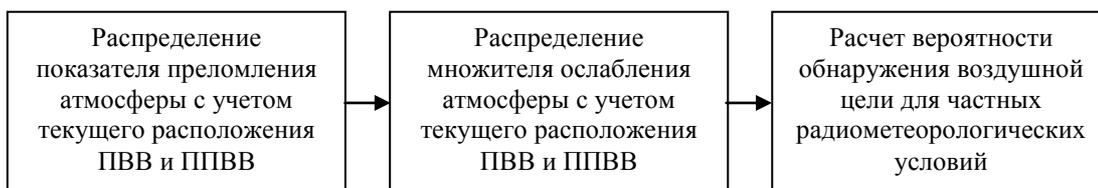
Для обнаружения воздушных целей решающее значение имеет взаимное расположение антенны РЛС корабля и воздушной цели. Ухудшение обнаружения наступает, когда их разделяет волновод или одна из границ волновода, поэтому за значимую изменчивость приводного атмосферного волновода (ПВВ) и приподнятого атмосферного волновода (ППВВ) можно принять:

- увеличение, уменьшение числа ППВВ;
- критическое смещение (повышение или понижение в пределах высот расположения антенн РЛС) нижней границы ППВВ (самого нижнего из серии ППВВ);
- критическое смещение (повышение или понижение) верхней границы ПВВ;
- рост толщины ППВВ;

- образование или отсутствие ПВВ;
- образование или отсутствие ППВВ.

Конечным результатом зондирования атмосферы в целях радиометеорологического обеспечения ПВО надводного корабля должно стать построение трехмерных зон видимости РЛС, которые включают в себя распределение вероятностей обнаружения воздушных целей, рассчитанных для конкретной РЛС и воздушных целей с известной отражательной способностью.

Порядок доведения до потребителя конечной информации об условиях атмосферной рефракции можно представить следующим образом:



Решение вопросов радиометеорологического обеспечения ВМФ в настоящее время идет по пути оценки радиометеорологического фона нижнего слоя атмосферы. Сведения об условиях рефракции в районе, получаемые от подразделений ГМС флота и выраженные в баллах радиолокационной наблюдаемости (РЛН), с успехом используются при определении средних условий атмосферной рефракции. Имея возможность получать с помощью оперативного аэрологического зондирования детальную количественную информацию о распределении атмосферной рефракции, нет необходимости переводить ее в баллы радиолокационной наблюдаемости для оценки трехмерных зон видимости РЛС.

По мнению авторов, помимо оперативной оценки условий атмосферной рефракции, краткосрочное прогнозирование этих условий может сочетать в себе комбинированный прогноз в баллах РЛН и количественных показателях изменчивости тонкой структуры нижнего слоя атмосферы.

Следует отметить, что изменчивость тонкой структуры нижнего слоя атмосферы выше, чем изменчивость ее радиометеорологического фона, поэтому необходимо начинать краткосрочное прогнозирование условий атмосферной рефракции с количественных показателей изменчивости тонкой структуры нижнего слоя атмосферы, а затем по мере роста заблаговременности прогноза переходить к балльной оценке РЛН.

Для оценки условий распространения радиоволн на наклонных трассах необходимо выявлять тонкую слоистую структуру атмосферы.

Выводы:

1. Метод метеорологических измерений, основанный на проведении оперативного зондирования атмосферы, является наиболее перспективным при решении задач радиометеорологического обеспечения ПВО надводного корабля. Он позволяет вскрывать тонкую слоистую структуру атмосферы, детально оценивать изменения атмосферной рефракции и выдавать потребителям РТС ВМФ необходимую количественную информацию для принятия решений в процессе организации и проведения ПВО надводного корабля.
2. Оперативное аэрологическое зондирование следует выполнять с помощью парашютного способа зондирования атмосферы, наиболее полно отвечающего современным потребностям радиометеорологического обеспечения ПВО надводного корабля.
3. Результаты оценки условий атмосферной рефракции для нужд ПВО надводного корабля должны передаваться потребителю информации в виде ряда последовательных значений показателя преломления атмосферы (в соответствии с получаемым вертикальным профилем) и далее пересчитываться в значения множителя ослабления атмосферы с выходом на вероятность обнаружения воздушных целей.
4. При производстве радиометеорологического обеспечения ПВО надводного корабля, в том числе при краткосрочном прогнозировании условий атмосферной рефракции, необходимо учитывать изменчивость тонкой структуры ПВВ и ППВВ и переходить к комбинированным прогнозам РЛН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бин Б. Р., Даттон Е. Дж. Радиометеорология. Пер. с англ. – Л. Гидрометеиздат, 1971. – 362 с.
2. Михайлов Н. Ф., Рыжков А. В., Шукин Г. Г. Радиометеорологические исследования над морем. – Л: Гидрометеиздат, 1990. – 206 с.
3. Thews E. R. Timely prediction of low-altitude radar performance in operational environments using in situ atmospheric refractivity data // Hydro International. – 2002. – Vol. 6. No 8. – P. 6–9 (англ.).

Prospects for Employment of Meteorological Measurements Method to Estimate the Radar Visibility Zones

A. A. FEDOROV (HDNO, RF MoD),
N. I. SHADRIN (GNINGI, RF MoD)

The advantages of meteorological observations method over the existing methods used to determine the atmospheric refraction as applied to solution of the radiometeorological support problems for the antiaircraft defence of a surface ship are shown.

ИНФОРМАЦИЯ

21 ИЮНЯ – ВСЕМИРНЫЙ ДЕНЬ ГИДРОГРАФИИ

Генеральная ассамблея Организации Объединенных наций одобрила резолюцию A/60/30 от 29 ноября 2005 года, в которой 21 июня объявляется Всемирным Днем Гидрографии. Об этом Руководящий комитет Международной гидрографической организации (МГО) сообщил гидрографическим службам государств-членов Организации. Ниже приводится текст Циркулярного письма МГО на английском языке и его перевод на русский.

INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC
ORGANIZATION



ORGANISATION HYDROGRAPHIQUE
INTERNATIONALE

IHB File N° S1/1900/A

CIRCULAR LETTER 08/2006

23 January 2006

WORLD HYDROGRAPHY DAY (WHD)

Reference:

- a) CL 11/2004 dated 11 February 2004
- b) CL 76/2005 dated 04 August 2005

Dear Hydrographer,

The Directing Committee is pleased to announce that the United Nations General Assembly (UN/GA), under the Agenda item on the Oceans and the law of the sea, adopted Resolution A/60/30 on 29 November 2005. This resolution includes the statement, “Welcomes the adoption by the International Hydrographic Organization of the “World Hydrography Day”, to be celebrated annually on 21 June, with the aim of giving suitable publicity to its work at all level and of increasing the coverage of hydrographic information on a global basis, and urges all States to work with that organization to promote safe navigation, especially in the areas of international navigation, ports and where there are vulnerable or protected marine areas”. The Directing Committee wishes to express its thanks to the Government of Monaco as the host country of the IHO, and the Government of Brazil for all the efforts made by their Permanent missions to UN, in finalizing the drafting and coordinating the integration of this recognition into the Oceans and law of the sea Resolution. We also wish to thank all those Member States that supported the text of this recognition during its discussion at the UN/GA. This Resolution brings to a very satisfactory conclusion the efforts of the Bureau, over the past three years, to achieve recognition of the WHD by the UN/GA.

The Directing Committee proposes the following actions in order to celebrate the WHD on the 21st of June every year:

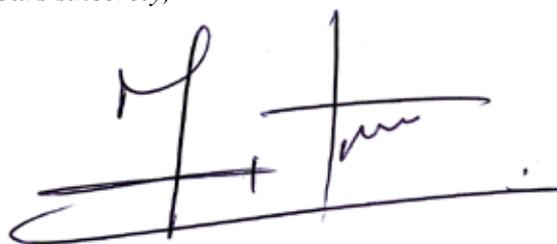
- *The WHD will be celebrated nationally by Hydrographic Offices and internationally by the IHB in Monaco;*
- *The Directing Committee will select a “theme” for the celebrations each year and propose it to Member States. For the first year of the celebrations in 2006 the DC proposes the theme “85 years of the IHO contributing to worldwide safety to navigation”;*
- *The Directing Committee will prepare a Press Release for use in Monaco which Member States may also use in the support of their own celebrations. The Bureau will organize a Press Conference in Monaco in order to highlight the significance of the celebrations to the local Media;*
- *An official reception will be organized on the terrace of the Bureau to which will be invited His Serene Highness Prince Albert II of Monaco, representatives of the Government and diplomatic missions, other organizations, the local maritime industry, local press and other interested bodies.*

Member States are requested to bring to the attention of their Governments, appropriate Administrations, the local maritime industry and other interested bodies, the Resolution of the UN/GA for the recognition of the WHD and through this the significance of the IHO and its Member States Hydrographic Offices contribution to safety of navigation, protection of the marine environment, development and security. HOs should organize their national celebrations, taking into account where appropriate, the manner in which the Bureau proposes to celebrate the WHD in Monaco.

The Directing Committee will send a separate letter to the Government of Monaco, thanking them for the efforts of their mission to the UN, explaining the way in which the Organization plans to celebrate the WHD and asking for their support if needed. The Directing Committee will also send letters to other relevant International Organizations (IMO, IOC, IALA), bringing the Resolution of the UN/GA to their attention.

Member States are requested to provide any comments/observations that may have on this matter.

*On behalf of the Directing Committee
Yours sincerely,*



*Vice Admiral Alexandros MARATOS
President*

МЕЖДУНАРОДНАЯ ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

Файл МГБ S1/1900/A

Циркулярное письмо МГБ 08/2006
от 23 января 2006 года

ВСЕМИРНЫЙ ДЕНЬ ГИДРОГРАФИИ

Документы по теме:

- a) ЦП 11/2004 от 11 февраля 2004 г.*
- b) ЦП 76/2005 от 04 августа 2005 г.*

Уважаемый Начальник Гидрографической службы!

Руководящий комитет с удовольствием объявляет, что 29 ноября 2005 года Генеральная Ассамблея ООН (ГА, в рамках рассмотрения пункта Повестки дня по океанам и морскому праву приняла Резолюцию A/60/30. В данную резолюцию включено заявление: «...ГА приветствует принятие Международной гидрографической организацией «Всемирного дня гидрографии», который будет отмечаться ежегодно 21 июня с целью придать ее работе надлежащую известность на всех уровнях и увеличить покрытие гидрографической информацией во всемирном масштабе, и призывает все государства работать вместе с этой организацией для того, чтобы способствовать безопасности мореплавания, особенно в районах международного судоходства, портах и там, где имеются уязвимые в экологическом отношении или защищаемые особым режимом морские районы». Руководящий комитет хочет выразить свою благодарность Правительству Монако как стране, где размещается штаб-квартира МГО и Правительству Бразилии за все усилия, предпринятые ее Постоянными миссиями при ООН, в деле завершения подготовки проекта и координации включения признания Дня гидрографа в Резолюцию по океанам и морскому праву. Мы также хотим поблагодарить все те государства-члены, которые поддержали текст данного признания во время его обсуждения в ГА. Эта Резолюция приводит к весьма удовлетворительному завершению всех усилий Бюро, которые предпринимались на протяжении трех последних лет, с целью достижения признания Всемирного дня гидрографии (ВДГ) Генеральной ассамблеей ООН.

Руководящий комитет (РК) предлагает следующие мероприятия в ознаменование ВДГ 21 июня текущего года:

- ВДГ будет праздноваться в национальном масштабе гидрографическими службами и в международном масштабе МГБ в Монако;*
- Руководящий комитет (РК) выберет «тему» для празднования каждого года и предложит ее государствам-членам (ГЧ). Для первого года, когда будет отмечаться ВДГ, – 2006 года – Руководящий комитет предлагает следующую тему: «85-летний вклад МГО во всемирную безопасность мореплавания»;*
- РК подготовит пресс-релиз для использования в Монако, его также смогут использовать ГЧ для своих собственных празднований. Бюро организует пресс-конференцию в Монако, чтобы подчеркнуть значимость этого события для местных средств массовой информации;*

- *На террасе Бюро будет организован прием, на который будет приглашен Е.В. Князь Монако Альберт II, представители Правительства и дипломатических миссий, других организаций, местной морской промышленности, местной прессы и других заинтересованных сторон.*

Просим ГЧ довести до внимания ваших Правительств, соответствующих органов управления, местной морской промышленности и других заинтересованных сторон Резолюцию Генеральной Ассамблеи ООН о признании Всемирного дня гидрографии и, таким образом, значимости МГО и вклада гидрографических служб ее государств-членов в безопасность мореплавания, защиту морской среды, развитие и безопасность. Гидрографическим службам следует организовать свои национальные празднования, принимая во внимание в уместных случаях то, как Бюро предлагает отметить ВДГ в Монако.

РК отправит Правительству Монако отдельное письмо с благодарностью за те усилия, которые предприняла их миссия при ООН, и с объяснением того, как Организация планирует отметить ВДГ, а также с просьбой оказать помощь в необходимых случаях. РК также отправит письма другим соответствующим международным организациям (ИМО, МОК, МАМС), доводя Резолюцию ГА до их внимания.

Просим государства-члены представить любые комментарии/наблюдения, которые у них могут быть по данному вопросу.

*По поручению Руководящего комитета,
искренне Ваши,
вице-адмирал Александрос МАРАТОС,
президент*

Перевод с англ. Ю. О. Петровой

Идея узаконить Всемирный День Гидрографии возникла в Гидрографическом обществе России, и в 1999 г. было подготовлено обращение к гидрографам мирового сообщества с предложением об учреждении такого дня. Это обращение опубликовано в журнале «Навигация и гидрография» (1999, №9), который регулярно высылается в МГО, а также в международное и немецкое гидрографические общества. В журнале «The Hydrographic Journal» (April 2000, No 96) было опубликовано сообщение о нашем воззвании, на которое откликнулись гидрографы ряда стран. Ниже приводим тексты обращения (на русском и английском языках) и сообщения, опубликованные в упомянутых журналах.

ОБРАЩЕНИЕ К ГИДРОГРАФАМ МИРОВОГО СООБЩЕСТВА

Человечество с древнейших времен осваивало Мировой океан. Морские торговые пути сегодня связывают десятки стран мира пяти континентов. Рыбопромысловые суда добывают морепродукты за тысячи миль от своих родных берегов. Активно разрабатываются месторождения нефти и газа, расположенные на континентальном шельфе. Археологи, изучая древнейшие цивилизации, обследуют города, за тысячелетия поглощенные водой.

Вся эта деятельность неразрывно связана с работой гидрографов – гражданских и военных специалистов, с давних пор занимающихся обеспечением безопасности судоходства, а также исследованием и описанием географических и геофизических характеристик океанов и морей.

Трудами многих поколений гидрографов на побережьях материков и островов создано современное навигационное оборудование, организована система навигационных предупреждений, изданы миллионы листов морских карт, тысячи и тысячи томов руководств для плавания. Сотни гидрографических судов постоянно находятся в плавании, обследуя еще недостаточно изученные районы Мирового океана. Во время этих экспедиций сделаны уникальные открытия, исследован характер подводного рельефа и определены геофизические характеристики вод всех четырех океанов и большинства морей земного шара.

Заслуги гидрографов различных стран перед мировым сообществом столь велики, а выполняемые ими задачи столь сходны, что Российское Гидрографическое общество сочло возможным обратиться к Международной Гидрографической организации с предложением об учреждении Международного Дня Гидрографа – профессионального праздника специалистов, посвятивших себя проблемам повышения безопасности мореплавания и исследованию Мирового океана. Таким днем могло бы стать 13 октября – дата, знаменующая закрытие полевого сезона работ для гидрографов стран северного полушария, поскольку именно эти страны обладают приоритетом в указанной области деятельности.

Сегодня нет сомнений в том, что XXI век будет веком интенсивного использования ресурсов Мирового океана. Учредив Международный День Гидрографа, мы отдадим дань уважения тем, кто самоотверженно изучал и осваивал его в прошлом, подчеркнем важность и значимость труда наших современников и вдохновим тех, кто последует за нами.

Обращаясь к гидрографам всего мира, мы рассчитываем на одобрение и поддержку наших инициатив.

*Принято на ежегодном общем собрании членов Гидрографического Общества.
Санкт-Петербург (Россия)*

Президент Гидрографического Общества



Н. Н. Неронов

20 ноября 1999 г

APPEAL TO HYDROGRAPHERS OF THE WORLD COMMUNITY

Since the ancient times the mankind has been exploring the World ocean. Nowadays the sea trade routes connect dozens of countries on the world's five continents. Fishing vessels operate in locations thousands of miles away from their native shores. Oil and gas fields are actively developed on the continental shelf. Archeologists studying the ancient civilizations, investigate the towns that had been deluged thousands of years ago.

All these activities are inseparably linked with the work of hydrographers – civil and military specialists engaged, for a long time, in provision of the navigation safety as well as in the investigation and description of the geographic and geophysical characteristics of the oceans and seas.

Thanks to the work of many generations of hydrographers, modern navigation equipment has been installed on the coasts of the continents and islands, the system of navigational warnings has been created, millions of chart sheets and thousands upon thousands of sailing directions have been produced. Hundreds of the hydrographic vessels operate permanently at sea, investigating the still insufficiently studied areas of the World ocean. In the course of these expeditions, unique discoveries have been made, the submarine relief features have been studied and geophysical characteristics have been determined for the waters of all the four oceans and most of the World's seas.

The services rendered by the hydrographers of different countries to the world community are so great and the tasks carried out by them are so similar that the Russian Hydrographic Society has considered it necessary to appeal to the International Hydrographic Organization, proposing to establish an International Day of the Hydrographer – the professional holiday of specialists who devoted their lives to the problems of increasing the navigation safety and investigating the World ocean. This day could be fixed for October 13 - the date that signifies the end of the field season for the hydrographers of the countries located in the northern hemisphere because these countries have the priority in the above-mentioned sphere of the activities.

Today there is no doubt that the XXI century will be the century of the intensive use of the World ocean resources. Having established an International Day of the Hydrographer, we shall pay the tribute of respect to those people who selflessly studied and developed the World Ocean in the past, emphasize the importance and significance of the work of our contemporaries and inspire those hydrographers who will follow us.

Appealing to the hydrographers throughout the world, we hope that our initiative will be approved and supported.

The appeal has been adopted at the Annual General Meeting of the members of the Hydrographic Society.

St. Petersburg, Russia

President of the Hydrographic Society



N. N. Neronov

November 20, 1999

Публикация в «The Hydrographic Journal»

INTERNATIONAL DAY OF THE HYDROGRAPHER

The St Petersburg-based Russian Hydrographic Society is appealing for support in the establishment of an International Day of the Hydrographer which, it says, could become an annual holiday for those engaged in increasing the safety of navigation and exploration of the world's oceans. Such a day could be 13 October, which usually signifies the end of the field season for those countries in the northern hemisphere. It could be marked by official tributes to leading hydrographers, both past and present.

Expressions of support and further ideas should be forwarded to: Dr Prof. Nikolay Neronov, President, Russian Hydrographic Society, 41 Kozchievonnaja Linija 41, St Peterburg, Russia 199106.

В дальнейшем обоснование и предложение установить Всемирный День Гидрографа были переданы Начальнику ГУНиО адмиралу А. А. Комарицыну, который представил «Предложения» на Международной гидрографической конференции в Монако в 2002 г. «Предложения» были отредактированы в МГО, приняты и представлены в ООН. В результате окончательно определилась дата празднования Всемирного Дня Гидрографа – 21 июня.

Определение этой памятной даты международным сообществом не отменяет День Гидрографа – 13 октября, введенный приказом ГК ВМФ №15 от 17.01.1997 г., – праздник Гидрографической службы ВМФ России.



Члены Гидрографического общества на первой встрече в честь «Всемирного дня гидрографии». Для встречи было выбрано место захоронения знаменитых гидрографов Российской Империи

Поздравляем всех гидрографов со Всемирным Днем Гидрографа, который будет отмечаться 21 июня!

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

АЛЕКСЕЕВ Сергей Петрович, начальник ГНИНГИ МО РФ, заслуженный военный специалист РФ, председатель СПб регионального отделения Российского общественного института навигации, академик Академии транспорта РФ, контр-адмирал, докт. техн. н. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – штурман. Автор более 100 печатных трудов.

АНОСОВ Виктор Сергеевич, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, канд. техн. наук, старший научный сотрудник. Окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения. Специалист в области гидрометеорологического обеспечения сил и средств ВМФ. Автор более 50 печатных трудов, 40 авторских свидетельств и патентов.

БАРИНОВ Владимир Николаевич, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 2 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – навигация.

БЕЛЕВИЧ Михаил Юрьевич, ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского филиала Института океанологии РАН, кандидат физ.-мат. наук. Окончил Ленинградский электротехнический институт (специальность – радио-инженер); Ленинградский государственный университет (специальность – математик). Автор 26 научных трудов.

БЕЛИКОВ Андрей Анатольевич, заместитель начальника штурманского цикла военной части № 53001, капитан 2-го ранга. Окончил Высшее военно-морское училище подводного плавания. Специализация: навигация, тренажеростроение.

ВАРЛАМОВ Владимир Владимирович, руководитель проекта в ЗАО «Морские навигационные системы». Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Специализация: навигация, тренажеростроение.

ГАВРИЛОВ Владимир Валентинович, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, подполковник в отставке. Окончил Ленинградский государственный университет. Специализация – спутниковая навигация. Автор более 60 печатных работ.

Sergey P. ALEKSEYEV, Chief of the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Rear-Admiral, DSc, Honoured Military Specialist, chairman of St. Petersburg regional branch of the Russian Public Institute of Navigation, member of the Academy of Transport, RF. Graduated from Frunze Naval College and Naval Academy Speciality: navigation. Author of more than 100 publications.

Victor S. ANOSOV, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Cand Sc. Graduated from Leningrad Institute of Aircraft Device Building. Sphere of scientific interests: hydrometeorological support for forces and means of the Navy. Author of more than 50 publications, 40 author's certificates and patents.

Vladimir N. BARINOV, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Captain 2nd rank. Graduated from Frunze Naval College and Kuznetsov Naval Academy. Speciality: navigation.

Mikhail Y. BELEVICH, leading researcher, St. Petersburg Branch, Shirshov Institute of Oceanology, RAS, CandSc. Graduated from Leningrad Electrotechnical Institute, Leningrad State University. Speciality: radio engineering, mathematics. Author of 26 publications.

Andrei A. BELIKOV, Military Unit No. 53001, Deputy Chief of Navigation Section. Captain 2-nd Rank. Graduated from Naval College of Submarine Sailing. Speciality: navigation: simulator engineering.

Vladimir V. VARLAMOV, project manager, «Marine Navigation Systems», closed-type joint stock company. Graduated from Frunze Naval College. Speciality: navigation: simulator engineering.

Vladimir V. GAVRILOV, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Colonel (Ret.). Graduated from Leningrad State University. Leningrad State University Speciality: satellite navigation. Author of more than 60 publications.

ГОРЧАКОВ Виктор Анатольевич, старший научный сотрудник Санкт-Петербургского филиала Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, канд. физ.-матем. наук. Окончил Ленинградский государственный университет. Специализация – моделирование океанской циркуляции и биогеохимических циклов. Автор 12 научных трудов.

ГОРДЕЕВА Светлана Михайловна, ведущий инженер Санкт-Петербургского филиала Института океанологии РАН. Окончила Ленинградский Гидрометеорологический институт. Специальность – инженер-океанолог. Автор более 30 научных работ.

ГОРШКОВ Валерий Николаевич, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга в отставке. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Академические курсы офицерского состава. Специализация: гидрография. Автор 20 печатных работ.

ДАНИЛОВА Галина Кирилловна, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ. Окончила Петрозаводский государственный университет. Специализация – навигация. Автор около 100 печатных трудов.

ДРОЗДОВ Александр Ефимович, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, канд. техн. н., капитан 1 ранга (в запасе). Окончил Ленинградский электротехнический институт. Специализация – гидрометеорологическое обеспечение ВМФ. Автор 12 печатных трудов.

ДВОРНИКОВ Антон Юрьевич, инженер-программист Санкт-Петербургского филиала Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, канд. физ.-матем. н. Окончил Государственную морскую академию им. адм. С. О. Макарова. Специализация – моделирование циркуляции океана и морских льдов. Автор 7 научных публикаций.

ДОБРОТВОРСКИЙ Александр Николаевич, заместитель начальника ГНИНГИ, член-корреспондент Академии Инженерных наук РФ, полковник, докт. техн. н., профессор. Окончил военную инженерно-космическую академию им. А. Ф. Можайского. Специализация: системное проектирование. Автор около 170 печатных трудов.

Victor A. GORCHAKOV, senior researcher, St. Petersburg Branch, Shirshov Institute of Oceanology, RAS, CandSc. Graduated from Leningrad State University. Speciality: modelling the ocean circulation and biochemical cycles. Author of 12 publications

Svetlana M. GORDEEVA, leading engineer, St. Petersburg Branch, Shirshov Institute of Oceanology, RAS. Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute. Speciality: engineer-oceanologist. Author of more than 30 publications

Valery N. GORSHKOV, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Captain 1-st Rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College and Academy Officers' Courses. Speciality: hydrography. Author of more than 20 publications.

Galina. K. DANILOVA, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Graduated from the Petrozavodsk State University. Speciality: navigation. Author of about 100 publications.

Alexander E. DROZDOV, leading researcher, State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Cptain 1-st rank (Ret.), CandSc. Graduated from Leningrad Electrotechnical Institute. Speciality: hydrometeorological support for forces and means of the Navy. Author of 12 publications.

Anton Y. DVORNICOV, engineer-programmer, St. Petersburg Branch, Shirshov Institute of Oceanology, RAS, CandSc. Graduated from Makarov Sytate Maritime Academy. Speciality: modeling the ocean circulation and sea ice. Author of 7 publications.

Alexandr N. DOBROTVORSKY, Deputy Chief of the State Research Navigation-Hydrographic Institute, Colonel, DSc, professor, Corresponding Member of the Academy of Engineering Sciences RF. Graduated from Mozhaisky Military Space Academy. Speciality: system design. Author of about 170 publications.

ДРУЖЕВСКИЙ Сергей Анатольевич, начальник отдела ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация: гидрография и гидрометеорология. Область научных интересов: организация морских инженерных изысканий; влияние природной среды на безопасность строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений. Автор более 20 печатных трудов.

ДУБИНКО Юрий Сергеевич, ведущий специалист КБ «Навис», капитан 1 ранга (в отставке), канд. техн. н., доцент. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1966). Специализация – спутниковая радионавигация. Автор более 50 печатных трудов, в том числе двух монографий

ЖУКОВ Юрий Николаевич, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, канд. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт. Специализация – гидрометеорология. Автор более 30 печатных трудов.

ЗУБЧЕНКО Эдуард Семенович, преподаватель кафедры военной гидрографии и океанографии Военно-морской академии, капитан 1 ранга в отставке, докт. техн. н., старший научный сотрудник. Окончил высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе, Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – гидрография, аэрокосмические методы сбора гидрографической информации. Автор 16 печатных трудов.

ИВАНОВ Борис Евгеньевич, главный научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга в отставке, докт. техн. н., профессор, лауреат Государственной премии РФ, заслуженный деятель науки и техники, председатель секции НТО им. акад. А. Н. Крылова. Окончил Балтийское высшее военно-морское училище, Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – морская геодезия, гравиметрия, гидрография, навигация. Автор около 200 печатных трудов.

Sergei A. DRUZHEVSKY, chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Captain 1-st rank. Graduated from Frunze Naval College and Naval Academy. Speciality: hydrography and hydrometeorology. Sphere of scientific interests: organization of marine engineering surveys investigations, influence of environment on the construction and exploitation. Author of more than 20 publications.

Yuri S. DOUBINKO, leading specialist of «Navis» Design Bureau, Captain 1-st rank (Ret.), CandSc, senior researcher. Graduated from Frunze Naval College and Naval Academy. Speciality: satellite radionavigation. Author of more than 50 publications, including two monographs.

Yuri N. ZHUKOV, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, CandSc. Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute. Speciality: hydrometeorology. Author of more than 30 publications.

Edward S. ZUBCHENKO, teacher, Department of Military Hydrography and Oceanography, the Naval Academy, DSc, senior researcher, Captain 1-st rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College, the Naval Academy. Speciality: hydrography, aerospace methods of collecting the hydrographic information. Author of 16 publications.

Boris E. IVANOV, chief researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Captain 1-st rank (Ret.), DSc, professor, RF State Prize Winner, Honoured Scientist, chairman of Krylov STO section. Graduated from Baltic Naval College and Naval Academy. Speciality: marine geodesy, gravimetry, hydrography, navigation. Author of about 200 publications.

ИЛЬЮЩЕНКО Григорий Иванович, начальник лаборатории ГНИНГИ МО РФ, капитан 2 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Специалист в области гидрометеорологического обеспечения сил и средств ВМФ. Автор 12 опубликованных работ и двух патентов.

КОНОПЛЕВ Владимир Николаевич, старший научный сотрудник Санкт-Петербургского филиала Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, канд. физ.-матем. н.

Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт. Специализация – моделирование циркуляции океана и морей. Автор 14 научных публикаций.

ЛАВРЕНОВ Игорь Викторович, начальник отдела океанологии Государственного научного центра РФ Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, докт. физ.-мат. наук. Окончил Московский физико-технический институт. Сфера научных интересов – физическая океанография, волновые процессы. Автор более 200 научных публикаций, из которых пять монографий.

ЛАПШИН Вадим Иванович, заместитель начальника отдела ГНИНГИ МО РФ, капитан 2 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Высшие специальные офицерские классы. Специализация – гидрометеорология. Автор четырех печатных работ.

ЛЕБЕДЕВ Кирилл Нордович, начальник группы в ГУНИО МО РФ, капитан 1-го ранга. Окончил Высшее военно-морское училище подводного плавания, Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – навигация, тренажеростроение.

ЛИБЕРМАН Юрий Маврикович, руководитель сектора Санкт-Петербургского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с региональными функциями, канд. физ.-матем. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт. Специализация: численный прогноз погоды, обработка метеорологической информации.

Grigory I. ILYSHCHENKO, chief of laboratory, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Captain 2-nd rank. Graduated from Frunze Naval College. Sphere of scientific interests: hydrometeorological support for forces and means of the Navy. Author of 12 publications and two patents.

Vladimir N. KONOPLEV, senior researcher, St. Petersburg Branch, Shirshov Institute of Oceanology, RAS, CandSc. Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute. Speciality: modelling the circulation of ocean and seas. Author of 14 publications.

Igor V. LAVRENOV, chief of department of oceanology, the State Research Centre of the Russian Federation «The Arctic and Antarctic Research Institute of Roshydromet», chief researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, DSc. Graduated from Moscow Phisico-technical Institute. Sphere of scientific interests: physical oceanography, wave processes. Author of more than 200 publications, including five monographs.

Vadim I. LAPSHIN, deputy Chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Captain 2-nd rank. Graduated from Frunze Naval College, Higher Special Officers' Classes. Speciality: hydrometeorology. Author of four publications.

Kirill N. LEBEDEV, Chief of Group, the Head Department of Navigation and Oceanography, RF MoD. Capitan 1-st Rank. Graduated from Naval College of Submarine Sailing, Kuznetsov Naval Academy. Speciality: navigation: simulator engineering. Author of 5 publications.

Yuri M. LIBERMAN, head of sector, St. Petersburg Centre for Hydrometeorology and Environment Monitoring with regional functions, CandSc. Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute. Speciality: numerical weather forecast, meteorological information processing.

ЛОБОЙКО Борис Иванович, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга в запасе, докт. техн. н., академик Академии военных наук, почётный геодезист. Окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники им. С. Попова. Специализация – радиосвязь, навигация. Автор более 70 печатных трудов.

МАЛЕЕВ Павел Иванович, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга в отставке, докт. техн. н. Окончил Казахский государственный университет, Специальные курсы при Военно-морской академии им. А. Н. Крылова. Специализация – технические средства навигации. Автор около 220 печатных трудов.

МАСТРИУКОВ Сергей Иванович, начальник отдела ГНИНГИ МО РФ, полковник, канд. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт. Специализация – океанология. Автор около 100 печатных трудов.

ПЫЛАЕВ Андрей Александрович, зав. лабораторией НИИ Радиофизики Санкт-Петербургского государственного университета, канд. физ.-мат. наук. Окончил Ленинградский государственный университет. Специализация – радиофизика. Автор 24 научных работ.

РЯБЧЕНКО Владимир Алексеевич, заведующий лабораторией в Санкт-Петербургском филиале Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, докт. физ.-матем. наук. Окончил Московский физико-технический институт. Специализация – моделирование циркуляция океана и морских экосистем. Автор 62 опубликованных научных трудов.

САФРАЙ Аркадий Саулович, заведующий лабораторией в Санкт-Петербургском филиале Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, кандидат физ.-мат. наук. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт и курсы при математико-механическом факультете Ленинградского государственного университета. Специализация – математика, метеорология. Автор более 50 трудов, в том числе трех монографий.

СМИРНОВ Борис Михайлович, старший научный сотрудник АОЗТ «Криомаг». Окончил Московский энергетический институт. Специализация – магнитометрия. Автор более 100 печатных трудов.

Boris I. LOBOIKO, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Captain 1st rank (Ret.), DSc, academician of the Academy of Military Sciences, Honoured Geodesist. Graduated from Popov Naval College of Raioelectronics. Speciality: radio communications, navigation. Author of more than 70 publications.

Pavel I. MALEYEV, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Captain 1st rank (Ret.), DSc. Graduated from Kazakh State University, Specialized Course at Krylov Naval Academy. Speciality: technical means of navigation. Author of about 200 publications.

Sergei I. MASTRYUKOV, chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Colonel, CandSc. Graduated from St. Petersburg Hydrometeorological Institute. Speciality: oceanology. Author of about 100 publications.

Andrey A. PYLAEV, head of laboratory, Research Institute of Radiophysics, St. Petersburg State University, CandSc. Graduated from Leningrad State University, majoring in radiophysics. Author of 24 publications.

Vladimir A. RYABCHENKO, head of laboratory, St. Petersburg Branch, Shirshov Institute of Oceanology, RAS, DSc. Graduated from Moscow Physico-Technical Institute. Speciality: modeling the ocean circulation and marine ecosystems. Author of 62 publications.

Arcady S. SAFRAI, head of laboratory, St. Petersburg Branch, Shirshov Institute of Oceanology, RAS, CandSc. Graduated from St. Petersburg Hydrometeorological Institute and courses at the mathematical-mechanical faculty of Leningrad State University. Speciality: mathematics, meteorology. Author of more than 50 publications, including three monographs.

Boris M. SMIRNOV, senior researcher, «Criomag» Closed Joint Stock Company, CandSc. Graduated from Moscow Energetics Institute. Speciality: magnetometry. Author of more than 100 publications.

СМИРНОВ Константин Александрович, заместитель генерального директора и директор департамента №2 ЗАО «Морские навигационные системы». Окончил Ленинградский кораблестроительный институт; Санкт-Петербургский государственный университет. Специализация – навигация, тренажеростроение.

ТАМКУН Людмила Григорьевна, ведущий программист НИИ Радиофизики Санкт-Петербургского государственного университета. Окончила Ленинградский государственный университет. Специализация – радиофизика. Автор семи печатных работ.

ТКАЧЕНКО Игорь Вячеславович, старший научный сотрудник Санкт-Петербургского филиала Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, кандидат физ.-мат. наук. Окончил Санкт-Петербургский государственный морской технический университет. Специализация – гидродинамика. Автор более 30 трудов.

ТРЕГУБОВ Виктор Свиридович, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ. Окончил Государственную морскую академию им. адм. С. О. Макарова. Область научных интересов – радионавигация. Автор 80 печатных трудов.

ФЕДОРОВ Александр Анатольевич начальник отдела ГУНИО МО РФ, капитан 1 ранга, канд. техн. н., старший научный сотрудник. Окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники им. А. С. Попова. Специализация – гидрометеорологическое обеспечение ВМФ. Автор более 30 печатных трудов.

ШАДРИН Николай Игоревич, заместитель начальника отдела ГНИНГИ МО РФ, капитан 2 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Специализация – гидрометеорологическое обеспечение ВМФ. Автор 5 печатных работ.

ШАРОМОВ Вадим Юрьевич, главный специалист Гидрометеорологической службы ВМФ, капитан 1 ранга запаса. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт. Специализация – гидрометеорологическое обеспечение ВМФ. Автор 7 печатных работ.

Konstantin A. SMIRNOV, Deputy Director General, Director of Department No.2, «Marine Navigation Systems», closed-type joint stock company. Graduated from Leningrad Shipbuilding Institute; St. Petersburg State University. Speciality: navigation: simulator engineering.

Lyudmila G. TAMKUN, leading programmer, the Research Institute of Radiophysics, St. Petersburg State University. Graduated from Leningrad State University. Author of seven publications.

Igor V. TKACHENKO, senior researcher, St. Petersburg Branch, Shirshov Institute of Oceanology, RAS, CandSc. Graduated from St. Petersburg State Maritime Technical University. Speciality: hydrodynamics. Author of more than 30 publications.

Victor S. TREGUBOV, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF. Graduated from Makarov State Maritime Academy. Speciality: radionavigation. Author of 80 publications.

Alexander A. FEDOROV, chief of division, the The Head Department of Navigation and Oceanography, MoD RF. CandSc, Captain 1-st rank. Graduated from Popov Naval College of Radioelectronics. Speciality: hydrometeorological support for the Navy. Author of more than 30 publications.

Nikolai I. Shadrin, deputy chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Captain 2-rd rank. Graduated from Frunze Naval College. Speciality: hydrometeorological support for the Navy. Author of 5 Author of 24 publications.

Vadim Y. SHAROMOV, Chief Specialist of the Navy Hydrometeorological Service, Capitan 1-st Rank (Ret.). Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute. Speciality: hydrometeorological support for the Navy. Author of seven publications