

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ



НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

Издается с 1995 года

1
1995

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санкт-Петербург

Главный редактор В.С.Макода

Редакционная коллегия:

**С.П.Алексеев (заместитель главного редактора),
Ю.И.Базаров, А.И.Баранов (секретарь), Б.Н.Беляев,
П.Г.Бродский, В.Л.Галахов, А.А.Дадашев,
В.Г.Дзюба, А.Н.Добротворский, Г.И.Емельянец,
Б.Е.Иванов, И.В.Козырь, П.И.Малеев,
Н.А.Минаев, А.П.Михайловский,
Н.Н.Неронов, В.И. Пересыпкин, В.Г.Пешехонов,
В.Н.Раскатов, А.Е.Сазонов,
А.Н.Солощев, А.И.Сорокин, В.В.Стрела,
А.В.Федотов, В.Н.Фрадкин**

Ответственный за выпуск В.М.Хвиюзов

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

Уважаемый читатель!

Перед Вами первый номер журнала **“Навигация и гидрография”**, выпуск которого знаменует новый этап консолидации творческих усилий коллектива Гос. НИНГИ. Хорошо известный среди отечественных специалистов наш Институт в силу специфики своей принадлежности к ВМФ до недавнего времени еще не имел вневедомственного выхода на широкие круги научно-технической общественности.

Постановление Правительства Российской Федерации от 19.06.94 г. N711 повысило статус Института до Государственного. Новые функциональные обязанности головной по своему профилю российской научной организации неизбежно привели к необходимости создания общедоступного печатного органа. Основная задача его – служить трибуной для ученых и практиков, работы которых способствуют формированию общей концепции и отражают перспективы развития навигации и гидрографии.

В своей практической деятельности журнал **“Навигация и гидрография”** имеет своей главной целью выработку единых взглядов у различных ведомств России и стран СНГ на основные пути совершенствования средств и методов навигации, гидрографии, океанографии, гидрометеорологии, морской картографии и экологии. В тематическом плане основное внимание будет уделяться освещению концептуальных положений науки, оперативной публикации результатов новейших теоретических исследований, описанию передовых технических достижений, отражению материалов конференций, симпозиумов и т.п.

Периодичность нового издания пока запланирована на уровне двух выпусков в год. В дальнейшем, по мере становления журнала, возможен переход на ежеквартальную подготовку номеров.

От имени редколлегии хочу выразить уверенность на перспективу в развитии тесных творческих контактов со всеми без исключения заинтересованными в этом специалистами России, а также стран ближнего и дальнего зарубежья.

Ваши предложения, пожелания и возможные отзывы прошу направлять по адресу: Россия, 199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41.

Тел.: (812) 217-1966. Факс (812) 217-3319. E-mail: editor@nhi.spb.ru.

Приглашаю Вас открыть первый номер журнала **“Навигация и гидрография”**, рождение которого происходит в преддверие исторической даты – 300-летия Российского флота.

**Главный редактор,
начальник Гос. НИНГИ МО РФ,
контр-адмирал**

В.С.Макода

ПАМЯТКА АВТОРУ

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ, НАПРАВЛЯЕМЫХ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ «Навигация и гидрография»

Редакция принимает материалы для опубликования в журнале как в традиционной, так и в электронной форме, причем последним при подготовке текущего номера отдается предпочтение. Возможна комбинированная форма представления материалов, – текст в электронной форме, а рисунки и формулы – в виде оригинал-макетов.

Общие требования к статьям

1. Объем статьи не должен превышать 8 стр., для статьи обзорно-исторического характера – до 15 стр. Количество рисунков и таблиц – не более 5 (по каждой позиции).

2. Статья (в одном экземпляре) должна иметь индекс УДК, сопровождаться аннотацией (помещается после названия), рефератом и списком использованной литературы. Объем аннотации до 800 печатных знаков, реферата – до 1600 знаков. Аннотацию и реферат желательно представлять не только на русском языке, но также и на английском.

3. Все рисунки или фотографии должны иметь порядковый номер, размер – не более формата **A4 (297x210 мм)** и черно-белое исполнение. Не рекомендуется использование мелких штриховок и заливок (не читаемых сканером с разрешением 300 точек на дюйм).

4. Сведения, содержащие цифровые данные, которые допускают систематизацию (например, характеристики аппаратуры, результаты испытаний и пр.), рекомендуется оформлять в виде таблиц размером не более страницы. Каждая из них должна иметь свой заголовок и порядковый номер. Сокращения слов в таблицах не допускаются.

5. Все числовые значения в тексте, на рисунках и в таблицах должны соответствовать единицам, принятым в системе СИ.

6. Список использованной литературы должен быть составлен на языке оригинала (исключение – языки с иероглифическим написанием слов, например, японский) в порядке ссылок на источники по тексту.

Требования к статьям, представляемым в электронной форме

1. Предпочтительно представление статей, подготовленных в формате текстового редактора **MS Word 6.0 for Windows**, а также других систем, для которых имеются стандартные конвертеры Word 6.0. При оформлении использовать только стандартные шрифты, поставляемые с системой Windows.

2. При подготовке текста статьи средствами текстовых редакторов **LEXICON, MultiEdit, «Слово и дело»** и др. (подставляющих символ конца абзаца в каждую строку) не использовать элементы оформления текста средствами перечисленных редакторов (жирный шрифт, курсив, формулы и т.п.), формулы представлять в виде оригинал-макетов. Кодировка – **ASCII**.

3. Для диаграмм и графиков предпочтительно использование **векторных форматов**, импортируемых в MS Word 6.0 for Windows и одновременное представление оригинал-макета. Растровая графика (только черно-белая) может быть представлена в формате **TIFF** или **PCX** с разрешением **300 DPI**.

4. Материалы, отправляемые посредством электронной почты, направлять на адрес **E-mail: editor@nhl.spb.ru** в виде предварительно компрессированных архиваторами **ARJ**, или **RKZIP**, присоединенных к письму файлов, закодированных **UUENCODE**.

Адрес редакции: Россия, 199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41.

Телефон: (812) 217-1966, Факс: (812) 217-3319 (в рабочее время)

E-mail: editor@nhl.spb.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ОФИЦИАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

О совершенствовании научных исследований в области навигации, гидрографии и океанографического обеспечения. Из постановления Правительства Российской Федерации от 19 июня 1994 года №711 г. Москва	9
Основные направления деятельности Государственного научно-исследовательского института навигации и гидрографии Министерства обороны Российской Федерации (обобщенная информация с извлечениями из Положения об Институте)	10
Гидрографическое Общество (обобщенная информация с извлечениями из Положения об Обществе)	11

МЕТОДЫ, ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВИГАЦИИ, ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШТУРМАНА

Макода В.С., Мавродиев А.М. Новый подход в методологии обоснования технической политики развития средств навигационно-гидрографического обеспечения	12
Иванов Б.Е. Закон распределения погрешностей определения места при коррелированных навигационных параметрах	17
Каврайский А.В. О связи систем координат, используемых в морской картографии и навигации	19
Колачиньски С. Основные свойства навигационного параметра – отношения расстояний до двух ориентиров	24

НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

Малеев П.И. Некоторые перспективы использования новых эффектов и явлений для навигации и гидрографии	27
Емельянцева Г.И., Моисеев Э.С., Солнцев А.Н. Современные требования и облик навигационного комплекса для боевых надводных кораблей начала XXI века	35
Колесников В.А., Левит Г.А., Митрофанова О.М., Титлянов В.А. Об алгоритме работы гирогоризонткомпаса с нетрадиционной схемой построения	40
Войцеховский Б.А. Морские магнитные индукционные компасы нового поколения	43

СПУТНИКОВЫЕ И НАЗЕМНЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Баринов С.П. Опосредованная синхронизация радионавигационных систем космического и наземного базирования	46
Базаров Ю.И., Воробьев А.К., Пыленков В.А. Локальные системы дифференциального режима среднеорбитальной спутниковой навигационной системы	49
Базаров Ю.И., Катенин В.А., Трегубов В.С. О критериях доступности и целостности спутниковых и наземных радионавигационных систем	52
Зайцев А.В., Резниченко В.И. Особенности функционирования спутниковой навигационной аппаратуры на морском объекте	56
Лобойко Б.И. Формирование групповой пульсарной шкалы времени для радионавигационных систем	60

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГИДРОГРАФИИ, МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИРОВОГО ОКЕАНА

Свечников А.И. Определение характеристик донного грунта по сигналам эхолота	63
Симинев А.А., Власова Л.Д. Применение аналитической фототриангуляции для определения пунктов аналитических сетей	67
Соколов В.В., Бархатов Г.М. К вопросу о расчете перекрыша при навигационно-гидрографическом обеспечении противоминных действий	72

Чирков О.А. Использование батиметрических данных для уменьшения динамической погрешности морского гравиметра.....	75
Решетняк С.В., Тезиков А.Л. Оценка вероятности пропуска опасных глубин в зависимости от дискретности съемки	78
Кулагина Т.М. Определение периода вариаций геомагнитного поля на галсе обсервации	83
Горшков В.Н., Лапин Ю.В., Глазко В.В. Обследование навигационных опасностей с помощью малогабаритного телеуправляемого подводного аппарата “Фордевинд”	86

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРСКОЙ И ВОЗДУШНОЙ НАВИГАЦИИ

Мавердиев А.М., Олесов Б.В. Гидрометеорология и синергетика.....	89
Дмитриев В.Г. Об одной особенности оптимальной (и других видов линейной) интерполяции гидрометеорологических процессов и полей	93
Козырь И.В. Использование логико-лингвистических моделей при обосновании состава корабельных комплексов гидрометеорологического обеспечения.....	96
Дмитриев В.Г. Определение вероятностей возникновения критических гидрометеорологических условий при интервальном оценивании	98

МОРСКАЯ ЭКОЛОГИЯ

Алексеев С.П., Шевцов А.Г. Направление экологических исследований в ВМФ	101
Куликов Б.В., Калашникова Е.В. Проблемы снижения уровней загрязнения природной среды кораблями и береговыми объектами ВМФ	105
Куксенков В.И., Ковалевский А.В., Харченко В.Г. Некоторые вопросы загрязнения морской среды радиоактивными веществами и нефтепродуктами в повседневной деятельности ВМФ	109

КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ, СЕМИНАРЫ

Семинар “Применение фазовых измерений в навигационной аппаратуре потребителя СНС ГЛОНАСС. Синхронизация наземных РНС”

Баринов С.П. Выбор критерия эффективности методов синхронизации наземных РНС.....	112
Крупень В.А. Повышение точности определения места при использовании среднеорбитной спутниковой навигационной системы.....	114
Ходаковский В.А. Принципы и возможности фазовых измерений в спутниковых навигационных системах типа НАВСТАР	115
Ходаковский В.А. Об одном методе синхронизации шкал эталонов времени	116

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

Федотов А.В. Из истории Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института Министерства обороны Российской Федерации.....	117
Черноморский флот при М.П.Лазареве (отрывки из воспоминаний адмирала И.А.Шестакова “Полвека обыкновенной жизни”).....	122

ЗА РУБЕЖОМ

Макода В.С. Тенденции развития спутниковых навигационных систем в США	126
Волосов П.С. Разработка судовых “черных ящиков” за рубежом	128

ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ

Антошкевич А.В. 275 лет Центральной Картографической фабрике Военно-Морского Флота	131
---	-----

CONTENTS

OFFICIAL SECTION

About perfection of scientific research in navigation, hydrography and oceanographical support area (from Russian Government's resolution №711 on 19.04.94)	9
Principal directions of the Russian DOD's State Research Navigation and Hydrographic Institute activity (abstract data with extraction from Institute status)	10
Hydrographic Society (abstract data with extraction from Society status)	11

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

Macoda V.S., Mavrodiiev A.M. New approach to substantiation methodology of navigation- hydrographical support development technical policy	12
Ivanov B.E. Distribution law of the positioning errors with correlated navigation parameters	17
Kavraysky A.V. Connection of datum in marine cartography and navigation	19
Kolachinsky S. Main properties of navigation parameter – distances ratio to two reference points	24

NAVIGATION AND INTEGRATED SYSTEMS

Maleev P.I. Some prospects of effects and phenomena using for navigation and hydrography	27
Emelyantsev G.I., Moiseev E.S., Solntsev A.N. Up-to-date requirements and appearance of integrated system for the early XXI century surface warships	35
Kolesnikov V.A., Levit G.A., Mitrofanova O.M., Titlyanov V.A. About an algorithm of gyrohorizoncompass work with nontraditional construction scheme.....	40
Voytsekhovskiy B.A. New generation of a marine magnetic induction compass.....	43

SATELLITE-BASED AND LAND-BASED RADIONAVIGATION SYSTEMS

Barinov S.P. Mediated synchronization of satellite-based and land-based radionavigation systems	46
Bazarov YU.I., Vorobjev A.C., Pylenkov V.A. Local systems of middle orbiting satellite system in differential mode	49
Bazarov YU.I., Katenin V.A., Tregubov V.S. Criteria of the availability and integrity for satellite-based and land-based radionavigation systems	52
Zaytsev A.V., Reznichenko V.I. Features of satellite navigation equipment functioning at marine object.....	56
Loboiko B.I. Forming of a group pulsar time scale for a radionavigation systems	60

MEANS AND METHODS OF HYDROGRAPHY, MARINE CARTOGRAPHY AND GEOPHYSICS FOR THE WORLD OCEAN RESEARCH AND USING

Svechnikov A.I. Ground characteristics determination by echosound signals.....	63
Simineev A.A., Vlasova L.D. Using of analitic phototriangulation for analytical nets points determination.....	67
Sokolov V.V., Barkhatov G.M. To question on computation of overlap on navigation- hydrographic support of minecountermeasure actions.....	72
Chirkov O.A. Bathymetric data using for marine gravity meter dynamic error decrease	75
Reshetnyak S.V., Tezikov A.P. Estimation of probability dangerous depth lapse depending on survey discretization.....	78
Kulagina T.M. Determination of period geomagnetic field variations on observation tack	83
Gorshkov V.N., Lapin YU.V., Glazko V.V. Navigation danger inspection by small ROV "Fordewind".....	86

HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT OF MARINE AND AIR NAVIGATION

Mavrodiiev A.M., Olesov B.V. Hydrometeorology and synergetic.....	89
Dmitriev V.G. One feature of optimal and other type linear interpolation of hydrometeorological processes and fields.....	93
Kozyr I.V. Logical-linguistic models using for substantiation of shipboard hydrometeorological support complexes devices.....	96
Dmitriev V.G. Probability estimate of arising critical hydrometeorological condition in interval estimation.....	98

MARINE ECOLOGY

Alekseev S.P., Shvetsov A.T. Direction of Russian Navy ecological research.....	101
Koulikov B.V., Kalashnikov E.V. Problems of environment pollution levels by Navy's ships and coastal objects.....	105
Kuksenkov V.I., Kovalevsky A.V., Tcharchenko V.G. Some questions about marine environment pollution by radioactive materials and oil-products in the Navy daily activities.....	109

CONFERENCES, SYMPOSIA, SEMINARS

Seminar: "Using of phase measuring in SNS GLONASS users navigation equipment. Land-based RNS synchronization"

Barinov S.P. Selection of efficiency criterion for land-based radionavigation systems synchronization methods.....	112
Krupen V.A. Accuracy of position determination improvement using middle orbiting satellite navigation system.....	114
Khodakovsky V.A. Principles and possibilities of phase measurements in satellite navigation systems NAVSTAR type.....	115
Khodakovsky V.A. One method of time standard scale synchronization.....	116

HISTORY PAGES

Fedotov A.V. From history of the Russian DOD's State Research Navigation-Hydrography Institute.....	117
Black sea fleet in M.P.Lazarev's period (fragments from admiral N.A.Shestakov' memoirs "Half century ordinary life").....	122

ABROAD

Makoda V.S. Growth trend of satellite navigation systems in USA.....	126
Volosov P.S. Development of marine "black cases" abroad.....	128

JUBILEE DATA

Antoshkevich A.V. The 275-th Anniversary Navy's Central Map Reproduction Plant.....	131
--	-----

ОФИЦИАЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ НАВИГАЦИИ, ГИДРОГРАФИИ И ОКЕАНОГРАФИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

**ИЗ ПОСТАНОВЛЕНИЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
от 19 июня 1994 года №711
г. Москва**

“В целях дальнейшего совершенствования разработки и проведения единой государственной политики по комплексному решению задач в области навигации, гидрографии, морской картографии, океанографического обеспечения обороны и экономики России Правительство Российской Федерации п о с т а н о в л я е т :

1. Создать Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт Министерства обороны Российской Федерации на базе 9 научно-исследовательского навигационно-гидрографического института Министерства обороны Российской Федерации.

2. Определить Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт Министерства обороны Российской Федерации головной научно-исследовательской организацией, ответственной за обоснование и разработку технической политики в области навигации, гидрографии, морской картографии, океанографического обеспечения обороны и экономики страны.

Председатель Правительства Российской Федерации

В.Черномырдин”

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
ГОСУДАРСТВЕННОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ИНСТИТУТА НАВИГАЦИИ И ГИДРОГРАФИИ
МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(ОБОБЩЕННАЯ ИНФОРМАЦИЯ С ИЗВЛЕЧЕНИЯМИ ИЗ ПОЛОЖЕНИЯ ОБ
ИНСТИТУТЕ)**

Основными направлениями деятельности Института являются:

- обоснование и выработка технической политики в области морской навигации, гидрографии, геофизики и гидрометеорологии в интересах обороны и экономики страны;
- исследования и поиск новых физических принципов создания перспективных средств навигационно-гидрографического обеспечения;
- обоснование предложений по навигационному оборудованию морских и океанских акваторий в интересах безопасности мореплавания, решения экономических и оборонных задач страны;
- разработка методов оценки эффективности и оптимизации систем метеорологического и океанографического обеспечения различных потребителей;
- координация и курирование НИОКР в области морской навигации, гидрографии и гидрометеорологии, разработка методических пособий, правил и инструкций;
- обоснование и разработка предложений по экологическому мониторингу акваторий в местах базирования и дислокации сил и средств ВМФ и других ведомств страны;
- обоснование предложений в общегосударственные программы по проблемам Мирового океана, климата и науки о Земле, участие в этих работах;
- разработка предложений и программ по международному сотрудничеству в области создания и эксплуатации систем и средств по профилю Института.

Институт обладает большим научно-техническим потенциалом – в нем трудятся около 80 докторов и кандидатов наук. Основу парка вычислительной техники составляют машины четвертого поколения.

В составе Института действует специализированный научно-исследовательский центр океанографических данных МО РФ.

Для координации исследований и разработок при Институте действует межведомственный научно-технический Совет по навигации и соответствующие секции.

При Институте функционируют:

- Научно-технический Совет;
- Диссертационный совет по защите докторских диссертаций по специальностям:
 - 20.02.10 “Военная гидрография и океанография, военная метеорология, геофизика”;
 - 20.02.11 “Военная навигация, средства и методы”.
- Постоянно действующий семинар НТО судостроителей им. акад. А.Н.Крылова “Средства и методы морской навигации, гидрографии, геофизики и гидрометеорологии”;
- Санкт-Петербургское отделение Российского общественного института навигации;
- Комитет космической морской навигации и океанографии Федерации космонавтики России;
- Санкт-Петербургское Гидрографическое общество.

По профилю своей деятельности Институт взаимодействует со многими отечественными и зарубежными научными и производственными организациями.

Институт готов рассмотреть любые предложения по взаимовыгодному сотрудничеству по его профилю и по смежной проблематике.

**Адрес Института:
РОССИЯ, 199106, Санкт-Петербург,
Кожевенная линия, 41**

**Контактный телефон: (812) 217-05-66 (круглосуточно)
Факс: (812) 217-33-19**

**ГИДРОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
(ОБОБЩЕННАЯ ИНФОРМАЦИЯ С ИЗВЛЕЧЕНИЯМИ
ИЗ ПОЛОЖЕНИЯ ОБ ОБЩЕСТВЕ)**

В 1992 г. создано и начало свою деятельность Гидрографическое общество – добровольное общественное объединение, зарегистрированное в Санкт-Петербурге. Оно создано с целью содействия развитию научной и практической гидрографии, профессиональному совершенствованию, оказания помощи тем, кто ею занимается, а главное, удовлетворения тех интересов и потребностей, которые не могут быть удовлетворены существующими государственными и общественными организациями.

Для достижения указанных целей Гидрографическое общество выполняет роль информационного центра и центра встреч, организует конференции, семинары, выставки и другие мероприятия, подготавливает и выпускает информационные издания. Устанавливает и поддерживает связи с зарубежными и международными организациями.

Кроме этого планируется оказание своим членам следующих услуг:

– предоставление информации из своего банка данных о существующих гидрографических предприятиях в стране и за рубежом, их возможностях и потребностях, перспективах получения заказов, о квалификационных требованиях и юридических аспектах заключения контрактов;

– предоставление молодым специалистам сведений по обучению и стажировкам в российских, зарубежных и международных учебных заведениях.

Совет Общества периодически издает и рассылает своим членам информационные письма.

Гидрографическое общество создано для своих членов, поэтому, безусловно, если потребуются, его задачи могут быть расширены, а услуги дополнены.

Совет Общества: президент – профессор, д.т.н. Н.Н. Неронов, вице-президент – Р.Н.Мацегоро, ответственный секретарь – В.Г. Рыбин, член Совета – М.Г. Малявко.

Членами Гидрографического общества могут быть как отдельные граждане, так и коллективы предприятий и организаций Российской Федерации и других государств, имеющие интерес в любых аспектах гидрографии. Никаких формальных требований не предъявляется.

Для вступления в Общество необходимо подать заявление и уплатить вступительный и ежегодный взнос. Заявления и взносы можно направлять по почте в адрес Общества или передать непосредственно в Совет Общества.

В заявлении указывается дата рождения (год, месяц, число), место жительства, год окончания учебного заведения, должность и место работы.

Величина взноса составляет:

– для отдельных лиц: вступительный – 5% МЗП, ежегодный – 5% МЗП;

– для коллективов: вступительный – 100% МЗП, ежегодный – 100% МЗП.

На середину 1995 г. в составе Общества насчитывалось 120 членов, представляющих ведущие в области гидрографии российские организации ВМФ (ГУНиО, Гос. НИНГИ, ВМА им. адм.Н.Г.Кузнецова и др.), Морфлота (Морская академия им. адм.С.О.Макарова, Гидрографическое предприятие Минтранса и др.), РАН (Институт озераведения, ИРЭ и др.). Члены общества принимают участие в международных программах “Уровень Балтийского моря”, “Берега” и т.п., а также в реализации ряда российских проектов.

**Адрес Общества:
РОССИЯ, 199106, Санкт-Петербург,
Кожевенная линия, 41**

**Контактные телефоны: (812) 217-97-71;(812) 217-97-69
(Неронов Николай Николаевич);
(812) 277-84-07
(Рыбин Виктор Георгиевич)
Факс: (812) 217-33-19**

МЕТОДЫ, ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВИГАЦИИ, ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШТУРМАНА

УДК 629.12

НОВЫЙ ПОДХОД В МЕТОДОЛОГИИ ОБОСНОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ РАЗВИТИЯ СРЕДСТВ НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

**В.С.МАКОДА,
А.М.МАВРОДИЕВ**
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Рассмотрены сущностные аспекты развития средств навигации. Показано, что наиболее слабо развитой является выработка и обоснование их системных свойств формализованными методами. Обосновано, что данная проблема может быть объективно решена только в рамках исследовательского проектирования систем навигационно-гидрографического обеспечения (НГО). Дана формулировка надежностного подхода к исследованию сложных объектов. Показана нецелесообразность его использования в проектировании систем НГО.

Предлагаемая статья является творческим развитием идей по внедрению системного подхода в теорию и практику навигационно-гидрографического обеспечения, сформулированных в [1. 2, 3]. Условимся под системой НГО понимать теоретически синтезированный и реализованный на практике организационно-технический объект, обладающий способностью вырабатывать данные, необходимые пользователям, имеющим вход (доступ) в систему в любом диапазоне времени в определенном пространстве, с сохранением автономности и целостности этого качества при выходе из строя каких-либо его частей (элементов, подсистем). При этом важным является то, что исследование системы как некоторой целостности и выявление законов ее существования и функционирования позволит формализованными методами определять системные свойства технических средств НГО именно как ее элементов, отражающих всю совокупность их связей с системой и наборот.

Анализ тенденции решения проблемы исследовательского проектирования систем НГО. Нередко развитие технических средств строится с учетом необходимого и возможного совершенствования элементной базы и принципов работы этих средств как функционально законченных объектов. Вся эта работа осуществляется строго количественными методами вплоть до обоснования и расчета структурных принципиальных схем, а также эксплуатационных документов на эти средства.

Анализ же того, что каждое техническое средство находится обязательно в системе, который отразил бы всю совокупность его связей и взаимодействий с ней и наоборот, осуществляется только на содержательном уровне, в лучшем случае, с привлечением экспертного анализа, проводимого методом "научного согласования". По этой причине в системах зачастую возникает невостребованная избыточность средств и их отдельных частей. Кроме того, также возникает потребность в согласовании индивидуальных технических характеристик средств, предъявляемых к ним системой, которое может приводить к появлению противоречий, а следовательно и проблем.

Поэтому остановимся лишь на системном аспекте сущности технических средств навигации и направлений их развития, т.е. в той их части, которая должна строиться на основе теории сложных систем и рассматривать технические средства в качестве компонентов сложной системы НГО. Основным препятствием, которое стоит на пути решения поставленной задачи, являются ограничения, создаваемые сложившейся методологией исследования

сложных систем, узаконенной “промышленностью”, не допускавшей альтернатив даже в науке при их системном проектировании.

Сформулируем основные положения этой методологии, важные в исследовательском проектировании систем НГО.

1. Системы НГО строятся с использованием редукционизма, при котором они как целостные объекты состоят из средств и систем навигационного оборудования районов, автономных средств навигации кораблей, судов и других систем обеспечения. Иными словами, система НГО как объект научного исследования делится на удобные части (элементы), осуществляется моделирование каждой из них, решается оптимизационная задача поиска лучшего варианта каждой части из множества альтернатив. Свойства системы в итоге определяются на основе свойств ее частей, а лучшим вариантом системы является тот, который собран из лучших частей. Такой подход в условиях громоздкости самих систем (огромного территориального размаха, значительного числа элементов и их большого разнообразия, сложности выполняемых задач) считается не имеющим альтернативы [4,5].

2. Основным подходом к определению системы НГО и ее составных частей является подход, состоящий в том, что элементы системы задаются, исходя из предназначения, т.е. из их функций. Так определяются РНС, СНС, маяки, средства навигации пользователей [5]. Аналогично задаются навигационные комплексы самолетов, кораблей и судов, с нормированием тех же показателей.

Поэтому такие два принципиально разные объекта как система НГО и навигационный комплекс корабля оказываются отличными только интенсивностью выполняемых функций [4,5].

3. Свойствам систем НГО, их элементам в исследованиях отводится незаслуженно мало внимания. При этом необходимо отметить, что свойство – сторона объекта, обуславливающая его сходство или отличие от других объектов и выражающаяся во взаимодействии с ними. Свойства, присущие объектам, всецело определяются объектом и не зависят от среды и условий, в которых он находится. Поэтому объективная и в то же время конструктивная формализация любого объекта должна осуществляться на основе формулирования свойств объекта. Отход от описания объектов, основанного на их свойствах, является одной из причин кажущейся простоты и очевидности процесса формализации, но и возникновения неопределенности, приводящей в тупик [6].

4. Анализ, синтез и принятие других решений на системе НГО и, в частности, определение ее состава, связей, организационно-штатной структуры и других аспектов существования и функционирования этой системы осуществляется на основе нахождения экстремума на множестве вариантов по набору критериев или их некоторой свертки. Многие авторы понимают ограниченность такого подхода в теории принятия решений из-за принадлежности его во многих случаях к числу трудных проблем (подобных известным задачам коммивояжера [7, с.89] и Джексона [8, с.228]), но по-видимому не обращают внимание на то, что ограничения этого подхода для класса сложных систем закладываются еще на методологическом уровне и устраняются только его методами.

Описанный выше подход будем называть надежностным, т.к. он нашел свое наиболее яркое проявление в теории надежности, которая в роли хранителя качества объектов во времени [9] стала применяться во всех областях научной работы.

В последнее время наблюдаются попытки распространить надежностный подход и на разработку методов оценки качества программного обеспечения. Однако ни удовлетворительной методологии, ни теории надежности программ до настоящего времени не сформулировано [10,11,12,13].

Не удалось достичь необходимой обоснованности также и при анализе качества сложных сетей связи [14], экономико-математических моделей морского флота [6, 15] и в других областях исследования сложных объектов.

Возникают противоречия и в самой теории надежности при попытках снизить ограничения полученных результатов, а также в ходе ее содержательного (без потери объективности) распространения на область громоздких и сложных систем [6, 16].

По нашему мнению, распространение надежностного подхода к обоснованию технической политики развития систем НГО и их средств навигации неправомерно, т.к. он разрабатывался изначально как теория надежности-прочности (в широком понимании) простых систем [6, 17].

Поэтому в данной работе мы ставим задачу с одной стороны четко сформулировать сам надежностный подход, а с другой стороны выработать основные методологические и теоретические идеи, позволяющие перевести решение проблемы обоснования технической

политики развития средств навигации в новосмысловую область, очерченную целостной концепцией системологии и ее приложениями [6, 11, 18, 19, 20].

Экспликация агрегативных свойств объектов исследования. Необходимо выполнить формализацию некоторых свойств объекта, например, системы НГО при надежном подходе к их исследованию.

Пусть некоторая система НГО имеет системные свойства с множеством обозначений $S = \{S_l, l = \overline{1, k}\}$. Для исследования она представляется некоторым набором простейших частей $q_j, j = \overline{1, m}$, обладающих элементарными свойствами, обозначаемыми $s_{ij}, i = \overline{1, n}$ (m, n - соответственно число элементов системы НГО и свойств каждого из них). Связь системных свойств S со свойствами s_{ij} осуществляется как некоторая композиция $S = S(s_{ij})$, которая в случае линейных постановок задачи количественного анализа системных свойств превращается в суперпозицию s_{ij} (свойств элементов).

Условимся, что:

1. Свойства любой системы при надежном подходе к ее исследованию строятся на основе свойств ее элементов и не обладают избыточностью, т.е.

$$(\forall i)(\forall j) \left(S_l = \bigcup_i \bigcup_j s_{ij} \right) : \bigcap_{i,j} s_{ij} = \emptyset, \quad s_{ij} \in S. \quad (1)$$

В соответствии с принятым алгоритмом формализации – “объект-свойство-величина-число” [6] – следующим этапом является этап перехода от свойств (допускающих интенсификацию) к величинам, как к понятиям еще несущим в себе смысловую (содержательную) нагрузку моделируемого объекта, но уже и определяющим способ сравнения физических и других объектов. Иными словами, при выборе величины уже осуществляется выбор того математического пространства, в котором далее благодаря сравнению с однородной величиной или другой величиной одного свойства, выбранным в качестве единицы измерения, возникают числа, как уже собственно математические объекты.

2. Некоторая величина B (интенсивность) любого свойства исследуемого объекта, как некоторого качества, не может быть введена иначе, чем путем фиксации набора аксиом, т.е.

$$B : B = \{ \bar{b}_1, \bar{b}_2, \dots, \bar{b}_\alpha \}, \quad (2)$$

где $\bar{b}_i, i = \overline{1, \alpha}$, - аксиомы; B - множество аксиом, определяющих величину B .

3. Величины B_1, B_2, \dots, B_n некоторых свойств одного или разных объектов считаем однородными, если множества их аксиом равны, т.е. когда $B_1 = B_2 = B_3 = \dots = B_n$.

4. Единицей измерения множества однородных величин $\{B_1, B_2, \dots, B_n\} = B$ назовем целую величину или ее часть $B_i \in B$, отношение к которой позволяет выразить любую другую величину $B_j \in B, j = \overline{1, n}$ положительным числом.

Аналогично можно определить единицы измерения скалярных, векторных и тензорных величин. Для них определение 4 остается основополагающим.

5. Любые отношения и операции над отношениями и числами, задаваемые некоторой системой аксиом

$$M : M = \{ \mu_1, \mu_2, \dots, \mu_c \}, \quad (3)$$

обладают смыслом лишь для однородных величин и величин одного свойства.

Таким образом, выражения (1), (2) и (3) являются тем аксиоматическим полем, использование которого позволяет формализовать агрегативные свойства.

При этом важно, что в отличие от традиционного метода моделирования, основанного на классической теории подобия [21], анализ отношений между объектом, исследователем и моделью осуществляется еще на уровне систем аксиом. Такой подход позволяет, с одной стороны, выявить скрытые возможности, объединяющие всех “участников” процесса моделирования, с другой, обнаружить места возникновения возможных противоречий, выработать направления развития моделирования, тем самым обеспечить объективность модели и результатов исследований, получаемых на ее основе.

Из изложенного также следует, что выбор величины некоторого свойства приводит к выбору математического пространства моделирования. И эта процедура не только выбирает, но и фиксирует математическое пространство. Изменить его можно только изменив способ введения величин, т.е. набор аксиом.

Не менее важным этот вывод является и для случая привлечения числовых характеристик, используемых в качестве исходных данных. Каждое содержательное число может быть получено только с использованием определений $2 \div 5$, что говорит о строгой фиксации аксиомами математического пространства получения этого числа. И отношения, в которые эти числа вступают в процессе расчета, окажутся содержательными лишь в силу их однородности или односвойственности.

Экспликация свойств сложных объектов. Сложные объекты в качестве системообразующих обладают интегральными (целостными) свойствами, отсутствующими у ее элементов, взятых отдельно и не сводящихся к прямой сумме их свойств. В этом основное отличие сложных объектов от простых агрегативных, свойства которых, как уже было сформулировано, представляют собой простую сумму свойств составляющих ее частей и выражаются отношением (1) [6, 19, 20, 22].

В противоположность агрегативным сложные объекты обладают целостными свойствами, которые сохраняются даже при выходе из строя элементов за счет передачи их функций другим частям, введения в работу резерва сил и средств, восстановления разрушенных элементов и связей в ходе ремонтных работ и других действий организационно-технического содержания.

Например, свойство системы НГО сохранять способность выработки необходимых параметров при выходе из строя некоторых ее элементов – целостность, не может быть получено только за счет повышения живучести технических средств навигации. Оно возникает за счет перехода от вышедшей из строя инерциальной системы (ИНС) к резервной. Оно улучшится, если в короткое время удастся восстановить отказавший элемент - ИНС. Показатели этого свойства будут возрастать при увеличении числа степеней свободы всех элементов системы НГО по согласованию функций (многорежимность) и др.

Аналогичная ситуация складывается и при рассмотрении такого свойства системы НГО как автономность, т.е. способность сохранять целостность без поступления сил и средств извне.

Формализуем целостные свойства сложного объекта. Пусть N система НГО имеет конечное множество системных свойств, обозначенных $C = \{ C_1, C_2, \dots, C_l \}$ (примером могут быть интегральные свойства, приведенные в определении системы навигационного обеспечения - целостность и автономность).

Для исследования она представляется с выделением некоторого набора подсистем (частей, элементов), обозначаемых $q_j, j = \overline{1, m}$, обладающих элементарными свойствами, обозначаемыми $s_{ij}, i = \overline{1, n}$.

Условимся, что:

6. Между интегральными свойствами $C_k, k = \overline{1, l}$ и свойствами элементов s_{ij} устанавливаются отношения, определяемые следующим правилом:

$$\left(C_k, k = \overline{1, l} \right) : \\ (\forall i, d) (\forall j, f) (i \neq d, j \neq f) \left\{ \left(s_{ij} R_1 s_{dj} \right) \wedge \left(s_{ij} R_2 s_{if} \right) \right\} = P_{ij} \text{ I } C_k = \emptyset,$$

где $R_{1,2}$ - все мыслимые (и немыслимые) отношения свойств элементов по образованию композиционных свойств P_{ij} .

Определение 6 означает, что системные свойства сложного объекта невыводимы из свойств его элементов “ни при каком уровне разработки теории” [20], их нельзя “назначить” по аналогии со свойствами элементов, их можно только открыть. Поскольку в сложных системах НГО кроме целостных свойств должны быть и вещественно-энергетические свойства по своему характеру агрегативные, то элементы, которые реализуют в металле эту сложную систему, должны одновременно нести в себе как черты целого, так и черты элементов как агрегатов. Сформулируем эту особенность сложных навигационных систем в виде утверждения.

Утверждение 1. Пусть в некотором представлении системы выделено множество элементов $X = \{ x_1, x_2, \dots, x_n \}$, обладающих индивидуальными свойствами $s = \{ s_{ij} \}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}$. Нужно определить системные $C = \{ C_1, C_2, \dots, C_l \}$ и агрегативные $S = \{ S_1, \dots, S_k \}$ свойства. Доказать, что построение отношений

$$\begin{cases} C = \{ C_1, C_2, \dots, C_l \} : C(s) \rightarrow R^n; & (5) \\ S = \{ S_1, S_2, \dots, S_k \} : S(s) \rightarrow R^n & (6), \end{cases}$$

где R^n – n - мерное арифметическое евклидово пространство действительных чисел - задача принципиально неразрешимая.

Доказательство. Определим $C_1 = C_1(s_{1j}) \rightarrow R^1, j = \overline{1, m}$. Для этого воспользуемся свойствами 2 – 5 и получим, что системные аксиомы (2) фиксируют только часть свойств s_{1j} , что позволяет эту часть довести до чисел. Другая, несистемная (агрегативная) часть свойств s_{1j} , оказывается неформализуемой, а поэтому и невычисляемой. Аналогичная ситуация складывается и с другими свойствами $C_2, \dots, C_l : C_p(s_{pj}) \rightarrow R^1, p = \overline{2, l}$, формализация которых требует исходных данных, которых в данной системе аксиом получить невозможно.

Рассмотрим отношение $S = S(s_{1j}) \rightarrow R^1$. Для этого воспользуемся свойствами 1–3 и получим, что агрегатные аксиомы (2) фиксируют и позволяют измерить только агрегативную часть свойств s_{1j} . В отношении системной части создается неопределенность. Таким образом, отношения (5) и (6) в данной постановке неразрешимы.

Вывод 1. Разрешимость (5) и (6) связана с разделением (факторизацией) индивидуальных свойств $s = \{ s_{ij} \}$ на системную и агрегативную части, т.е. на представлении s в виде $s = \{ s_{ij}^c, s_{ij}^d \}$.

Доказательство. Рассмотрим отношение $C_1 = C_1(s_{1j}^c) \rightarrow R^1$. В соответствии с (2), (3), (4) построим алгоритм:

$$s_{1j}^c \rightarrow B_j^c : B_j^c = \{ B_{1j}^c, B_{2j}^c, \dots, B_{lj}^c \} \rightarrow M_j^c = \{ \mu_{1j}^c, \mu_{2j}^c, \dots, \mu_{cj}^c \}.$$

Воспользовавшись этим алгоритмом построим отношение

$$C_1(s_{1j}^c) \xrightarrow{B_j^c, \dots, \mu_{cj}^c} R^1.$$

Аналогично рассмотрим отношение $S_1 = S_1(s_{1j}^d) \rightarrow R^1$. В соответствии с (1), (2), (3) построим алгоритм

$$s_{1j}^d \rightarrow B_j^d : B_j^d = \{ B_{1j}^d, B_{2j}^d, \dots, B_{nj}^d \} \rightarrow M_j^d = \{ \mu_{1j}^d, \mu_{2j}^d, \dots, \mu_{cj}^d \},$$

что позволяет построить отношение

$$S_1 \xrightarrow{B_j^d, \dots, \mu_{cj}^d} R^1.$$

Выполнив рассмотренные процедуры для всех C_p и $S_\gamma, p = \overline{2, l}, \gamma = \overline{2, k}$, получим требуемые отношения. Таким образом, вывод 1 доказан. К сожалению в рамках одной статьи не представляется возможным более подробно остановиться на разъясняющих примерах и демонстрации приложений.

Заключение

1. Проанализирована традиция надежностного подхода к исследовательскому проектированию систем НГО и показано, что редукционизм далеко не в полной мере способен учесть особенности исследования и проектирования такого класса систем и их технических средств как элементов.

2. Основное противоречие, которое сложилось в науке о сложных системах НГО, состоит с одной стороны, в необходимости их формализованного описания, а с другой - невозможности выполнения этой процедуры объективно в рамках сложившейся методологии.

3. Для преодоления этого противоречия исследованы некоторые особенности формализации агрегативных и интегральных свойств сложных систем НГО, после чего оказывается возможным сформулировать принципы построения для них алгоритмов формализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев Б.Н. Прикладные океанологические исследования. - Л.: Гидрометеиздат, 1986. - 142 с.

2. Андрияшин О.Ф., Неронов Н.Н. Основные принципы построения и использования океанографических систем и комплексов. ИО АН СССР. Сборник докладов, Геленджик, 22-26.04.1985, М. 1985 г.
3. Федотов А.В., Фрадкин В.Н. Оценка эффективности функционирования подсистем обеспечения в сложных системах. Морской сборник. 1983. N 5, С.26-27.
4. Емельянцева Г.И., Моисеев Э.С., Солнцев А.Н. Новые подходы к созданию навигационных комплексов надводных кораблей. Гироскопия и навигация. N 1, 1995. С-Пб.: ГНЦ ЦНИИ "Электроприбор", 1995, С.63-67.
5. Жеглов Ю.И. Состояние и перспективы использования системы ГЛОНАСС в морской навигации и гидрографии. Радионавигация и время. № 1, 1992, С.47-49.
6. Макода В.С. и др. Целостный подход к разрешению проблемы исследовательского проектирования судов и их комплексов// Международная конференция по судостроению. Тр.ЦНИИ им.акад. А.Н.Крылова, секция А: Проектирование судов и оптимизация пополнения флота. С-Пб.: ЦНИИ им.акад. А.Н.Крылова, 1994. С.231-242.
7. Гимади Э.Х. О некоторых математических моделях и методах планирования крупномасштабных проектов// Модели и методы оптимизации. - Новосибирск: Наука. Сиб.отд.-ие. 1988.-(Тр.АН СССР. Сиб. отд.-ие. Ин-т математики: Т.10.С.89-115).
8. Севастьянов С.В. Геометрия в теории расписаний// Модели и методы оптимизации. - Новосибирск: Наука. Сиб.отд.-ие. 1988.-(Тр./АН СССР. Сиб.отд.-ие. Ин-т математики: Т.10. С.226-261).
9. Райншке К. Модели надежности и чувствительности систем. - М.: Мир. 1979. - 454 с.
10. Пальчун Б.П., Юсупов Р.М. Оценка надежности программного обеспечения. - С-Пб.: Наука, 1994. - 84 с.
11. Поспелов Д.А. Уроки одной метафоры или о концепции искусственного интеллекта. В кн. Гипотезы. Прогнозы (Будущее науки): Международный ежегодник.- М.: Знание, 1990.- Вып.23, С.56-64.
12. Иванищев А.В. Алгоритм обеспечения функциональной полноты экспертных знаний.- В кн.: Алгоритмическое моделирование: инструментальные средства и модели.- Л.: ЛИИ РАН, 1991.С.138-152.
13. Иванищев В.Б. Когнитивный анализ процесса построения алгоритмических сетей. Там же, с.5-27.
14. Филин Б.П. Методы анализа структурной надежности сетей связи. - М.: Радио и связь, 1988.-208 с.
15. Михалевич В.С. и др. Экономико-математическое моделирование деятельности флота/ - М.: Транспорт. 1986. - 287 с.
16. Шашкин В.В. Надежность в машиностроении: Справочник.С-Пб.: Машиностроение, 1992.- 687 с.
17. Попов Г.И., Захаров И.Г. Теория и методы проектирования корабля.Л.-:ВМА им. Н.Г.Кузнецова, 1985. - 563 с.
18. Пуанкаре А. О науке.- М.: Наука, 1990.- 736 с.
19. Дж.Клир. Системология. Автоматизация решения системных задач. Перевод с англ.- М.: Радио и связь, 1990.- 546 с.
20. Любищев А.А. Понятие системности и организационности. Ученые записки Тартусского государственного университета, Труды по знаковым системам. Т.IX.Тарту, 1977. С.134-141.
21. Веников В.А. Теория подобия и моделирование применительно к задачам электроэнергетики.- М.: Высшая школа, 1966.- 488 с.
22. Т.Саати, К.Кернс. Аналитическое планирование. Организация систем. Перевод с англ.- М.: Радио и связь. 1991.- 224 с.

УДК 656.61

ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПРИ КОРРЕЛИРОВАННЫХ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРАХ

Б.Е.ИВАНОВ
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Рассмотрен общий случай расчета плотности вероятностей погрешности определения места по двум навигационным параметрам при коррелированных погрешностях.

В соответствии с работой [1], плотность вероятностей погрешности определения места по двум навигационным параметрам U и V может выражаться зависимостью

$$\varphi_0(x, y) = \frac{g_1 g_2}{2\pi\sigma_u\sigma_v\sqrt{1-r^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-r^2)} \left(\frac{x^2 g_1^2}{\sigma_u^2} - \frac{2xyg_1 g_2}{\sigma_u\sigma_v} + \frac{y^2 g_2^2}{\sigma_v^2} \right) \right\}, \quad (1)$$

где g_1 и g_2 - модули градиентов навигационных параметров, направления которых совпадают с осями x и y ;

σ_u и σ_v - средние квадратические погрешности измерения навигационных параметров;

r - коэффициент корреляции погрешностей u и v измерения навигационных параметров.

Формула (1) получена при условии, что градиенты навигационных параметров распределены по нормальному закону. Рассмотрим определение плотности вероятностей погрешности определения места в общем случае, без задания каких-либо условий.

Пусть погрешности u и v навигационных параметров представляются в виде сумм независимых частных погрешностей δ_1, δ_2 и δ :

$$u = \delta_1 + \delta \quad ; \quad v = \delta_2 + \delta \quad .$$

Частные погрешности имеют плотности вероятностей, выражающиеся функциями $f_1(\delta_1), f_2(\delta_2)$ и $f(\delta)$. Смещения навигационных изолиний x и y связаны с погрешностями u и v навигационных параметров зависимостями

$$u = u(x) \quad ; \quad v = v(y) \quad .$$

На основании формулы плотности вероятностей функции случайной величины из работы [1] получим выражение плотности вероятностей $\varphi_1(x)$ и $\varphi_2(y)$ смещения навигационных изолиний вследствие погрешностей измерения δ_1 и δ_2

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1(x) &= f_1[\delta_1(x)] |u'_x(x)| \quad ; \\ \varphi_2(y) &= f_2[\delta_2(y)] |v'_y(y)| \quad . \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Учитывая зависимости для композиции и системы случайных величин из работы [1], получим выражение для вычисления плотности вероятностей $\varphi(x, y)$ без задания указанных условий

$$\varphi(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi_1[\delta_1(x) - \delta] \varphi_2[\delta_2(y) - \delta] f(\delta) d\delta \quad . \quad (3)$$

В случае постоянства градиентов в области действия погрешностей измерений вторые множители в формулах (2) будут равны g_1 и g_2 , а формула (3) примет вид

$$\varphi(x, y) = g_1 g_2 \int_{-\infty}^{\infty} f_1(g_1 x - \delta) f_2(g_2 y - \delta) f(\delta) d\delta \quad . \quad (4)$$

Проверим справедливость формулы (4) при распределении частных погрешностей по нормальному закону. В этом случае формула (4) преобразуется следующим образом

$$\varphi(x, y) = \frac{g_1 g_2}{(2\pi)^{3/2} \sigma_1 \sigma_2 \sigma} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left\{ -\frac{(g_1 x - \delta)^2}{2\sigma_1^2} - \frac{(g_2 y - \delta)^2}{2\sigma_2^2} - \frac{\delta^2}{2\sigma^2} \right\} d\delta \quad , \quad (5)$$

где σ_1, σ_2 и σ - средние квадратические значения частных погрешностей δ_1, δ_2 и δ .

Подставив в формулу (5) $x = y = 0$, получим

$$\varphi(x, y) = \frac{g_1 g_2}{2\pi \sqrt{\sigma_1^2 \sigma_2^2 + \sigma_1^2 \sigma^2 + \sigma_2^2 \sigma^2}} \quad . \quad (6)$$

Подставив в формулу (1) зависимости $\sigma_u = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma^2}$, $\sigma_v = \sqrt{\sigma_2^2 + \sigma^2}$, $r = s^2 / (s_u s_v)$ и $x = y = 0$, получим выражение, тождественное формуле (6).

Кроме того, справедливость формулы (6) оценивалась путем численного интегрирования при δ от -20 до +20 с шагом 0,1. Вычисления выполнялись при исходных данных: $\sigma_1 = 2, \sigma_2 = 3, \sigma = 4, g_1 = 2, g_2 = 0.5$ и $x = y$.

Полученные результаты достаточно хорошо согласуются между собой - относительная разность между ними не превысила 10^{-6} .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Изд. 3-е, испр. - М.: Наука, 1969. - 576 с.

О СВЯЗИ СИСТЕМ КООРДИНАТ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И НАВИГАЦИИ

А.В.КАВРАЙСКИЙ
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Характеризуются используемые в настоящее время геодезические системы координат. Подчеркивается важность принятия единой всемирной системы координат для морской картографии и навигации, а также установления официальных данных по связи систем координат 1942 г., WGS-84 и ЕСК-90. Для преобразования геодезических координат из одной системы в другую рекомендуются формулы, полученные на основе формул В.П.Морозова с добавлением составляющих, учитывающих угловые элементы ориентирования.

Для навигационных морских карт, издаваемых ГУНиО МО РФ, в настоящее время применяются общеземные (всемирные), а также региональные и местные (локальные) геодезические системы координат (ГСК). При этом для карт на воды бывшего СССР, европейских стран и некоторых других прилегающих районов применяется система координат 1942 г. (эллипсоид Красовского), а на остальные иностранные воды - системы координат исходных иностранных картографических материалов (WGS-72, WGS-84, локальные). Общее число ГСК, применяемых в мире для морских карт - около 90, число используемых эллипсоидов вращения, представляющих фигуру Земли - 25.

Всемирные геодезические системы (WGS) основаны на общем земном эллипсоиде, параметры которого периодически уточняются. К таким системам относятся:

- Всемирная геодезическая система 1972 г. (WGS-72), США;
- Всемирная геодезическая система 1984 г. (WGS-84), США;
- Геоцентрическая система координат 1985 г., СССР;
- Единая геоцентрическая система координат 1990 г. (ЕСК-90), СССР.

При издании навигационных морских карт в ряде стран, в том числе в СССР (России), получили в последнее десятилетие применение всемирные системы WGS-72, а затем WGS-84.

Существующая до настоящего времени множественность применяемых ГСК создает очевидные неудобства для мореплавателей, прежде всего при прокладке обсерваций, полученных по спутниковым и наземным радионавигационным системам (СНС и РНС). Различия в географических координатах одной и той же точки на земной поверхности, отнесенных к различным геодезическим системам, могут достигать 700 м (~23"). Такие величины имеют серьезное практическое значение с точки зрения обеспечения навигационной безопасности плавания, особенно в стесненных районах. Для того, чтобы исключить это влияние, необходимо согласовать систему координат карты и систему координат средства определения места судна. Это в полной мере относится и к случаям применения в навигационных целях систем отображения навигационных карт и различных видеопрокладчиков.

Наилучшим решением задачи по устранению указанных неудобств был бы согласованный на международном уровне переход к изданию морских карт всеми странами в единой всемирной ГСК. Для такого решения требуется определенное время, принятие соответствующих международных соглашений, проведение национальными службами, издающими карты, значительных организационно-технических мероприятий, сопровождаемых материальными затратами. В качестве первого шага на этом пути Международной гидрографической организацией (МГО) в 1983 г. было принято решение, в соответствии с которым на морских картах масштаба 1:500 000 и крупнее картоиздатели должны помещать название системы координат карты, а также поправки для перехода от системы WGS к системе координат карты. Это решение реализуется и на картах, издаваемых ГУНиО МО РФ.

Следует подчеркнуть, что каких-либо существенных научно-технических проблем для решения задачи согласования систем координат в интересах навигации в настоящее время нет. Перевод геодезических координат из какой-либо системы в любую другую с точностью,

достаточной для целей навигации может выполняться по известным формулам и элементам взаимного ориентирования систем геодезических координат. Можно отметить лишь некоторые аспекты данного вопроса, являющиеся в некотором смысле "трудностями роста", для устранения которых необходимы в основном меры организационно-технического плана.

1. Имеет место множественность всемирных систем координат, которые на данном этапе используются в морской картографии и навигации. Это связано с изучением и периодическим уточнением формы и размеров общего земного эллипсоида (ОЗЭ) и элементов ориентирования ранее принятых эллипсоидов (систем координат) относительно ОЗЭ. Такие работы ведутся параллельно картографо-геодезическими ведомствами России и США. Системы WGS-72 и WGS-84 нашли последовательное применение как для СНС (Transit, GSP), так и для составления навигационных морских карт. В новом издании (1989 г.) основного руководящего производственно-технического документа по составлению и изданию отечественных морских карт - ПГС N 5 [1] приведены параметры для трансформации координат из системы WGS-72 в другие системы, применяемые на морских картах, но нет аналогичных данных для WGS-84. Отечественные СНС переходят от Геоцентрической системы координат 1985 г. ("Земля-85") к системе ЕСК-90 ("Земля-90"). Для навигационных морских карт издания ГУНиО МО РФ в настоящее время установлено правило указывать поправки для перевода координат из системы WGS-84 в систему координат карты, но на картах прежнего издания можно встретить поправки, отнесенные к системе WGS-72.

Для того, чтобы судить о значимости различий между разработанными на сегодняшний день всемирными системами координат, в табл.1 приведены элементы ориентирования системы координат 1942 г. в каждой из рассматриваемых всемирных систем и параметры принятых для них эллипсоидов.

Для WGS-72 линейные элементы ориентирования получены по данным иностранного источника [2].

Элементы ориентирования системы 1942 г. в системе WGS-84 получены путем сложения элементов ориентирования системы 1942 г. в системе WGS-72 с элементами ориентирования WGS-72 в WGS-84: $\Delta x = 0, \Delta y = 0, \Delta z = 4,5 \text{ м}$, $\omega_x = 0$, $\omega_y = 0$, $\omega_z = 0,554 \text{ "}$ [3].

Данные для систем "Земля-85" и "Земля-90" приведены по изданиям ВТУ ГШ [4,5]; прочерк в таблице означает отсутствие в источниках данных о соответствующих элементах.

Расхождение координат одной и той же точки, полученных в различных всемирных системах координат, очевидно будет того же порядка, что и расхождение приведенных в табл.1 элементов ориентирования и параметров эллипсоидов.

Для более наглядного представления о различиях между всемирными системами в табл.2 приведены элементы ориентирования всех этих систем в системе WGS-84, а также соответствующие разности больших и малых полуосей эллипсоидов ($\Delta a, \Delta b$). Эти данные получены вычитанием значений $\Delta x, \Delta y, \Delta z, \omega_x, \omega_y, \omega_z, a, b$ каждой из систем из значений соответствующих элементов системы WGS-84 в табл.1.

Значения угловых элементов ориентирования систем "Земля" в системе WGS-84, приведенные в табл.2, следует считать условными, т.к. они получены вычитанием реальных значений (строки 3 и 4 табл.1) не из "0", а из "отсутствующих данных".

Из данных табл. 1 и 2, принимая за линейный эквивалент угловой секунды 31 м, получим в качестве оценочной величины расхождения координат для рассматриваемых всемирных систем - 20-25 м, а без учета WGS-72 - 12-17 м.

Таким образом, при решении навигационных задач приведенные всемирные системы координат можно в большинстве случаев считать тождественными [6]. Тем не менее, для исключения какой-либо двусмысленности, а также с учетом возможных задач, требующих получения координат с повышенной точностью (в военном кораблевождении, при съемочных работах) представляется важным принять единую, согласованную на международном уровне систему координат для морской картографии и навигации. На практике такой системой уже становится WGS-84. Однако важно при этом установить, что дальнейшие уточнения параметров земного эллипсоида, проводимые в интересах теории и практики геодезии, не будут вносить каких-либо новых изменений в систему координат, принятую для международного мореплавания, как не имеющие практического значения для навигации.

2. В отечественных изданиях по морской картографии и навигации отсутствуют официальные данные по параметрам преобразования местных и региональных систем координат в систему WGS-84. Эти данные для 90 локальных систем приведены в публикации

Таблица 1

Элементы ориентирования системы координат 1942 г. во всемирных геодезических системах координат

№ п/п	Всемирная ГСК	Элементы ориентирования						Параметры ОЗЭ		
		линейные , м			угловые , ... "			большая полуось (a) , м	малая полуось (b) , м	знамена- тель сжа- тия (1:α)
		Δx	Δy	Δz	ω_x	ω_y	ω_z			
1	WGS-72	27	-135	-89	-	-	-	6 378 135	6 356 750,5	298,26
2	WGS-84	27	-135	-84,5	-	-	0,554	6 378 137	6 356 752,3	298,257
3	“Земля-85”	26	-139	-84	-0,03	0,35	0,62	6 378 136	6 356 751,4	298,257
4	“Земля-90” (ЕСК-90)	25	-141	-80	0,00	0,35	0,66	6 378 136	6 356 751,4	298,258

Элементы ориентирования всемирных геодезических систем в системе WGS-84

№ п/п	Всемирная ГСК	Элементы ориентирования						Разности полуосей	
		линейные , м			угловые , ..."			Δa ,	Δb ,
		Δx	Δy	Δz	ω_x	ω_y	ω_z	м	м
1	WGS-72	0	0	4,5	0	0	0,554	2	1,8
2	WGS-84	0	0	0	0	0	0	0	0
3	"Земля-85"	1	4	-0,5	0,03	-0,35	-0,07	1	0,9
4	"Земля-90" (ЕСК-90)	2	6	-4,5	0	-0,35	-0,11	1	0,9

Картографического управления министерства обороны США [3], их необходимо перевести и опубликовать.

3. Отсутствуют открытые официальные данные по элементам ориентирования системы координат 1942 г., применяемой для значительной части отечественных морских карт, относительно системы WGS-84. Эти данные отсутствуют и в упомянутой американской публикации. Приведенные в табл.1 величины для WGS-84 получены, как уже говорилось, косвенным путем на основе данных для WGS-72. Из таблицы также видна близкая сходимость величин, приведенных в строках 2 и 3: элементы ориентирования системы 1942 г. в системе "Земля-85" почти совпадают (до 5 м) с аналогичными элементами для WGS-84, выведенным и по иностранным данным [2] (за исключением элемента ω_y , но угловые элементы в [2] просто не учитываются). Это дает основание в настоящее время использовать на практике данные для системы "Земля-85", либо близкие к ним данные для ЕСК-90 в качестве параметров преобразования координат WGS-84 в систему 1942 г. (и обратно). Однако для окончательного упорядочения вопроса согласования систем координат необходимо, в числе прочих мер, довести до заинтересованных ведомств и организаций официальные данные по связи систем 1942 г. и WGS-84.

4. Для преобразования геодезических координат из одной системы в другую в различных источниках приводится несколько вариантов формул, различающихся по структуре, точности и используемым параметрам земного эллипсоида [1,3-5,7]. Международной гидрографической организацией (МГО) рекомендованы для применения в практике мореплавания "сокращенные формулы" М.С.Молоденского [1, 7]. Данные формулы учитывают только линейные элементы ориентирования. На наш взгляд, при разработке математического обеспечения вычислительных средств, в которых выполняются преобразования геодезических координат, целесообразно использовать универсальные формулы, учитывающие также и угловые элементы ориентирования. Для этой цели можно предложить формулы следующего вида:

$$\Delta \varphi_{\text{рад}} = \left[\alpha_1 \frac{a_2 - a_1}{a_1} + (\alpha_2 - \alpha_1) (1 + \alpha_1 \cos^2 \varphi_1) \right] \sin 2 \varphi_1 +$$

$$+ \frac{1}{a_1} (-\Delta x \sin \varphi_1 \cos \lambda_1 - \Delta y \sin \varphi_1 \sin \lambda_1 + \Delta z \cos \varphi_1) (1 - \alpha_1 + 3\alpha_1 \cos^2 \varphi_1) +$$

$$+ \omega_x \sin \lambda_1 - \omega_y \cos \lambda_1 ; \quad (1)$$

$$\Delta \lambda_{\text{рад}} = \frac{1}{a_1 \cos \varphi_1} (-\Delta x \sin \lambda_1 + \Delta y \cos \lambda_1) (1 - \alpha_1 \sin^2 \varphi_1) -$$

$$- \operatorname{tg} \varphi_1 (\omega_x \cos \lambda_1 + \omega_y \sin \lambda_1) + \omega_z ; \quad (2)$$

$$\varphi_2 = \varphi_1 + \Delta \varphi ; \quad (3)$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \Delta \lambda , \quad (4)$$

где φ_1, λ_1 - геодезические координаты в исходной системе;

- φ_2, λ_2 - геодезические координаты в заданной системе, т.е. в той, в которую необходимо преобразовать координаты;
- $\Delta \varphi, \Delta \lambda$ - поправки для преобразования координат из исходной системы в заданную, выраженные в радианах;
- a_1, a_2 - большая полуось эллипсоида, принятого в соответствующей системе координат;
- α_1, α_2 - сжатие эллипсоида, принятого в соответствующей системе координат;
- $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ - линейные элементы ориентирования (прямоугольные координаты центра исходной системы в заданной системе);
- $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ - угловые элементы ориентирования, выраженные в радианах.

Строгий вывод данных формул (без членов с угловыми элементами ориентирования) дан в "Курсе сфероидической геодезии" В.П.Морозова [8]. В этих формулах в правой части добавлены составляющие, учитывающие угловые элементы ориентирования. Эти составляющие имеют стандартный вид во всех источниках [3,4,5]. Предлагаемые формулы (1)-(4) обеспечивают вычисления поправок $\Delta \varphi$ и $\Delta \lambda$ с погрешностью, не превышающей, согласно [8], 0,003" и позволяют осуществлять перевод координат для случаев, когда установлены угловые элементы взаимного ориентирования систем координат. Формулы являются универсальными и позволяют (в отличие от формул М. С. Молоденского) осуществлять преобразования системы 1942 г. в ЕСК-90 ; WGS-72 в WGS-84 (элементы ориентирования приведены в табл.1 и 2 соответственно) и т.п.

При отсутствии данных об угловых элементах (считая $\omega_x = \omega_y = \omega_z = 0$) предлагаемые формулы и формулы М.С.Молоденского, рекомендованные МГО, дают поправки $\Delta \varphi, \Delta \lambda$ для перевода координат из системы в систему, совпадающие до 0,01".

Определенное удобство предлагаемых формул заключается также в том, что в них входят только два основных параметра эллипсоидов: большая полуось a и сжатие α , которыми, как правило, и определяют тот или иной эллипсоид, тогда как в формулах из [1,3-5,7] используются также производные величины $M, N, \Delta a, \Delta \alpha, e$.

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. Целесообразно последовательно переходить на использование геодезической системы WGS-84 в качестве единой и постоянной для составления навигационных морских карт и практики навигации.
2. Необходимо официально опубликовать параметры преобразования местных и региональных систем координат, включая систему 1942 г., в систему WGS-84.
3. В программном обеспечении вычислительных средств, выполняющих преобразования координат из системы в систему (картографические комплексы, СНС и др.), целесообразно учитывать угловые элементы взаимного ориентирования систем. С этой целью могут быть рекомендованы формулы (1) - (4).

.СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила гидрографической службы N 5. Составление и издание морских карт и карт внутренних водных путей (ПГС N 5). Часть 1.- Б.м.:ГУНиО МО, 1989.
2. MX -1502, Satellite Surveyor Operational Service Manual. Magnavox Report, R-5807, 1979.
3. Defence Mapping Agency Technical Report 8350.2-B, 1987.
4. Параметры общего земного эллипсоида и гравитационного поля Земли ("Параметры Земли 1985 года"). - М.: ВТУ ГШ, 1985. - 12 с.
5. Параметры общего земного эллипсоида и гравитационного поля Земли ("Параметры Земли 1990 года"). - М.: ВТУ ГШ, 1991. - 68 с.
6. Информационное письмо Главморинспекции Департамента морского транспорта РФ, N ГМИ-01/14-211, 1993.
7. Циркулярное письмо МГО N 28 (Transformation notes WGS-84), 1988.
8. Морозов В.П. Курс сфероидической геодезии. - М.: Недра, 1969.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА НАВИГАЦИОННОГО ПАРАМЕТРА – ОТНОШЕНИЯ РАССТОЯНИЙ ДО ДВУХ ОРИЕНТИРОВ

С.КОЛАЧИНЬСКИ

(Институт морской навигации
и гидрографии, Гдыня, Польша)

Сформулировано определение навигационного параметра - отношения расстояний до двух ориентиров. Выведены уравнения изоповерхности равных значений и градиента отношения расстояний, даны их основные характеристики.

Под навигационным параметром (НП) будем понимать физическую величину, измеряемую для определения места судна и являющуюся функцией географических координат судна и навигационных ориентиров (НО). Если имеются два НО A и B , положение которых определено в трехмерной системе координат, т.е.

$$A(X_a, Y_a, Z_a) \text{ и } B(X_b, Y_b, Z_b),$$

то один из возможных способов определения места судна – точки $P(X, Y, Z)$ – основан на измерении расстояний до этих ориентиров

$$d_j = \left[(X - X_j)^2 + (Y - Y_j)^2 + (Z - Z_j)^2 \right]^{0.5}, \quad (1)$$

где $j = A, B$, и на использовании в качестве НП отношения этих расстояний [1, 2, 3, 5]

$$U = d_a/d_b, \quad d_b \neq 0.$$

Это позволяет исключить постоянные коэффициенты и систематические составляющие погрешностей, пропорциональные измеренному расстоянию (например, скорости распространения гидроакустических волн и их систематические погрешности; коэффициенты преломления радиоволн в тропосфере и др.).

Очевидно, что для определения места судна необходимо иметь не менее двух изолиний, соответствующих избранному навигационному параметру, т.е. не менее трех ориентиров.

Для получения уравнения изоповерхности НП рассмотрим квадрат НП $U^2 = d_a^2/d_b^2$ и представим уравнение изоповерхности в виде

$$d_a^2 - U^2 d_b^2 = 0. \quad (2)$$

После необходимых математических преобразований при подстановке (1) в (2) получим уравнение изоповерхности в виде

$$(X - X_c)^2 + (Y - Y_c)^2 + (Z - Z_c)^2 = \sum_l \Delta_l^2 = r^2, \quad (3)$$

где $X_c = E(X_b - X_a)$, $Y_c = E(Y_b - Y_a)$, $Z_c = E(Z_b - Z_a)$;

$$E = U/U^2 - 1, \quad \Delta_l = l - l_c, \quad 1 = l(X, Y, Z), \quad l_c = l_c(X_c, Y_c, Z_c);$$

$$r = E d_b, \quad d_b = \left[(X_b - X_a)^2 + (Y_b - Y_a)^2 + (Z_b - Z_a)^2 \right]^{0.5}.$$

Изоповерхность равных значений отношения расстояний представляет собой сферу (рис.1) с центром в точке $C(X_c, Y_c, Z_c)$ и радиусом r . Здесь d – длина базы между ориентирами. Центр сферы располагается на прямой, продлевающей линию базы, позади навигационного ориентира B на расстоянии от него $d_b = U/r$, если $U > 1$, и позади ориентира A на расстоянии $d_a = Ur$, когда $U < 1$. Если $U \rightarrow 1$, т.е. $d_a \cong d_b$, сферическая изоповерхность превращается в плоскость, описываемую уравнением

$$(X_b - X_a)X + (Y_b - Y_a)Y + (Z_b - Z_a)Z - d^2/2 = 0.$$

На базисной плоскости, проходящей через навигационные ориентиры и искомую точку, сферические изолинии отношения расстояний представляют собой окружности – круги Апполония [5], как это показано на рис.2.

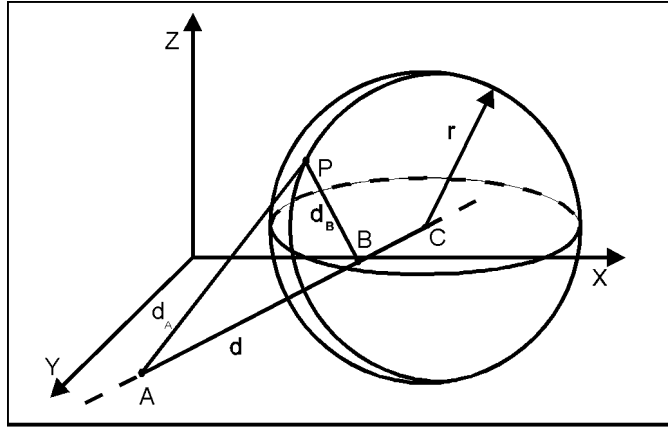


Рис.1. Изоповерхность отношения расстояний.

Для вывода уравнения градиента отношения расстояний представим уравнение НП в виде

$$U = \sqrt{\frac{\sum_m \Delta_{am}^2}{\sum_m \Delta_{em}^2}}, \quad (4)$$

где $\Delta_a = m - m_a$; $\Delta_e = m - m_e$; $m = m(X, Y, Z)$.

Градиент функции U определяется согласно [4] как

$$\text{grad}U = \frac{\partial U}{\partial X} \bar{i} + \frac{\partial U}{\partial Y} \bar{j} + \frac{\partial U}{\partial Z} \bar{k}.$$

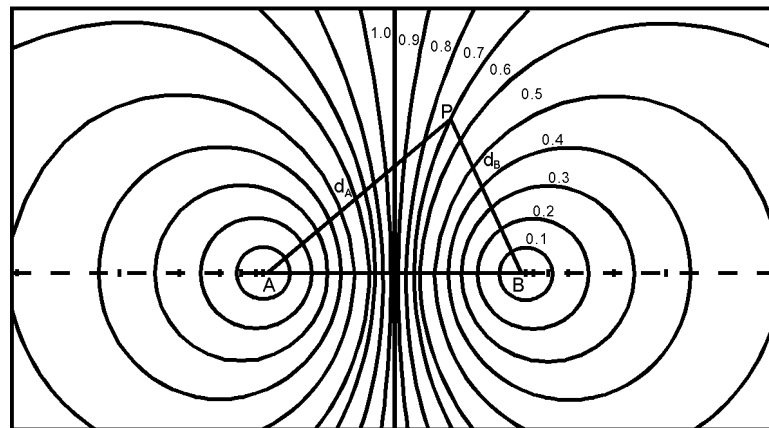


Рис.2.Круги Апполония.

Частная производная отношения расстояний по X равна

$$\frac{\partial U}{\partial X} = \frac{1}{d^2} \left(d_e \frac{\partial d_a}{\partial X} - d_a \frac{\partial d_e}{\partial X} \right),$$

откуда после необходимых преобразований получаем

$$\frac{\partial U}{\partial X} = \frac{1}{d^2} \left(\frac{d_e}{d_a} - \Delta_{ax} - \frac{d_a}{d_e} - \Delta_{ex} \right) \quad (5)$$

и также для Y и Z . На этом основании градиент НП определяется как

$$\text{grad}U = \frac{1}{d^2} \sum_n \left(\frac{d_e}{d_a} \Delta_{an} - \frac{d_a}{d_e} \Delta_{en} \right) n,$$

где $n = n(i, j, k)$, что соответствует $m = m(X, Y, Z)$.

Модуль градиента, определяемый уравнением (4)

$$g = \sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial X}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial Y}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial Z}\right)^2},$$

после подстановок и необходимых преобразований оказывается равным

$$g = d/d_s^2.$$

Направления векторов градиентов отношения расстояний касательны к окружностям сферических изолиний навигационного ориентира B на базисной плоскости (рис.3).

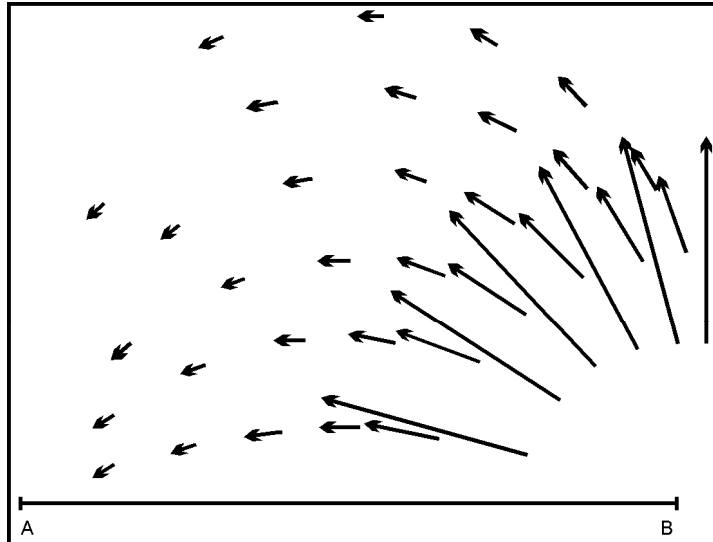


Рис.3. Векторы градиента навигационного параметра отношения расстояний.

Предложенный здесь навигационный параметр – отношение расстояний до двух ориентиров – может быть использован для создания таких новых технических средств навигации, в которых погрешности выходной информации пропорциональны измеренным расстояниям (времени прихода прямых и отраженных сигналов). К последним следует отнести средства местоопределения объектов в радионавигации, радиолокации и гидроакустике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kolaczynski. St. Rola i kierunki doskonalenia systemow nawigacyjnych w nawigacyjno-hydrograficznym zabezpieczeniu dzialan sil marynarki wojennej // Mysl Wojskowa/ - 1989. - N4(531). -S.30-35.
2. Kolaczynski. St. Podstawowe wlasnosci stosunku odleglosci jako parametru nawigacyjnego // Materiały IV Konferencji inzynierii ruchu morskiego, WSM Szczecin. - 1991. -S.113-117.
3. Kolaczynski. St. The main features of the ratio of distances in navigational purposes // Rola nawigacji w zabezpieczeniu dzialalnosci ludzkiej na morzu. Materiały na VIII konferencje naukowo-techniczna cz.I, AMW Gdynia. - 1992. -S.221-227.
4. Маделунг Э. Математический аппарат физики. Перевод с немецкого // - М.: ГИФ-МЛ. 1961. - С.269-280.
5. Сорокин А.И. Гидрографические исследования Мирового океана. - Л.: Гидрометеиздат, 1980. -С.193-196.
6. Walczak A., Wereszczynski J. Teoria linii pozycyjnych. - WSM, Szczecin: 1977. - 197 s.

НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

УДК 623.

НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ ЭФФЕКТОВ И ЯВЛЕНИЙ ДЛЯ НАВИГАЦИИ И ГИДРОГРАФИИ

П.И.МАЛЕЕВ
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Анализируются достижения научно-технического прогресса последних лет, представляющие интерес для навигации и гидрографии. Рассматриваются возможные пути и перспективы использования выявленных, но еще не нашедших применения, новых физических эффектов, явлений и материалов для создания более совершенных средств навигации и гидрографии.

Высокие требования, предъявляемые к современным средствам навигационно-гидрографического обеспечения (НГО), и трудности удовлетворения этих требований диктуют необходимость поиска нетрадиционных путей решения стоящих проблем.

При анализе достижений научно-технического прогресса, выборе и оценке возможности использования в интересах НГО наиболее перспективных из них возникает вопрос, что понимать под новым направлением? Какие принципы, эффекты, явления и материалы рассматривать? Ответ на эти вопросы, по нашему мнению, следующий: анализу необходимо подвергнуть по возможности все достижения фундаментальных и прикладных исследований, которые могут представлять интерес для НГО, но которые еще не нашли до настоящего времени применения в этой области.

Учитывая, что количество выявленных новых эффектов и явлений, представляющих интерес для НГО, значительно, рассмотрение проведем дифференцированно с учетом их значимости.

1. Волоконно-оптическая техника

Интерес к волоконно-оптической технике связан с положительными особенностями ее использования с одной стороны в качестве линий передачи информации, а с другой - возможностью создания высокочувствительных датчиков большого числа параметров физических процессов.

1.1. Основными достоинствами волоконно-оптического тракта передачи информации являются:

- малые потери;
- невосприимчивость к воздействию электромагнитных помех;
- работоспособность в широком диапазоне температур;
- устойчивость к воздействию агрессивных сред;
- полная взрывобезопасность;
- малые габариты и масса;
- возможность передачи изображения (по светодиодам с регулярной укладкой волокон);
- возможность передачи информации с вращающихся блоков и узлов.

Необходимо отметить, что основные элементы волоконно-оптических линий передач (источники и приемники оптического излучения, оптические соединители, ответвители, разветвители, переключатели и т.п.) к настоящему времени отработаны.

Отечественные исследования и анализ зарубежной информации показывают, что в принципе все проводные информационные связи в технических средствах навигации и

гидрографии могут быть заменены на волоконно-оптические (ВО). Однако в настоящее время повсеместный отказ от проводных линий связи представляется преждевременным. Это, по-видимому, целесообразно будет сделать при переходе самих технических средств на новую элементную базу с использованием интегральной оптики.

На данном же этапе развития на основе ВО техники целесообразно решать лишь частные задачи улучшения средств НГО. Остановимся для примера на двух из таких задач. Одной из задач явилось создание ВО системы передачи изображения сектора картушки магнитного компаса на расстояние до 8 м. Разработанные с этой системой компасы КМ-145 и КМ-145П были приняты на вооружение ВМФ в 1984 г. В настоящее время проводится ОКР "Магнит" по созданию более совершенного ВО магнитного компаса. Подобные работы проводятся и за рубежом [1].

Вторым важным направлением в использовании ВО линий связи в интересах навигации является разработка ВО магистрали трансляции навигационных параметров. Разработанный к настоящему времени образец такой магистрали (исполнитель МГП "НАВИ-ДАЛС") показал хорошие результаты. На 1995 - 1999 гг. запланирована ОКР по созданию ВО магистрали трансляции параметров от навигационных комплексов для 150 потребителей на расстоянии не менее 1000 м. Темп передачи - до 2000 сообщений в с. По сравнению с электропроводной системой трансляции ожидается уменьшение массы и объема в 3 раза, трудоемкости обслуживания - в 5 раз, снижение стоимости жизненного цикла - на 40%.

1.2. Волоконно-оптические датчики известных в настоящее время типов позволяют осуществлять обнаружение и измерение параметров более 50 различных физических процессов. Причем в ряде случаев рабочие характеристики таких датчиков существенно превосходят характеристики датчиков других типов. В плане рассматриваемой нами проблемы наибольший интерес представляют волоконно-оптические датчики магнитного и электрического полей, абсолютной угловой скорости, ускорения, давления, температуры, удельной электропроводности, смещения, вибрации, тока, деформации и ряда др. Достигнутый уровень развития этих датчиков характеризуется следующими показателями чувствительности:

- магнитного поля $\sim 10^{-11}$ Тл/Гц^{1/2};
- абсолютной угловой скорости $\sim 0,1$ °/ч;
- скорости потока воды $\sim \pm 0,1$ м/с в широком диапазоне;
- температуры воды $\sim \pm 0,05$ °С в диапазоне от -2 °С до 40 °С;
- давления $\pm 0,5$ %;
- солености ~ 1 %;
- скорости звука в воде ~ 1 м/с;
- влажности ~ 2 %;
- скорости ветра $\pm 0,5$ м/с;
- направления ветра ± 2 °.

Весьма существенно, что определенная общность работы ряда из этих датчиков позволяет создавать на их основе многоцелевые измерительные системы. Одна такая система с помощью сменных датчиков измеряет несколько параметров [2].

На основе ВО датчиков могут быть созданы:

- ВО гидрологическая система типа "Коса", содержащая буксируемый кабель с укрепленными на нем через определенные расстояния ВО датчиками температуры, давления, солености и др. и блок обработки информации. Такая система обеспечит в реальном масштабе времени одновременное измерение гидрологических параметров на различных горизонтах. Передача информации от датчиков к блоку обработки может осуществляться по ВО кабелю;

- ВО гидрометеорологический комплекс, обеспечивающий измерение не только параметров воды, но и атмосферы (температуры воздуха, скорость и направление ветра, влажность, атмосферное давление и т.п.), а также магнитного поля земли и электромагнитных полей;

- ВО измеритель скорости звука в месте установки антенн гидроакустических лагов для повышения их точности;

- ВО гироскопы и акселерометры для малогабаритных инерциальных навигационных систем средней точности, но обладающих высокой надежностью;

- ВО магнитные компасы на основе ВО магнитометров и ВО системы трансляции информации о курсе;

- ВО системы диагностики для измерения тока, напряжения, вибрации и т.п.

2. Сверхпроводимость

Сверхпроводимость характеризуется отсутствием при определенных условиях у ряда материалов сопротивления электрическому току. Это явление известно уже более 80 лет, однако только в последние десятилетия начинает находить практическое использование. Особенно интенсивно работы в этом направлении стали проводиться с появлением в 1986 г. высокотемпературных сверхпроводников. Переход их в сверхпроводящее состояние осуществляется при температуре жидкого азота (77 К) и выше (пока рекорд 133 К, т.е. - 140° С).

Сверхпроводящими являются 20 элементов таблицы Менделеева и более 2000 сплавов и соединений. Перспективы использования сверхпроводимости связаны с одной стороны с необходимостью поддержания устройств на их основе в условиях низких температур, что само по себе дает положительный эффект, а с другой - с уникальными эффектами и явлениями, которые наблюдаются лишь в этих условиях. К настоящему времени у сверхпроводящих материалов и приборов на их основе выявлено около 30 своеобразных физических свойств. Ряд этих свойств представляет для решения проблемы в рассматриваемой области несомненный интерес.

2.1. Прежде всего это выталкивание из сверхпроводника магнитного поля (эффект Мейсснера). На его основе может быть создан идеальный экран от электромагнитного воздействия.

2.2. Тесно связанный с этим эффектом эффект Браунбека, объясняющий устойчивое взвешивание сверхпроводника в магнитном поле. На основе этих эффектов может быть создан сверхпроводящий неконтактный подвес ротора гироскопа, чувствительной массы акселерометров, гравиметров, гравитационных градиентометров и др. элементов и устройств.

2.3. Весьма заманчивым для практики свойством сверхпроводящих материалов является и то, что при соприкосновении двух сверхпроводников имеет место тунелирование (проникновение) электронных пар от одного из таких тел в другое даже при наличии между ними слоя диэлектрика (эффект Джозефсона).

Интерес к этим эффектам связан с тем, что контакт сверхпроводящих тел оказывается весьма чувствительным к внешним воздействиям. На их основе созданы, так называемые, СКВИДы (сверхпроводящие квантовые интерферометрические датчики), обладающие рекордной чувствительностью к магнитному полю и электромагнитным излучениям. Использование таких датчиков весьма перспективно в гироскопии, магнитометрии, гравиметрии, астро-радионавигационных и спутниковых навигационных системах, акселерометрии и т.п.

2.4. Ещё одним интересным эффектом в области сверхпроводимости является "магнитная потенциальная яма" (МПЯ). Суть этого эффекта можно пояснить следующим образом.

Известно, что при сближении двух магнитов разноименными полюсами имеет место притяжение вплоть до их слипания. Одноименные полюса, наоборот, - отталкиваются, разъединяя магниты. Если же мы имеем идеально электропроводящий виток с током, в частности кольцо сверхпроводника с током, то такое кольцо создает магнитное поле. В поле такого кольца магнит занимает с определенным зазором устойчивое положение: при сближении магнита и кольца действуют силы отталкивания, а при удалении - силы притяжения. Имеется ряд перспективных направлений использования этого эффекта в приборостроении и технике вообще. Прежде всего МПЯ - это магнитный упругий элемент, действующий неконтактно через пространство и способный воспринимать очень большие усилия, по оценке до 500 кгс/см^2 , тогда как гидродинамическая опора для сравнения - $12-15 \text{ кгс/см}^2$. Это позволяет надеяться на создание ряда принципиально новых высокоточных приборов, в частности, таких как гравиметры, акселерометры и т.д., т.п.

2.5. Следует указать на эффект Барнетта - появление магнитного поля (момент Лондона) у сверхпроводника при его вращении, что облегчает съем информации с ротора гироскопа.

Достигнутый уровень чувствительности (точности) сверхпроводниковых приборов, представляющих интерес для НГО, приведен в таблице.

3. Нейтрино

Нейтрино - элементарная частица с нулевым зарядом и весьма малой массой. Отличительной уникальной особенностью нейтрино является её высокая проникающая способность. Поток нейтрино с энергией 1 Мэв, незначительно ослабляясь, пронизывает всю толщу Земли. Это свойство нейтрино указывает на принципиальную возможность его использования для связи, навигации и управления пл на любой глубине плавания в любом районе мирового океана. Негативной стороной высокой проникающей способности нейтрино

является трудность её регистрации. Решение этой части проблемы - в использовании нейтрино от ускорителей высоких энергий. С повышением энергии нейтрино их взаимодействие с веществом возрастает. Созданные к настоящему времени ускорители дают в импульсе до 10^{14} - 10^{15} $v/см^2 с$ с энергией в несколько Тера эв ($1 Тэв=10^{12} эв =10^6 Мэв$). Для сравнения поток нейтрино на Земле от Солнца 10^{10} - 10^{11} $v/см^2 с$; из космоса - 10^{13} $v/см^2 с$; от самой Земли - 10^9 $v/см^2 с$; от ядерных реакторов - до 10^{20} $v/см^2 с$, но их энергия не превышает 2 Мэв.

Достигнутый уровень чувствительности (точности) сверхпроводниковых приборов

Наименование параметра	Единица измерения	Значение величины
Линейные перемещения	м	10^{-18}
Угловые повороты	угл. с	10^{-2}
Электрический ток	А	10^{-14}
Электрическое напряжение	В	10^{-18}
Магнитное поле	Тл/Гц ^{1/2}	10^{-14}
Электромагнитное излучение	Дж/Гц	10^{-30}
Линейное ускорение	g	10^{-11}
Угловое ускорение	град/с ² Гц ^{1/2}	10^{-9}
Удержание заданного направления	угл.с/град	10^{-3}
Стабилизация температуры	К	10^{-6}
Стабилизация тока	в относит. ед.	10^{-10}
Экранирование от магнитных полей	в относит. ед.	10^8
Стабилизация частоты СВЧ-генераторов	в относит. ед.	10^{-14}
Грузоподъемность подвеса	кг/см ²	10^2
Стабилизация магнитного поля	Тл	10^{-11}
Градиенты магнитного поля	Тл/м Гц ^{1/2}	10^{-13}
Градиенты гравитационного поля	Этвеш	10^{-1}
Детектирование излучений болометром	Вт/Гц ^{1/2}	10^{-12}
Детектирование излучений мм-диапазона	Вт/Гц ^{1/2}	10^{-16}
Широкополосный прием радиосигналов	Вт/Гц ^{1/2}	10^{-14}
Добротность резонаторов	в относит. ед.	10^{10}

Успех физиков по созданию мощных ускорителей - источников нейтрино и их эффективных регистраторов привели к тому, что наряду с чисто физическими исследованиями в последние годы начаты и интенсивно ведутся прикладные работы по использованию нейтрино в интересах астрономии, геофизики, связи и др. Первые публикации о работах по применению потоков нейтрино в технических средствах морских объектов появились в США в 1977-1978 гг. Отмечалось, в частности, что цель этих работ - обеспечить связь с подводными лодками [3]. Финансирование работ осуществляло Управление НИОКР ВМС США. В последующие годы были опубликованы отчеты о проведении тестовых экспериментов по приему нейтринных сигналов на расстоянии до 3000 км от ускорителя.

Работа по созданию ускорителей, создающих потоки нейтрино высоких энергий, а также их эффективных регистраторов проводилась в те годы и в СССР. Интенсивно разрабатывался подводный "Телескоп" нейтрино (проект "ДЮМАНД") для размещения его на глубине 4-5 км. Создавался ускорительно-накопительный комплекс (УНК) в районе г.Серпухов, нейтринные потоки от которого планировалось регистрировать, в частности, на расстоянии в 4200 км в озере Байкал [4]. В последние годы из-за финансовых трудностей завершение этих работ затягивается.

Необходимо отметить, что реализация рассматриваемого варианта подводной навигации и связи потребует огромных затрат и целесообразна, по-видимому, лишь после решения ряда чисто физических проблем.

4. Сейсмические волны

Сейсмические волны - это низкочастотные ударные волны, распространяющиеся как по поверхности, так и в глубинных недрах Земли. Поверхностные быстро затухают, их скорость не превышает нескольких километров в секунду., глубинные же со скоростью до 13 км/с пронизывают на своем пути все водное и земное пространство на тысячи километров. Это дает основание надеяться на возможность и перспективность использования таких волн в интересах подводной навигации и связи. Весьма существенным является то обстоятельство, что трассы распространения этих волн с течением времени практически не меняются. Важно также и то, что в интересах поиска полезных ископаемых а также обнаружения ядерных взрывов, отдельные составные части сейсмических систем (такие как сейсмо-ударники этих волн и приемники) достигли в последние годы высокого уровня совершенства.

5. Искусственные магнитные поля

Искусственные магнитные поля в отличие от естественного магнитного поля Земли обладают большим разнообразием свойств. Эти поля:

- могут в сотни и тысячи раз превосходить естественное;
- практически не обладают вариациями;
- могут изменяться по любому заданному закону;
- могут создаваться в тех местах, где это необходимо;
- могут иметь высокие градиенты;
- позволяют создавать "сети" от двух и более источников.

Принципиально возможны два варианта использования искусственно создаваемых магнитных полей в интересах навигационного обеспечения.

В первом варианте из них на берегу создается мощный магнитный диполь, в частности, с помощью двух-трех разнесенных на определенные расстояния колец сверхпроводящего кабеля с током в тысячи ампер, что вполне реально. Магнитное поле таких диполей распространяется на сотни и даже тысячи километров. Эти поля могут регистрироваться на объекте с помощью высокочувствительных магнитометров. По результатам измерений определяются координаты объекта на любой глубине плавания. Ток в сверхпроводящих кольцах может быть не только постоянным, но и переменным, а также модулированным по определенному закону. Оценки показывают, что при современном уровне чувствительности детекторов магнитного поля $\sim 10^{-14}$ Тл/Гц^{1/2} (что обеспечивается СКВИДами), прием сигналов частотой ниже 10^4 Гц возможен на глубинах до 100 м [5].

Во втором, более перспективном варианте по дну морской акватории в специально выбранных районах укладываются намагнитенные точечные или протяженные реперы (намагнитенные трос, труба, затонувшие объекты и т.п.), координаты которых известны. Регистрация этих реперов осуществляется с помощью магнитометров и магнитных градиентометров, размещаемых либо на буксируемом кабеле-тросе, либо непосредственно на самом объекте. Возможности создания такой навигационной системы связаны с достижениями последних лет в области магнитометрии, резко возросшей производительностью вычислительных средств, обеспечивающих обработку информации в реальном масштабе времени, а также с разработками специальных методов компенсации помеховых полей, в том числе создаваемых самим объектом.

Отметим, что рекордным значением магнитного поля обладают магниты, созданные в последние годы в США и Франции [6]. Поле этих магнитов достигает 37,2 Тл, что почти в 700 раз сильнее магнитного поля Земли.

6. Естественная и искусственная радиоактивность

Неоднородно распространенные на дне морей и океанов радиоактивные вещества естественного или искусственного происхождения также можно в принципе использовать для коррекции координат объектов в подводном положении. Наиболее пригодными для этой цели являются гамма-излучающие радиоактивные вещества. Учитывая, однако, что и это излучение распространяется в воде лишь на метры, регистрация их возможна, если детекторы размещать на кабель-тросе, выпускаемом с объекта, что ограничивает возможности этого способа коррекции места. Необходимо учитывать также экологические последствия, связанные с установкой таких искусственных реперов и их возможным разрушением.

7. Сложные (шумоподобные) гидроакустические сигналы

К сложным относятся сигналы с частотной модуляцией, частотной и фазовой манипуляциями, а также различные кодовые последовательности. Сложные электромагнитные сигналы в настоящее время получили широкое распространение в радиолокации, а в последние годы в радионавигации и связи. Они обеспечивают повышенную помехоустойчивость и скрытность работы этих средств.

Сравнительный анализ радио- и гидроакустических сигналов указывает на перспективность использования сложных сигналов и в гидроакустике, в частности, для повышения скрытности работы гидроакустических лагов, эхолотов и маяков-ответчиков.

8. Универсальные инерциальные чувствительные элементы

Известно, что точность универсальных инерциальных навигационных систем (ИНС) и систем курсоуказания (СК) определяется, в первую очередь, техническими характеристиками используемых в них гироскопов. Повышение точности гироскопов, несмотря на предпринимаемые усилия, идет крайне медленно. В связи с этим естественно стремление при разработке ИНС и СК отказаться от гироскопов и строить их на одних лишь линейных акселерометрах. Практика создания чувствительных элементов (ЧЭ) для ИНС указывает на то, что высокоточные акселерометры создать легче, чем гироскопы, они обладают меньшими массогабаритными характеристиками, более серийноспособны и т.п. Немалое значение имеет также унификация и стандартизация ЧЭ в системах. Анализ показывает, однако, что известные способы использования линейных акселерометров при создании таких безгироскопных ИНС относительно высокой точности требуют как минимум 6 попарно разнесенных акселерометров с порогом чувствительности на уровне 10^{-9} - 10^{-11} g [7, 8]. Нами было показано, что требования к чувствительности на порядки снижаются, если пары разнесенных акселерометров со взаимно ортогональными осями чувствительности одновременно вращать вокруг пересекающихся внутренней и внешней осей карданова подвеса, обеспечить двойную дифференциальную схему формирования выходного сигнала и работать в нуль-индикаторном режиме [9, 10].

Существенно отметить, что на основе такого блока ЧЭ могут быть созданы не только ИНС [11, 12], СК [13], но и гравитационный градиентометр [14, 15]; наибольшей точностью эти системы могут обладать при использовании сверхпроводниковых акселерометров. Помимо линейных однокомпонентных акселерометров унифицированными элементами могут быть и многокомпонентные акселерометры. Макетный образец шестиосного сверхпроводникового акселерометра, разработанный в США [16–18] в конце 1980-х годов, обладал точностью $4 \cdot 10^{-11}$ g Гц^{-1/2} по линейным составляющим ускорения и $1,7 \cdot 10^{-9}$ град·с⁻² Гц^{-1/2} по угловым составляющим ускорения. В комбинации с гравитационным градиентометром такой датчик представляет градиентометрическую ИНС.

Единый датчик для выработки всех шести (трех линейных и трех угловых) параметров поступательного и вращательного движения по трем ортогональным направлениям содержит и разработанный в США инерциальный измерительный блок “кубик” [19]. Датчик представляет собой кубическую конструкцию с соответствующим набором по каждой оси движения элементов магнитного подвеса и матриц конденсаторов для съема выходной информации. При общей массе инерциального блока менее 100 г точность созданного образца составила 10^{-6} g по трем ортогональным осям поступательного перемещения и 10^{-2} град./ч по трем осям вращательного движения. Единый акселерометрический датчик ускорения и углового вращения с подобными параметрами, но на другом принципе (использованы резонансные свойства кварцевых кристаллов) описан в [20].

Необходимо отметить, что в алгоритмах ИНС рассматриваемых датчиков требуется дополнительное интегрирование, что приводит к росту погрешностей в выработке навигационных параметров. Поэтому такие системы целесообразно использовать при работе на относительно коротких интервалах времени.

9. Нестационарные частотные методы измерений

Разрешающая способность, точность и быстродействие измерений зависят от того, в каком виде содержится информация в сигнале с выхода датчика. В настоящее время широкое применение получили амплитудные, импульсные, фазовые, импульсно-фазовые и частотные методы измерений. Каждый из этих методов обладает своими особенностями. Наибольшее развитие получили частотные методы, обладающие высокой точностью и быстродействием.

Однако и в этих методах точность измерения физической величины определяется не точностью измерения частоты, а добротностью датчика. Добротность же реальных первичных резонансных датчиков обычно невысока, в результате точность измерения физической величины оказывается значительно (иногда на порядок) ниже.

В последние годы предложены и разрабатываются новые методы измерений, в основе которых лежит использование объективно существующих эффектов нестационарного смещения частоты непрерывных волн, распространяющихся в среде с изменяющимися во времени свойствами, или электрических колебаний в цепях с переменными параметрами [21, 22]. Нестационарные частотные методы обладают высокой разрешающей способностью, позволяют повысить точность измерений на порядок и более по сравнению с известными. Методы являются нестационарными в том смысле, что могут регистрировать только изменяющиеся во времени величины.

Оценки показывают, что скорость изменения среды этими методами может быть измерена с точностью 10^{-4} - 10^{-5} м/с; изменение температуры - на уровне 10^{-4} К и менее, относительные изменения электрических емкости, индуктивности и сопротивления на уровне 10^{-5} - 10^{-6} и т.п. Представляется, что нестационарные частотные методы могут быть полезны при создании технических средств навигации и гидрографии, средств метрологического обеспечения высокого класса при разработке средств комплексной диагностики, предсказания цунами и в ряде других областей.

10. "Гибкий свет"

Московскими физиками в последние годы созданы светящиеся "провода" неограниченной длины. В основе работы этих проводов лежит принцип электролюминесценции. Эти "провода" потребляют мало энергии, могут питаться от батарейки и по сравнению с традиционной световой рекламой являются намного экономичнее. Не исключено, что их использование целесообразно и в интересах технических средств навигации и навигационного оборудования.

11. Воздушно-алюминиевый электрохимический генератор

В 1994 г. в России создан и запускается в серийное производство воздушно-алюминиевый электрохимический генератор, выгодно отличающийся от генераторов других типов [23]. Основное назначение этого источника энергии - питание электромобилей. При массе в 100 кг он обеспечивает пробег электромобиля в 800 км или работу в течение 3000 ч. Экологически чистый он может, по-видимому, найти применение и в интересах НГО, в частности, для питания маяков, знаков, аварийных средств и т.п.

12. Сегнетоэластики

Сегнетоэластик - материал (монокристал), форма которого за счет гистерезисных явлений может быть изменена под действием механического или электрического воздействия. Одновременно с деформацией формы в сегнетоэластике генерируется электрический заряд, обусловленный переключением спонтанной поляризации. Кроме того, в зависимости от своего ориентационного состояния сегнетоэластик пропускает поляризованный световой поток. Эти уникальные свойства сегнетоэластиков могут быть использованы для создания целого ряда приборов различного функционального назначения. На основе сегнетоэластиков могут быть созданы 3 группы устройств:

- устройства оптоэлектроники (светоклапаны, модуляторы света, оптроны, дефлекторы и др.);

- устройства акустоэлектроники (линии задержки, фильтры, резонаторы и др.);

- разнообразные датчики для автоматизированных систем.

Основой создания датчиков этой группы, которые привлекают наибольшее внимание в рассматриваемой нами проблеме, может служить базовый элемент сегнетоэластика габаритами в 1 см^3 и потребляемой мощностью порядка 10^{-3} Вт с нанесенными электродами и диэлектрическими зажимами. Дополняя этот базовый элемент соответствующими конструктивными и электронными элементами, можно создавать простые датчики: линейных ускорений с чувствительностью $\sim 10^{-5}$ g, линейных перемещений с чувствительностью $\sim 10^{-3}$ мм, вибраций на 10^{-7} А с²/м, ударов в диапазоне от 1 гс до 1 кгс, угловых перемещений, давления и многое другое.

Положительные особенности сегнетоэластичных приборов по сравнению с функциональными аналогами на других принципах открывают широкие возможности совершенствования на их базе технических средств навигации и гидрографии.

13. Магнитострикция

Магнитострикция - это изменение размеров магнетика при изменении его состояния. Магнитострикция открыта более 130 лет назад и в ряде приборов и устройств уже используется. Однако в последние годы интерес к этому явлению значительно возрос. Это связано с обнаружением отечественными учеными аномально высокой магнитострикции в редкоземельных и урановых соединениях [24]. Американские военные лаборатории в связи с этим открытием развернули колоссальную активность по реализации открывающихся широких возможностей. Привлекательность эффекта магнитострикции в этих соединениях в том, что он обладает огромной силой и поддается контролю. К настоящему времени выявлено значительное число материалов из этих соединений. Некоторые из них засекречены (по составу). В США налажен промышленный выпуск подобных материалов и ожидается определенная гонка в вопросах их применения [25].

Выявленные перспективные направления использования этих новых материалов включают:

- мощные преобразователи низкочастотных акустических гидролокаторов;
- гидроакустические лаги и эхолоты;
- средства подавления вибрации и шума;
- средства автоматики для обеспечения перемещений с высокой точностью и др.

Таким образом уже этот далеко не полный охват новых явлений, эффектов и материалов указывает на широкие возможности повышения на их основе технических характеристик существующих и создание принципиально новых, более совершенных средств НГО.

В заключение следует отметить, что наибольший эффект от внедрения достижений научно-технического прогресса может быть достигнут за счет внедрения не отдельных эффектов и явлений, а при комплексном их использовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Miamoto Yoshinori et al. // Nihon kokai gankaishi = Navigation - 1993. - N115. - P.14-15 - яп. // Метрология и измерительная техника. - 1994. - Т.11, - П 11.32.701.
2. Широков Г.И., Светиков Ю.В. Техника волоконно-оптических датчиков. - М: ЦООНТИ "Экос". - 1988. - 39 с.
3. Новости науки. // Нью-Йорк Таймс. - 1977. - 28 октября.
4. Исследования взаимодействий нейтрино в нейтринных пучках УНК с помощью глубоководной установки в оз. Байкал. Препринт ФИАН ЛЭЧ N87. - Москва - Серпухов - Иркутск. - 1989. - 56 с.
5. Левин Л.А., Малеев П.И. Низкотемпературные явления в судовом приборостроении // Судостроение за рубежом. - 1980. Вып.8. - С.37-55.
6. Новости науки. // Изобретатель и рационализатор. - 1993. - Вып.12. - С.18.
7. Андреев В.Д. Теория инерциальной навигации. Автономные системы. - М: Наука, 1966. - 579 с.
8. Захарин М.И., Захарин А.М. Кинетика инерциальных систем навигации. - М: Машиностроение, 1968. - 160 с.
9. А.С. 90211 (СССР). / П.И.Малеев и др.
10. А.С. 157987 (СССР). / П.И.Малеев и др.
11. А.С. 103011 (СССР). / П.И.Малеев и др.
12. А.С. 116036 (СССР). / П.И.Малеев и др.
13. А.С. 147043 (СССР). / П.И.Малеев и др.
14. А.С. 148914 (СССР). / П.И.Малеев и др.
15. А.С. 238964 (СССР). / П.И.Малеев и др.
16. Chan X.A. et al. // IEEE Transactions on Magnetics. - 1985.,V. MAG-21. N2. - P.411-414.
17. Moody M.V. et al. // J. Appl. Phys. - 1986, 15 Dec., V.60, N12. - P.4308-4315.
18. Chan X.A. et al. // Phys. Rev. D. - 1987, V.35, N12. - P.3572-3597.
19. Morrison M. // Navigation. - 1988. V.35, N2. - P.177-184.
20. Hulsing R.H. // Navigation. - 1988. V.35, N3. - P.347-359.
21. Крылович В.И. Нестационарный эффект Доплера и частотно-фазовые методы исследования и контроля. // ИФЖ. - 1979. - Т.36. N3. - С.482-493.
22. Крылович В.И. Об эффекте смещения частоты принимаемых волн. // ИФЖ. - 1981. - Т.41. N3. - С.507-513.
23. Новости науки. // Известия. - 1995. - 10 янв. - С.4.
24. Вонсовский С., Осипян Ю. Удивительные магниты. // Правда. - 1984. - 19 сент. - С.3.
25. Новости науки. // За рубежом. - М. - 1990. N7(1544). 9-15 февр. - С.7.

**СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ И ОБЛИК НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА
ДЛЯ БОЕВЫХ НАДВОДНЫХ КОРАБЛЕЙ НАЧАЛА XXI ВЕКА**

**Г.И.ЕМЕЛЬЯНЦЕВ,
Э.С.МОИСЕЕВ,
А.Н.СОЛНЦЕВ**
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Предлагается эффективность НК на этапах задания, разработки и эксплуатации оценивать показателями информационной автономности, эффективности и уровня автоматизации. Приводится возможный "облик" НК для боевых надводных кораблей XXI века: состав, структура, особенности.

В настоящее время, наряду с известными тактико-техническими требованиями к навигационным комплексам (НК) для перспективных боевых надводных кораблей выдвигаются новые, обусловленные, в основном, требованиями обеспечения ракетного оружия (УРО) и палубной авиации; повышением эффективности радиоэлектронного противодействия (РЭП) и воздействия УРО противника; дефицитом времени для решения задач обеспечения навигационной безопасности плавания и управления в системе "штурман-НК-АСУ БД", которые требуют новых подходов к созданию НК.

Современное УРО надводных кораблей значительно ужесточает требования к точности выработки навигационных и динамических параметров.

Увеличение длительности и протяженности современной морской операции, применение противником разнородных сил с комплексным воздействием РЭП и УРО, воздействие гидрометеорологических факторов, все это уменьшает вероятность обсерваций по РНС, СНС, АНС и приводит к необходимости ориентироваться на автономные средства навигации.

Ограничения на использование средств навигации в боевых условиях, возросшие требования к точности навигационного обеспечения безопасности плавания, кораблевождения, УРО, необходимость сокращения л/состава, возросший объем решаемых задач, усложнение техники НК и управления им - все это приводит к дефициту времени в системе "штурман-НК-АСУ БД" и требует дальнейшего повышения уровня и глубины автоматизации НК.

Анализ зарубежного опыта показывает, что там НК уже строятся с учетом отмеченных требований. Так, в составе НК надводных кораблей ВМС Великобритании начала XXI века планируется иметь прецизионные ИНС, РАНС и батиметрические навигационные системы (БНС), работающие по полю рельефа дна с использованием мелкомасштабных цифровых морских карт [1]. В 1990 г. на вооружение сторожевых кораблей стран НАТО принята бесплатформенная ИНС (БИНС) на лазерных гироскопах (ЛГ) Mk-49 с точностью по месту 2 км за 24 ч с вероятностью $P=0,95$ [2, 3]. В ВМС США также придается большое значение автономности навигации и основному средству его достижения - ИНС. В зависимости от класса надводных кораблей и свойственной им длительности боевых действий устанавливаемые на них ИНС обладают низкой, средней и высокой точностью, имея, соответственно, интервалы между коррекциями от нескольких часов до нескольких суток.

В число новых требований, предъявляемых к НК, входят:

- информационная автономность;
- информационная эффективность;
- высокий уровень автоматизации.

Под информационной автономностью понимается способность НК определенное время выработать заданные навигационные параметры (НП) с требуемой точностью при использовании только автономных средств навигации, не подверженных РЭП противника. Требование информационной автономности предлагается выражать временем, которое зависит от оперативно-тактической модели использования корабля и может колебаться от 8 ч до 2 сут.

Под информационной эффективностью понимается способность НК на различных этапах плавания корабля выработать заданные НП с требуемой точностью с учетом вероятности и

ограничений на боевое использование средств навигации. Требования информационной эффективности предлагается выражать на каждом этапе плавания показателем эффективности по точности

$$W^T(p) = 1 - \exp(-M_s^2(p) / 2M^2(p)),$$

где $M_s^2(p)$ — дисперсия заданной точности параметра Р на этапе плавания;

$M^2(p)$ — дисперсия полученной точности параметра Р на этапе плавания при использовании определенных средств навигации с учетом возможностей их использования.

Для надводного корабля плавание подразделяется на следующие последовательные этапы:

1. выход из базы, плавание в узкостях и по ФВК;
2. переход в район выполнения боевой задачи;
3. выполнение боевой задачи;
4. переход в базу;
5. плавание в узкостях и по ФВК, вход в базу.

Каждый из этапов имеет присущие ему требования по точности выработки НП и ограничения на использование средств навигации. Так на 1 и 5-ом этапах к НК предъявляются требования выработки координат с высокой точностью без ограничений на использование средств навигации. Требования по точности составляют $M(P=0,997) = 10-60$ м (варьируется из-за особенностей акватории) или 0,5 ширины фарватера, канала, узкости. На 2 и 4-ом этапах плавания требования к точности места варьируются в пределах $M(P=0,997) = 1,8 - 5,5$ км или 4% от расстояния до ближайшей навигационной опасности или береговой черты; имеются ограничения на использование зарубежных СНС и РНС. На 3-ем этапе плавания требования к точности выработки и номенклатуре НП определяются УРО; имеются ограничения на использование СНС, РНС и АНС из-за воздействия РЭП и УРО противника.

Под уровнем автоматизации понимается возможность НК по обеспечению решения штурманом обязательных на каждом этапе плавания задач за допустимый интервал времени. Уровень автоматизации предлагается выражать на каждом этапе плавания показателем эффективности автоматизации

$$W^A = \frac{1 - \xi'}{1 - \xi \cdot \xi'}$$

где $\xi = \delta / T_g$; $\delta = \sum_n \lambda_i t_{pi}$; $\xi' = \exp(1 - \xi^{-1})$;

λ_i - количество i -ых задач, решаемых за время T_g ;

t_{pi} - время решения i -ой задачи в системе "штурман-НК";

T_g - допустимое время (интервал) решения задач.

Величина T_g на 1 и 5-ом этапах плавания представляется временем нарастания погрешности счисления до заданного значения, на 2-4-ом этапах - как возможный интервал времени между наблюдениями, исходя из вероятностей использования применяемых средств коррекции.

Количественно требования $W^T(p)$ и W^A для каждого из этапов плавания предлагается выражать через допустимые величины показателей $W_g^T(p)$ и W_g^A , определяемых как:

$$1 \geq W_g^T(p) \geq \lim_{M(p) \rightarrow M_s(p)} W^T(p) = 0,39 \quad \text{и} \quad 1 \geq W_g^A \geq \lim_{\delta \rightarrow T_g} W^A = 0,5.$$

Требования информационной автономности для разных надводных кораблей могут быть удовлетворены различными путями. Однако наиболее эффективным представляется использование ИНС и реализация в НК инерциального режима работы. ИНС является интегрированным навигационным измерителем, который обеспечивает выработку не только навигационных параметров (курс, координаты, линейные скорости), но и динамических (углы и угловые скорости рыскания и качки, динамические составляющие вектора линейной скорости и т.д.), необходимых для обеспечения как УРО и палубной авиации, так и адаптивных авторулевых.

Анализ показывает, что инерциальный режим НК начала XXI века с учетом требований УРО, информационной автономности и эксплуатационных требований (среднее время наработки на отказ $T_o \geq 10000$ ч; время готовности $T_r \leq 2$ ч; ремонт силами личного состава; снижение массо-габаритных характеристик, энергопотребления и стоимости) для боевых

надводных кораблей океанской и морской зоны (ТАКР, РКР, ЭМ, БПК) необходимо строить на основе бесплатформенных ИНС (БИНС) на электростатических (ЭСГ) или прецизионных лазерных гироскопах (ЛГ) с дрейфом $\delta_z = 1 \cdot 10^{-3}$ град/ч. В этом случае в НК может обеспечиваться инерциальный режим выработки координат места с погрешностью M ($P=0,997$) ≤ 5 км за 1÷2-е сут. при времени готовности $T_z = 2$ ч (нормальное приготовление) и $T_z = 30-40$ мин (экстренное приготовление). Для малых боевых кораблей (СКР, МРК) и катеров НК должны строиться на основе БИНС на ЛГ с дрейфом $\delta_z = 1 \cdot 10^{-2} \div 3 \cdot 10^{-3}$ град/ч, которые могут обеспечивать в НК инерциальный режим выработки координат места с погрешностью M ($P=0,997$) ≤ 5 км за 6 - 8 ч при времени готовности $T_z \leq 40$ мин.

При этом целесообразно, чтобы такая БИНС, информационно интегрированная с приемоиндикатором систем ГЛОНАСС и НАВСТАР, использовалась в качестве единой общекорабельной системы навигации и стабилизации, а также обеспечивала бы выработку и выдачу в авторулевой весь необходимый перечень навигационных и динамических параметров для реализации соответствующего закона управления.

Требования информационной эффективности для различных классов кораблей могут быть удовлетворены дифференцированно по этапам плавания различным составом средств.

Если на 1 и 5-ом этапах плавания могут быть использованы высокоточные РНС ближнего действия или СНС с учетом дискретности обсерваций, то на 2-4-ом этапах плавания из-за возможного РЭП и воздействия УРО противника необходимо опираться на автономные средства и средства, имеющие устойчивость к внешним воздействиям.

Установлено, что в условиях РЭП и воздействия УРО противника требование информационной эффективности для всех классов кораблей на 2-4-ом этапах плавания достигается при работе НК в инерциальном режиме.

Для коррекции инерциального режима НК в море достаточно внешней информации о координатах места, для чего используются данные СНС. На 3 этапе плавания такая информация может быть получена от автономных и помехоустойчивых средств коррекции (батиметрических и астрономических). Однако для повышения эффективности последних необходимо повысить их точность до M ($P=0,997$) $\leq 2-3$ км. Заметим, что для коррекции инерциального режима в НК достаточна обсервация только одной линии положения по долготе.

При работе ИНС в море не требуется определения поправок курса. Контроль за изменчивостью погрешности ИНС по курсу в море может быть обеспечен косвенным методом - по обсервациям. Поэтому прямые измерения азимутов естественных или искусственных астроориентиров с помощью АОП и РАНС необходимы только при испытаниях НК или после его ремонта.

Установлено, что при наличии в НК инерциального режима включение в состав НК такого автономного средства, как глубоководный ГАЛ и реализация на его измерениях режима счисления неэффективно и избыточно для надводных кораблей всех классов. Для демпфирования погрешностей ИНС достаточно обычных ГАЛ типа ЛА-52, 53 или относительных лагов.

Требования к необходимому уровню автоматизации НК достигаются целесообразным переводом ручных и автоматизированных операций в автоматический режим, повышением автоматизации АРМ-Ш путем включения электронной картографической навигационной измерительной системы (ЭКНИС) с совмещением цифровых морских карт с изображением от навигационной РЛС (НРЛС), видеопрокладчиков, дисплеев для отображения и ведения активного диалога.

По современным взглядам, НК должен интегрироваться с другими системами корабля и, в первую очередь, с боевой информационно-управляющей системой (БИУС) и системой автоматического управления движением (САУД); должна внедряться концепция интегрированных мостиковых систем, интегрированных систем навигации и управления.

На основе результатов наших исследований последних лет, зарубежного опыта и с учетом изложенного можно составить следующее представление об облике НК для боевых надводных кораблей начала XXI века - НК-2000.

НК-2000 — совокупность базовых комплектаций (БК), дифференцированных по классам кораблей и построенных на основе открытого для совершенствования базового набора функциональных модулей (БН ФМ). БК должны по возможности отвечать принципу "вложения", при котором БК для низшего класса кораблей входят в высшую. Учет особенностей проекта корабля предлагается осуществлять "привязкой" БК в виде доработки её в части номенклатуры ФМ трансляции, математического обеспечения и др.

Функциональные модули (ФМ) - технические устройства, подразделяющиеся по назначению на измерительные, модули управления и служебные, имеющие встроенные средства ЦВТ для обработки, управления и обмена информации и команд, и унифицированный интерфейс. ФМ объединяются в контура, контура - в НК. Последние составляют автономные контура (АК), обзорные контура (ОК), контура управления (УК) и упрощенные резервные контура (РК).

Автономные контура предназначены для выработки следующих навигационных параметров (НП): курса, географических координат, скорости относительно грунта и воды, углов бортовой и килевой качки и других динамических параметров, предназначенных для обеспечения УРО, палубной авиации или авторулевого.

Обзорный контур предназначен для выработки обзорных значений и поправок к перечисленным НП.

Контур управления предназначен для автоматизации взаимодействия в системе "штурман-НК-АСУ БД".

Упрощенные резервные контура предназначены для сохранения технического ресурса и повышения живучести НК, выработки НП с меньшей точностью и ограниченному кругу потребителей на рейде и переходах в акватории базы.

Функциональные модули внутри контуров и контура между собой объединяются в НК кольцевой однопроводной магистралью обмена.

Сопряжение БК НК с потребителями корабля выполняется ФМ трансляции через общекорабельную систему обмена данными (ОКСОД).

1. Базовая комплектация НК для кораблей морской зоны (ЭМ, БПК).
Возможная структура и состав БК НК приведены на рис.1.

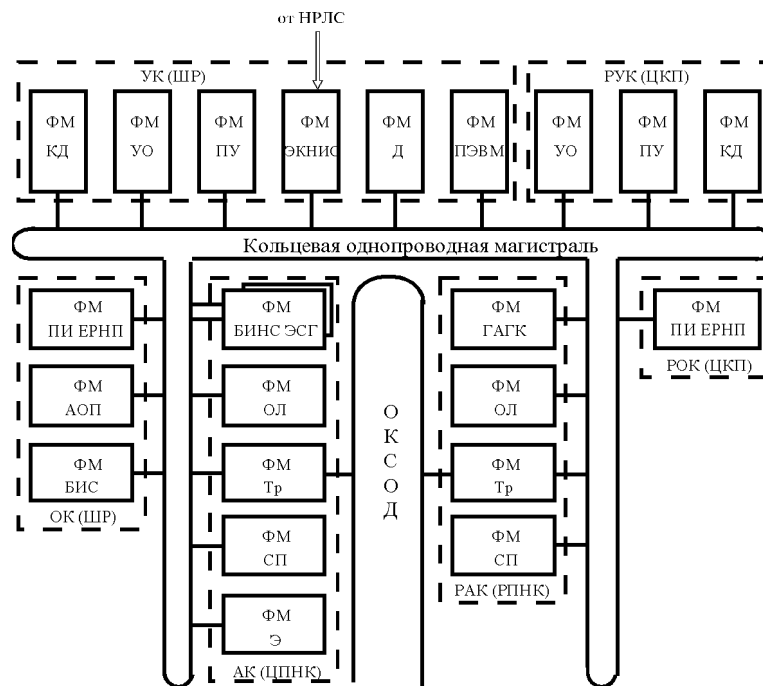


Рис.1. Базовая комплектация НК для кораблей морской зоны:

- КД - контроль и диагностика; ОЛ - относительный лаг;
- УО - устройство отображения; Тр - трансляция;
- ПУ - пульт управления; СП - счисление и прокладка;
- Д - документирование; Э - эхолот; ШР - штурманская рубка;
- ЦКП - центральный командный пункт;
- ЦПНК - центральный пост НК; РПНК - резервный пост НК.

Основным режимом счисления в таком НК должен быть инерциальный, на основе БИНС на ЭСГ, с приведенными выше точностями. Обзорную места на 3-ем этапе плавания в

условиях РЭП и воздействия УРО предлагается проводить с помощью ФМ АОП и ФМ БНС. Обсервацию на 1-5-ом этапах плавания в мирное время предлагается проводить по РНС ближнего, среднего и дальнего действия, низко- и среднеоборотным СНС, включая и зарубежные, с помощью ФМ приемоиндикаторов (ПИ) единого радионавигационного поля (ЕРНП). Выполнение требований информационной эффективности и уровня автоматизации может быть установлено при конкретизации приемоиндикаторов РНС и СНС, ФМ контуров управления и времени решения задач в системе “штурман-НК-АСУ БД”. Для обеспечения требуемой надежности резервирование в базовой комплектации НК выполняется на уровне ФМ, приборов и блоков внутри ФМ; живучесть достигается введением резервных контуров АК (РАК), ОК (РОК) и УК (РУК). Единая кольцевая магистраль объединяет основные и резервные контура. Управление обеими частями НК - основным и резервным - предлагается с соответствующих УК.

2. Базовая комплектация для кораблей океанской зоны (ТАКР, РКР).
Возможная структура и состав БК НК приведены на рис.2.



Рис.2. Базовая комплектация НК для кораблей океанской зоны.

Отличие этой структуры и состава от приведенных на рис.1 заключается в резервировании на уровне АК, а также включением в состав ОК ФМ РАНС, чем достигается большая надежность обеспечения УРО и живучесть.

3. Базовая комплектация НК для малых кораблей (СКР, МРК) и катеров.
Возможная структура и состав БК НК приведены на рис.3.



Рис.3. Базовая комплектация НК для малых кораблей и катеров.

Отличие этой структуры и состава от приведенных на рис.1 заключается в отсутствии резервирования всех контуров, сокращения состава ОК на ФМ АОП и БНС, целесообразности замены в АК БИНС ЭСГ на менее точную, но более дешевую БИНС ЛГ. При этом БИНС на ЛГ должна быть резервированной и выступать в роли единой общекорабельной информационной системы для решения задач навигации, стабилизации и управления движением

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Defence Daily, 1989, 161, N58, p.476.
2. Naval Forces, 1990, 11, N6, p. 29.
3. Marine Engineers Review, 1991, XII, p. 47.

**ОБ АЛГОРИТМЕ РАБОТЫ ГИРОГОРИЗОНТКОМПАСА
С НЕТРАДИЦИОННОЙ СХемой ПОСТРОЕНИЯ**

**В.А.КОЛЕСНИКОВ,
Г.А.ЛЕВИТ,
О.М.МИТРОФАНОВА,
В.А.ТИТЛЯНОВ**
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Обосновывается алгоритм работы гироскопа на базе двухосной инерциальной вертикали и датчика угловой скорости. Предлагается метод выработки курса без построения суточного контура. Дана оценка точности выработки выходных параметров гироскопа при использовании в качестве его элементной базы магнитосферического гироскопа и волоконно-оптического датчика угловой скорости.

За рубежом широко используются гироскопы (ГК), вырабатывающие полную информацию об угловой ориентации корабля в географической системе координат (ГСК). Отечественный прибор такого типа "ГАГК-1" имеет пока весьма ограниченное применение, так как при сравнительно высокой точности он дорог и недостаточно надежен. В это же время для задач навигации и управления кораблями противоминной обороны, кораблями с динамическими принципами поддержания, малыми ракетными кораблями и вспомогательными судами ВМФ необходим недорогой ГК средней точности, не уступающий по надежности современным компасам.

Представляется, что одной из перспективных схем, на базе которой может быть создан такой прибор, является схема бесколлекторного ГК /1/. Ее основу составляет не возмущаемый гироскоп, реализуемый гиростабилизированной платформой в двухосном кардановом подвесе. Кроме измерителей составляющих горизонтального ускорения, на платформе должен быть установлен датчик вертикальной составляющей угловой скорости корабля (ДУС). Получаемая от указанных измерителей информация достаточна для управления платформой с целью удержания ее в горизонте и для вычисления курса корабля.

Главными отличительными особенностями предлагаемого ГК являются отсутствие вертикальной оси подвеса платформы и аналитическое вычисление курса. Благодаря этому, исключается применение громоздких конструктивов и функциональных узлов, присущих трехосному подвесу платформы в ГК. В частности, отпадает необходимость в коллекторе - одном из наиболее вероятных источников отказов прибора. Тем самым создается предпосылка для разработки более надежного и дешевого ГК.

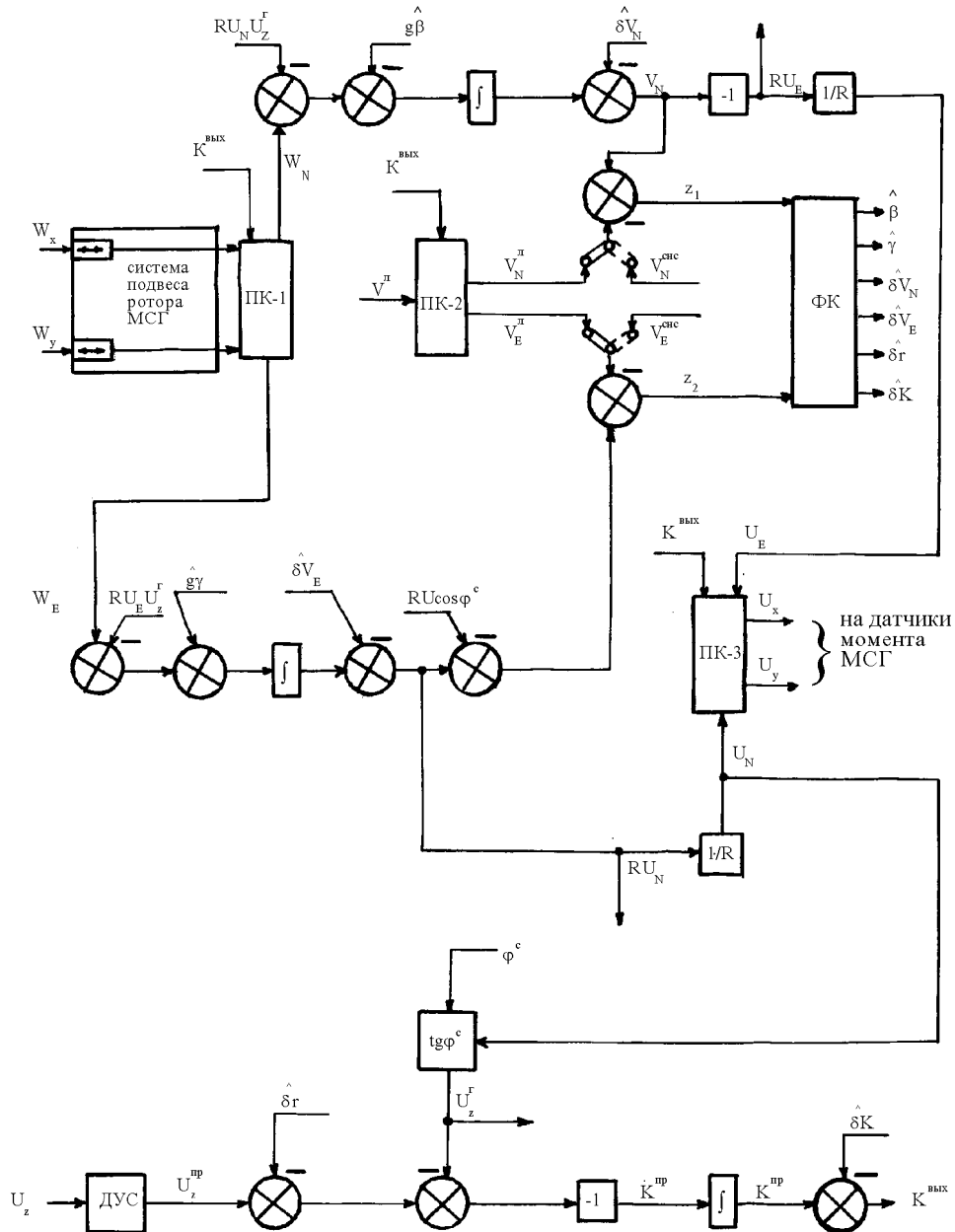
Существенный эффект в снижении стоимости ГК, уменьшении его массы и габаритов, а также в повышении надежности может быть достигнут в случае применения в качестве ДУС волоконно-оптического гироскопа (ВОГ) и отказа от акселерометров. Использование магнитосферического гироскопа (МСГ) с вертикальной осью кинетического момента в качестве чувствительного элемента ГК позволяет получать данные об ускорениях объекта из системы подвеса его ротора. Идея совмещения в МСГ функций гироскопа и акселерометра уже реализована фирмой "Момент" в гироскопе "Викинг".

В патентном описании ГК /1/ алгоритм формирования горизонтальных составляющих угловой скорости платформы по сигналам акселерометров и ДУС'a соответствует традиционным алгоритмам горизонтальных каналов инерциальной навигационной системы при произвольной скорости вращения платформы вокруг вертикальной оси. Для выработки курса предлагается схема инерциального счисления и курсоуказания (ИСК).

Рассматривая вопрос о целесообразности реализации схемы ИСК в ГК, отметим, что ее выходной информации присущи колебания с суточным периодом, что существенно увеличивает время готовности прибора. Возможность выработки инерциальных координат этой схемой не дает особых преимуществ, поскольку для обеспечения функционирования ГК

допустимо использование внешней информации о широте (в частности, от системы счисления). Известно, что в системах средней точности погрешности счисляемых координат не превышают погрешностей инерциальных координат.

Учитывая указанные обстоятельства, предлагается метод выработки курса без построения суточного контура. Соответствующая структурная схема алгоритма управления гироскопической платформой и вычисления курса показана на рисунке.



Структурная схема алгоритма управления гироскопической платформой и вычисления курса.

Данные из системы подвеса МСГ о составляющих W_x, W_y линейного ускорения в горизонтной системе координат $OXYZ$, ось OY которой расположена в диаметральной плоскости корабля, преобразуются к осям географической системы координат (W_N, W_E). Выработанные по этим сигналам составляющие абсолютной угловой скорости U_N, U_E пересчитываются обратно для управления платформой в горизонтную систему $OXYZ$ (U_x, U_y). Соответствующие преобразователи координат ПК-1 и ПК-3 используют выходной курс ($K^{вых}$) прибора.

Метод вычисления курса основан на интегрировании сигнала ДУС`а (U_Z^{np}), скорректированного на величину вертикальной составляющей абсолютной угловой скорости ГСК (U_Z^a). Для обеспечения начальной выставки ГГК, устойчивости азимутального канала и корректуры смещения нуля ВОГ, а также демпфирования шулеровских колебаний горизонтных каналов используется процедура фильтра Калмана (ФК). Измерения при этом формируются по информации о составляющих линейной скорости объекта, вырабатываемой ГГК и внешним измерителем: относительным лагом или спутниковой навигационной системой (СНС). Составляющая относительной скорости вычисляется в ГГК путем исключения из инерциальной скорости переносной составляющей с использованием счислимой широты (φ^c). Обратная связь с использованием получаемых в ФК оценок обеспечивает демпфирование шулеровских колебаний платформы и выработку курса с ограниченной погрешностью.

Линеаризованная модель погрешностей рассматриваемой схемы ГГК имеет вид:

$$\dot{\beta} = -\delta V_N / R + U_Z^T \gamma - \delta Q_E - U_N \delta K;$$

$$\dot{\gamma} = \delta V_E / R - U_Z^T \beta - \delta P_N + U_E \delta K - U \sin \varphi \cdot \delta \varphi^c;$$

$$\delta \dot{V}_N = g\beta - 2U_Z^T \delta V_E - W_E \delta K + R(U + \lambda) \left[2U \sin^2 \varphi - (U + \lambda) \right] \delta \varphi^c + \delta a_N;$$

$$\delta \dot{V}_E = -g\gamma - U_E \operatorname{tg} \varphi \delta V_E + U_Z^T \delta V_N - W_N \delta K - R U E (2U \cos \varphi + \lambda \sec \varphi) \delta \varphi^c + R U \sin \varphi \cdot \delta \varphi^c + \delta a_E;$$

$$\delta \dot{K} = \delta V_E \operatorname{tg} \varphi / R + (U \cos \varphi + \lambda \sec \varphi) \delta \varphi^c - \delta r.$$

При этом в зависимости от используемого источника внешней информации о скорости, измерения z_1 и z_2 , поступающие на вход фильтра, представляются в форме:

а) в случае применения данных СНС

$$z_1 = \delta V_N - \delta V_N^{chc}; \quad z_2 = \delta V_E - \delta V_E^{chc};$$

б) в случае использования данных лага (при этом имеет место пересчет скорости лага в ГСК преобразователем ПК-2 с использованием $K^{вых}$)

$$z_1 = \delta V_N - \delta V_N^l + V_E \delta K; \quad z_2 = \delta V_E - \delta V_E^l - V_N \delta K.$$

В приведенных зависимостях и на рисунке приняты следующие обозначения:

β, γ - углы наклона гиросtabilизированной платформы относительно плоскости горизонта в проекциях на оси географической системы координат;

V_N, V_E и $\delta V_N, \delta V_E$ - составляющие относительной линейной скорости в ГСК и погрешности их выработки, соответственно;

$\delta V_N^a, \delta V_E^a$ и $\delta V_N^{chc}, \delta V_E^{chc}$ - погрешности выработки составляющих скоростей в ГСК, измеренных лагом и СНС, соответственно;

U, R - угловая скорость суточного вращения и радиус Земли;

K^{np} - курс на выходе интегратора курсового канала;

δK - погрешность курса K^{np} ;

φ и λ - широта и долгота местоположения;

$\delta \varphi^c$ - погрешность счислимой широты;

δP_N и δQ_E - инструментальные погрешности, обусловленные дрейфом гироскопа и неточностью учета его передаточных коэффициентов в проекциях на оси ГСК, соответственно;

δa_N и δa_E - погрешности акселерометров, приведенные к осям ГСК;

δr - погрешность ДУС;

\wedge - признак оценки компонент вектора состояния системы, вырабатываемой ФК.

Анализ предложенной схемы показал, что связь между каналами гироскопа можно пренебречь. Поэтому оценка ожидаемых точностных характеристик ГГК производилась путем моделирования на ЭВМ погрешностей только азимутального и северного каналов. Соответственно вектор состояния был принят в виде

$$x(t) = \left\| \beta \wedge V_N \cdot \delta K \cdot \delta r \cdot \delta V_N^{an} \right\|,$$

где δV_N^{6H} - погрешность измерения северной составляющей скорости СНС или лагом. Предельные значения включенных в вектор состояния систематических составляющих погрешностей ДУС и внешнего измерителя скорости выбраны равными соответственно 30 град/ч и 0.1...0.75 м/с. Флюктуационные составляющие указанных погрешностей, погрешности гироскопа и акселерометра, а также счислимой широты аппроксимировались белыми шумами со следующими значениями их интенсивностей:

$$\delta r — 36... 108 \text{ (град/ч)}^2 \times \text{с};$$

$$\delta V_N^{6H} \text{ для СНС} — 0.05 \dots 0.2 \text{ (м/с)}^2 \times \text{с};$$

$$\delta V_N^{6H} \text{ для лага} — 0.5 \dots 1.0 \text{ (м/с)}^2 \times \text{с};$$

$$\delta Q_E — 0.02 \text{ (град/ч)}^2 \times \text{с};$$

$$\delta a_N — 0.0015 \text{ (м/с}^2 \text{)}^2 \times \text{с};$$

$$\delta \rho^c — 100 \dots 1800 \text{ м}^2 \times \text{с}.$$

(Значения погрешностей волоконно-оптического ДУС выбраны на основе информационных материалов его изготовителя - НТК "Физоптика").

Широта и скорость при моделировании изменялись в пределах (10 ... 80) град и (10 ... 120) м/с, соответственно.

Результаты моделирования показали, что без учета времени запуска и прогрева ГГК, а также предварительного быстрого горизонтирования гироплатформы до уровня 0,5 град (с помощью релейной коррекции), подстройка фильтра происходит за время 10...15 мин при использовании информации скорости от СНС и за 15...20 мин при использовании лага. При этом ошибка оценки погрешностей выработки курса в широтах до 70 град не превышает 0,4 град.

Полученные обнадеживающие данные о быстродействии и точности прибора свидетельствуют о возможности достижения требуемых характеристик и подтверждают целесообразность разработки безколлекторного ГГК с использованием предлагаемого алгоритма вычисления курса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 5013024 (СССР). Гироскопическая навигационная система./ В.А.Беленький.

УДК 629.12.053

МОРСКИЕ МАГНИТНЫЕ ИНДУКЦИОННЫЕ КОМПАСЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Б.А.ВОЙЦЕХОВСКИЙ,
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Анализируются недостатки широко распространенных в настоящее время стрелочных магнитных компасов. Рассматриваются варианты индукционных компасов нового поколения – разработки ГП "НАВИ-ДАПС" и ГНЦ "Электроприбор". Характеризуются их достоинства и недостатки.

Морская практика свидетельствует о необходимости размещения на каждом корабле магнитного компаса (МК) независимо от того, имеется ли на нем более точный курсоуказатель или нет.

Недостатками широко используемых в настоящее время стрелочных МК являются необходимость учета магнитного склонения и остаточной девиации (эти работы выполняются вручную), неустойчивость показаний на качке и при маневрировании, ограниченные

возможности по трансляции курса потребителям, необходимость проведения девиационных работ в специальных полигонах. Все типы современных стрелочных МК конструктивно выполнены как единое целое (чувствительный элемент в кардановом подвесе в виде плавающей катушки с набором магнитных стрелок и девиационный прибор), что ухудшает его эксплуатационные и массогабаритные характеристики, в частности снижает возможность размещения компаса в комфортном (в магнитном отношении) месте корабля. Чтобы избавиться от этого, на корабли стали внедрять МК с индукционным измерителем магнитного поля, в качестве которого используются феррозонды. Они не содержат подвижных частей и имеют значительный коэффициент преобразования магнитного поля Земли в параметр, обеспечивающий выработку магнитного курса. Магнитный компас с таким чувствительным элементом получил название индукционного. Габариты и масса датчика индукционного компаса позволяют разместить его в благоприятном в магнитном отношении месте, осуществить электрическую передачу курса потребителям. Однако индукционные компасы потеряли свою независимость от электропитания. Серийным компасом такого типа, широко применяемым на флоте, является МИК-1 - магнитный индукционный компас, принятый на вооружение в 1974 г. [1]. Датчик компаса содержит три взаимно-ортогональных феррозонда: один курсовой и два измерительных, размещенных в кардановом подвесе. В курсовом феррозонде при повороте объекта магнитным полем Земли (МПЗ) наводится ЭДС, пропорциональная углу поворота. По этому сигналу двигатель обрабатывает чувствительный элемент в первоначальное положение, а сам сигнал несет информацию о магнитном курсе. Истинный курс рассчитывается с учетом склонения, взятого с карты и девиации из таблиц. Измерительные феррозонды вырабатывают вертикальную и горизонтальную составляющие магнитного поля Земли, необходимые для проведения девиационных работ. Следящая система выработки курса и система передачи курса выполнены на сельсинах. Питание компаса осуществляется от сети 220 В, 400 Гц.

В настоящее время в технические средства навигации широко внедряются процессоры. Применительно к МК они позволяют обеспечить более совершенные технические и эксплуатационные характеристики: автоматизацию девиационных работ, компенсацию всех видов девиации и выдачу потребителям курса относительно географического меридиана, повышение точности и устойчивости вырабатываемого курса при качке и маневрировании, трансляцию курса потребителям в цифровой форме в соответствии с необходимым стандартом. При этом МК в целом приобретает более высокий уровень надежности, улучшенные массогабаритные характеристики, малое и автономное энергопитание. Такой компас органично вписывается в навигационное вооружение корабля.

На сегодняшний день предложено несколько вариантов индукционных компасов нового поколения. Рассмотрим основные особенности технических решений двух из них.

В ГП «НАВИ-ДАПС» разрабатывается компас, включающий следующие функционально законченные узлы: чувствительный элемент (ЧЭ), электронный прибор, штурманский пульт, репитер курса [2].

Чувствительный элемент предназначен для определения трех составляющих (H_x, H_y, H_z) МПЗ и реализован на трехстепенных феррозондовых датчиках магнитного поля. Феррозонды представляют собой пермаллоевые замкнутые (кольцевые) сердечники, разработанные в НПО ВНИИМ им. Д.И.Менделеева. Они имеют ряд преимуществ перед феррозондами, применяемыми в МК типа МИК-1: совмещенный магнитный центр, малые габариты, стабильность показаний, малое электропотребление и др. Датчики серийно выпускаются и широко применяются, в том числе на морских и космических объектах. Девиации всех видов компенсируются с помощью катушек магнитной индукции (кольца Гельмгольца). Все компоненты ЧЭ заключены в стеклопластиковый герметичный корпус, который размещается в наиболее благоприятном в магнитном отношении месте корабля. Остальные узлы МК обеспечивают обработку выходных сигналов ЧЭ, выработку истинного курса, автоматизацию девиационных работ, преобразование сигнала в цифровой код и выдачу его потребителям и т. п. Передача информации производится по волоконно-оптическим линиям, что снимает ограничения по расстояниям.

Другой вариант индукционного компаса разрабатывается в ГНЦ ЦНИИ «Электроприбор». Он включает следующие функционально законченные узлы: датчик курса индукционный, прибор измерения, прибор вычисления и индикации, прибор питания [3]. Датчик курса предназначен для преобразования напряженности магнитного поля в пропорциональный электрический сигнал. Основным узлом датчика является чувствительный элемент, содержащий три ортогонально расположенных феррозонда, размещаемых в кардановом подвесе и ориентированных по трем корабельным осям x, y, z , причем оси x и y лежат в

плоскости горизонта. Измеренные ЭДС двух феррозондов, ориентированных по осям x и y , пропорциональны проекциям МПЗ на те же оси, т.е. величинам H_x, H_y . Тогда значение магнитного курса K_M можно рассчитать по формуле

$$K_M = \text{arc tg} \frac{H_x}{H_y}.$$

В этом выражении не учитывается девиация, присущая металлическому кораблю. Компенсация полукруговой, креновой и электромагнитной девиаций выполняется с помощью электромагнитного компенсатора, представляющего собой три пары катушек, оси которых ориентированы по осям x, y, z . Чувствительный элемент с феррозондами расположен внутри компенсатора, на обмотки катушек которого подается постоянный ток, создающий магнитное поле, компенсирующее магнитное поле корабля, обуславливающее девиацию. Четвертная девиация компенсируется мягким железом. Программное обеспечение работы МК ведется на языке СИ с использованием микропроцессоров. Оно построено по функционально-модульному принципу и включает ряд режимов, в том числе:

- штатный режим, при котором непрерывно обрабатываются величины H_x, H_y, H_z и выдается магнитный курс;
- режим самотестирования для проверки работоспособности МК;
- режим выработки остаточной девиации;
- режим коррекции полукруговой и электромагнитной девиаций и др.

Наличие трех ортогонально расположенных феррозондов и процессора позволяет автоматизировать девиационные работы, в основе которых лежат матричные преобразования векторов напряженности МПЗ, магнитного поля, измеряемого на корабле и собственной намагниченности корабля. В идеальном случае (нет собственной намагниченности корабля) горизонтальная составляющая напряженности МПЗ при циркуляции корабля опишет окружность с центром в начале корабельной системы координат. В реальном случае окружность вырождается в эллипс с центром, не совпадающим с центром окружности от вектора напряженности МПЗ. Смещение центров окружности и эллипса определяет постоянную девиацию, а используя уравнения окружности и эллипса, определяют остаточную девиацию. Для этого корабль должен совершить плавную циркуляцию на 360° , в ходе которой в вычислительное устройство автоматически поступает курс от МК и других курсоуказателей, например, от гирокомпаса. Возможно проведение работ при неполной циркуляции, но при этом точность вычислений несколько снижается. Остальные приборы обеспечивают функционирование МК в целом.

Недостатком рассмотренных вариантов индукционных компасов является отсутствие требуемой стабилизации в плоскости горизонта, что обуславливает появление дополнительных погрешностей в магнитном курсе из-за наклонов и качки корабля.

Следует отметить, что современные миниатюрные чувствительные элементы ориентации (акселерометры, гироскопы) позволяют преодолеть этот недостаток. Так норвежская фирма Seatex разработала магнитный индукционный блок MRU, в котором используются акселерометры, гироскопы и феррозонды. В системе строится аналитическая вертикаль и вырабатываются курс магнитный и углы качки. Масса блока около 2,5 кг.

Работа компасов нового поколения обеспечивается как от бортовой сети, так и от аккумуляторной батареи, которая автоматически подключается при отсутствии сети. Аккумуляторная батарея включает в себя малогабаритные элементы большой емкости, не требующие специального обслуживания. Необходимое время автономной работы оговаривается при заказе (в технических условиях) и определяет массу и объем батареи.

Встроенный процессор позволяет существенно улучшить технические характеристики и возможности индукционных МК. Повышается точность и устойчивость выработки магнитного курса, практически полностью автоматизируется процедура девиационных работ. Уменьшение погрешностей возможно не на основе принципа физической компенсации, а алгоритмическим путем, девиация для различного положения объекта (надводное или подводное и т.п.) вносится в память компьютера, потребители курса обеспечиваются цифровой информацией и т.п.

Все это позволяет судить о хороших перспективах использования таких компасов на кораблях и судах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компас МИК-1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации, 1974.
2. Магнитный компас. Пояснительная записка, С.-Пб, ГП "НАВИ-ДАПС", 1994.
3. Андрианов Д.С., Зинченко Н.Н., Чуриков А.Б. Разработка цифрового индукционного магнитного компаса с автоматической компенсацией девиаций // Гироскопия и навигация. - 1993. - N2.

СПУТНИКОВЫЕ И НАЗЕМНЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 621.396.933

ОПОСРЕДОВАННАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО И НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ

С.П. БАРИНОВ
(Гос. НИНГИ МО РФ)

В статье показаны пути усовершенствования методов синхронизации наземных РНС в интересах интеграции их со спутниковыми радионавигационными системами. Статья рассчитана на специалистов, занимающихся вопросами разработки и эксплуатации радионавигационных систем.

Важнейшим компонентом системы НГО являются РНС наземного и космического базирования, надежность и точность которых во многом определяет общую боеспособность флотов, их стратегию на морских (океанских) театрах военных действий. Дальнейшее развитие этих систем во многом связывается с их интеграцией на единой координатно-временной основе, при которой навигационные спутники и опорные станции могут рассматриваться как равноценные навигационные ориентиры, а измерения по их сигналам использоваться для совместной обработки в комплексированных приемоиндикаторах и навигационных комплексах. Таким образом, появится возможность взаимной поддержки систем при частичном выводе из строя отдельных их элементов, что, безусловно, будет способствовать повышению боевой устойчивости системы НГО в целом.

Разработанные к настоящему времени методы синхронизации РНС основаны на использовании в качестве эталона времени либо одной из опорных станций системы, называемой ведущей, либо зонального пункта контроля, либо станций Всемирного Координированного Времени (UTC). Эти методы ориентированы на обособленное функционирование РНС и их использование при интеграции спутниковых и наземных РНС предопределяет соответствующие звенья в цепи процесса синхронизации систем:

- спутник – ведущая станция – ведомые станции;
- спутник – пункт контроля – опорные станции;
- спутник – опорная станция.

Подавление промежуточного звена в первых двух случаях, и спутниковой радионавигационной системы (СРНС) в третьем, приводит не только к дезинтеграции систем, но и к полному срыву функционирования наземной РНС.

Известные в настоящее время попытки устранить недостатки методов синхронизации при интегрировании РНС и СРНС сводятся к использованию в составе опорных станций высоко стабильных стандартов частоты. В частности, в разработанной фирмой Sersel РНС GEOLOC использован водородный стандарт частоты с долговременной относительной нестабильностью $3.6 \cdot 10^{-13}$, что обеспечивает автономную синхронную работу станций системы при нарушении радиосвязи со спутником в течение 10 ч. Однако стоимость такого стандарта соизмерима со стоимостью всей станции, а массо-габариты составляют существенную часть всей ее аппаратуры. Представляется, что применительно к мобильным РНС ВМФ данный подход с финансовой точки зрения не оправдан, а с технической – малоэффективен, так как продолжительность боевых действий, как правило, не ограничивается 10-ю ч.

Таким образом, следует констатировать, что в настоящее время нет такого метода синхронизации наземной РНС со спутниковой, который бы гарантированно обеспечивал определение места корабля по трем элементам этих систем при любом их сочетании. Тенденции, связанные с интегрированием РНС и средств связи, а также появление РНС, способных передавать в бортовой приемоиндикатор служебную информацию в формате

навигационного сигнала, открывают новые возможности решения проблемы синхронизации РНС в интересах создания единого радионавигационного поля. В этом случае может быть использована опосредованная синхронизация спутниковой и наземной РНС, основанная на трансляции величины рассогласования их шкал времени в бортовой комплексированный приемоиндикатор при сохранении внутрисистемной синхронизации опорных станций через ведущую. Рассмотрим систему навигационных уравнений применительно к случаю совместной обработки квазидальностей до двух навигационных спутников и станции РНС:

$$\begin{cases} r_1 = \left[(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2 \right]^{0.5} + c \cdot \Delta t ; \\ r_2 = \left[(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2 \right]^{0.5} + c \cdot \Delta t ; \\ r_{oc} = \left[(x_{oc} - x)^2 + (y_{oc} - y)^2 + (z_{oc} - z)^2 \right]^{0.5} + c \cdot (\Delta t + T_{изл.2}) , \end{cases} \quad (1)$$

где r_i ($i = 1, 2, oc$) – измеренные значения квазидальности до i -го спутника (опорной станции РНС);

x, y, z – геоцентрические координаты корабля;

x_i, y_i, z_i ($i = 1, 2, oc$) – геоцентрические координаты i -го спутника (опорной станции РНС);

c – скорость распространения радиоволн;

Δt – сдвиг шкалы времени приемоиндикатора относительно шкалы времени СРНС;

$T_{изл.2}$ – величина рассогласования шкал времени станции РНС и СРНС.

В уравнении квазидальности до опорной станции присутствует величина рассогласования шкал времени $T_{изл.2}$. Если ранее, путем сведения шкал времени РНС и СРНС, эту величину требовалось свести к нулю, то метод опосредованной синхронизации предполагает передавать ее в приемоиндикатор в виде корректирующей поправки в формате сигнала РНС. При этом объем корректирующей информации составит 5 байт, а максимальный период обновления данных о величине $T_{изл.2}$ – 38 с.

Так как в запоминающем устройстве приемоиндикатора хранятся данные о диаграмме излучения РНС, то достаточно иметь информацию о рассогласовании шкалы времени любой из опорных станций относительно шкалы времени спутниковой РНС, чтобы определить эту величину и для других станций. Для сличения шкал времени РНС и СРНС опорные станции должны оборудоваться приемниками системного времени (ПСВ), способными на основе принятых от навигационных спутников сигналов формировать шкалу времени СРНС и определять относительно ее «нуля» положение импульсного сигнала, поступившего с передающей антенны станции на вход ПСВ.

Рассмотрим метод опосредованной синхронизации на примере трехстанционной РНС, при размещении ПСВ только на станции ВМ-2. Диаграмма, поясняющая процессы сличения шкал времени и измерения временных интервалов, соответствующих квазидальностям от корабля до опорных станций системы, приведена на рисунке.

На оси «0» этого рисунка показана шкала времени СРНС (системное время), а также соответствующее ей временное положение «нулей» шкал времени навигационных спутников НС1 и НС2 ($T_{нс1}$ и $T_{нс2}$), приемоиндикатора ($T_{пи}$), ПСВ ($T_{псв}$), ВМ-2 ($T_{изл.2}$), моментов приема приемоиндикатором сигналов ведущей (T_o) и ведомых (T_1, T_2) станций.

На оси «1» показана шкала времени навигационного спутника НС1 и ее сдвиг относительно «нуля» системного времени $t_{нс1}$.

На оси «2» показана шкала времени ПСВ и его сдвиг относительно «нуля» шкалы времени НС1 $t_{псв}$, обусловленный как пространственным разносом спутника и ПСВ, так и задержками в ионосфере и тропосфере.

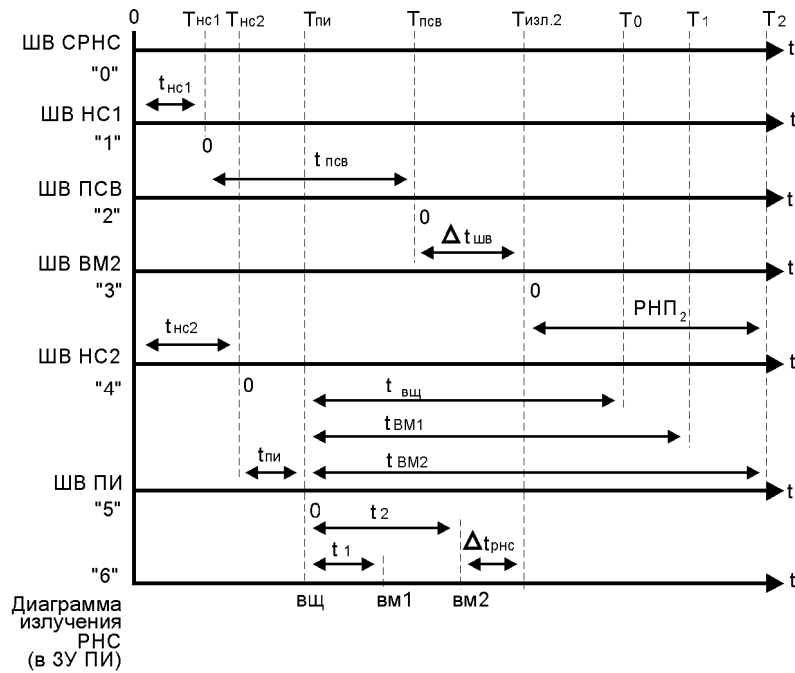
На оси «3» представлена шкала времени станции ВМ-2. Результатом сличения шкал времени станции ВМ-2 и ПСВ является величина рассогласования $\Delta t_{шв}$.

На оси «4» показана шкала времени навигационного спутника НС2, и ее сдвиг относительно «нуля» системного времени $t_{нс2}$.

На оси «5» представлена шкала времени комплексированного приемоиндикатора, ее сдвиг относительно «нуля» спутника НС2 $t_{пи}$, а также временное положение принимаемых сигналов опорных станций ($t_{вщ}, t_{вм1}, t_{вм2}$).

На оси «6» показана диаграмма излучения опорных станций РНС, хранящаяся в запоминающем устройстве приемоиндикатора и величина ее рассогласования с реальной

шкалой времени РНС $\Delta t_{\text{рнс}}$. Начальные моменты излучения опорных станций, приведенные к "нулю" шкалы времени приемоиндикатора с учетом базовых расстояний и кодовых задержек, составляют соответственно: 0 – ВЩ, t_1 – ВМ-1, t_2 – ВМ-2.



Диаграмма, иллюстрирующая процесс сличения шкал времени станций РНС с системным временем СРНС и вычисления РНП при использовании метода опосредованной синхронизации.

Как видно из рисунка, время распространения сигнала от станции ВМ-2 до приемоиндикатора, представляющее собой радионавигационный параметр РНП₂, определяется как

$$\text{РНП}_2 = T_{\text{изл.2}} - T_2. \quad (2)$$

Величина $T_{\text{изл.2}}$ ВМ2, как алгебраическая сумма измерений ($t_{\text{псв}}$, $\Delta t_{\text{шв}}$) и эфемерид ($t_{\text{нс1}}$), передается в реальном масштабе времени в формате сигнала станции ВМ-2 в приемоиндикатор.

Величина $T_{\text{вм2}}$, как алгебраическая сумма измерений ($t_{\text{пи}}$, $t_{\text{вм2}}$) и эфемерид ($t_{\text{нс2}}$), вычисляется в приемоиндикаторе.

В случае размещения ПСВ на всех станциях РНС радионавигационные параметры по каждой из них рассчитываются аналогично выражению (2), с учетом изменения соответствующих индексов:

$$\text{РНП}_i = T_{\text{изл.}i} - T_i, \quad (3)$$

где $i = 0, 1, 2$ – индексы, присвоенные параметрам, относящимся соответственно к ведущей, первой ведомой и второй ведомой станциям.

При наличии ПСВ только на одной станции (в нашем примере – ВМ-2) первоначально вычисляется величина рассогласования шкал времени РНС и приемоиндикатора:

$$\Delta t_{\text{рнс}} = T_{\text{изл.2}} - (T_{\text{пи}} + t_2).$$

$$\text{Но } \Delta t_{\text{рнс}} = T_{\text{пи}} + (t_{\text{вм2}} - \text{РНП}_2) - T_{\text{пи}} - t_2 = t_{\text{вм2}} - (\text{РНП}_2 + t_2),$$

$$\text{откуда } \text{РНП}_2 = t_{\text{вм2}} - (\Delta t_{\text{рнс}} + t_2). \quad (5)$$

$$\text{Аналогично } \text{РНП}_0 = t_{\text{вщ}} - \Delta t_{\text{рнс}}; \quad (6)$$

$$\text{РНП}_1 = t_{\text{вм1}} - (\Delta t_{\text{рнс}} + t_1). \quad (7)$$

В свою очередь, квазидальность до i -ой опорной станции $r_{\text{оци}}$ рассчитывается как

$$r_{\text{оци}} = c \cdot \text{РНП}_i. \quad (8)$$

Полученные таким образом квазидальности r_{0ci} в сочетании с геоцентрическими координатами станций РНС и квазидальностями до спутников СРНС могут быть использованы для совместной обработки в реальном масштабе времени. При этом возможные сбои в работе отдельных спутников и станций будут выявляться и отфильтровываться еще на этапе первичной обработки, так как в этом случае обеспечена развязка функционирования РНС и СРНС, а величина рассогласования их шкал времени присутствует в явном виде и доступна для анализа. Наличие в зоне уверенного приема приемоиндикатора сигналов от трех радионавигационных ориентиров (станций, спутников) обеспечивает определение места корабля при любом их сочетании.

Для оценки достоверности передачи в приемоиндикатор данных о рассогласовании шкал времени разработана модель погрешностей трансляции корректирующей поправки с использованием дискретных цепей Маркова, учитывающая зависимый характер ошибок распознавания единичных элементов (символов) сигнала. Расчеты проводились применительно к перспективной среднечастотной РНС с шумоподобным сигналом.

Установлено, что требуемая вероятность (0.997) безошибочного приема корректирующей поправки на краю рабочей зоны может быть достигнута при использовании кода Хемминга и трехкратном повторении сообщения.

Оценка эффективности существующих и разработанного методов проводилась на основе теоретико-игровой модели функционирования интегрированных РНС и СРНС в условиях активного противодействия противника. В качестве критерия при оценке эффективности методов выбрана боевая устойчивость системы НГО флота.

Результаты моделирования показали, что при использовании метода опосредованной синхронизации РНС с СРНС боевая устойчивость системы НГО повышается на 15 – 20 % .

УДК 629.783

ЛОКАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО РЕЖИМА СРЕДНЕОРБИТНОЙ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

**Ю.И.БАЗАРОВ,
А.К.ВОРОБЬЕВ,
В.А.ПЫЛЕНКОВ**
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Рассматриваются вопросы обоснования рациональных принципов построения локальной системы дифференциального режима среднеорбитной спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС. Показаны достоинства и недостатки различных вариантов дифференциальных подсистем. Даны рекомендации по их использованию. Наиболее предпочтительным с точки зрения точности и доступности на удалениях от наземных станций до 100 км признан вариант с использованием ретрансляторов спутниковых сигналов.

Анализ требований к точности навигационного обеспечения морских, воздушных и наземных потребителей выявил тенденцию к возрастанию удельного веса задач, качественное решение которых требует более высокой точности определения координат, чем позволяет в настоящее время штатный режим работы среднеорбитной спутниковой навигационной системы (СНС) ГЛОНАСС.

Одним из путей решения задачи удовлетворения возрастающих требований по точности, доступности и целостности навигационного обеспечения потребителей СНС является использование дифференциального режима.

Рассмотрение нескольких вариантов реализации дифференциальной подсистемы СНС для локальных районов, каждый из которых обладает достоинствами и недостатками, показало, что наибольший интерес для пользователя могут представлять следующие:

1. Дифференциальная подсистема с использованием контрольных корректирующих станций (ККС) для выработки дифференциальных поправок к измеренным псевдодальностям, разностям псевдодальностей, фазам несущей частоты и т.п..

2. Дифференциальная подсистема на базе псевдоспутников (ПС), позволяющих потребителю наряду с дифференциальными поправками осуществлять дополнительные навигационные измерения. Число радионавигационных ориентиров при этом в совместной зоне действия увеличивается на число псевдоспутников.

3. Дифференциальная подсистема с использованием сети ретрансляторов спутниковых сигналов (РТ), обеспечивающих компенсацию основных погрешностей СНС за счет использования в процессе навигационных определений только одного космического аппарата (КА). При этом число радионавигационных ориентиров в рабочей зоне увеличивается, как минимум, на три.

Первые два варианта достаточно полно описаны в литературе [1]. Сущность третьего варианта заключается в том, что расположенные в обеспечиваемом районе три наземные станции переизлучают (ретранслируют) сигналы одного и того же КА. Потребитель, находящийся в этом районе, принимает сигналы от указанного КА и трех наземных станций, измеряет четыре псевдодальности и определяет координаты места. Здесь измерения псевдодальностей осуществляются по трассам “КА - ретранслятор - потребитель” и “КА - потребитель”.

Для сравнительной оценки эффективности вариантов дифференциальной подсистемы СНС были разработаны две имитационные математические модели.

Модель “Точность” предназначалась для оценки точности навигационных определений в зависимости от варианта построения дифференциальной подсистемы, временных и пространственных характеристик, уровня и состава системы погрешностей.

Вторая модель - “Эффективность” предназначалась для оценки вероятности навигационных определений с требуемой точностью в любой момент времени на заданном интервале с учетом надежности основных компонент дифференциальной подсистемы и аппаратуры потребителя. В модели вероятность оценивалась как отношение числа благоприятных случаев к общему числу случаев на временном отрезке, длина которого превышает или равна периоду повторения навигационных состояний СНС.

С помощью этих двух моделей была исследована эффективность вариантов дифференциальных подсистем СНС при различных комбинациях параметров:

- структура сети КА выбрана штатной для СНС ГЛОНАСС, с числом КА 24 и 18;
- число наземных станций в трех вариантах варьировалось в пределах: 1 контрольная корректирующая станция, 1...3 псевдоспутника, 3...6 ретрансляторов;
- диапазон географических широт был выбран в пределах $60^\circ - 90^\circ$ из условия образования системой менее благоприятных созвездий (за счет отсутствия околозенитных КА);
- во всех вариантах использовалась полная система погрешностей, принятая для СНС ГЛОНАСС;
- время использования потребителем дифференциальных поправок в вариантах 1 и 2 менялось в пределах 0–10 мин;
- пределы зон действия дифференциальных подсистем соответствовали дальностям действия наземных станций: УКВ диапазона - до 100 км; СВ диапазона - до 600 км;
- обследование зон действия для сравнительной оценки эффективности проводилось по азимутам - $0-360^\circ$ и по дальности - 0–100 км от точки с максимальной точностью навигационных определений;
- конфигурация тройки наземных станций ретрансляторов выбиралась в двух вариантах: равностороннего и равнобедренного треугольников с азимутами A относительно центральной точки треугольника

$$A_1 = A_0 + 0^\circ, A_2 = A_0 + 120^\circ, A_3 = A_0 + 240^\circ ;$$

$$A_1 = A_0 + 0^\circ, A_2 = A_0 + 150^\circ, A_3 = A_0 + 210^\circ$$

с удалением от этой точки в пределах 10–100 км.

Основные характеристики различных вариантов дифференциальных подсистем, полученные в результате моделирования, представлены в таблице.

Характеристики вариантов дифференциальных подсистем

Вариант	Дальность действия, км	Геометрический критерий точности	Радиальная СКП места, м	Вероятность обсервации		Число наземных станций	Минимальное число КА в рабочем созвездии
				24 КА	18 КА		
1, на базе ККС	600 (в диапазоне СВ)	3.0-5.0	3.0 - 4.5 (*) 5.3 - 6.5 (**)	0.980	0.854	1	4
2, на базе ПС	100	2.5-4.0	2.9 - 4.3	0.990	0.968	1	3
3, на базе РТ	60-100	1.5-3.0	пространственная 1.7 - 3.0; плановая 0.8 - 2.0	0.999	0.999	3	1

(*) - при использовании специальной аппаратуры;

(**) - при использовании штатной (серийной) аппаратуры потребителя.

На основе анализа результатов моделирования можно сделать следующие выводы.

Третий вариант построения дифференциальной подсистемы СНС с использованием станций-ретрансляторов спутниковых сигналов обеспечивает наибольшую точность на расстояниях до 100 км. Даже при 18 КА в системе этот вариант может обеспечить доступность на уровне 0,999 и точность (СКП) пространственных координат 1,7 - 3,0 м, а плановых - 0,8 - 2,0 м.

Первый вариант дифференциальной подсистемы СНС характеризуется более низкими показателями доступности и точности, но обладает большой зоной действия (до 600 км) и сравнительно высокими точностными характеристиками (СКП) 3,0 - 4,5 м при использовании специальной аппаратуры для выработки дифпоправок.

Второй вариант с одним псевдоспутником целесообразно использовать в тех случаях, когда существует необходимость повышения уровня доступности и отсутствует возможность применения третьего варианта по условиям размещения трех наземных станций (недостаточная изрезанность береговой черты). Высокие требования по точности синхронизации псевдоспутников могут затруднить реализацию этого варианта.

Наиболее полное и эффективное удовлетворение перспективных требований потребителей в навигационном обеспечении возможно при разумном применении различных вариантов с учетом их возможностей и поставленных задач.

Так, вариант с ретрансляторами предпочтителен при оборудовании аэродромов в качестве системы инструментальной посадки, при оборудовании портов, баз, узкостей, где имеются геометрические условия для рационального размещения станций-ретрансляторов и требуется высокая надежность точных навигационных определений места.

Вариант с использованием ККС предпочтителен при оборудовании подходов к портам, базам, при обеспечении работ на шельфе, на удаленностях до 600 км от береговой черты.

Псевдоспутники целесообразно использовать для решения перечисленных выше задач при дальностях до 100 км в тех случаях, когда применение других вариантов неэффективно или затруднено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сетевые спутниковые радионавигационные системы.//В.С.Шебшаевич, П.П.Дмитриев, Н.В.Иванцевич и др.; под ред. В.С.Шебшаевича.- 2-ое изд.,- М.: Радио и связь.- 1993.- 408 с.

О КРИТЕРИЯХ ДОСТУПНОСТИ И ЦЕЛОСТНОСТИ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**Ю.И.БАЗАРОВ,
В.А.КАТЕНИН,
В.С.ТРЕГУБОВ**
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Формулируются понятия доступности и целостности спутниковых и наземных РНС. Проводится оценка уровня доступности различных отечественных РНС наземного базирования. Характеризуется основной критерий, определяющий целостность РНС – допустимое время задержки передачи предупреждения потребителя о неисправной работе системы.

В настоящее время для полной оценки качества НГО безопасности плавания пользователю необходим комплекс взаимосвязанных показателей, в который наряду с традиционными (точность, надежность, дальность действия и др.) входили бы новые критерии - доступность и целостность систем. В этой связи, во-первых, сформулируем пока не получившие широкого распространения у отечественных пользователей определения понятий доступности и целостности, и, во-вторых, предложим подходы к их количественной оценке.

Следует заметить, что расширение внешних связей в области радионавигационного обеспечения, возможность интеграции спутниковых и наземных РНС с зарубежными аналогами, а также необходимость выхода на мировой рынок приемоиндикаторов СНС и РНС отечественного производства, потребовали от наших разработчиков общения на одном техническом языке с иностранными специалистами в данной сфере. Это стало особенно актуальным с развитием идеи совместного использования СНС ГЛОНАСС и НАВСТАР в штатном и дифференциальном режимах. Учитывая наметившиеся тенденции в развитии систем радионавигации Подкомитетом по безопасности мореплавания при Международной морской организации (ИМО) утверждено положение по оценке РНС как компонента Всемирной радионавигационной системы. Международные требования, предъявляемые к компонентам этой системы, приведены в табл.1 [1].

Под доступностью подразумевается возможность получения потребителем достоверной навигационной информации в любой момент на заданном интервале времени. В качестве критериев оценки доступности представляется возможным использовать:

- вероятность получения обсервации в любой момент времени;
- вероятность возникновения отказов за интервал времени, в течение которого невозможно производство обсерваций;
- частоту отказов за интервал времени, в течение которого невозможно производство обсерваций;
- суммарную продолжительность навигационного обеспечения в течение суток;
- продолжительность максимального перерыва в навигационном обеспечении в течение суток.

С точки зрения потребителя, наиболее важным критерием оценки доступности можно считать вероятность получения обсервации в любой момент на заданном интервале времени.

Понятие целостности подразумевает способность системы обнаруживать свое неправильное функционирование и исключать возможность использования, когда ее рабочие характеристики выходят за допустимые пределы, путем своевременного предупреждения потребителей. Этот сложный процесс может определяться рядом процедур:

- обнаружением неисправностей;
 - передачей информации о неисправностях;
 - принятием решения об использовании информации о неисправностях и т.д.
- Каждой процедуре соответствует своя группа критериев оценки целостности системы. Обнаружение неисправностей может оцениваться:

- вероятностью обнаружения контрольными станциями отклонений характеристик сигналов от допустимых значений;
- вероятностью определения бортовой аппаратурой отклонений характеристик сигналов от номинальных значений;
- числом исправно функционирующих спутников или наземных станций РНС;
- продолжительностью или периодичностью контроля сигналов спутников (наземных станций РНС) в течение суток и др.

Информация о неисправной работе оценивается:

- вероятностью и необходимым интервалом времени передачи сообщения со спутника или наземной станции РНС непосредственно потребителю;
- вероятностью передачи сообщения на пункт контроля и от него потребителю;
- пропускной способностью каналов оповещения (“спутник или наземная станция РНС – потребитель” и “пункт контроля – потребитель”).

Таблица 1

Требования, предъявляемые к компонентам Всемирной радионавигационной системы в соответствии с Резолюцией ИМО А.666 (16)

Район плавания	Погрешность определения места для P=95%, м	Частота определения места и отображения информации, с	Доступность за 30 сут., %	Целостность
На подходах к портам и их акваториям, по фарватерам	Не более 10	Более чем 1 раз в 10 с при отображении цифровой информации; более чем 1 раз в 2 с при отображении графической информации или автоматическом управлении судном	99,8	Время оповещения о неисправной работе не более 10 с
В других районах	В соответствии с Резолюцией ИМО А.529 (13)	В соответствии с Резолюцией ИМО А.529 (13)	99,8	Не определена

Последняя процедура, связанная с использованием информации о неисправностях, может оцениваться:

- предельно допустимым значением отклонений рабочих характеристик спутника (наземной станции РНС) от номинальных значений. В американской терминологии [2, 3] этому критерию соответствует понятие предел защищенности, который представляет собой максимальную погрешность координат места потребителя в зоне действия системы, при превышении которой выдается сигнал предупреждения. Предел защищенности – параметр регулируемый. Он является набором значений для каждой системы и зависит от размеров зоны действия, а также задач обеспечения в ее пределах;

- допустимым временем оповещения потребителя о неисправностях, под которым понимается максимально допустимое время между появлением погрешности сверх установленной нормы (за пределами защищенности) в месте нахождения потребителя и выдачей сигнала предупреждения. В американской терминологии [2, 3] этому критерию соответствует понятие “время подачи сигнала тревоги”, представляющее собой максимально допустимое время в секундах между появлением погрешностей за пределами защищенности и получением сигнала предупреждения;

- вероятностью того, что уровень отклонения рабочих характеристик спутника (наземной станции РНС) не больше допустимой величины. В американской терминологии [2, 3] этому критерию соответствует понятие “вероятность появления погрешности”, превышающая предел защищенности, которая возникает в месте нахождения потребителя после заданного интервала времени, отведенного для передачи сигнала предупреждения.

Очевидно, что с точки зрения потребителя наиболее важным критерием оценки целостности является допустимое время передачи сигнала предупреждения о неисправной работе системы.

Таким образом, представляется целесообразным в интересах потребителя выделить следующие критерии для количественной оценки, соответственно, допустимости и целостности систем:

- вероятность получения обсервации в любой момент на заданном интервале времени;
 - допустимое время оповещения потребителя о неисправной работе системы.
- Рассмотрим подходы к количественной оценке названных параметров.

Оценка уровня доступности системы. Исходя из определения, доступность (D) системы может быть рассчитана по формуле

$$D = \frac{T_P}{T_P + T_H} \cdot 100\% , \quad (1)$$

где T_P – среднее время, в течение которого возможно определение места по системе;

T_H – среднее время, в течение которого система неработоспособна (определение места невозможно).

Среднеорбитные СНС – системы непрерывного действия: при полном составе космических аппаратов (КА) обсервация в принципе может быть получена практически в любой момент времени. Однако для успешного решения навигационной задачи в трехмерном пространстве необходимо наличие в зоне радиовидимости не менее четырех КА. Последнее обстоятельство накладывает определенные ограничения на требуемое число действующих КА. По мере уменьшения числа КА в орбитальной группировке может наступить момент, когда навигационная задача в полном объеме (3-х координатная) решена быть не может.

В отечественных руководствах по использованию наземных РНС данные об их доступности отсутствуют. Гос.НИНГИ были получены приближенные оценки этой характеристики, расчет которых основывался на статистических данных о работе наземных РНС в течение года с учетом выхода их из строя и проведения планово-предупредительного ремонта. Последний занимал для РСДН-20 и РСДН-3 в среднем 3-4 сут./мес., а в отдельных случаях его продолжительность увеличивалась до 9-19 сут./мес.

С учетом изложенного в табл.2 приведены сведения о доступности отечественных РНС наземного базирования.

Таблица 2

Доступность отечественных РНС наземного базирования

Тип РНС	Уровень доступности
Брас	0,94
РС-10	0,99
МАРС-75	0,83-0,97
РСДН-3	0,84
РСДН-20	0,83

Оценка целостности системы. С точки зрения пользователя, оценку целостности системы целесообразно проводить по основному критерию – допустимому времени задержки передачи предупреждения потребителю о неисправной работе системы $t_{зад(дон)}$. Это время может быть рассчитано по формуле

$$t_{зад(дон)} \leq S_{он} / V - t_{реак} , \quad (2)$$

где $S_{он}$ – расстояние до навигационной опасности с учетом погрешности места корабля по используемой системе;

V – скорость хода корабля;

$t_{реак}$ – время реагирования корабля от момента подачи команды на руль до начала маневра уклонения от опасности.

Время реагирования $t_{реак}$ – аддитивная величина и в общем случае складывается из промежутков времени, характеризующих продолжительность:

- определения штурманом места $t_{онп}$;
- анализа штурманом местоположения корабля относительно навигационной опасности $t_{ан}$;
- подготовки рекомендаций по безопасному маневрированию $t_{рек}$;
- доклада командиру о навигационной опасности $t_{док}$;
- оценки командиром обстановки и принятия решения на маневр уклонения $t_{к.о.м}$;

- подачи команды рулевому $t_{рул}$;
- маневра уклонения, определяемого временем от перекладки руля до начала момента уклонения $t_{укл}$.

Таким образом, время реагирования может быть рассчитано по формуле

$$t_{реак} = t_{опр} + t_{ан} + t_{рек} + t_{док} + t_{ком} + t_{рул} + t_{укл} \quad (3)$$

В зависимости от условий плавания отдельные слагаемые формулы (3) могут не учитываться. Это характерно для прохода кораблем узкостей и плавания по акваториям портов (гаваней), когда первые четыре слагаемых $t_{опр}$, $t_{ан}$, $t_{рек}$, $t_{док}$ в расчет не принимаются.

Результаты расчетов целостности спутниковых навигационных систем представлены в табл.3 и характеризуют условия плавания, а также допустимое время задержки передачи предупреждения потребителя о неисправной работе системы.

Таблица 3

Допустимое время задержки в передаче предупреждения потребителя о неисправной работе системы

Зона плавания	Расстояние до опасности, м	Скорость корабля, м/с	Время реагирования, с	Допустимое время задержки предупреждения потребителя, с
Стесненная:				
– река	25	3,09	2	11
– акватории портов, гаваней	15	2,06	2	10
– узкие (шириной 100-200 м) каналы и фарватеры	40	3,09	3	16
Прибрежная:				
– фарватеры шириной ≥ 360 м	180	5,14	5	40
– фарватеры шириной 1850 м	925	12,86	15	85
Открытое море	3700	15,43	15	250

Для контроля сопоставим данные табл.3 с аналогичными характеристиками, принятыми в США, но рассчитанными другими способами. В работе [3] указано, что требование ко времени передачи сигнала предупреждения, равное 10 с, будет приемлемо для всех случаев, когда свободная половина фарватера составляет более 50 м. Эта величина рекомендуется как номинальное требование к дифференциальному режиму СНС НАВСТАР. Она близка к значениям целостности для отечественных СНС и РНС.

Таким образом, предложенные выше подходы в большинстве случаев позволяют получить количественную оценку уровней доступности и целостности спутниковых и наземных радионавигационных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная научно-техническая программа "Российский радионавигационный план". – М.: МВК: Радионавигация, 1994. – 65 с.
2. Pisano Y.J., Kreamer P.M., Decrocher G.P., Radziszewski J.R. Marine GPS requirements and expected coverage. / Доклад на Ежегодной ассамблее радиотехнической комиссии для морских служб США. – Сан-Диего, 1993.
3. Kreamer P.M., Alsip D.N., Radziszewski J.R. Performance requirements for Coast Guards differential service. / Доклад на Ежегодной ассамблее радиотехнической комиссии для морских служб США. – Сан-Диего, 1993.

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ НА МОРСКОМ ОБЪЕКТЕ

**А.В.ЗАЙЦЕВ,
В.И.РЕЗНИЧЕНКО**
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Характеризуются особенности функционирования спутниковой навигационной аппаратуры на морском объекте. Получены выражения для определения параметров движения заданной точки морского объекта в условиях качки и маневрирования. Приведены данные расчета статистических характеристик погрешностей навигационных определений по сигналам СНС с учетом волнения и возвышения приемной корабельной антенны над центром качания корабля. Их сопоставительный анализ с результатами математического моделирования движения антенны в условиях нерегулярной качки позволил сделать вывод о необходимости для реализации потенциальной точности СНС в морских условиях учитывать дополнительную информацию от автономных корабельных средств, характеризующую движение объекта на качке.

В настоящее время почти одновременно в США и России завершаются работы по созданию среднеорбитальных спутниковых навигационных систем (СНС) НАВСТАР и ГЛОНАСС. Наряду с развертыванием орбитальных группировок космических аппаратов (КА) в последнее десятилетие проделана значительная работа по созданию аппаратуры потребителей - спутниковой навигационной аппаратуры (СНА). Зарубежными фирмами разработано более трехсот различных образцов СНА, предназначенных для использования на наземных, воздушных и космических объектах. Общее число приемной аппаратуры системы НАВСТАР уже сейчас исчисляется тысячами комплектов. Парк подобной отечественной аппаратуры в силу известных причин экономического характера значительно уступает в численности и проблема его насыщения продолжает оставаться одной из самых злободневных.

Главным достоинством СНА среднеорбитальных СНС общепризнана возможность непрерывного определения координат места и составляющих вектора скорости объекта. Потенциальная точность навигационных определений может достигать 10 м по координатам и 0,05 м/с по составляющим вектора скорости. Такая точность при её реализации на объекте в состоянии удовлетворить самого притязательного потребителя, если, к примеру, речь идет о решении задач безопасности плавания кораблей и судов, о навигации летательных аппаратов и т.п. Здесь, однако, необходимо сделать одну существенную оговорку. Дело в том, что потенциально заложенные в СНС точности определения навигационных параметров привязаны к точке объекта, совмещенной с фазовым центром антенны (ФЦА) приемной аппаратуры. А потребителя, как правило, интересуют параметры другой, назовем её заданной, точки объекта. И если для сухопутного потребителя, воздушного или космического объекта задача может быть сведена к достаточно простому пересчету определяемых параметров одной точки в другую, то для морского потребителя, находящегося на границе двух сред, одна из которых - водная - находится в постоянном движении, приводящем к качке объекта, задача существенно усложняется. В самом деле, линейные размеры морского объекта, как правило, достаточно велики, место расположения приемной антенны, а следовательно и ФЦА, может значительно отстоять от участков объекта, параметры движения которых подлежат определению по сигналам СНС, да и параметры движения разных точек объекта при качке отличаются друг от друга. В этих условиях результаты навигационных определений по сигналам СНС, относящиеся к точке размещения приемной антенны, весьма приближенно характеризуют положение и движение других точек морского объекта.

Возникает естественный вопрос - можно ли использовать СНА в этих условиях автономно, не привлекая дополнительной информации (от датчиков углов и скоростей качки и т.п.)? Безусловно, если неучет этих факторов не вносит недопустимых для данного потребителя погрешностей в определяемые навигационные параметры. Когда мы ведем речь о навигационных параметрах, отнесенных к объекту в целом, определяющих его положение в

заданной системе координат, такое допущение вполне правомерно. Оговоримся, что в этом случае мы сознательно отказываемся от возможности достижения потенциальных точностей, заложенных в системе изначально. Однако существует целый ряд задач, стоящих перед морскими объектами, вызывающих необходимость измерения текущих значений параметров, характеризующих перемещение конкретных точек объекта для учета их в системах управления.

Рассмотрим, насколько скажется на решении подобных задач возникновение дополнительных погрешностей навигационных параметров при несовпадении ФЦА с заданной точкой объекта в условиях качки на нерегулярном волнении и можно ли ими пренебречь, как в предыдущем случае. Вопросы движения морского объекта в условиях качки излагаются в многочисленных работах по теории корабля. основополагающим считается доклад академика А.Н.Крылова об общей теории качки корабля на волнении, прочитанный им в 1898 г. в Английском обществе корабельных инженеров [1]. Задача определения параметров движения заданной точки морского объекта в условиях качки детально изучена С.С.Ривкиным в работах [2, 3]. В них рассмотрены в основном инерциальные методы определения составляющих линейной скорости и линейных перемещений точки такого классического морского объекта, каким является корабль. Автор, в частности, отмечает, что при определении кинематических параметров фиксированной точки корабля в условиях качки иногда невозможно расположить чувствительные элементы измерителей точно в указанной точке. Это приводит к необходимости преобразования измеряемой информации. Аналогичная ситуация имеет место, как мы уже уточнили, и при использовании СНА на морском объекте.

Задача определения параметров движения заданной точки морского объекта в условиях качки и маневрирования по данным о параметрах движения точки, совмещенной с фазовым центром антенны приемной аппаратуры СНС, может быть описана следующим образом. Пусть объект (рис.1) с центром качаний M , произвольно заданной точкой N и фиксированной точкой A , совмещенной с ФЦА, участвует в поступательном движении с линейной скоростью \vec{V} и вращается вокруг мгновенного центра качаний M с угловой скоростью $\vec{\omega}_k$.

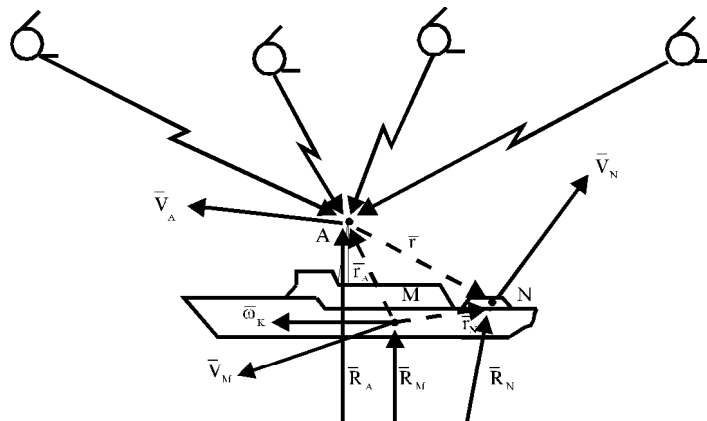


Рис.1. К определению параметров движения заданной точки корабля:

A - фиксированная точка, совмещенная с ФЦА приемной аппаратуры;

M - центр качаний; N - заданная точка ;

$\vec{V}_{M,N,A}$ - векторы линейной скорости соответствующих точек;

$\vec{\omega}_k$ - вектор угловой скорости вращения объекта;

$\vec{R}_{M,N,A}$ - векторы, определяющие положение соответствующих точек

относительно центра Земли;

\vec{r} - векторы, определяющие взаимное положение соответствующих точек.

Линейная скорость точек A и N в условиях сложного движения обозначена векторами \vec{V}_A и \vec{V}_N . Положение точек A , N и M относительно центра Земли обозначено векторами \vec{R}_A , \vec{R}_M и \vec{R}_N . При этом, если точки A и N фиксированы относительно корпуса объекта, то положение точки M в процессе движения непрерывно меняется. Векторы \vec{R}_A и \vec{V}_A определяются координатами места и составляющими скорости точки A , вырабатываемыми спутниковой навигационной аппаратурой. Пренебрегая в данном случае жесткостью несущих

конструкций антенного устройства и корпуса самого объекта, на основе широко известного выражения для вектора скорости точки твердого тела при сложном движении, следуя [2], можно записать

$$\bar{V}_A = \bar{V}_M + \bar{\omega}_K \times \bar{r}_A; \quad \bar{V}_N = \bar{V}_M + \bar{\omega}_K \times \bar{r}_N.$$

Скорость точки M , положение которой неопределённо, можно выразить в виде разностей

$$\bar{V}_M = \bar{V}_A - \bar{\omega}_K \times \bar{r}_A; \quad \bar{V}_M = \bar{V}_N - \bar{\omega}_K \times \bar{r}_N. \quad (1)$$

Приравнивая правые части (1), получим выражение для вектора скорости заданной точки объекта

$$\bar{V}_N = \bar{V}_A + \bar{\omega}_K \times (\bar{r}_N - \bar{r}_A) = \bar{V}_A + \bar{\omega}_K \times \bar{r}. \quad (2)$$

Из (2) следует, что для определения вектора скорости заданной точки морского объекта, по данным СНС, дополнительно к \bar{V}_A необходимо знать относительное положение заданной точки и антенны (\bar{r}) и угловую скорость вращения корпуса объекта ($\bar{\omega}_K$).

Для определения положения заданной точки морского объекта, по данным СНС, опишем положение точки M через точки A и N

$$\bar{R}_M = \bar{R}_A - \bar{r}_A; \quad \bar{R}_M = \bar{R}_N - \bar{r}_N$$

и, приравняв правые части, получим выражение для положения заданной точки морского объекта

$$\bar{R}_N = \bar{R}_A - \bar{r}_A + \bar{r}_N = \bar{R}_A - \bar{r}, \quad (3)$$

где $\bar{r} = \bar{r}_A - \bar{r}_N$.

Из выражения (3) следует, что для определения положения заданной точки морского объекта, по данным СНС, дополнительно к \bar{R}_A необходимо знать относительное положение заданной точки и антенны.

Поскольку выражения (2) и (3) свободны от параметров движения и положения неопределенной точки M , они могут быть использованы для пересчета измеренной по сигналам СНС информации в заданную точку.

Представляя выражения (2) и (3) в проекциях на оси топоцентрической системы координат с началом в точке A , получим:

$$\begin{aligned} V_{N\xi} &= V_{A\xi} + \omega_{K\eta} \cdot r_\zeta - \omega_{K\zeta} \cdot r_\eta; & R_{N\xi} &= R_{A\xi} - r_\xi = -r_\xi; \\ V_{N\eta} &= V_{A\eta} + \omega_{K\zeta} \cdot r_\xi - \omega_{K\xi} \cdot r_\zeta; & R_{N\eta} &= R_{A\eta} - r_\eta = -r_\eta; \\ V_{N\zeta} &= V_{A\zeta} + \omega_{K\xi} \cdot r_\eta - \omega_{K\eta} \cdot r_\xi; & R_{N\zeta} &= R_{A\zeta} - r_\zeta. \end{aligned} \quad (4)$$

В правых частях полученных выражений присутствуют члены, характеризующие положение ($R_{A\xi}, R_{A\eta}, R_{A\zeta}$) и движение ($V_{A\xi}, V_{A\eta}, V_{A\zeta}$) фазового центра антенны приемной аппаратуры СНС (A), и члены, учитывающие отличие положения (r_ξ, r_η, r_ζ) и движения ($\omega_{K\eta} \cdot r_\zeta - \omega_{K\zeta} \cdot r_\eta, \dots$) заданной точки объекта N от соответствующих характеристик точки A . Эти члены представляют собой методические погрешности навигационных определений по сигналам СНС в условиях качки морского объекта. Неучет последних, т.е. использование непосредственно выходной информации автономно функционирующей СНА, приводит к снижению точности определения параметров движения заданной точки объекта.

Методика расчета параметров движения заданной точки корабля в условиях нерегулярной качки детально разработана в [3] и позволяет вычислить статистические характеристики погрешностей навигационных определений по сигналам СНС. Попробуем сделать это, используя методику [3].

Если в качестве заданной точки принять центр качаний корабля, то при расположении антенны на высоте 10м в условиях бортовой качки ($\sigma_{\delta_k} = 5^\circ$), килевой качки ($\sigma_{\kappa_k} = 1,667^\circ$) и рысканья ($\sigma_p = 1^\circ$) средние квадратические и наибольшие значения погрешностей определения составляющих вектора скорости будут равны:

$$\begin{aligned} \sigma_{v_\xi} &= 0,9378 \text{ м/с}; & \sigma_{v_\eta} &= 0,9887 \text{ м/с}; & \sigma_{v_\zeta} &= 1,213 \text{ м/с}; \\ V_{\xi_m} &= 2,813 \text{ м/с}; & V_{\eta_m} &= 2,966 \text{ м/с}; & V_{\zeta_m} &= 3,639 \text{ м/с}. \end{aligned}$$

О масштабах влияния взаимного расположения приемной антенны и заданной точки морского объекта свидетельствуют также результаты математического моделирования движения антенны в условиях нерегулярной качки (рис.2), полученные авторами путем статистической обработки массива данных параметров движения ФЦА на интервале 240 с. Приведенные на рис.2 графики погрешностей определения горизонтальных составляющих вектора скорости центра масс корабля ($\Delta V_N, \Delta V_E$), по данным СНС, соответствуют отстоянию антенны по высоте на 10 м. В случае иного отстояния заданной точки от места расположения антенны текущие значения составляющих скорости будут другими. Количественная оценка возникающей при этом погрешности может быть получена из данных графика путём умножения конкретных значений $\Delta V(t)$ на коэффициент $k = \frac{h_A}{10}$, где h_A - высота антенны.

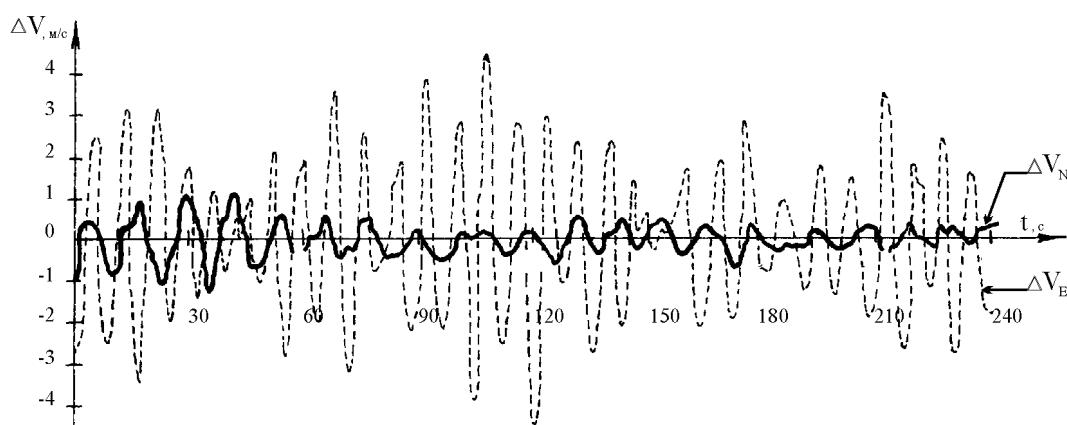


Рис.2. Графики погрешности определения скорости.

Результаты моделирования для трёх вариантов условий качки сведены в таблицу.

Результаты математического моделирования движения антенны в условиях нерегулярной качки

Параметры орбитального движения						Параметры углового движения						Отклонения линейной скорости движения антенны от линейной скорости центра масс корабля	
A_η	A_ξ	A_ζ	T_η	T_ξ	T_ζ	A_K	A_D	A_P	T_K	T_D	T_P	σ_{VN} ,	σ_{VE} ,
метры			секунды			градусы			секунды			м/с	м/с
0,7	1,3	1,1	15	15	15	0	0	0	-	-	-	0,153	0,76
0	0	0	-	-	-	12,5	4,5	3,5	8	12	20	0,414	1,76
0,7	1,3	1,1	15	15	15	12,5	4,5	3,5	8	12	20	0,502	1,76

Из нее видно, что в рассматриваемых условиях составляющие линейной скорости антенны отличаются от скорости движения центра масс объекта на величины $\sigma_{VN} = 0,414 \text{ м/с}$ и $\sigma_{VE} = 1,76 \text{ м/с}$, что согласуется с данными, полученными при расчете по методике [3]. Эти величины примерно на один-два порядка грубее потенциальной точности выработки составляющих вектора скорости с использованием информации спутниковых навигационных систем. Таким образом, становится очевидным, что учет отстояния приемной антенны США от заданной точки морского объекта приводит к заметным погрешностям определения таких навигационных параметров, как составляющие вектора скорости.

Для того, чтобы исключить влияние отстояния точек A и N на точность определения составляющих вектора скорости перемещения заданной точки морского объекта, необходимо учитывать соответствующие члены в правых частях уравнений (4). Различные способы и алгоритмы решения этой задачи изложены авторами в работах [4-7].

Выводы

1. Автономное использование СНА среднеорбитных СНС, осуществляющей определение положения и вектора скорости фазового центра антенны, на морских объектах не позволяет в полной мере реализовать потенциальные возможности СНС в части точности выработки навигационных параметров.

2. Для реализации потенциальной точности СНС в морских условиях корабельная СНА должна использовать дополнительную информацию от автономных корабельных навигационных средств, характеризующую движение объекта на качке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крылов А.Н. Общая теория качки корабля на волнении. Избранные труды. - М.: АН СССР, 1958. - 803 с.
2. Ривкин С.С. Определение линейных скоростей и ускорений качки корабля инерциальным методом. Часть I. - Л.: ЦНИИ"Румб", 1980.
3. Ривкин С.С. Определение линейных скоростей и ускорений качки корабля инерциальным методом. Часть II. - Л.: ЦНИИ"Румб", 1980.
4. Зайцев А.В., Резниченко В.И. Определение путевой скорости корабля по сигналам среднеорбитной космической навигационной системы. // Записки по гидрографии. - N208а. - 1982.
5. Резниченко В.И., Зайцев А.В., Кирст М.А., Ющенко В.И., Гурылев А.С. Выработка скорости и курса по данным космических и автономных навигационных средств. Материалы XIV межотраслевой научно-технической конференции памяти Н.Н.Острякова. - Л.: ЦНИИ"Румб", 1985.
6. АС N175876, СССР, 1982. Способ определения линейной скорости подвижного объекта. Зайцев А.В., Резниченко В.И., Фрадкин В.Н.
7. АС N221146, СССР, 1985. Система выработки северной и восточной составляющих путевой скорости корабля. Брегман В.М., Зайцев А.В., Резниченко В.И.

УДК 524.354.4

ФОРМИРОВАНИЕ ГРУППОВОЙ ПУЛЬСАРНОЙ ШКАЛЫ ВРЕМЕНИ ДЛЯ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Б.И.ЛОБОЙКО
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Описана методика формирования групповой пульсарной шкалы времени, позволяющая учитывать разницу между индивидуальными пульсарными шкалами и групповой шкалой времени, а также вводить корректирующие поправки по частоте.

Современные квантовые стандарты времени и частоты обладают рекордно малыми нестабильностями - порядка 10^{-14} за несколько суток, но позволяют хранить лишь интервал времени. Начальный момент атомной шкалы задается привязкой либо к национальным стандартам, которые по своей природе локальны и невоспроизводимы, либо к астрономическим шкалам.

В настоящее время широко применяется шкала координированного всемирного времени ИТС. Она введена с 1 января 1972 г. и основана на атомной секунде, корректируемой скачком на ± 1 с не чаще, чем раз в полгода, когда различие между этой шкалой и шкалой всемирного времени достигает $\pm 0,7$ с.

Указанные ограничения существующих шкал времени инициировали поиск новых, сочетающих высокую равномерность атомной шкалы с долговечностью, воспроизводимостью и глобальностью астрономических шкал.

В работе [1] была предложена принципиально новая астрономическая шкала времени - пульсарное время, основанная на устойчивой периодичности радиоимпульсов пульсаров, которая обусловлена их физической природой (период радиоизлучения есть период вращения нейтронной звезды, обладающей большим моментом инерции). Эта шкала времени

воспроизводима и может быть единой для всех наблюдателей. Длительность существования пульсаров около 10^9 лет, поэтому она может быть оценена как долговечная. Хранители новой шкалы времени - пульсары находятся вне Солнечной системы и не зависят от земных условий.

Известно, что одним из преимуществ астрономических шкал является "окрашенность" моментов времени. Но как дать окраску в пульсарной шкале? И чем отличается последовательность импульсов пульсара от столь же неокрашенных колебаний в атомном эталоне?

Учитывая что в барицентрической системе координат можно наблюдать событие, заключающееся в совпадении времени прихода импульсов от ряда пульсаров, т.е. получить "окрашенные" моменты в пульсарной шкале, в работе [2] рассмотрен принцип построения групповой пульсарной шкалы времени. Такая шкала строится для взаимного исследования шкал и реализуется относительно атомной шкалы в виде средневзвешенного значения разности, определенной не менее чем по трем реперным пульсарам.

Очевидно, что групповая пульсарная шкала времени, выступающая в качестве эталонной, должна обладать большей стабильностью и лучшей равномерностью по сравнению с образующими ее индивидуальными пульсарными шкалами.

Рассмотрим ансамбль из $N+1$ индивидуальных пульсарных шкал. Одна из них выбирается в качестве опорной. Каждой шкале приписывается индекс $i=0,1,\dots,N$. Опорной шкале приписывается индекс "0".

Разницу между индивидуальными пульсарными шкалами с индексами i и k , измеряемую в момент времени t , обозначим $\Delta T_{i-k}(t)$. Положительная величина $\Delta T_{i-k}(t)$ соответствует случаю, когда i -я шкала опережает шкалу с индексом k во времени. Будем полагать, что $\Delta T_{i-r}^*(t)$ - это оценка в момент времени t разницы между шкалой i и групповой шкалой времени. В случае формирования групповой шкалы времени как арифметического среднего ансамбля пульсаров оценка положения опорной шкалы относительно среднегруппового времени будет определяться по формуле

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

Приведенное соотношение является достаточно точным для формирования групповой пульсарной шкалы времени, если все пульсары, входящие в ансамбль, имеют одинаковые точностные характеристики, а также если пульсары их ансамбля не исключаются и новые пульсары не добавляются.

При добавлении или исключении пульсаров возникают две проблемы: первая обусловлена разницей между индивидуальными шкалами пульсарного времени и групповой пульсарной шкалой, вторая - различием частот.

Для решения первой проблемы выражение (1) модифицируем таким образом, чтобы использовать не разницы между индивидуальными пульсарными шкалами, а их приращения

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

Выражение, заключенное в квадратные скобки - это не что иное, как среднее относительное отклонение частоты

$$\bar{y}(t_k, \tau) = \frac{1}{\tau} \int_{t_k}^{t_k + \tau} y(t) dt = \frac{1}{\tau} [x(t_k + \tau) - x(t_k)]$$

пульсарной шкалы с индексом i , определенное относительно опорной пульсарной шкалы на интервале выборки длиной τ между моментами $t-1$ и t , взятое с обратным знаком и умноженное на длину этого интервала

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

Вторая проблема, касающаяся различия по частоте, обуславливает необходимость введения в расчеты корректируемых поправок по частотам. Для этого введем понятие первичной частоты группы

$$\bar{f} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_{oi} = f_o \left[1 - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_{oi} \right], \text{ где } f_{oi} = f_o [1 + y_{oi}].$$

Для первоначального набора пульсаров необходимо выполнить условие

$$\sum_{i=1}^N (f_{oi} - \bar{f}) / f_o = 0.$$

Когда в ансамбль включаются новые пульсары или какие-либо исключаются из него, это условие, естественно, перестает выполняться, если значение первичной средней частоты группы не фиксируется и не ставится задача сохранить его прежнее значение.

С учетом приведенных замечаний и преобразований уравнение (1) преобразуется к виду

$$\begin{aligned} \Delta T_{o-r}^*(t) &= \Delta T_{o-r}^*(t-1) - \frac{\tau}{N} \sum_{i=1}^N [t-1, t] + \frac{\tau}{N} \sum_{i=1}^N (f_i(t) - \bar{f}) / f_o = \\ &= \Delta T_{o-r}^*(t-1) - \frac{\tau}{N} \left\{ \sum_{i=1}^N \left[\frac{\Delta f_{i-r}(t)}{f_o} - \bar{y}_k(t-1, t) \right] \right\}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $f_{i-r}(t)/f_o$ - корректирующая поправка на частоту, равная величине смещения частоты с учетом дрейфа $(f_i(t) - \bar{f})/f_o$. Если все $f_{i-r}(t)/f_o$ являются достаточно точными оценками поправок частот пульсаров, то можно полагать

$$\left[\frac{\Delta f_{j-r}(t)}{f_o} - \bar{y}_j(t-1, t) \right] \approx \left[\frac{\Delta f_{k-r}(t)}{f_o} - \bar{y}_k(t-1, t) \right].$$

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

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

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

На групповую шкалу времени, формируемую согласно выражению (3), не будут оказывать существенного неблагоприятного воздействия как добавляемые, так и исключаемые из ансамбля пульсары за счет соответствующего регулирования и своевременного корректирования поправок. Заметим, что уравнение (3) предусматривает равные веса для всех пульсаров, включенных в ансамбль.

Для шкал времени, формируемых из пульсаров с заметно различающимися характеристиками стабильности, могут потребоваться различные весовые схемы. Учет неравных весов приводит к основному уравнению шкалы пульсарного времени

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

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

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

Формируемая подобным образом групповая пульсарная шкала времени будет средневзвешенной шкалой ансамбля пульсаров. Определение весовых функций $m_i(t)$ и их значений в конкретные моменты времени является самостоятельной задачей и в данной статье не рассматривается.

Реализация предложенной методики формирования групповых пульсарных шкал времени позволит увеличить длительность автономной работы навигационных космических аппаратов, повысит точность синхронизации существующих и вновь разрабатываемых радионавигационных систем как наземного, так и космического базирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лобойко Б.И. Групповая пульсарная шкала времени // Измерительная техника, - 1990. - №11. - С.51-54
2. Шабанова Т.В. Пульсарная шкала времени // Измерительная техника, - 1979. - № 10.-С.73-75.

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГИДРОГРАФИИ, МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИРОВОГО ОКЕАНА

УДК 528.475

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДОННОГО ГРУНТА ПО СИГНАЛАМ ЭХОЛОТА

А.И.СВЕЧНИКОВ
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Описана методика определения коэффициентов отражения и энергетических потерь на основе анализа интенсивности акустического поля, возникающего при отражении. Приводятся результаты опробования предлагаемой процедуры обработки натуральных данных.

Применение эхолота для дистанционной диагностики донного грунта основывается на анализе вторичного поля, возникающего в результате взаимодействия акустического зондирующего импульса и толщи грунта. Достоверность классификации при этом будет определяться выбранным набором характеристик отраженного поля, с помощью которых можно наиболее полно описать физико-механические свойства изучаемого донного грунта.

В результате экспериментальных исследований установлено [1], что с использованием амплитудного коэффициента отражения K , определяемого отношением

$$K = A_r(t)/A_p(t),$$

где $A_p(t), A_r(t)$ - соответственно амплитудные значения зондирующего и отраженного акустических импульсов на границе раздела, можно получить устойчивое разделение донного грунта на два обособленных класса. К первому классу могут быть отнесены илистые грунты, ко второму - грунты, которые представлены глинами, песками или грубообломочными породами.

Значение $A_r(t)$ в основном определяется физико-механическими свойствами границы раздела (волновыми сопротивлениями сред до и после границы раздела, шероховатостью границы).

Вторичное акустическое поле представляет собой отклик толщи донного грунта на возмущение, вызванное зондирующим импульсом и состоит из последовательности эхосигналов, регистрируемых от отдельных акустических границ в стратифицированной толще грунта. Первый эхо-сигнал связывается с первым слоем донного грунта. Характеристики эхосигналов, регистрируемых от второго и последующих слоев будут зависеть от физико-механических свойств первого слоя грунта. Поэтому уточнение физико-механических свойств первого слоя может быть выполнено при использовании сведений всего поля отклика.

Процесс взаимодействия акустического излучения с донным грунтом представляет собой сложное явление, состоящее из отражения, прохождения, рассеяния и поглощения энергии акустической волны. При этом на устройства анализа и обработки поступает лишь часть акустического поля, отраженного в направлении приемника эхолота.

Обозначим через I_i - интенсивность акустического излучения источника на границе раздела вода - донный грунт, I_r, I_s, I_β - интенсивность отраженного поля на границе раздела и интенсивности рассеянного и поглощенного акустического поля в толще грунта. Тогда, в силу закона сохранения энергии на границе раздела будем иметь

$$I_i = I_r + I_s + I_\beta.$$

Интенсивность отраженного акустического поля может быть определена из соотношения

$$I_r = \frac{\int_0^{t_c} p^2(t) dt}{\rho c},$$

где $p(t)$ - мгновенное звуковое давление в отраженной волне;

t_c - длительность донного сигнала;

ρ, c - соответственно плотность и скорость звука в воде.

Донный сигнал можно рассматривать как результат последовательных отражений от стратифицированной толщи донного грунта, поэтому

$$I_r = I_{r1} + I_{r2} + \dots + I_{rn},$$

где I_{r1} - интенсивность отраженного акустического поля от первого слоя донного грунта;

$I_{r2} \dots I_{rn}$ - от последующих слоев в грунте.

Так как о характере взаимодействия акустического излучения с донным грунтом можно судить только по информации, содержащейся в донном сигнале, то целесообразно ввести понятие об энергетическом коэффициенте отражения донной границы R_p , определяемом как

$$R_p = \frac{I_{r1}}{I_r} \text{ или } R_p = \frac{\int_0^{t_1} p^2(t) dt}{\int_0^{t_c} p^2(t) dt},$$

где t_1 - длительность эхо-сигнала, регистрируемого от первого слоя донного грунта.

При цифровой обработке результатов акустических измерений донный эхо-сигнал представляется совокупностью цифровых выборок y_i [1], где i - номер выборки в сигнале. Значение y_i является результатом аналого-цифрового преобразования электрического напряжения $u(t)$, получаемого на выходе усилителя приемника эхолотной системы.

Учитывая, что

$$u(t) = M \cdot K \cdot p(t),$$

где M - коэффициент электроакустического преобразования приемной антенны эхолота;

K - коэффициент усиления усилителя, получим

$$y_i = C_1 p_i,$$

где C_1 - постоянная, учитывающая переход от давления на входе приемной антенны к напряжению на выходе усилителя.

Таким образом, значение энергетического коэффициента отражения может быть получено с использованием соотношения

$$R_p = \frac{\sum_{i=1}^{i1} y_i^2}{\sum_{i=1}^{ic} y_i^2},$$

где $i1$ - число цифровых выборок в первом эхо-сигнале;

ic - число цифровых выборок в донном сигнале.

Коэффициент отражения по давлению для первого слоя донного грунта R может быть определен как

$$R = \sqrt{R_p}.$$

В дальнейшем будем называть его интегральным коэффициентом отражения, учитывая, тем самым, специфику вычисления.

При вычислении интегрального коэффициента отражения R по предлагаемой методике не учитываются характеристики приемоизлучателя и геометрическое расхождение фронта акустической волны на приеме и излучении. Отпадает и необходимость в точной установке коэффициента усиления эхолота.

Опробование предлагаемой методики в морских условиях было выполнено во время испытаний экспериментального образца анализатора сигналов эхолота (рис.1). В процессе испытаний было получено свыше 100000 реализаций донных сигналов эхолота ГЭЛ 3,

зарегистрированных в разных районах. При этом регистрация донных сигналов и их анализ осуществлялись в точках пробоотбора, на экспериментальных съемочных галсах, а также на переходах между районами работ.

Сопоставление результатов пробоотбора и анализ эмпирических распределений интегрального коэффициента отражения (см. рис.1) дает возможность выделить в пределах экспериментального галса три обособленных литологических класса донных грунтов: илы глинистые ($\bar{R}=0,12$), глины твердопластичные ($\bar{R}=0,38$), выходы коренных пород ($\bar{R}=0,44$).

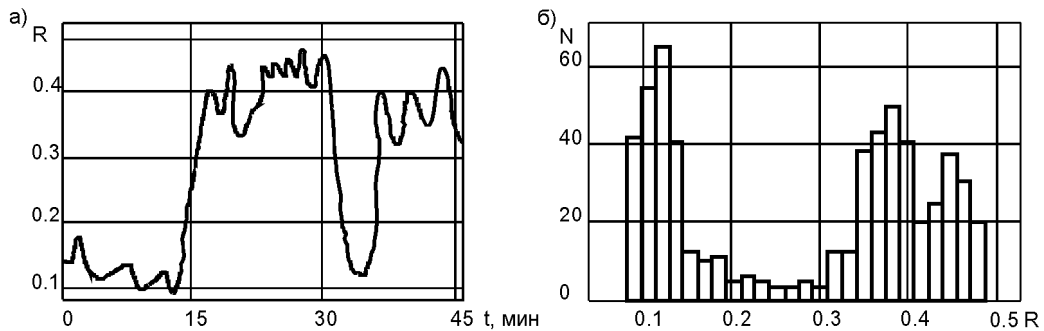


Рис.1. График изменения интегрального коэффициента отражения R на галсе (а) и гистограмма распределения значений коэффициентов отражения R в пределах того же галса (б).

Следует заметить, что смена литологического состава донного грунта - переход от выходов коренных пород в середине экспериментального галса к твердопластичным глинам в конце галса -, по результатам вычислений амплитудного коэффициента отражения K с использованием стандартной методики [1], не выявляется (рис.2), хотя материалы донного отбора проб подтверждают наличие этого факта. Характер изменения графиков коэффициентов отражения K и R по галсу совпадает, что позволяет использовать для оценки отражательной способности донного грунта более простую для реализации методику. Кроме того, чувствительность интегрального коэффициента отражения при классификации донного грунта выше, чем у амплитудного. Это можно объяснить тем, что при определении амплитудного коэффициента отражения учитываются только поверхностные потери акустической энергии, интегральный же коэффициент отражения можно связывать с объемными характеристиками слоя донного грунта. При этом на величину интегрального коэффициента отражения оказывает влияние такая характеристика, как объемное затухание в слое, обусловленное рассеянием и поглощением упругой волны.

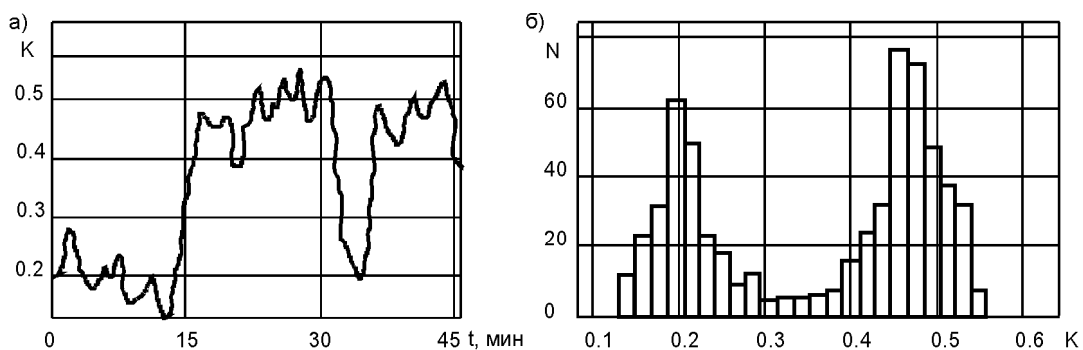


Рис.2. График изменения амплитудного коэффициента отражения K на галсе (а) и гистограмма распределения значений коэффициентов отражения K в пределах того же галса (б).

Интенсивность акустического поля, связанная с потерями энергии на рассеяние и поглощение, может быть определена как

$$I_s + I_\beta = I_i - I_r.$$

Величину потерь энергии звуковой волны удобно характеризовать с помощью энергетического коэффициента потерь α_p , определяемого отношением

$$\alpha_p = \frac{I_i - I_r}{I_i}.$$

Значение α_p вычисляется на границе раздела вода - донный грунт. В связи с этим интенсивности I_i и I_r также должны быть получены для этой границы. Положение границы раздела во временной области определяется моментом времени появления первых вступлений донного сигнала t_0 .

Если давление, создаваемое передающей антенной, обозначить через P , то с учетом характеристик передающей антенны и явлений геометрического расхождения фронта волны можно получить давление зондирующего импульса, развиваемое на границе раздела

$$p(t_0) = C_2(t_0) \cdot U_B,$$

где U_B - электрическое напряжение возбуждения антенны;

$C_2(t_0)$ - полином, учитывающий изменение давления в падающей волне со временем.

Интенсивность I_i зондирующего импульса на границе раздела определится выражением

$$I_i = \frac{\int_0^{t_0} p^2(t) dt}{\rho c},$$

или с учетом цифрового представления сигнала как

$$I_i = \frac{C_2(t_0) \sum_{i=1}^{i=i2} U_{Bi}^2 \Delta t}{\rho c} = \frac{\Delta t \cdot C_3(t_0)}{\rho c},$$

где Δt - шаг квантования при аналого-цифровом преобразовании сигнала;

U_{Bi} - цифровые выборки, характеризующие акустический зондирующий импульс;

$i2$ - число цифровых выборок в зондирующем импульсе;

$C_3(t_0)$ - полином, учитывающий изменение интенсивности зондирующего импульса от времени.

Давление в отраженном сигнале p_r с учетом геометрического расхождения фронта волны на приеме определится из следующего соотношения

$$p_r(t) = C_4(t) \cdot U(t) = U_n(t),$$

где $C_4(t)$ - полином, учитывающий геометрическое расхождение фронта волны на приеме;

$U_n(t)$ - значение напряжения в донном сигнале на момент времени t , исправленное с учетом геометрического расхождения фронта волны.

Используя цифровое представление донного сигнала, получим выражение для вычисления интенсивности I_r на границе раздела

$$I_r = \frac{\Delta t \sum_{i=1}^{i=ic} y_{ni}^2}{\rho c},$$

где y_{ni} - цифровая выборка сигнала, исправленная с учетом геометрического расхождения фронта отраженной волны, а значение $i=1$ соответствует моменту появления первых вступлений донного сигнала t_0 .

Учитывая полученные выражения для вычисления I_i и I_r энергетический коэффициент потерь α_p определяется как

$$\alpha_p = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{i=ic} y_{ni}^2}{C_3(t_0)}.$$

Коэффициент потерь характеризует долю акустической энергии, которая не дошла до приемника эхолота и была утрачена в результате рассеяния и поглощения. Взаимное положение приемника эхолота и отражающих площадок донной поверхности будет влиять на величины R и α_p . При наклонном падении зондирующего импульса резко уменьшается

интенсивность акустического излучения, отраженного в направлении приемника. Это может привести к возрастанию интегрального коэффициента отражения R и коэффициента энергетических потерь α_p при заметном уменьшении амплитудного коэффициента отражения. С помощью набора этих признаков в каждый фиксированный момент времени создаются определенные предпосылки для определения взаимного положения акустического луча и донной поверхности, что может быть использовано при учете влияния качки судна на выполняемые измерения.

Рассмотренные характеристики описывают различные стороны процесса взаимодействия акустического излучения с донным грунтом, поэтому только их совместный анализ на этапе классификации будет способствовать повышению достоверности при принятии решения о принадлежности определяемого грунта к тому или иному литологическому классу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свечников А.И. Дистанционная классификация первого слоя донных отложений акустическим методом. Зап. ЛГИ, Л., т.113, 1987.

УДК 528.73:528:47

ПРИМЕНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ФОТОТРИАНГУЛЯЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПУНКТОВ АНАЛИТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

**А.А.СИМИНЕЕВ,
Л.Д.ВЛАСОВА**
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Показана возможность применения метода аналитической фототриангуляции вместо геодезических методов для определения пунктов аналитических сетей в общегосударственной системе координат. Приведены математические зависимости для априорной оценки точности положения пунктов. Даны рекомендации по выбору параметров аэрофотосъемки и положению исходных пунктов.

В соответствии с требованиями ПГС № 37 для планового и высотного обоснования гидрографических работ применяются аналитические сети, развитие которых рекомендуется производить методами триангуляции, полигонометрии или трилатерации [1].

В последние годы для изучения морского мелководья и береговой полосы все более широкое применение находят материалы аэрофотосъемки. При этом аналитическая фототриангуляция, являющаяся основным методом сгущения съемочного обоснования при создании топографических карт, стала успешно использоваться для топографической съемки береговой полосы [2].

Теория и технология пространственной фототриангуляции по аэрофотоснимкам местности подробно изложены в работах [2,3]. Оценим возможность применения аналитической фототриангуляции для определения положения пунктов аналитических сетей. Для этого рассмотрим среднюю квадратическую погрешность определения планового положения точек аналитической маршрутной фототриангуляции m_d (в миллиметрах) относительно исходных пунктов [2]

$$m_d = 0.2 \frac{m_a}{t_0} \left\{ \left[n^3 + 10 \left(10 + \frac{f^4}{a^4} \right) n + 10 \left(5 - 4 \frac{f^4}{a^4} \right) \right] m_q^2 + 0.04 (n^3 + 160n + 880) m_p^2 + 30 m_\Delta^2 \right\}^{1/2}, \quad (1)$$

где m_a , t_0 - знаменатели масштабов соответственно аэрофотоснимков и отчетного планшета;

n - число базисов фотографирования (стереопар аэрофотоснимков) между парами исходных пунктов (рис.1);

f - фокусное расстояние аэрофотоснимков, мм;

a - среднее удаление опорных точек от продольной оси маршрута, мм (см. рис.1);

m_q, m_p - средние квадратические погрешности измерения поперечных и продольных параллаксов на стереокомпараторе, мм;

m_{Δ} - средняя квадратическая погрешность положения точек на аэрофотоснимке, мм.

При построении фотограмметрических сетей погрешность m_{Δ} , характеризующая точность построения изображения на фотопленке объективом аэрофотоаппарата, обычно принимается равной $2,5 m_p$. В нашем случае, в связи с тем, что точки фототриангуляции, наколотые на аэрофотоснимках, в дальнейшем будут опознаваться на побережье и использоваться для определения места судна зрительными способами, погрешность m_{Δ} должна быть принята равной допустимой погрешности опознавания точек, а именно: 0.1 мм в масштабе аэрофотоснимка [2].

Определяющее влияние на точность планового положения точек фототриангуляции оказывают масштаб аэрофотоснимков и число базисов фотографирования, так как остальные величины, входящие в формулу (1), определяются техническим заданием и характеристиками используемых приборов (аэрофотоаппарата и стереокомпаратора) и не могут быть изменены.

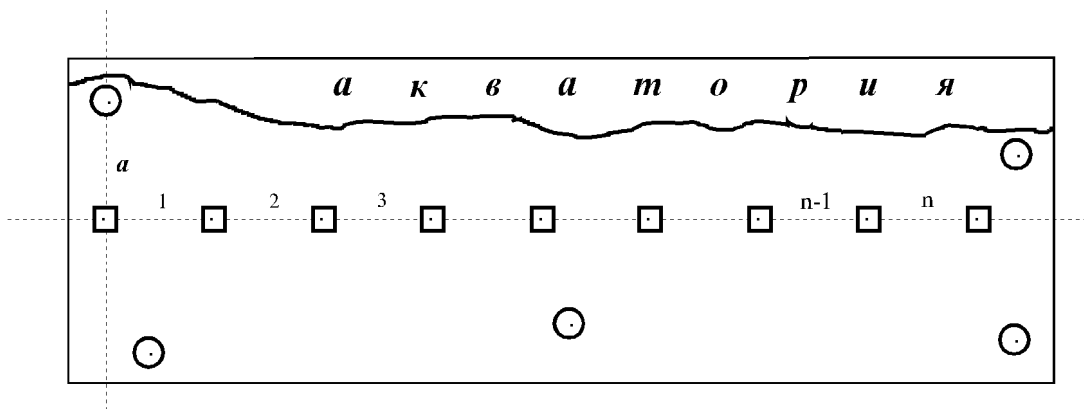


Рис. 1. Схема расположения исходных пунктов:

- - геодетические пункты (планово-высотные исходные пункты);
- - главные (центральные) точки аэрофотоснимков.

Расстояние L_0 между исходными пунктами (плановыми опорными точками) на побережье в масштабе съемки определяется по формуле

$$L_0 = b n \frac{m_a}{t_0}, \quad (2)$$

где b - базис фотографирования в масштабе аэрофотоснимка.

Выразив из формулы (1) отношение m_a/t_0 и подставив его в выражение (2), получим

$$L_0 = 5 b n m_d \left\{ \left[n^3 + 10 \left(10 + \frac{f^4}{a^4} \right) n + 10 \left(5 - 4 \frac{f^4}{a^4} \right) \right] m_q^2 + 0.04 (n^3 + 160n + 880) m_p^2 + 30 m_{\Delta}^2 \right\}^{-1/2}. \quad (3)$$

Очевидно, что для уменьшения объема полевых работ расстояние L_0 должно быть максимальным, что достигается за счет увеличения числа базисов фотографирования между опорными точками. Однако чрезмерное увеличение числа базисов приведет к росту погрешности m_d . Оптимальное число базисов n_0 найдем, продифференцировав функцию (3) по n и приравняв результат к нулю. Упростив полученное уравнение при $a = f$, $m_p = m_q = 0.015$ мм, $m_{\Delta} = 0.1$ мм, найдем $n_0 = 16$. Тогда, вернувшись к формуле (1) и выразив из нее отношение m_a/t_0 , с учетом принятых выше допущений и того, что $n = 16$, получим

$$\frac{m_a}{t_0} = 3.8 m_{d \text{ доп}}, \quad (4)$$

где $m_{d \text{ доп}}$ - допустимая средняя квадратическая погрешность планового положения точек фототриангуляции.

Известно [1], что средняя квадратическая погрешность положения пункта в слабой части аналитических сетей $m_{\text{сл}}$ относительно исходных пунктов не должна превышать 0.4, 1.0 или 2.0 м для масштабов съемки рельефа дна соответственно равных 1:2000, 1:5000 и 1:10000, что соответствует 0.2 мм на планшетах указанных масштабов. Тогда, приняв $m_{d \text{ доп}} = m_{\text{сл}} = 0.2$ мм, из формулы (4) найдем $m_a/t_0 \leq 0.8$. Заметим, что допустимая средняя квадратическая погрешность планового положения точек фототриангуляции при топографической съемке местности равна 0.44 мм [2]. Полученное соотношение позволяет выбрать масштаб аэрофотосъемки, обеспечивающий требуемую точность определения планового положения пунктов аналитических сетей методом фототриангуляции в зависимости от масштаба съемки рельефа дна. Очевидно, что в том случае, если указанное соотношение не выполняется, необходимо уменьшить количество базисов фотографирования между плановыми опорными точками. При этом допустимое соотношение масштабов аэрофотосъемки и съемки рельефа дна может быть определено по графику, приведенному на рис.2.

Средняя квадратическая погрешность определения высот точек аналитической фототриангуляции m_z (в метрах) относительно исходных пунктов вычисляется по формуле [2]

$$m_z = \frac{H}{a} \left[0.01(n^3 + 140n - 70)m_q^2 + (0.1n + 1)m_p^2 \right]^{1/2}, \quad (5)$$

где H - высота фотографирования, м.

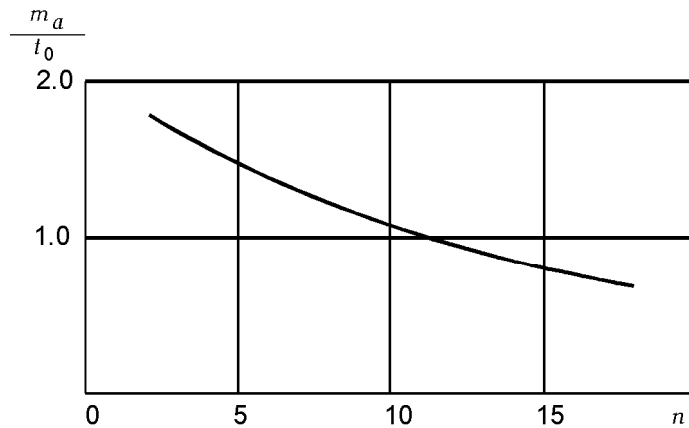


Рис.2. График зависимости m_a/t_0 от числа базисов фотографирования n между плановыми исходными пунктами.

Оценим величину минимальной погрешности определения высот точек фототриангуляции. Из формулы (5) следует, что точность определения высот точек зависит от высоты фотографирования. Аэрофотосъемка обычно производится с высот не менее 500 м. Объясняется это тем, что фотографирование с меньших высот может привести к появлению недопустимого по величине (> 0.05 мм) линейного сдвига (смаза) фотоизображения на аэрофотоснимках, затрудняющего выполнение по ним стереоскопических измерений. Повысить точность определения высот можно за счет удаления исходных пунктов от продольной оси аэрофотосъемочного маршрута. Однако на аэрофотоснимках формата 18x18 см удаление исходных пунктов от оси маршрута, как правило, не превышает 75 мм. Вернувшись к формуле (5), приняв $H = 500$ м, $a = 75$ мм, $n = 1$, $m_q = m_p = 0.015$ мм, найдем минимальное значение $m_z = 0.13$ м.

Требуемая точность определения высот пунктов аналитических сетей не должна превышать 0.05, 0.1, 0.2 или 0.5 м [1]. Сравнивая указанные погрешности с минимальной погрешностью определения высот точек, можно заключить, что высоты аналитических пунктов могут быть определены методом фототриангуляции с погрешностью 0.2 и 0.5 м. Однако определение высот с погрешностью 0.2 м потребует определения высотных опорных точек через каждые два базиса фотографирования, что экономически невыгодно.

Выразим из формулы (5) высоту фотографирования. Приняв $m_z = 0.5$ м, $a = 75$ мм, $m_q = m_p = 0.015$ мм, получим

$$H = \frac{2500}{\sqrt{0.01n_z^3 + 1.5n_z + 0.3}}, \quad (6)$$

где n_z - число базисов фотографирования между парами высотных опорных точек.

Используя формулу (6), построим график зависимости высоты аэрофотосъемки от числа базисов фотографирования (рис.3). При выборе конкретного значения высоты фотографирования предпочтение следует отдать тому значению, при котором число базисов n_z будет максимальным.

Оценка возможности применения аналитической фототриангуляции для определения положения пунктов аналитических сетей выполнена без учета влияния погрешностей планового и высотного положения исходных пунктов. Для того, чтобы влияние погрешностей планового положения исходных пунктов на точность фототриангуляции было пренебрегаемо мало, необходимо выполнить условие

$$m_{d_0} \leq \frac{1}{3} m_d, \quad (7)$$

где m_{d_0} - средняя квадратическая погрешность планового положения исходных пунктов.

Исходя из того, что $m_d = m_{сл} = 0.2$ мм, по формуле (7) найдем $m_{d_0} = 0.07$ мм, что составит на побережье при съемке в масштабах 1:2000, 1:5000 и 1:10000 соответственно 0.14, 0.35 и 0.7 м.

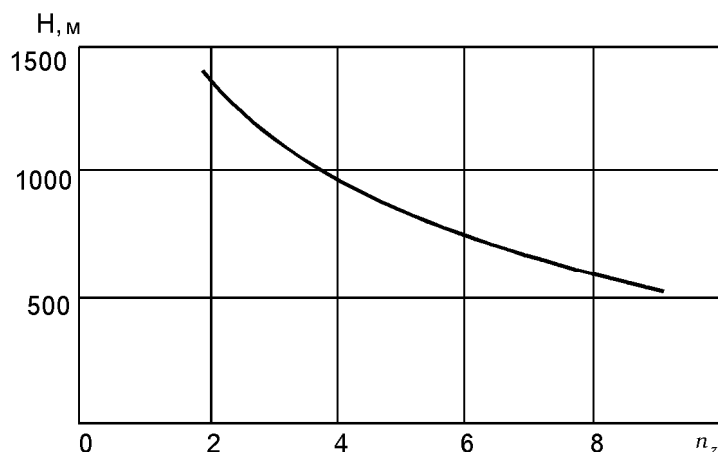


Рис.3. График зависимости высоты фотографирования от числа базисов фотографирования между высотными исходными пунктами.

Сравнение найденных погрешностей положения исходных пунктов с допустимыми погрешностями положения пунктов аналитических сетей (0.4, 1.0 и 2.0 м для сетей вида АС-04, АС-1 и АС-2 [1]) показывает, что в качестве исходных пунктов для построения фототриангуляции можно использовать:

- пункты государственной геодезической сети и геодезических сетей сгущения 1 и 2-го разрядов, для определения координат пунктов аналитических сетей АС-04, АС-1 и АС-2;
- пункты аналитической сети АС-04, для определения координат пунктов аналитической сети АС-2.

Очевидно, что для определения высот пунктов аналитических сетей с погрешностью, не превышающей 0.5 м, высоты исходных пунктов должны быть определены с погрешностью не более 0.15 м.

Результаты расчетов показывают, что возможность применения фототриангуляции для определения положения пунктов аналитических сетей зависит от параметров аэрофотосъемки (масштаба и высоты фотографирования), погрешностей положения исходных пунктов и расстояния между ними. Приведем характерный пример расчета указанных характеристик. Пусть выполнение детальной съемки рельефа дна планируется произвести в масштабе 1: $t_0 = 1:10000$. Тогда, приняв $m_a = 9000$, при выполнении аэрофотосъемки с помощью аэрофотоаппарата АФА-41/10 ($f = 100$ мм) найдем $H = m_a f = 900$ м. В связи с тем, что $a \neq f$, по графику, приведенному на рис.2, вначале определим приближенное число базисов

фотографирования ($n = 13$), которое затем уточним с использованием формулы (1). Окончательно получим $n = 12$. Из рис.3 для $H = 900$ м найдем $n_z = 4$. По формулам (1) и (5) вычислим $m_d = 0.19$ мм (1.9 м на побережье), $m_z = 0.47$ м. Найденные значения погрешностей удовлетворяют требованиям, предъявляемым к точности положения пунктов АС-2. Затем по формуле (3) при $m_{d \text{ доп}} = 0.2$ мм, $b = 72$ мм найдем $L_0 = 836$ мм (8.4 км на местности).

Аналогично могут быть найдены параметры аэрофотосъемки и расстояния между исходными пунктами для остальных видов аналитических сетей. Рекомендуемые значения указанных характеристик приведены в таблице.

Рекомендуемые параметры аэрофотосъемки

Вид аналитической сети	Масштаб аэрофотосъемки	Тип аэрофотоаппарата	H , м	Число базисов фотографирования		L_0 , км
				n	n_z	
АС-04	1:2700	АФА-41/20	540	5	8	0.9
АС-1	1:5000	АФА-ТЭ-140М	700	11	6	3.8
АС-2	1:9000	АФА-41/10	900	12	4	8.4

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что для определения пунктов АС-04 достаточно пяти исходных пунктов (см. рис.1), для пунктов АС-1 необходимо дополнительно определить одну высотную опорную точку (например, урез воды), а для пунктов АС-2 - две пары высотных опорных точек. Однако отметим, что определение пунктов АС-04 методом фототриангуляции в связи с небольшим удалением исходных пунктов друг от друга (0.9 км), на наш взгляд, представляется малоэффективным. В этом случае эффективность метода можно несколько повысить за счет сокращения количества исходных пунктов при объединении двух смежных маршрутных сетей (см. рис. 1) в единую фотограмметрическую сеть.

Проверка возможности применения метода фототриангуляции для определения положения пунктов аналитических сетей была выполнена с помощью программы аналитической маршрутной фототриангуляции на ЭВМ СМ-1420 по математическим моделям береговой зоны [4]. Результаты математического моделирования подтвердили возможность применения аналитической фототриангуляции для определения положения пунктов аналитических сетей в том случае, когда изображение побережья на аэрофотоснимках занимает не менее 45-50 % их площади. При этом плановое положение пунктов определяется с требуемой точностью. Погрешность определения высот пунктов может достигать 0.2 или 0.5 м. Однако определение высот с погрешностью 0.2 м возможно при расположении исходных высотных пунктов не реже чем через два базиса фотографирования.

Таким образом, полученные результаты позволяют рекомендовать метод аналитической фототриангуляции для определения положения пунктов аналитических сетей при комплексном обследовании прибрежных районов с использованием аэрофотоснимков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила гидрографической службы № 37, (ПГС № 37).- Б.м.: ГУНиО МО, 1989.-С. 7-9.
2. Руководство по фототопографическим работам при топогеодезическом обеспечении войск. Ч.2. Создание и обновление топографических карт масштабов 1: 25 000, 1:50 000, 1:100 000. Камеральные работы (РФР-2).- М.: РИО ВТС, 1981.- 191 с.
3. Аналитическая пространственная фототриангуляция / А.Н.Лобанов, В.Б.Дубиновский, М.М.Машимов, Р.П.Овсянников. - М.: Недра, 1991.- 255 с.
4. Аналитические модели местности и снимков (макетные снимки)/ А.Н.Лобанов, В.Б.Дубиновский, А.И.Саранцев и др., 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Недра, 1989.- 140 с.

**К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ ПЕРЕКРЫША
ПРИ НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОМ
ОБЕСПЕЧЕНИИ ПРОТИВОМИННЫХ ДЕЙСТВИЙ**

**В.В.СОКОЛОВ,
Г.М.БАРХАТОВ**
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Рассмотрены вопросы НГО траления. Новым является подход к определению перекрыша между тральными полосами и определению положения тралящей части.

Традиционно основным фактором, влияющим на величину перекрыша при проведении противоминных действий, была средняя квадратическая погрешность (СКП) определения места тральщика. Это было верно тогда, когда точность определения места была значительно ниже других параметров, определяющих ширину протральной полосы. В связи со значительным повышением точности кораблевождения, переходом к навигационно-гидрографическому обеспечению с помощью цифровых навигационных карт и автоматизированным навигационным комплексам, естественно, изменяется и степень влияния ранее не учитываемых параметров на величину перекрыша при проведении противоминных действий.

В общем случае перекрыш рассчитывается по формуле [1]

$$P = K_{P1} \sqrt{E_{K1}^2 + E_{K2}^2}, \quad (1)$$

где K_{P1} – коэффициент перехода от СКП к погрешности заданной вероятности неразрывности тральных полос;

E_{K1} , E_{K2} – СКП прокладки перекрывающихся кромок по направлению нормали к тральному галсу.

Перекрыши (рисунок) обычно подразделяются на три вида [2]:

- между тралами в пределах тральной полосы (P_T);
- между смежными тральными полосами (P_{II});
- перекрыш кромки района противоминных действий (ПМД) (P_K).

Перекрыш между тралами (P_T) в пределах тральной полосы обеспечивается взаимным маневрированием двух соседних тральщиков в строю. В каждой паре тральщиков один является ведущим, другой – ведомым. Последний может определять свое место в строю по отношению к ведущему и обеспечивать тем самым заданную величину перекрыша.

Можно считать, что погрешности в определении места ведущим тральщиком практически не влияют на величину перекрыша между тралами. Тогда

$$E_{K1} = \sqrt{M_{C1}^2 + M_{T1}^2}; \quad (2)$$

$$E_{K2} = \sqrt{M_2^2 + M_{C2}^2 + M_{T2}^2}, \quad (3)$$

где M_{C1} , M_{C2} – СКП счисления ведущего (ведомого) тральщика между наблюдениями;

M_{T1} , M_{T2} – СКП в определении ширины полосы захвата трала ведущего (ведомого) тральщика;

M_2 – СКП определения своего места ведомым тральщиком относительно ведущего.

Для однотипных кораблей в равных условиях можно принять $M_{C1} = M_{C2}$ и $M_{T1} = M_{T2}$,

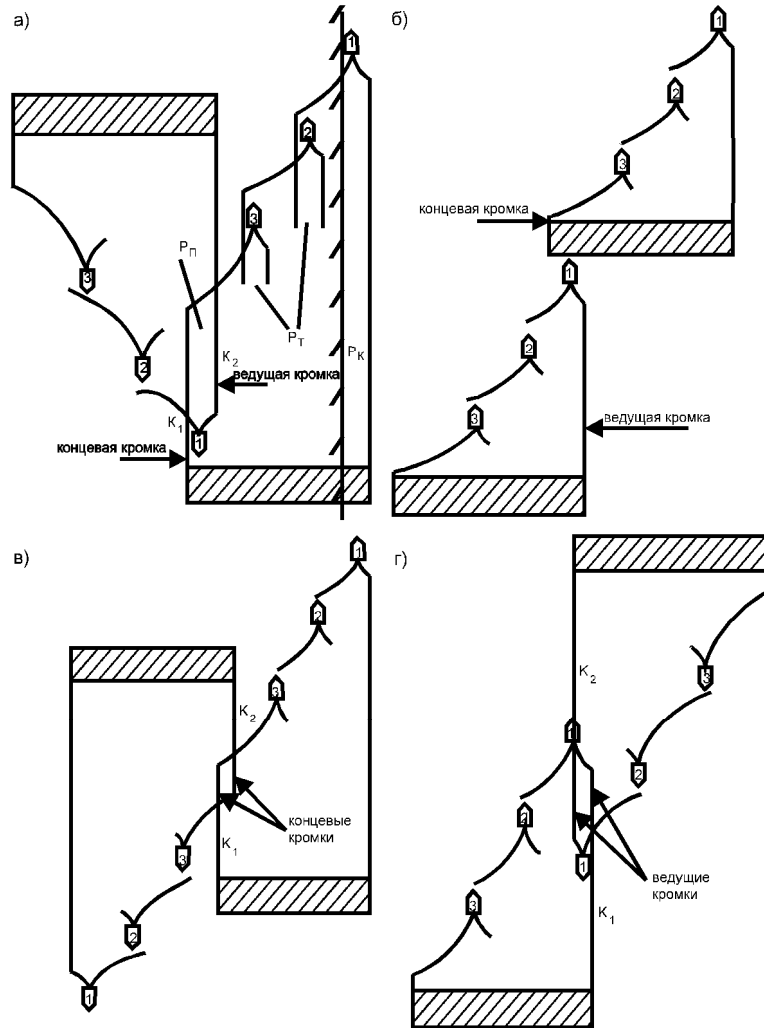
тогда

$$P_T = K_{P1} \sqrt{M_2^2 + 2(M_C^2 + M_T^2)}. \quad (4)$$

При определении перекрыша между смежными тральными полосами (P_{II}) может быть один из трех случаев (см. рисунок):

- 1) кромка K_1 – концевая (КК), K_2 – ведущая (КВ) — варианты а) и б) рисунка;
- 2) кромки K_1 и K_2 – концевые кромки — вариант в) рисунка;

3) кромки K_1 и K_2 – ведущие кромки — вариант г) рисунка.



Варианты перекрышей между смежными тральными полосами.

Необходимо учитывать, что на местоположение ведущей и концевой кромок тральной полосы влияют различные факторы

$$E_{KB} = \sqrt{M_B^2 + M_{CB}^2 + M_{TB}^2 + M_{ГРВ}^2} ; \quad (5)$$

$$E_{KK} = \sqrt{M_K^2 + M_{CK}^2 + M_{TK}^2 + M_{ГРК}^2} , \quad (6)$$

где M_B – СКП определения места ведущим тральщиком;

M_K – СКП определения места концевой тральщика;

M_{CB} , M_{CK} – СКП счисления ведущего (ведомого) тральщика между наблюдениями;

M_{TB} , M_{TK} – СКП в определении ширины полосы захвата траля ведущего (ведомого) тральщика;

$M_{ГРВ}$, $M_{ГРК}$ – СКП графики нанесения положения ведущей (концевой) кромки.

В зависимости от рассматриваемого случая пользуются формулами (1), (5), (6) [2]. Перекрыш кромки района ПМД (P_K) может обеспечиваться либо ведущей, либо концевой кромкой тральной полосы. Соответственно, величина перекрыша определяется по формулам:

$$P_{K1} = K_{P1} \sqrt{E_{KB}^2 + E_{KP}^2} ; \quad (7)$$

$$P_{K2} = K_{P1} \sqrt{E_{KK}^2 + E_{KP}^2} , \quad (8)$$

где E_{KP} – СКП положения кромки района ПМД, определяемая погрешностями графики, т.е. $E_{KP} = M_{IP}$.

Проанализируем формулы (2) – (8), исходя из условий перехода к НГО с помощью цифровых навигационных карт (ЦНК) и автоматизированных навигационных комплексов (АНК). При принятых нами условиях СКП графики и счисления погрешность определения места ведомого тральщика относительно ведущего будет сведена к минимуму (при заданных ТТХ АНК можно предположить, что их сумма не превысит 2 м).

СКП определения места ведущим тральщиком при использовании средств координирования составляет единицы метров при удалении тральщика до 150 км от берега.

Рассмотрим СКП в определении ширины полосы захвата тралы M_T , которая зависит от динамических колебаний отводящего аппарата (буя), погрешностей в определении угла сноса от глубинного течения и др. Для неконтактных тралов, кроме этого, ширина полосы захвата тралы зависит от параметров срабатывания взрывателей мин, от глубины траления, типа грунта, электрохимических свойств воды и др. По оценке специалистов, СКП в определении ширины полосы захвата тралы для большинства контактных тралов будет не менее 8 м, для большинства неконтактных тралов – не менее 20 м. Кроме того, при тралении различными тралами может произойти смещение тралящей части за счет неточного знания угла сноса тралы как от ветра, так и от течения. Так, например, длина буксира глубоководного неконтактного тралы может достигать величины 2500 м. На поверхности воды трал бует не имеет. Угол сноса тралы в первом приближении, как случайная величина, может быть принят распределенным по закону равномерной плотности на интервале (0.5°) , поскольку только при достижении 5° он начинает учитываться. Отсюда СКП угла сноса составит [3]

$$E_\alpha = \frac{5^\circ}{2\sqrt{3}} \approx 1.4^\circ.$$

Тогда СКП определения местоположения тралящей части, вычисляемая по формуле

$$E_{CH} = L \sin E_\alpha, \quad (9)$$

где L – длина буксира; E_α – СКП угла сноса, будет равна 61 м.

Исходя из вышеизложенного, при тралении в пределах тральной полосы, а также между смежными тральными полосами формула (1) приобретает вид

$$P = K_{P1} \sqrt{E_{K1}^2 + E_{K2}^2 + E_{CH1}^2 + E_{CH2}^2},$$

а при тралении кромки района

$$P = K_{P1} \sqrt{E_{KB(KK)}^2 + E_{KP}^2 + E_{CHKP}^2},$$

где E_{CH1} , E_{CH2} – СКП в определении местоположения тралящих частей двух соседних тральщиков (при тралении в пределах одной тральной полосы), или тралящих частей крайних тральщиков при тралении смежных тральных полос;

E_{CHKP} – СКП в определении местоположения тралящей части крайнего к кромке района тральщика.

Анализ спектра погрешностей определения величины перекрыша при выполнении траления (формулы 2 – 9) позволяет сделать вывод о том, что основными погрешностями в определенных случаях могут быть погрешности в определении ширины полосы захвата тралы и в определении местоположения тралящей части за счет неточного знания и учета величины сноса тралы. Вопрос определения данных погрешностей до настоящего времени руководящими документами не ставился, так как погрешности определения места тральщика, счисления и графических построений значительно превосходили их.

Таким образом, рассчитывая величину перекрыша при тралении, дополнительно к известным и ранее используемым погрешностям, следует также учитывать погрешности в определении ширины полосы захвата тралы и в местоположении тралящей части.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Наставление по навигационно-гидрографическому и гидрометеорологическому обеспечению противоминных действий (ННГТМО ПМД-80), часть 2. – Б.м.: ГУНиО, 1982. – 33 с.
2. Дьяконов Ю. О методике расчета перекрыша между тралами. – //Морской сборник, 1977. - №5. - С.58-60.
3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1964, 105 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БАТИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ МОРСКОГО ГРАВИМЕТРА

О.А.ЧИРКОВ
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Предложен алгоритм расчета поправки в показания морского гравиметра по данным рельефа дна моря. Введение поправки позволит уменьшить динамическую погрешность гравиметра. Эффективность алгоритма показана на примере.

Морские гравиметрические измерения проводятся в условиях непрерывных возмущающих ускорений, спектр которых частично перекрывается со спектром ускорения силы тяжести [1]. Поэтому используемая в морской гравиметрии частотная фильтрация не позволяет исключать влияние возмущающих ускорений без искажения полезного сигнала. При движении судна гравиметр “сглаживает” силу тяжести. В связи с этим возникает динамическая погрешность

$$\delta = A \{ \Delta g \} - \Delta g, \quad (1)$$

где A – фильтр гравиметра;

Δg – аномалия силы тяжести в свободном воздухе.

Традиционно динамическая погрешность снижается посредством выбора соответствующего фильтра A . В настоящей статье предлагается иной подход к решению этой проблемы.

Запишем аномалию силы тяжести в свободном воздухе в виде [2, 3]

$$\Delta g = \Delta g_h + \Delta g_o, \quad (2)$$

где Δg_h – притяжение масс рельефа в районе съемки;

Δg_o – притяжение остальных аномальных масс.

Принимая во внимание, что фильтр A , как правило, линейный, из выражений (1) и (2) получаем

$$\delta = \delta_1 + \delta_2, \quad (3)$$

где $\delta_1 = A \{ \Delta g_h \} - \Delta g_h$;

$\delta_2 = A \{ \Delta g_o \} - \Delta g_o$.

Аномалия Δg_h в произвольных точках на траектории движения судна может рассчитываться с заданной точностью по алгоритмам прямой задачи гравиразведки [4]. Зная вид фильтра A , по данным Δg_h могут быть также рассчитаны значения $A \{ \Delta g_h \}$.

Таким образом первая составляющая динамической погрешности, описываемая выражением (3), может быть вычислена и исключена из результатов измерений путем введения поправки

$$c_h = \Delta g_h - A \{ \Delta g_h \}.$$

Необходимо отметить, что для вычисления аномалии Δg_h по формулам прямой задачи гравиразведки необходимо знать глубины не только в пункте измерений, но и в некоторой окрестности этого пункта, в связи с чем введение поправки возможно при камеральной обработке районов с известным распределением глубин. Кроме того, для строгого вычисления Δg_h следует знать плотность пород, слагающих подводный рельеф. В случаях, когда известна лишь средняя плотность пород, поправка c_h рассчитывается приближенно. Эффективность учета такой поправки может быть определена в процессе оценки точности результатов измерений (например, по данным в пунктах пересечения галсов измерений [5]) до и после введения поправки.

Оценим среднеквадратическое значение σ первой составляющей динамической погрешности. Примем, что аномалия силы тяжести описывается случайной стационарной

функцией. В этом случае из формулы (3) получаем, что дисперсия первой составляющей динамической погрешности рассчитывается по формуле

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} |W(i\omega)|^2 S_g(\omega) d\omega,$$

где $W(i\omega)$ – частотная характеристика гравиметра;

$S_g(\omega)$ – спектральная плотность аномалии Δg_h ;

ω – частота.

Для оценки спектральной плотности воспользуемся приближенным соотношением, предложенным В.Л.Пантелеевым [1]

$$S_g(\omega) = 4\rho^2 f^2 \rho^2 l^{-\frac{2H|\omega|}{V}} \cdot S_h(\omega),$$

где f – гравитационная постоянная;

ρ – плотность пород, слагающих рельеф;

H – средняя глубина моря в районе съемки;

V – скорость судна;

$S_h(\omega)$ – спектральная плотность превышений рельефа относительно средней глубины моря в районе съемки.

Допустим, что превышение рельефа характеризуется автокорреляционной функцией

$$K_h(t) = \sigma_h^2 l^{-\alpha|t|},$$

где σ_h^2 – дисперсия превышения рельефа;

α^{-1} – радиус корреляции;

t – время.

Необходимую для расчетов спектральную плотность $S_h(\omega)$ получим в результате преобразования Фурье функции $K_h(t)$.

По изложенному алгоритму были рассчитаны оценки погрешностей для широко используемых в России гравиметров типа МГК и “Флагман”, частотные характеристики которых имеют вид [6, 7]

$$W_1(i\omega) = l^{i\omega T_0} \cdot \left[(1+i\omega T_1)(1+i\omega T_2)(1+i\omega T_3)^2 \right]^{-1};$$

$$W_2(i\omega) = l^{i\omega T_0} \cdot \left[1 - \omega^2 T_3(T_1 + T_2) + i\omega(T_3 + T_4) - i\omega^3 T_1 T_2 T_3 \right]^{-1}.$$

Значения постоянных (T_0, T_1, T_2, T_3 и T_4) фильтра приведены в таблице.

Значения постоянных фильтра для различных гравиметров

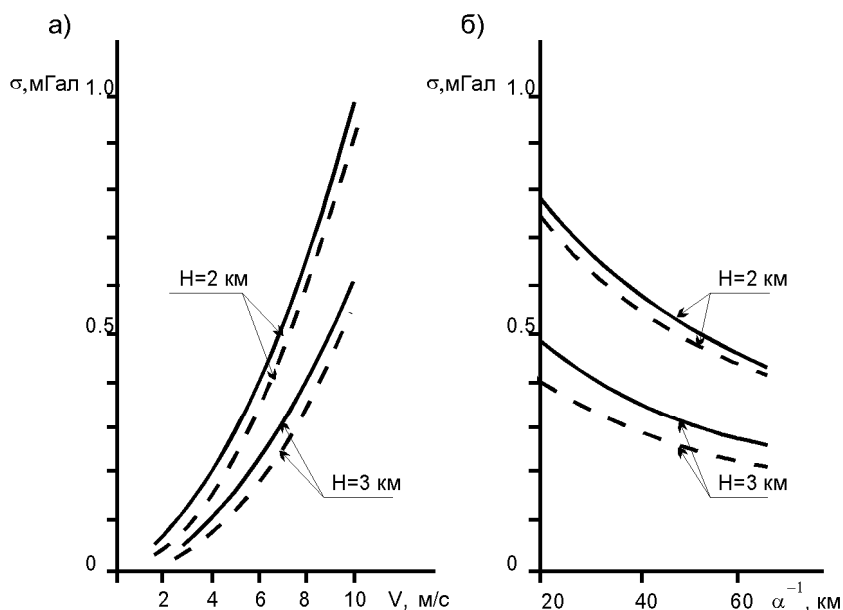
Гравиметр	Постоянные фильтра, с				
	T_0	T_1	T_2	T_3	T_4
МГК	240	160	40	20	-
“Флагман”	324	1400	35	34	290

При вычислениях применялись значения параметров $\rho = 1670 \text{ кг/м}^3$ и $\sigma_h = 600 \text{ м}$ [4].

Результаты вычислений приведены на рисунке сплошной линией для гравиметра МГК и штриховой – для гравиметра “Флагман”. Как следует из рисунка, погрешность σ при скоростях судна 10-15 уз (0.5-7.5 м/с) может достигать 0.3-0.8 мГал в районах с малой и средней глубинами ($H < 2 \text{ км}$) и сильно расчлененным рельефом ($\alpha^{-1} < 40 \text{ км}$). Принимая во внимание, что погрешность измерений гравиметрами при спокойных погодных условиях находится в тех же пределах, введение поправки позволит существенно повысить точность измерений.

Полученные данные подтверждают известное положение о том, что чем больше скорость судна, тем больше погрешность. Кроме того, необходимо отметить, что с уменьшением глубины моря и радиуса корреляции рельефа погрешность также увеличивается.

Таким образом, в районах с малыми глубинами моря и сильно расчлененным рельефом дна динамическая погрешность измерений морскими гравиметрами может быть существенно уменьшена посредством учета поправки c_h .



Изменение средневладратического значения динамической погрешности гравиметра σ , обусловленной притяжением рельефа, в зависимости от скорости судна V или радиуса корреляции α^{-1} рельефа при различных глубинах моря H :

- - гравиметр МГК; - - - - гравиметр "Флагман";
 а) для постоянного значения $\alpha^{-1} = 33$ км;
 б) для постоянного значения $V = 7.5$ м/с.

В заключение необходимо отметить, что для вычисления поправки предлагается использовать данные о рельефе прежде всего потому, что эта информация о плотностных неоднородностях Земли наиболее детально изучена и именно притяжение рельефа обуславливает значительную часть аномального гравитационного поля в океане [8, 9]. Если в районе съемки известно распределение глубинных плотностных неоднородностей, полученных из ранее выполненных геофизических исследований, то имеет смысл рассчитывать аналогичную поправку и для составляющих аномалии Δg_0 .

Предложенный подход к уменьшению динамической погрешности привлекателен еще и тем, что поправки вычисляются при камеральной обработке материалов. Поэтому возможно без конструктивных изменений гравиметра повысить точность съемки. Кроме того, могут быть уточнены и ранее выполненные морские гравиметрические измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пантелеев В.Л. Основы морской гравиметрии. - М.: Недра, 1983. - 256 с.
2. Tscherning C.C. Gravity prediction using collocation and taking known mass density anomalies into account // Geophys. J.R. astr. Soc. - 1979. - V.59. - P. 147-153.
3. Forsberg R., Tscherning C.C The use of height data in gravity field approximation by collocation // Journal of Geophysical Research. - 1981. - V.86. - N B9. - P. 7843-7854.
4. Гравиразведка. Справочник геофизика / Под. ред. Е.А.Мудрецовоой. - М.: Недра, 1981. - 397 с.
5. Опыт проведения площадных съемок морскими гравиметрами, - М.: Наука, 1976. - 104 с.
6. Несенюк Л.П., Пешехонов В.Г., Элинсон Л.С., Железняк Л.К. Морские гравиметрические комплексы // Морская и аэрогравиметрия. - 1993. - N1. - С.39-43.
7. Гладун В.А., Сталко А.В. Метрологические требования к точности определения динамических параметров морских гравиметров. В сб.: Морские гравиметрические исследования. - М.: Национальный геофизический комитет РАН, 1993. - С.47-51.
8. Проценко С.В., Конешов В.Н. Корреляционные связи геофизических полей, - М.: ИФЗ АН СССР. 1984. - 100 с.
9. Tscherning C.C., Forsberg R. Prediction of deflections of the vertical // Proc. Second International Symposium on Problems Related to the Redefinition of North American Geodetic Networks, 1978, Arlington, Virginia, P.117-134.

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ПРОПУСКА ОПАСНЫХ ГЛУБИН В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДИСКРЕТНОСТИ СЪЕМКИ

С.В.РЕШЕТНЯК

(Гос. гидр. предприятие),

А.Л.ТЕЗИКОВ

(ГМА им. адм.С.О.Макарова)

Оценена вероятност пропуска опасных глубин для ледового промера в зависимости от дискретности съемки. Показано, что вероятност пропуска опасных глубин при ледовом промере выше, чем при судовом. Предложен метод расчета вероятности пропуска опасных глубин, рекомендуемый для определения районов арктических морей, подлежащих первоочередному площадному или повторному подробному обследованию.

Важнейшим условием обеспечения безопасности мореплавания является наличие современных навигационных карт, основой для составления которых служат результаты гидрографических исследований. К настоящему времени участки арктических морей Российской Федерации, охватывающие около 90% традиционных судоходных трасс Северного морского пути (СМП), покрыты подробной гидрографической съемкой. При этом степень изученности морей и их отдельных частей разная: на большей части акватории выполнен промер с судна; на части - промер со льда; в отдельных зонах - траление и промер с инструментальной оценкой рельефа.

Общая площадь районов проведенных гидрографических исследований в Арктике огромна. Материалы съемки подводного рельефа относятся к широкому временному диапазону (более сорока лет) и выполнены с разной подробностью. В связи с этим достигнутый уровень изученности рельефа дна и картографирования арктических морей хотя и обеспечивает в целом безопасность мореплавания на трассах СМП, но в определенной степени уже сегодня не соответствует современным требованиям и не может гарантировать полную безопасность плавания.

Надежным способом выполнения съемки подводного рельефа является площадная съемка с использованием многолучевых эхолотов и эхотралов. По экспертным оценкам, общая площадь акваторий арктических портов, мест рейдовой выгрузки судов и путей интенсивного судоходства составляет около 10^6 км². Понятно, что такую площадь покрыть площадной съемкой в короткое время не удастся. Поэтому задача оценки качества выполненных гидрографических исследований и рационального планирования перспективных работ на основе объективных критериев имеет чрезвычайную важность. Для обеспечения безопасности мореплавания в указанных районах требуется гарантировать отсутствие пропусков опасных глубин на планшетах и навигационных картах.

Оценим вероятност пропуска опасных глубин для ледового промера в зависимости от дискретности съемки. Под дискретностью будем понимать междугалсовое расстояние L и расстояние ΔL между соседними измерениями глубин на галсе. Будем считать, что локальная форма подводного рельефа имеет вид сферического сегмента радиуса R (рис.1). Превышение точки экстремума над средней поверхностью дна с глубиной z_0 обозначим через h , а протяженность локальной формы в плоскости горизонта - S . Примем $h = kR$, где $0 < k \leq 1$. Из простых геометрических соотношений получим

$$S = 2h \left[2k^{-1} - 1 \right]^{1/2}. \quad (1)$$

Анализ картографических материалов арктических морей показывает, что коэффициент k практически никогда не превышает 0,1, т.е. высота локальных форм не превышает 0,1 от радиуса сферы, которой аппроксимирована эта форма. Для $k = 0,1$ максимальный угол наклона профиля, проходящего через точку экстремума, равен 26° . С учетом того, что предельные углы наклона дна редко превышают 20° [1, 2], можно утверждать, что выбранное значение k

соответствует таким сферическим сегментам, во внутреннюю полость которых может быть вписана любая локальная форма.

Из равенства (1) следует, что при $k = 0,1$

$$S \approx 8,7 \cdot h. \quad (2)$$

Наибольшую опасность в навигационном отношении представляют глубины над точками экстремумов, ожидаемые значения которых меньше некоторой заданной безопасной глубины δz (рис.1), следовательно с учетом равенства (2)

$$S \geq 8,7 (z_0 - \delta z). \quad (3)$$

Выражение (3) позволяет определить размеры локальных форм, экстремальные глубины, которых могут представлять опасность для судоходства.

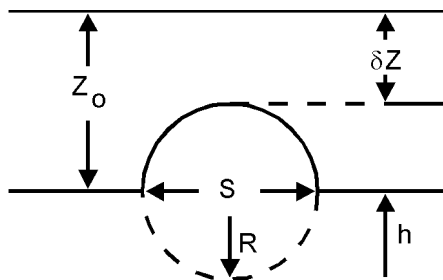


Рис.1. Соотношения параметров сферического сегмента.

Определим вероятность того, что при точечных измерениях в пределах окружности диаметра S будет произведено хотя бы одно измерение глубины. Данное требование выполняется только в том случае, когда расстояние между точкой измерения и центром окружности не превышает её радиуса. На рис.2 области благоприятных исходов отмечены штриховкой. На рис.2(а) иллюстрируется случай, когда $S \leq \Delta L$; на рис.2(б) - когда $\Delta L \leq S \leq L$; на рис.2(в) - когда $L \leq S \leq (L^2 + \Delta L^2)^{1/2}$.

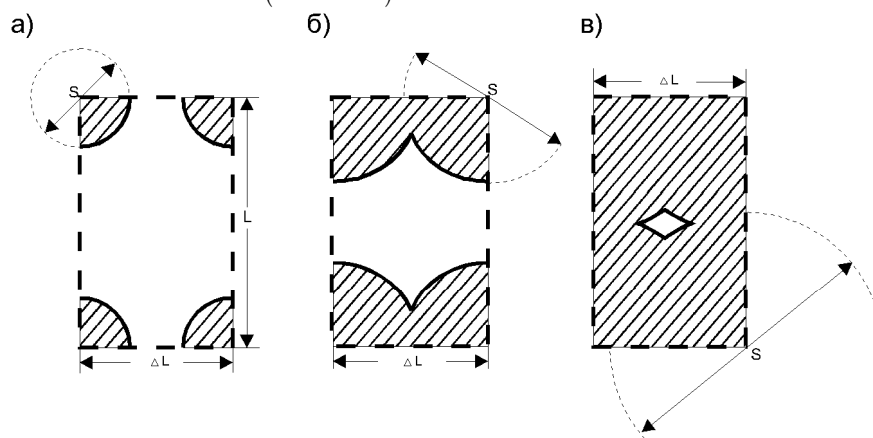


Рис.2. Области попадания точки измерения глубины во внутреннюю часть круга диаметра S :

а) $S \leq \Delta L$; б) $\Delta L \leq S \leq L$; в) $L \leq S \leq \sqrt{L^2 + \Delta L^2}$

Искомую вероятность определим как отношение площади благоприятных исходов к площади ячейки $\Delta L \cdot L$. В результате получим:

при $S \leq \Delta L$

$$p = \frac{\pi S^2}{4L \Delta L}; \quad (4)$$

при $\Delta L \leq S \leq L$

$$p = \frac{S^2 \arcsin \frac{\Delta L}{S} + \Delta L (S^2 - \Delta L^2)^{1/2}}{2L \Delta L}; \quad (5)$$

при $L \leq S \leq (L^2 + \Delta L^2)^{1/2}$

$$p = \frac{S^2 \left\{ \arcsin \frac{\Delta L}{S} - \arcsin \left[1 - \left(\frac{L}{S} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} + \Delta L^2 \left[\left(\frac{S}{\Delta L} \right)^2 - 1 \right]^{\frac{1}{2}} + L^2 \left[\left(\frac{S}{L} \right)^2 - 1 \right]^{\frac{1}{2}}}{2 L \Delta L} . \quad (6)$$

При $S \geq (L^2 + \Delta L^2)^{1/2}$ вероятность попадания точки измерения во внутреннюю область круга диаметра S равна единице.

При судовом промере дискретностью ΔL можно пренебречь и считать, что измерения глубин на галсе выполняются непрерывно. Тогда вероятность пересечения окружности хотя бы одним галсом получим из выражения (5) или (6), отыскивая их пределы при $\Delta L \rightarrow 0$. Проведя необходимые преобразования, получим

$$p_c = S/L . \quad (7)$$

Анализ выражений (4), (5), (6) и (7) показывает, что вероятность обнаружения локальной формы рельефа при судовом промере выше ледового. Так, если $S = L/2$, то вероятность её пересечения хотя бы одним галсом составляет 0,5, тогда как при ледовом промере вероятность измерения хотя бы одной глубины в пределах указанной области равна 0,2 при $\Delta L = L$; 0,39 при $\Delta L = L/2$ и 0,48 при $\Delta L = L/4$.

Оценка вероятности измерения одной глубины или пересечения одним галсом локальной формы рельефа не гарантирует обнаружения опасной экстремальной глубины, а может служить лишь оценкой признака её вероятного присутствия в междугалсовом пространстве.

Для повышения вероятности обнаружения опасной глубины требуется уменьшить дискретность ΔL измерений так, чтобы междугалсовое расстояние и дискретность были бы меньше диаметра S опасной локальной формы подводного рельефа, рассчитанного по формуле (3).

Вероятность пропуска опасной глубины, включающая в себя вероятность таких измерений, вычисляется по формуле

$$p_n = 1 - p , \quad (8)$$

где вероятность p вычисляется по формулам (4), (5), (6) или (7) в зависимости от дискретности съемки и соотношения размеров S и ΔL .

Выполним оценку вероятности пропуска опасной глубины на конкретном примере. На рис.3 приведен фрагмент ледового промерного планшета, построенного в масштабе 1:100000 (к северу от о-ва Расторгуева в Карском море). Будем считать, что безопасными являются глубины, превышающие 10 м. По данным съемки, глубины в районе изменяются от 51 до 84 м. Междугалсовое расстояние меняется от 1000 до 2200 м, среднее расстояние между измерениями на галсе составляет 50 м. Предварительная визуальная оценка распределения глубин позволяет утверждать, что в районе отсутствуют опасные глубины.

Для более детального выявления свойств рельефа в районе была построена его математическая модель, основанная на двойных ортогональных многочленах Чебышева [3, 4], позволяющая описать среднюю поверхность. Модель получена в виде

$$z_o(x, y) = 68,8 - 10,7(y - y_w) + 9,7(x - x_s) + 2,6(y - y_w)(x - x_s), \quad (9)$$

где y_w, x_s - координаты западной и южной рамок планшета;

y, x - координаты точек внутренней области планшета;

$$y_w \leq y \leq y_{ost}; \quad x_s \leq x \leq x_N .$$

Численные значения коэффициентов ряда (9) показывают, что средняя глубина района составляет 68,8 м, глубины уменьшаются на 10,7 м в восточном направлении и возрастают на 9,7 м в северном. В модели (9) содержится только четыре слагаемых бесконечного ряда. Слагаемые высших порядков вносят малый вклад в описание исследуемой поверхности, поэтому они были отброшены. Уравнение поверхности (9) было использовано для выделения положительных и отрицательных локальных форм рельефа. Для этой цели были образованы разности

$$\Delta z(x_i, y_i) = z_o(x_i, y_i) - z_i(x_i, y_i),$$

где z_i - глубина, измеренная в точке с координатами x_i, y_i .

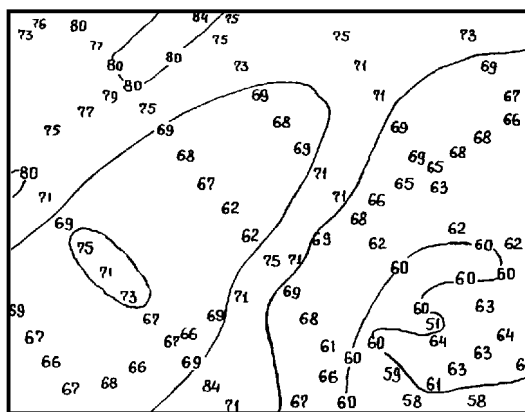


Рис.3. Фрагмент промерного планшета (М 1 : 100 000).

На рис.4(а) приведены результаты вычислений. Пунктирными линиями отмечены области отрицательных форм рельефа. Будем считать, что в этих областях появление опасных глубин

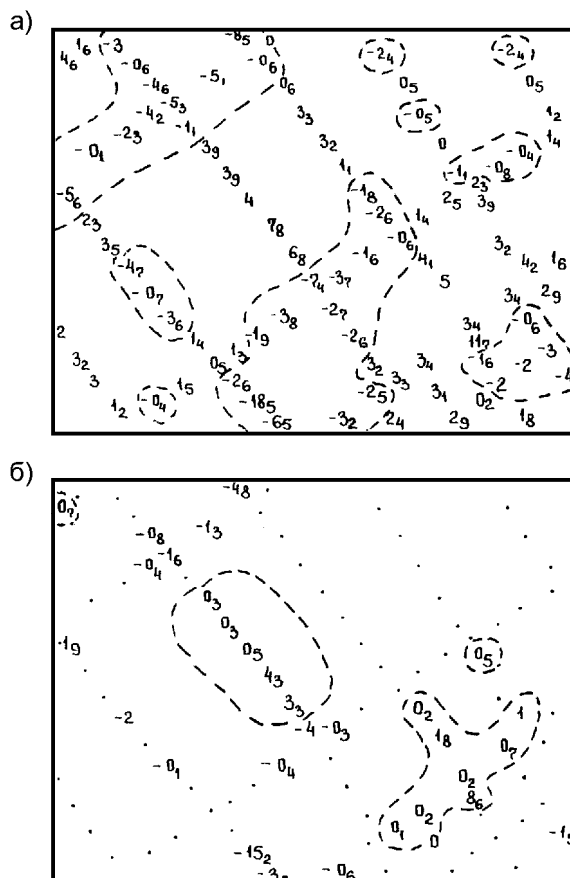


Рис.4. Результаты моделирования рельефа:

а) разность средней поверхности и рельефа в точках измерения глубин;

б) отклонение измеренных глубин от средней поверхности, смещенной на $\pm 5\%$.

маловероятно. В зонах положительных форм рельефа наибольшие разности глубин отмечаются в юго-восточном углу (11,7 м) и в центре планшета (7,8 м).

Для выделения значимых наименьших глубин были построены области, в пределах которых измеренные глубины отклоняются от средней поверхности (9) на $\pm 5\%$. Результаты вычислений приведены на рис.4(б). Выделяются четыре участка, имеющие признаки появления опасных глубин в междугалсовом пространстве: в северо-западном углу - разность 0,7 м; в

центральной части - разности от 0,3 до 4,3 м; в юго-восточном углу - разности от 0,1 до 8,6 м; около восточной рамки - разность 0,5 м.

Выше отмечалось, что для данного района опасными являются глубины менее 10 м. Таких глубин, по данным съемки, нет. Более того, все измеренные глубины на исходном планшете превышают опасную в 5 - 8 раз. Поэтому создается иллюзия, что характер рельефа достаточно спокоен и район опасности не представляет. Приведенные на рис.4-б разности не позволяют подвергнуть сомнению сделанное заключение.

Теперь оценим вероятность пропуска опасных глубин в районе. Диаметр потенциально опасных локальных форм получим из выражения (3)

$$S \geq 8,7 (68,8 - 10) \approx 512 \text{ м.}$$

Вероятность попадания таких форм в междугалсовое пространство в зависимости от дискретности съемки составит:

$$0,49 \text{ при } \Delta L = 50, L = 1000 \text{ м;}$$

$$0,72 \text{ при } \Delta L = 50, L = 1800 \text{ м;}$$

$$0,77 \text{ при } \Delta L = 50, L = 2200 \text{ м.}$$

Таким образом, вероятность пропуска опасных глубин в районе очень высока и безопасное плавание в нем с учетом выбранного критерия не может быть гарантировано. Повторная крупномасштабная съемка (1:10000) района показала наличие в нем отличительной глубины 31 м и сверхопасной 8,4 м. Положение этих глубин показано на рис.5.

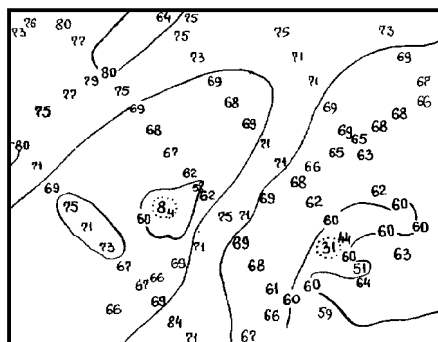


Рис.5. Фрагмент промерного планшета после повторной съемки.

Интересно отметить, что если бы глубины на галсах регистрировались непрерывно, то на них были бы зафиксированы отметки 44 м среди 60 м (признак глубины 31 м) и 58 м среди глубин 62-70 м (признак сверхопасной глубины 8,4 м). По этим данным в обязательном порядке должно быть назначено дообследование глубины 44 м, что позволило бы обнаружить отличительную глубину 31 м, а сверхопасная 8,4 м могла быть не обнаружена вообще.

Анализ аварий судов в арктических морях показывает, что приведенный выше пример, к сожалению, не является уникальным.

Выводы

1. Вероятность пропуска опасных глубин при ледовом промере выше, чем при судовом.
2. Отсутствие признаков появления опасных глубин в цифровом поле измерений не может служить гарантией отсутствия подводных навигационных опасностей.
3. Предложенный метод расчета вероятности пропуска опасных глубин может быть использован для определения районов арктических морей, подлежащих первоочередному площадному или повторному подробному обследованию и прежде всего на трассах СМП, исследованных ранее способом ледового промера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сорокин А.И. Гидрографические исследования Мирового океана. - Л.: Гидрометеиздат, 1980. - 288 с.
2. Блинов И.А., Иванов Л.А., Цветков М.В. Вопросы геоморфологии при гидрографических исследованиях и математическое моделирование морского дна. - М.: ЦРИА "Морфлот", 1980. - 75 с.
3. Берлянт А.М. Картографический метод исследования природных явлений. - М.: МГУ, 1971. - 76 с.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. - М.: Наука, 1978. - 832 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДА ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ГАЛСЕ ОБСЕРВАЦИИ

Т.М.КУЛАГИНА
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Показано, что при определении места по геомагнитному полю одним из основных вопросов является нахождение периода его вариаций. Предлагаются формульные зависимости и процедура определения периода вариации геомагнитного поля непосредственно во время обсервации.

При определении места по геомагнитному полю (ГМП) необходимо иметь данные о стационарном геомагнитном поле, полученные в результате измерений на галсе обсервации в реальном масштабе времени. Вместе с тем, при выполнении обсервации измеряется суммарное ГМП, которое включает в себя стационарное ГМП и его вариации. Выделение стационарного ГМП является сложной задачей, так как при выполнении обсервации неизвестны характеристики вариаций и, в частности, их период. Рассмотрим возможности определения вариаций ГМП на галсе обсервации.

Пусть измерения ГМП производятся с движущегося с линейной \dot{v} и угловой $\dot{\omega}$ скоростью носителя. Тогда изменение вектора индукции геомагнитного поля \dot{U} при движении вдоль галса описывается уравнением, приведенным в работе [1]

$$d\dot{U} = \left(\dot{\delta} \nabla \right) \dot{U} dt + \dot{\omega} \times \dot{U} dt + \frac{\partial \dot{U}}{\partial t} dt, \quad (1)$$

где ∇ - оператор Гамильтона;
 t - время.

Предполагая, что поле корабля учтено путем введения поправки за девиацию, величину \dot{U} в каждой точке галса с координатой x в момент t можно представить в виде

$$\dot{U}(x, t) = \dot{U}_c(x) + \delta \dot{U}(t), \quad (2)$$

где \dot{U}_c - вектор индукции стационарного ГМП;

$\delta \dot{U}$ - вектор индукции переменного геомагнитного поля (вариации ГМП).

Решение уравнения (1) относительно \dot{U}_c получено в работе [1] в виде общего интеграла

$$\dot{U}_c = \dot{U}_0 + \int_{t_0}^t \Pi_U \dot{v} dt, \quad (3)$$

где Π_U - тензор вектора \dot{U} ;

\dot{U}_0 - неопределенная постоянная интегрирования.

В работе [2] вариацией ГМП называется разность между наблюдаемой величиной геомагнитного поля и средним значением измеряемого вектора индукции за промежуток времени, соответствующий периоду F выделяемой вариации. В связи с этим можно записать

$$M(\delta \dot{U}) = 0, \quad (4)$$

где M - оператор оценки математического ожидания на интервале F .

Применяя оператор M к выражению (2) с учетом условия (4), получим

$$M(\dot{U}) = M(\dot{U}_c). \quad (5)$$

Подставим в равенство (5) значение \dot{U}_c из формулы (3) и применим оператор M к полученному выражению. Тогда получим формулу для определения постоянной интегрирования

$$\dot{U}_0 = M(\dot{U}) - M \left(\int_{t_0}^t \Pi_U \dot{v} dt \right). \quad (6)$$

Подставляя формулу (6) в общий интеграл (3), найдем частное решение уравнения (1) в виде

$$\vec{U}_c = M(\vec{U}) - M \left(\int_{t_0}^t \Pi_U \vec{v} dt \right) + \int_{t_0}^t \Pi_U \vec{v} dt . \quad (7)$$

Из выражения (7) следует, что во время измерений на галсе в каждый текущий момент времени t может быть определен вектор индукции стационарного ГМП. Для этого необходимо измерить тензор Π_U и линейную скорость носителя \vec{v} , что может быть обеспечено в перспективе при создании соответствующей аппаратуры (при этом вектор \vec{U} является составной частью тензора). Кроме того, для вычислений по формуле (7) необходимо знать период вариации.

Рассмотрим возможность определения периода вариации на галсе обсервации при использовании курсового магнитометра-градиентометра, измеряющего модуль вектора геомагнитного поля T по T -каналу и его приращение ΔT на базе l по ΔT -каналу.

Пусть корабль движется с постоянной скоростью v вдоль галса обсервации. По аналогии с выражением (2) для модуля вектора ГМП справедливо выражение

$$T = T_c + \delta T , \quad (8)$$

где T_c - стационарная часть модуля вектора ГМП;

δT - вариация модуля вектора ГМП.

Информация о вариации δT содержится в результатах измерений по T -каналу в качестве скрытой периодической функции. В соответствии с [3] такая функция может представляться в виде полигармонического процесса из m составляющих

$$\delta T = \sum_{n=1}^m C_n \sin \left(\frac{2\pi}{F_n} t + \varphi_n \right) , \quad (9)$$

где C_n - амплитуда n -й составляющей;

F_n - период n -й составляющей;

φ_n - фаза n -й составляющей.

Рассмотрим случай, когда отсутствуют априорные сведения о вариациях. Тогда в соответствии с [3] можно принять $m = 1$. В этом случае формулу (9) можно записать в виде

$$\delta T = C_1 \sin \left(\frac{2\pi}{F_1} t + \varphi_1 \right) . \quad (10)$$

Продифференцировав выражение (8) по t , будем иметь

$$\frac{d(\delta T)}{dt} = \frac{dT}{dt} - \frac{dT_c}{dx} v . \quad (11)$$

Величина $\frac{dT}{dt}$ может быть вычислена по данным измерений T -канала с помощью методов численного дифференцирования. В соответствии с [4] при использовании градиентометра с достаточно малой базой l имеет место равенство

$$\frac{dT_c}{dx} = \frac{\Delta T_c}{l} , \quad (12)$$

где ΔT_c - исправленные поправкой за девиацию данные измерений ΔT -канала.

Таким образом, используя формулу (11), с учетом равенства (12) можно вычислить производную вариации в процессе измерений непосредственно на галсе обсервации.

Известно, что нулевым значениям функции (10) соответствуют экстремальные значения ее производной. Поэтому моменты, соответствующие нулевым значениям вариации δT , будут соответствовать моментам, когда правая часть выражения (11) будет принимать экстремальные значения. Временной интервал между моментами регистрации одноименных экстремальных значений (например, максимальных), будет соответствовать периоду вариации. Используя правило нахождения экстремумов, напишем условие поиска моментов времени t_{0i} , соответствующих нулевым значениям вариации

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \left[\frac{dT}{dt} - \frac{dT_c}{dx} v \right] \Big|_{t=t_{0i}} &= 0 ; \\ \operatorname{sgn} \frac{d}{dt} \left[\frac{dT}{dt} - \frac{dT_c}{dx} v \right] \Big|_{t(t_{0i})} &\neq \operatorname{sgn} \frac{d}{dt} \left[\frac{dT}{dt} - \frac{dT_c}{dx} v \right] \Big|_{t_{0i}} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Тогда период вариации будет равен

$$F_i = t_{0_{i+2}} - t_{0_i} .$$

Из формулы (13) следует, что определение моментов времени, соответствующих нулевым значениям вариации, и, следовательно, определение периода не зависит ни от пространственного градиента вариаций, ни от погрешности определения девиации. Условие (13) может быть также использовано для определения моментов времени, соответствующих началу и концу бухтообразной вариации. Это связано с тем, что в соответствии с [2] такие вариации характеризуются резким увеличением или уменьшением геомагнитного поля и, следовательно, максимальным или минимальным значением производной $\frac{d(\delta T)}{dt}$, соответственно. Длительность F_i' бухтообразной вариации может быть определена по формуле

$$F_i' = t_{0_{i+1}} - t_{0_i} .$$

Известно [2], что в высоких широтах одновременно могут присутствовать квазисинусоидальные вариации с различными периодами. В связи с этим рассмотрим возможность определения периода суммарной вариации δT в случае сложения двух квазисинусоидальных вариаций

$$\delta T = \delta T_1 + \delta T_2 , \quad (14)$$

где δT_1 - вариация с периодом F_1 ;

δT_2 - вариация с периодом F_2 .

В том случае, когда $F_1 \approx F_2$, суммарная вариация δT в соответствии с теорией синтеза колебаний [5] будет представлять собой амплитудно-модулированную квазисинусоиду. Поскольку условие (13) не зависит от амплитуды колебания, то использование этого условия возможно без изменений или дополнений и в случае суммы двух квазисинусоидальных вариаций с близкими частотами.

Рассмотрим случай, когда $F_2 \gg F_1$. Из работы [2] известно, что для вариаций меньшего периода характерна меньшая амплитуда. В этом случае суммарная вариация будет представлять собой низкочастотную вариацию, на которую наложена высокочастотная. Пусть время t_{0i} и $t_{0_{i+1}}$ - моменты, соответствующие нулевым значениям высокочастотной вариации δT_1 . Эти моменты определяются в соответствии с условиями (13). Подставим в (12) значение δT из формулы (14) и проинтегрируем обе части от t_{0i} до $t_{0_{i+1}}$

$$\delta T_2(t_{0_{i+1}}) - \delta T_2(t_{0i}) = \int_{t_{0i}}^{t_{0_{i+1}}} \left[\frac{dT}{dt} - \frac{dT_c}{dx} v \right] dt . \quad (15)$$

В левой части равенства (15) имеем приращение низкочастотной вариации на интервале $\Delta t_{0i} = t_{0_{i+1}} - t_{0i}$, значительно меньшем, чем период низкочастотной вариации.

Разделив обе части выражения (15) на Δt_{0i} , в левой части получим отношение $\frac{\Delta(\delta T_2)}{\Delta t_{0i}}$,

характеризующее производную низкочастотной вариации. По результатам измерений на галсе обсервации и их математической обработки можно получить абсолютную величину $\left| \frac{\Delta(\delta T_2)}{\Delta t_{0i}} \right|$ как

функцию от времени t_0 . Анализируя изменение этой величины, по условию, аналогичному (13), можно найти моменты t_{0j} , соответствующие экстремумам $\frac{\Delta(\delta T_2)}{\Delta t_{0i}}$. Найденные моменты будут

соответствовать нулевым значениям низкочастотной вариации. Тогда период низкочастотной вариации будет равен

$$F_2 = t_{0j+2} - t_{0j}$$

где t_{0j} - моменты времени, соответствующие нулевым значениям низкочастотной вариации.

Определение периода вариаций ГМП и моментов времени, соответствующих нулевым значениям вариаций, позволит получить в настоящее время данные о модуле вектора стационарного ГМП на галсе обсервации, а в перспективе, при разработке соответствующей аппаратуры, - данные о векторе стационарного ГМП. Это может обеспечить решение задачи геомагнитной навигации по одному параметру для современных магнитометрических средств и по нескольким параметрам для перспективных магнитометрических средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ротштейн А.Я., Розе Е.Н. Уравнение электромагнитной съемки в движении и некоторые следствия из него // Тезисы докладов 3-й всес. конф. "Методы и средства измерения параметров магнитного поля". - Л.: ВНИИМ.- 1985.-С.234
2. Яновский Б.М. Земной магнетизм.- Л.: Изд-во ЛГУ, 1978.- 591 с.
3. Вычислительные математика и техника в разведочной геофизике. Справочник геофизика / Под ред. В.И.Дмитриева.- М.: Недра, 1990.- 480 с.
4. Гордин В.М., Розе Е.Н., Углов Б.Д. Морская магнитометрия.- М.: Недра, 1986.- 256 с.
5. Мэнли Р. Анализ и обработка записей колебания.- М.: Машгиз, 1948,- 252 с.

УДК 629.127.4

ОБСЛЕДОВАНИЕ НАВИГАЦИОННЫХ ОПАСНОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ МАЛОГАБАРИТНОГО ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА "ФОРДЕВИНД"

**В.Н.ГОРШКОВ,
Ю.В.ЛАПИН,
В.В.ГЛАЗКО**
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Приведены технические характеристики малогабаритного телеуправляемого подводного аппарата "Фордевинд". Рассмотрены методы эксплуатации аппарата при поиске и обследовании навигационных опасностей. Даны рекомендации по его использованию.

В настоящее время в связи с изменившимися условиями базирования кораблей ВМФ увеличивается объем прибрежных гидрографических работ. Места базирования и фарватеры на подходах к ним относятся к районам, имеющих важное навигационное значение. В этих районах при обнаружении навигационных опасностей на глубинах 30 м, в соответствии с ПГС-4, предусматривается водолазное обследование [1]. Водолазные работы сложны в организации и трудоемки из-за малой скорости обследования (не более 0,5 уз) и ограниченного срока пребывания водолазов под водой. Максимально допустимое время пребывания пловца - подводника на глубине 30 м без декомпрессии составляет 18 мин, а при пребывании на этой глубине в течение 45 мин требуется проведение декомпрессии в течение 41 мин [2].

Существующие судовые технические средства гидрографии не могут заменить водолазное обследование, а океанографические необитаемые подводные аппараты (НПА) типа "Лортодромия-II-АН", "Линотип-РВО" предназначены для работ на больших глубинах и в условиях мелководья малоэффективны. Исходя из этого, в 1995 г. по заказу ГУНиО МО завершается разработка малогабаритного телеуправляемого подводного аппарата (МТПА) "Фордевинд". Его основная задача – обследование навигационных опасностей с определением конфигурации и размеров подводного объекта, а также наименьшей глубины над ним.

МТПА относится к типу привязных НПА. Он состоит из собственно подводного аппарата (ПА), судового комплекта аппаратуры, ультракороткобазисной гидроакустической навигационной системы (ГАНС), вьюшек с грузонесущим кабелем связи с аппаратом и кабелем связи с погружным модулем ГАНС. Непосредственно сам аппарат выполнен в виде

пространственной рамы с размещенными на ней герметичными боксами для навигационной и научно-исследовательской аппаратуры (глубиномер, компас, эхолот, гидролокатор носового обзора – ГНО, цветная телевизионная камера), светильниками заливающего света, маяком-запросчиком ГАНС и движительно-маневровым комплексом. Вся конструкция впервые в практике создания отечественных аппаратов подобного типа снабжена корпусом-обтекателем для улучшения гидродинамических характеристик и уменьшения вероятности зацепления за подводные препятствия.

Энергоснабжение, а также информационный обмен между ними и судовым комплексом аппаратуры осуществляется по многожильному грузонесущему кабелю нейтральной плавучести. Информация от всех систем ПА, за исключением ГНО и телекамеры, передается на судно-носитель (СН) в цифровом виде. Сигналы телеуправления с борта СН передаются на ПА также в цифровой форме. Информация от ГНО на судно-носитель передается в аналоговом виде, а видеоинформация от телекамеры может быть записана на видеоманитофон.

МТПА предназначен для гидролокационного и телевизионного обследования навигационных опасностей и затонувших объектов на глубинах до 100 м (предельно допустимая глубина – 150 м) с судов пр.16611 и пр.872. Но малые массогабаритные характеристики аппарата (73 кг) позволяют использовать его практически с любых судов, имеющих трехфазное питание напряжением 220/380 В – 50 Гц (потребляемая мощность – 4,3 кВт).

Движительно-рулевой комплекс ПА обеспечивает перемещение его в сторону цели со скоростью до 1,2 м/с. Маневрирование может осуществляться в радиусе до 150 м относительно СН.

Навигационная и поисковая аппаратура МТПА обладает следующими характеристиками:

- гидролокатор носового обзора обеспечивает обзор по курсу в секторе 60° , на дистанции до 100 м с разрешающей способностью по углу не менее 3° , по дистанции не менее 0,25 м;

- эхолот обеспечивает измерение глубин в диапазоне 3-25 м с инструментальной СКП $\pm 0,1$ м;

- датчик давления (глубиномер) обеспечивает измерение глубины погружения ПА с СКП не более 1% от глубины;

- компас обеспечивает определение курса с СКП не более $\pm 3^\circ$;

- цветная поворотная телекамера обеспечивает наблюдение на дистанции до 5 м в секторе 150° по вертикали;

- ГАНС обеспечивает определение места ПА относительно СН с СКП в 2% от наклонной дальности между ними.

Информация, поступающая с ПА, автоматически обрабатывается, отражается и документируется на судовом комплексе аппаратуры, основу которой составляет ПЭВМ класса АТ 386. В состав также входят цветной телевизионный монитор, видеоманитофон, факсимильный аппарат и рукоятка управления движением ПА.

МТПА обслуживается двумя операторами. Он прост в управлении, которое осуществляется с помощью одной рукоятки и кнопки задания глубины. Углы отклонения рукоятки пропорциональны величине тягового усилия, развиваемого движительно-рулевым комплексом в продольном и поперечном направлениях, а углы поворота – заданному курсовому углу. Глубина погружения ПА пропорциональна времени удержания кнопки набора глубины.

Методика использования МТПА разработана на основе опыта эксплуатации ПА “Лортодромия-1-РВО” и “Линотип-РВО”.

До начала работы с аппаратом желательно иметь возможно более достоверные координаты искомой цели. Судно-носитель МТПА располагается ближе к цели поиска. Учитывая дальность действия гидролокатора носового обзора, можно ограничить радиус маневрирования СН до 100 м. Наиболее благоприятным режимом работы для комплекса является постановка СН на якорь. Координаты судна определяются возможно более точным способом. По координатам СН и цели вычисляется ориентировочный пеленг начального поиска. Далее с борта СН опускается погружной модуль ГАНС с приемными акустическими антеннами. Глубина погружения модуля определяется по его глубиномеру и должна располагаться под слоем скачка. Затем с СН опускается аппарат на глубину 10-15 м от грунта. Система управления движением аппарата переводится в режим стабилизации отстояния от дна и удержания курса, равного пеленгу на цель. После этого осуществляется поиск цели по ГНО. Если при заданном курсе цель не обнаруживается, стабилизированный курсовой угол увеличивается на 30° , ГНО обследует зону $\pm 30^\circ$ от нового курса. Если цель снова не обнаружена, курсовой угол уменьшается на 30° относительно первоначального значения и

снова обследуется зона $\pm 30^\circ$. При этом ведется непрерывное высокоточное координирование СН. Если после выполнения вышеназванных операций цель не обнаружена, возможны два варианта дальнейшей работы. При достаточно высокой достоверности координат цели аппарат перемещается горизонтально на 50-70 м по пеленгу на предполагаемую цель и вновь производит ее поиск по ГНО на фиксированных курсовых углах. При сравнительно невысокой достоверности координат цели рекомендуется ее допоиск при круговом обзоре: шаг изменения фиксированных курсовых углов в 30° обеспечивает обследование круга радиусом в 100 м с двойным перекрытием обследуемой площади. Время кругового поиска с учетом времени сканирования ГНО и времени разворота аппарата на новые курсовые углы составляет 60-80 с. Шаг в 60° – однократное перекрытие за время примерно вдвое меньше предыдущего. В дальнейшем допоиск заключается в дискретном перемещении на 70 м в сторону предполагаемого места цели с обзором на каждом шаге в секторе 180° .

При неизвестных координатах цели или при площадном обследовании какого-либо участка предлагаются два способа работы аппарата при режиме “судно на якорю” или “судно в дрейфе” (при небольшой величине сноса).

Первый способ можно применить при необходимости обследования наибольшей площади при минимальном числе перемещений СН. При этом первые 6 точек работы аппарата располагаются равномерно через 60° по окружности с центром в точке стоянки СН и отстоянии от него на 150 м, седьмая точка находится в месте стоянки СН. В этом случае МТПА, удерживаясь на одном месте в каждой из семи точек, производит поиск гидролокатором носового обзора. Аппарат поворачивается вокруг своей оси на 360° , производя фиксированные замеры на курсовых углах $\alpha = 0^\circ + n \cdot 50$, где $n = 0 - 6$. При этом способе обследуемая площадь представляет собой круг диаметром около 400 м.

Второй способ целесообразно применять при обследовании каналов и фарватеров шириной не более 250 м. В этом случае МТПА производит круговой обзор с помощью ГНО в четырех фиксированных точках, равномерно расположенных по окружности с центром в точке стоянки СН и отстоящих от него на 100 м.

При обнаружении цели по ГНО фиксируются пеленг и дистанция, аппарат перемещается к цели вплоть до визуального обнаружения ее на экране телевизионного монитора. Все перемещения аппарата координируются относительно судна-носителя по ГАНС.

Визуальное обследование осуществляется с дистанции, зависящей от размеров цели и задачи обследования. При необходимости весь процесс визуального обследования или его отдельные фрагменты фиксируются на видеоманитофоне. Для выбора лучшего ракурса используют как перемещение аппарата по трем координатам, так и поворот телекамеры в вертикальной плоскости. Для определения размеров найденного объекта в граничных точках фиксируются координаты аппарата по ГАНС, глубина погружения по глубиномеру, отстояние от дна и поверхности объекта по эхолоту.

Основными отчетными документами при работе с ТПА являются:

- планшет (схема) маневрирования аппарата при поиске;
- дискета с записью данных о навигационной опасности (координаты, минимальные глубины, размеры);
- видеопленка съемок объекта;
- эхограмма ГНО.

Кроме поиска и идентификации навигационных опасностей и затонувших объектов МТПА может использоваться при прокладке трубопроводов, кабельных линий, постановке донных объектов и для контроля за их состоянием, а также для осмотра подводной части судов и кораблей, контроля за экологическим состоянием акватории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила гидрографической службы №4. - Л.: ГУНиО МО, 1989.
2. Справочник пловца-подводника. М.: МО СССР, 1968, - 278 с.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРСКОЙ И ВОЗДУШНОЙ НАВИГАЦИИ

УДК 551.510.5:551.515

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И СИНЕРГЕТИКА

**А.М.МАВРОДИЕВ,
Б.В.ОЛЕСОВ**
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Рассмотрены некоторые перспективы применения синергетического подхода в исследованиях океана и атмосферы. Приведены примеры гидрометеорологических явлений и процессов, в которых присутствует самоорганизация частиц среды. Предложен путь исследований природных синергетических эффектов. Дано авторское видение атмосферы и гидросферы Земли.

“Спрашивайте природу, она хранит все истины и на вопросы ваши будет отвечать вам непременно и удовлетворительно”

Ф.Бэкон

“Синергетика - область научных исследований, целью которых является выявление общих закономерностей в процессах образования, устойчивости и разрушения упорядоченных временных и пространственных структур в сложных неравновесных системах различной природы (физических, химических, биологических, экологических и др.). Упорядоченные структуры или организованное поведение частиц (объектов) могут быть результатом внешнего воздействия (вынужденная организация) или являться результатом собственных неустойчивостей в системе (самоорганизация)” [1].

Синергетика рассматривает комплекс проблем самоорганизации и самодезорганизации (возникновения хаоса) в динамических системах. Как правило, исследуемые системы являются диссипативными открытыми системами, т.е. в земных условиях любыми системами, где нет притока энергии извне [1].

Российская метеорология относится пока к синергетике индифферентно, но в российскую океанологию она уже проникла [2, 3] и начинает делать там первые робкие шаги. Между тем синергетика как будто специально предназначена именно для использования применительно к гидрометеорологии, поскольку исследует совместные (коллективные) действия огромного числа отдельных частиц (объектов).

В соответствии с приведенным нами определением, синергетику часто называют также теорией самоорганизации.

Ни океанология, ни метеорология никогда раньше не ставили вопросов Природе именно в таком ключе - есть ли самоорганизация? Более того, принятая гидрометеорологией парадигма полной перемешанности частиц в атмосфере и океане утверждала идею хаоса в Природе, и, в этой связи, единственным выходом, позволяющим хоть что-то узнать об атмосфере, были вероятностные формулы Максвелла.

Появление синергетики меняет обстановку коренным образом. Рассматривая природные явления не “в среднем”, не глобально обобщенно, а как бы изнутри процесса, строя свои закономерности на базе изучения поведения одной или нескольких конкретных частиц, синергетика и выявила самоорганизацию в Природе. Поэтому синергетический подход представляется более обоснованным и перспективным. Ведь действительно, как впервые сформулировал Р.Хорн [4], океан состоит из частиц воды, воздух - из разнообразных газовых

частиц, а все остальное, что мы видим - моря, течения, волны, циклоны, облака - вторичное, порожденное происходящими в этих средах процессами.

Именно индивидуальные свойства каждой частицы определяют её реакцию на внешнее воздействие, на изменение условий в “накачке” энергии. А реакция нескольких миллиардов частиц порождает самоорганизацию. Так существование озонового слоя в атмосфере определяется свойствами молекулы кислорода, поглощая солнечную энергию, делиться на очень активные атомы, которые, атакуя не облученные светом молекулы кислорода, порождают трехатомный озон.

Более того, благодаря физико-химическим особенностям кислородных атомов в озоновом слое происходит “перекачка” высокочастотной лучистой энергии в энергию тепла и озоновый слой нагревает всю стратосферу, образуя “запирающую” прослойку в атмосфере Земли [5].

Рассмотрение с позиций синергетики отдельных случаев возникновения самоорганизующихся структур в различных областях научных исследований и комплексный анализ полученных результатов позволяют выявить общие принципы самоорганизации и глубже понять саму Природу, найти те вопросы, которые ей следует задавать, чтобы получить правильные ответы. Идеи и достижения синергетики используют и науки, далекие от классического естествознания, например, системотехника, радиоинформатика и др., однако их интересует в основном “устройство” природных систем или принципов их “работы” [6, 7]. Представляется, что естественные науки типа гидрометеорологии должны исследовать свою область более глубоко и досконально. Специалист в своей сфере должен быть и физиком, и химиком, и философом.

Первый мощный импульс к развитию синергетики дала нелинейная химия с открытием реакции типа Белоусова-Жаботинского и исследованиями авто-волновых процессов, возникающих в растворах. Можно ожидать, что вторым таким импульсом станут новые результаты гидрометеорологических исследований океана и атмосферы. Подобные данные (новые факты о среде) могут быть получены, в первую очередь, при проведении в этих средах исследований областей самоорганизации.

Попытаемся перечислить некоторые явления и структуры, существующие в океане и атмосфере, которые, на первый взгляд, свидетельствуют о наличии самоорганизации и коллективного поведения частиц (т.е. о синергических эффектах). Прежде всего, это облака и осадки. Далее следуют смерчи, циклоны, антициклоны, локальные воздушные массы, фронтальные разделы, струйные течения, бризы, муссоны, пассаты, различные небольшие циркуляции типа ячеек Бенара, слои в атмосфере (озоновый, пылевые, ионизированные E, F, D, радиационные и т.д.), морские и океанические течения, апвеллинги, ринги, приливы, термохало-клины, льдообразование, лавины и многое другое.

В приведенном кратком перечне видно преобладание таких явлений, которые в основном приносят беспокойство специалистам-гидрометеорологам ВМФ и ВВС, а также практикам народного хозяйства. Это говорит о том, что подобные явления исследованы пока еще недостаточно подробно, а механизмы их возникновения до конца не выявлены.

Следует отметить, что перечисленные нами явления и структуры не совсем однозначны в синергетическом плане. Одни из них (облака, слои, лавины и т.п.) могут быть отнесены к квазистационарным процессам или явлениям самоорганизации, а другие относятся к подвижным (динамическим) системам, связанным с направленным движением частиц и их перемещением (приливы, движущиеся воздушные массы, циклоны, пассаты, муссоны, бризы).

Принципы самоорганизации квазистационарных и динамических структур резко различаются.

Вообще необходимо отметить, что вопросы терминологии в синергетике находятся в весьма запущенном состоянии. Строгого определения многих аспектов самоорганизации не имеется. Авторам представляется, что хотя бы на первых порах под синергетикой следовало понимать науку, занимающуюся только процессами самоорганизации и самодезорганизации, а вопросы, связанные с вынужденной организацией чего-то человеком (создание лазера и т.п.) из синергетики следует исключить.

Рассматривая далее приведенные нами явления самоорганизации, следует отметить, что самоорганизация частиц в природе многопланова. Так, процесс возникновения водяной капли из молекул пара есть результат, определяемый собственными свойствами молекул воды, их способностью активно “слипаться”. Однако образование облака есть результат возникновения в атмосфере циркуляции воздушных частиц, в ходе которой происходит непрерывная “подпитка” уровня конденсации новыми частицами пара. В этих примерах образование капли

воды и образование циркуляции воздуха можно считать самоорганизацией первого плана (уровня), а образование облака - самоорганизацией второго плана (уровня).

Вообще можно полагать, что в атмосфере и гидросфере всякий приток (и отток) энергии к частицам среды первоначально приводит к изменению движения частиц (изменению их подвижности или изменению флюктуаций скорости), которые в дальнейшем могут трансформироваться либо в изменение стационарной структуры этих частиц, либо в новое динамическое образование (ячейку Бенара, бриз, циклон и т.п.). Короче говоря, изменение энергии в массе частиц сначала приводит к изменению их скоростей, что в дальнейшем рождает новый порядок.

Каким может быть путь выявления закономерностей процессов самоорганизации в области гидрометеорологической науки? Учитывая сложности современного периода в финансировании науки представляется целесообразным:

- сосредоточить внимание на исследовании наиболее доступных процессов и явлений, которые можно достаточно легко моделировать в лабораторных условиях или наблюдать в природе;

- организовать широкий обмен опытными данными между специалистами метеорологии, океанологии и синергетики с привлечением физиков, химиков и математиков;

- развивать математическое моделирование исследуемых процессов на основе нелинейных моделей и качественного анализа дифференциальных уравнений.

Целью всех этих исследований следует считать выявление тех частиц или их групп, а также условий, совокупное наличие которых определяет начало самоорганизации либо дезорганизации рассматриваемой структуры или явления.

Здесь представляется полезным дать авторское видение строения водной и воздушной оболочек Земли. В основном, в самом первом приближении, обе эти оболочки можно считать хаотическими. При этом водная среда есть хаос в структуре (в строении), т.е. ионы и молекулы воды с хаотическим вкраплением в них "дефектов" из сторонних (не водных) элементов. Вся структура аморфна, как стекло. На этом аморфном фоне в океане по глубине можно выделить несколько организованных слоев (прослоек): слой поверхностной пленки воды, слой термохало клина, которые надо считать максимально организованными (квазикристаллическими); верхний перемешанный слой, максимально дезорганизованный и хаотический; прослойки с повышенным или пониженным содержанием отдельных элементов (дефектов) относительно их среднестатистического распределения.

Воздушная среда есть хаос отдельных частиц воздуха. Общей структуры частиц атмосфера не имеет, однако, в ней существует несколько высотных уровней (около десяти), которые являются результатом процессов самоорганизации частиц газов и водяного пара.

В результате комплексного воздействия всех процессов структурной самоорганизации в температурной стратификации возникают участки изотермий и инверсий, происходит облакообразование, возникновение осадков, образуются слои (горизонты) с повышенным и пониженным (относительно среднего) содержанием газов, пыли, водяного пара.

Все слои в атмосфере и в океане (за исключением фронтальных зон) располагаются горизонтально, параллельно поверхности Земли. Все прослойки могут возникать, существовать, разрушаться и снова возникать в любом месте. Это является общим правилом, но конкретно в атмосфере и в океане действуют силы и потоки энергии, порождаемые Солнцем, космическими процессами и Землей, которые стабилизируют некоторые слои на определенных горизонтах (слой термоклина, тропопаузы, стратопаузы, озоновый и т.п.). Стационарные и нестационарные слои предназначены Природой для сохранения стабильных условий на планете. Слоистое строение среды позволяет быстро ликвидировать какие-то температурные различия (неоднородности) внутри одного-двух слоев. Слои являются и дополнительным препятствием для резких, аномальных скачков в параметрах окружающих условий. На фоне таких стационарных слоев в подобных сложных средах существуют и подвижные динамические структуры, которые мы сейчас называем вихрями, конвекциями и течениями (струями). Эти структуры имеют как бы случайное возникновение и, судя по всему, предназначены Природой как раз для активного перемешивания хаотической среды между стационарными прослойками.

По внешнему виду большинство подвижных структур напоминает либо ячейки Бенара, либо автоволновые структуры.

Из синергетики известно, что динамические автоволновые структуры (АВС) возникают на неоднородностях среды и, возникнув, начинают эту среду "усреднять", постепенно приводя параметры среды к каким-то средним физическим показателям. При этом наиболее активная

АВС может как бы “поедать” другие, малоактивные структуры. В общем плане развития АВС в среде напоминает циклогенез в атмосфере.

Способы усреднения параметров среды структурами АВС могут быть различными, но они всегда являются наиболее эффективными, экономящими время - это не процессы медленной диффузии частиц, а активное их перемешивание, частотная синхронизация всей среды и т.п. В этой связи представляется интересными исследования ячеек Бенара и диссипативных структур (АВС) на средах, близких к морской воде и воздуху, т.е. возобновление работ, когда-то выполненных под руководством Дж. Тернера [8], но уже на новом синергетическом уровне (под другим углом зрения). Такие исследования, вероятно, дадут возможность уточнить нашу терминологию, и выяснить, наконец, есть ли “плавучесть” у воздуха. Редакторы перевода работы [8] А.С.Монин и С.А. Китайгородский отмечали, что “понимание многих особенностей вертикального перемешивания в устойчиво стратифицированной жидкости до сих пор оставляет желать лучшего”. Способствовать этому, по нашему представлению, может только синергетика.

Слоистое строение атмосферы и гидросферы и существование в них динамических структур и приливных движений должны порождать особые волны на горизонтальных прослойках, которые, передаваясь от одной к другой и накладываясь друг на друга, могут приводить к пульсациям и солитонам во всей жидко-газообразной сфере. Эти волны и пульсации могут представлять определенный интерес для гидрометеорологии.

В общем случае атмосфера и океан являются сложными уникальными системами, определяющую роль в поведении которых играют процессы самоорганизации частиц и сильные обратные связи, приводящие к возникновению в них совершенно новых стационарных и подвижных структур (слоев, прослоек и динамических вихрей). Их описание с традиционных позиций линейной гидродинамики в целом оказывается невозможным. Законы классической гидромеханики приложимы только для описания явлений, происходящих в областях хаоса. Вполне вероятно, что в таких сложных системах дезорганизации и хаос проявляются тогда, когда необходимо и возможно нахождение какой-то части системы в длительном состоянии ожидания будущих перемен. Иными словами, хаос - это наиболее энергетически экономичное состояние большой массы частиц.

В заключение необходимо отметить ещё некоторые обстоятельства. Во-первых, по расчетам метеорологов, энергия, необходимая для возникновения такой структуры как циклон, сравнима с энергией одной или нескольких атомных бомб, сброшенных когда-то на Хиросиму. Однако ни один из испытательных взрывов таких устройств (включая “стомегатонное устройство”, взорванное в СССР) не привел к зарождению какого-то циклона или вихря. То, что возникало в результате взрывов в атмосфере, походило на кратковременную восходящую струю газа (“факел”) и не более того.

В то же время синергетические исследования показывают, что в Природе при возникновении или угасании самоорганизующихся структур важно не количество вносимой в систему энергии, а её топология, т.е. место приложения [9].

Судя по всему, наше сегодняшнее понимание ключевых атмосферных процессов не продвинулось по сравнению с уже приведенными характеристиками А.С.Монина и С.А.Китайгородского.

Во-вторых, необходимо четко представлять, что принятие новой “слоистой” модели может потребовать пересмотра большинства наших методик, замены приборного парка, детального анализа измеряемых нами параметров среды и т.п. Относительно параметров хотелось бы, в первую очередь, отметить температуру и давление атмосферы. Как подчеркивал заместитель директора Международного Бюро мер и весов Терри Куинн, “...Даже сегодня лишь немногие из тех, кто пользуется термометрами, интуитивно понимают, что же именно они измеряют” [10]. Думается, что такое мнение Т.Куинна основывается на том, что, строго говоря, понятие температуры “применимо только к телам (системам), находящимся в состоянии термодинамического равновесия, т.е. к состояниям, ограниченным определенными условиями” [11]. В Природе такие состояния встречаются крайне редко. “Сама жизнь как весьма сложный физико-химический процесс возможна только при отсутствии термодинамического равновесия. Строгое термодинамическое равновесие - это смерть” [11].

Для гидрометеорологии переход на позиции синергетики будет означать начало длинного процесса инвентаризации старого багажа знаний о среде атмосферы и океана (о воздухе и воде) и углубленного изучения уже известных явлений с целью определения, почему они имеют место и каков механизм их возникновения. Можно полагать, что это принесет определенную пользу и самой синергетике, в первую очередь, в дальнейшей классификации и конкретизации процессов по концептуальным признакам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физический энциклопедический словарь. - М.: Советская энциклопедия, 1983. С.928.
2. Сеидов Н.Г. Синергетика океанских процессов //: Гидрометеиздат, 1989. С.287.
3. Акустика в океане. Сб. ст. под ред. Бреховских Л.М., Андреевой И.Б. - М.: Наука, 1992. С.229.
4. Хорн Р. Морская химия (структура воды и химия гидросферы). - М.: Мир, 1972. С.400.
5. Мак-Ивен М., Филлипс Л. Химия атмосферы. - М.: Мир, 1978. С.376.
6. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Системотехника. - М.: Радио и связь, 1985. С.200.
7. Конторов Д.С., Конторов М.Д., Слока В.С. Радиоинформатика. - М.: Радио и связь, 1993. С.296.
8. Тернер Дж. Эффекты плавучести в жидкостях. - М.: Мир, 1977. С.432.
9. Самарский А.А., Курдюмов С.П. Парадоксы многовариантного нелинейного мира - мира вокруг нас. Гипотезы, прогнозы. // Будущее науки. Вып.22. - М.: Знание, 1989. - С.7-29.
10. Куинн Т. Температура. - М.: Мир, 1985. С.448.
11. Шкловский И.С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. Изд.3-е, перераб. - М.: Наука, 1984.- 35 с.

УДК 551.5

ОБ ОДНОЙ ОСОБЕННОСТИ ОПТИМАЛЬНОЙ (И ДРУГИХ ВИДОВ ЛИНЕЙНОЙ) ИНТЕРПОЛЯЦИИ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПОЛЕЙ

В.Г. ДМИТРИЕВ
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Анализируются искажения морфометрических характеристик гидрометеорологических процессов и полей при объективном анализе на основе оптимальной интерполяции, влияющие на качество прогнозов. Показано, что они обусловлены, помимо прочего, фундаментальным свойством любых конечных линейных интерполяционных формул с детерминированными коэффициентами нарушать стационарность исходных процессов и полей. Можно построить свободную от этого недостатка стохастическую интерполяцию, однако ее практическая ценность невелика. Поскольку переход к нелинейным формулам также сопряжен с известными трудностями, в интересах повышения качества прогнозов перспективным представляется разработка способов интерполяции с применением других метрических понятий, например, Соболевских норм.

Статья рассчитана на специалистов в области гидрометеорологии и теории случайных функций.

Как известно, в современной практике прогностических центров на этапе объективного анализа широко применяется способ восстановления гидрометеорологических процессов и полей, основанный на линейных интерполяционных формулах Колмогорова-Винера [1]. Этот способ принято называть оптимальной интерполяцией [2], поскольку при прочих равных условиях он обеспечивает минимум среднеквадратической погрешности восстановления. Кроме того, этот способ в достаточной степени “технологичен” и допускает сравнительно удобную реализацию в информационно-вычислительных процессах объективного анализа.

Вместе с тем, обладая рядом достоинств, оптимальная интерполяция имеет специфические особенности, ограничивающие возможности ее применения. На одну такую особенность было обращено внимание в работах [3,4]. Речь идет о том, что по своему определению оптимальная интерполяция применима лишь к стационарным случайным процессам (однородным и изотропным полям), а результат интерполирования стационарностью не обладает. Следует сразу заметить, что поскольку реальные гидрометеорологические процессы и поля существенно не стационарны, для использования оптимальной интерполяции осуществляют специальные вспомогательные процедуры. Например, “центрируют” поля, вычитая климатическую норму, а оптимальную интерполяцию применяют к полученной разности, которую уже с большим основанием можно считать стационарной (однородной и изотропной). Но в любом случае при окончательном

восстановлении реальных полей интерполированная добавка к норме обладает своей, отличной от исходной, корреляционной структурой.

Следствием этого факта, доказательство которого для более общего случая приведено в работе [1], служит, в частности, то обстоятельство, что коэффициент корреляции между восстановленными значениями процесса (поля), отстоящими друг от друга на некотором расстоянии T , превышает коэффициент корреляции значений истинного процесса (поля), разделенных тем же расстоянием (см. работы [3,4]). В результате погрешности, допущенные при восстановлении значений, получают в конечном итоге весьма сложное распределение, которое приводит к неконтролируемым искажениям формы восстанавливаемого процесса (поля), играющей важную роль при прогнозировании.

Качественный анализ влияния нарушения стационарности (однородности и изотропности) на результат прогноза гидрометеорологической обстановки приводится в уже цитированной работе [4]. Там же говорится и о том, что подробное количественное исследование рассматриваемого явления весьма затруднено. Кроме того, следует иметь в виду, что при восстановлении полей на больших площадях применение процедур оптимальной интерполяции осуществляется локально. Кстати, это условие вносит дополнительные искажения в конфигурацию восстанавливаемых полей.

Исследование свойств оптимальной и других видов линейной интерполяции позволяет сформулировать следующее важное утверждение: при восстановлении стационарных случайных процессов (однородных и изотропных полей) с помощью любых конечных линейных комбинаций наблюдений с детерминированными вещественными коэффициентами с необходимостью происходит потеря стационарности, изначально предполагаемая в исходных процессах (полях). Другими словами, потеря стационарности - фундаментальное свойство конечных линейных интерполяционных формул с детерминированными вещественными коэффициентами. Как уже говорилось, строгое доказательство этого утверждения вытекает из свойств стационарных случайных функций [1].

Следовательно, для того, чтобы избежать "несанкционированного" дополнительного искажения гидрометеорологических процессов и полей при их восстановлении по отдельным наблюдениям, необходимо отказаться либо от линейности интерполяционных формул (что сразу приводит к большим вычислительным и другим трудностям), либо, оставаясь в рамках корреляционной теории - от детерминированности коэффициентов интерполяции (очевидно, что отказ от вещественности неприемлем).

Рассмотрим второй вариант (в дальнейшем все изложение будет вестись применительно к полям, поскольку редукция к процессам осуществляется известным образом). Можно показать, что существуют такие стационарные случайные функции $\theta_1(z), \theta_2(z), \dots, \theta_n(z)$ с одинаковыми математическими ожиданиями и дисперсиями, что линейная комбинация

$$Y(z) = \sum_{i=1}^n \theta_i(z) \xi_i, \quad (1)$$

где ξ_i - i -е наблюдение какого-либо гидрометеорологического однородного и изотропного поля $X(z)$;

n - число наблюдений;

z - точка в евклидовом пространстве координат E ,

может быть использована для восстановления значений исходного поля X в произвольных точках. Другими словами, для любого z из E выполняется неравенство

$$M (X - Y)^2 \leq \sigma_X^2, \quad (2)$$

где M - оператор математического ожидания, а σ_X^2 - дисперсия поля X .

Действительно, для обеспечения справедливости неравенства (2) достаточно, чтобы для математических ожиданий m_θ и дисперсий σ_θ^2 случайных коэффициентов $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n$ выполнялись следующие соотношения

$$\begin{aligned} m_\theta &= M \theta_i(z) = F(z_0)/\alpha; \\ \sigma_\theta^2 &= M(\theta_i - m)^2 = F^2(z_0)/n\alpha; \\ \alpha &= \sum_{i=1}^n F(z_i); \quad F(z) = \sum_{i=1}^n R(z, z_i); \\ z_0 &= \arg \min_w F(z). \end{aligned}$$

Здесь R - нормированная корреляционная функция поля X , W - замкнутая область пространства аргументов E такая, что

$$R(\text{diam } W) \geq 0.$$

Доказательство высказанного утверждения требует громоздких вычислений и для данной публикации не существенно.

Соответствующие расчеты показали, что линейная стохастическая интерполяционная формула (1) действительно может быть использована для восстановления исходного однородного и изотропного поля X , причем восстановленное поле Y тоже обладает однородностью и изотропностью. Однако, в силу того, что коэффициенты формулы (1) носят случайный характер, отдельные реализации поля Y , обеспечивая справедливость неравенства (2), не сохраняют дифференциальные (морфометрические) характеристики исходного поля. Это обстоятельство вместе с тем фактом, что интерполяция (1) не может быть точнее оптимальной, приводит к выводу о неперспективности такого направления совершенствования процедур объективного анализа.

Поскольку точность восстановления исходного поля в смысле неравенства (2) не играет определяющей роли для повышения точности прогноза (доказательство этого утверждения приводятся в интересной работе [5]), совершенствование интерполяционных формул для объективного анализа следует, по-видимому, использовать другие, отличные от выражения (2) метрические понятия. В качестве варианта можно предположить, что успех при создании новых интерполяционных формул будет достигнут, если в качестве меры близости полей воспользоваться нормой в Соболевских пространствах (см., например, [6] и другие аналогичные работы)

$$\|u\|_{p,q} = \|u\|_1 + \sum_{|\chi|=k} \|D^\chi u\|_p,$$

где $D^\chi u$ - обобщенная производная функции u порядка k ;

$\|\cdot\|_r$ - норма в соответствующем лебеговом пространстве степени r ;

χ - мультииндекс.

В заключение отметим еще раз, что любые конечные линейные интерполяционные формулы с детерминированными коэффициентами с необходимостью нарушают корреляционную структуру восстанавливаемых полей, и тем самым приводят к неконтролируемым искажениям морфометрических характеристик полей, что негативно сказывается на качестве прогноза гидрометеорологической обстановки. Отказ от детерминированности теоретически позволяет избавиться от этого недостатка, но стохастические интерполяционные формулы не имеют прикладной ценности в смысле их использования для объективного анализа. Поэтому наиболее перспективным представляется разработка новых интерполяционных формул с применением других метрических понятий, например, Соболевских норм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яглом А.М. Введение в теорию стационарных случайных функций // Успехи математических наук. - 1952. - Т.7, № 5(51). - С.3-162.
2. Гандин Л.С. Объективный анализ метеорологических полей. - Л.: Гидрометеоиздат, 1963. - 288 с.
3. Беляев Б.Н. Прикладные океанологические исследования. - Л.: Гидрометеоиздат, 1986. - 144 с.
4. Беляев Б.Н., Сорокин А.И. Методологические аспекты экспериментальных океанологических исследований // Метеорология и гидрология. - 1982. - № 10. - С. 71-78.
5. Марченко А.С. Об оптимальности объективного анализа с точки зрения точности прогнозов // Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана. - 1966. - Т.2, № 8. - С. 891-892.
6. Михлин С.Г. Линейные уравнения в частных производных. - М.: Высшая школа, 1977. - 433 с.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОГИКО-ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ОБОСНОВАНИИ
СОСТАВА КОРАБЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

И.В.КОЗЫРЬ
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Рассматриваются особенности обоснования состава корабельных комплексов технических средств гидрометеорологического обеспечения. Предлагается способ формализации тактико-технических требований к гидрометинформации с использованием логико-лингвистической модели и метод многокритериальной оптимизации в нечетких условиях для решения данной задачи исследовательского проектирования.

Обычной процедурой обоснования состава корабельных комплексов гидрометеорологического обеспечения является экспертная оценка степени соответствия тактико-технических требований (ТТТ) к гидрометеорологической информации возможностям её измерителей. При этом, как правило, и ТТТ и тактико-технические характеристики представлены в форме счетного множества конструктивных параметров $a(a_1, \dots, a_n)$. Основным недостатком данного способа формализации является известное противоречие между векторным характером используемых критериев оценки и требованием однозначности заключения проектировщика. Данное противоречие снимается с помощью процедуры свертки векторного критерия

$$F(a) = \bigcup_{n=1}^m \delta_n Y_n(a),$$

где $Y_n(a)$ - функция, описывающая n - критерий оценки степени реализации заданных ТТТ;
 $\delta_n \in \Delta$ - множество весовых коэффициентов, определяющих важность того или иного критерия;
 $F(a)$ - целевая функция, выражающая формально критерий выбора комплекса технических средств.

Сопоставительный анализ различных процедур свертки векторного критерия [1-3] показывает, что все они опираются на субъективные положения, связанные с прагматическими аспектами решаемой задачи. Исходя из этого, представляется целесообразным использование дополнительных приемов, позволяющих учесть степень нечеткости представлений эксперта-проектировщика.

Рассмотрим основные положения предлагаемого подхода с использованием унифицированных логико-лингвистических моделей представления требований к гидрометеорологической информации и описания технических возможностей измерительных комплексов. При этом под логико-лингвистической моделью подразумевается использование в качестве векторного критерия набора лингвистических переменных, определяемых в соответствии с аксиоматикой [4] и логически связанных с алгоритмом реализации оператора пространственно- временного осреднения измерений гидрометеорологических параметров.

Пусть $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ множество потребителей гидрометеорологической информации в системе вооружения корабля.

Требования к гидрометеорологической информации и характеристики гидрометеорологического вооружения представлены множеством $Y = \{y_1, \dots, y_i\}$, где $y_1 - y_2$ характеризуют пространственный охват измерений, $y_3 - y_5$ - пространственно-временную дискретность осреднения измерений, а y_6 - точность измерений.

Множество $Z = \{z_1, \dots, z_m\}$ определяет размеры выборки предложенных к рассмотрению технических средств гидрометеорологического обеспечения.

Для заданных выше множеств справедливо определение следующих нечетких бинарных отношений:

$\mu_R(x, y): X \times Y \rightarrow [0, 1]$ - характеризует степень важности параметра y с точки зрения потребителя x ;

$\mu_S(y, z): Y \times Z \rightarrow [0, 1]$ - характеризует степень обеспеченности требований y при использовании измерителя z .

Тогда нормированная степень предпочтения потребителя при выборе измерителя гидрометеорологических параметров может быть определена как функция принадлежности нечеткому множеству

$$\mu_T(x, z_i) = \frac{\sum_y \mu_R(x, y) \mu_S(y, z_i)}{\sum_y \mu_R(x, y)}$$

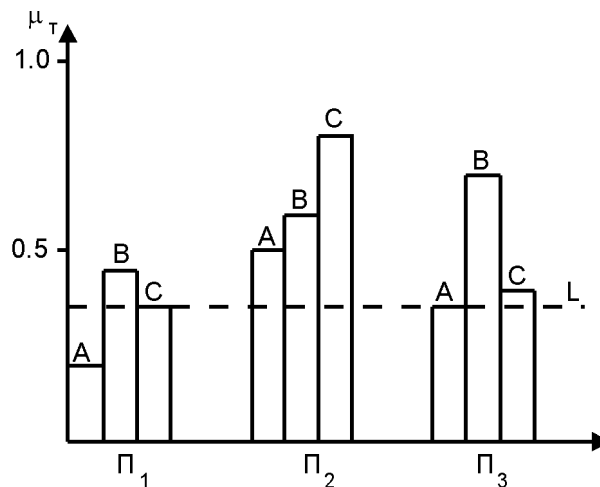
для всех $x \in X, y \in Y, z \in Z$. Выпуклость этой функции позволяет найти пороговую характеристику L

$$L \leq \min_{ij} \max_x \min \{ \mu_T(x, z_i), \mu_T(x, z_j) \},$$

с помощью которой принимается решение о выборе наиболее предпочтительных измерителей гидрометеорологических параметров с точки зрения потребителя в системе вооружения корабля. При этом совокупность альтернативных вариантов гидрометеорологического вооружения определяется принадлежностью уровневому множеству

$$M_i = \{ x / \mu_T(x, z_i) \leq L \}.$$

Полученные результаты легко интерпретируются при использовании графических форм представления, как это показано на рисунке.



Оценки нормированного (средневзвешенного) предпочтения при выборе измерителей гидрометеорологических параметров:
 Π_1, Π_2, Π_3 - потребители гидрометеорологических параметров;
 A, B, C - измерители гидрометеорологических параметров;
 L - пороговая характеристика; μ_T - нечеткая функция принадлежности.

Очевидно также, что показатель критерия принятия решения может быть уточнен в зависимости от других дополнительных факторов: иерархии потребителей в системе вооружения корабля, массогабаритных и энергетических характеристик, стоимости разработки. Оценка степени их влияния может быть выполнена с использованием различных методов, например, метода анализа иерархии, предложенного Т.Саати [5]. Последний реализован в ряде доступных программных изделиях, например, в системе поддержки принятия решения "Выбор" (Институт кибернетики им. Глушкова, Киев), что позволяет провести необходимый анализ и расчеты с минимальными трудозатратами.

Результаты практического применения предложенного метода с использованием фактических данных исследовательского проектирования хорошо согласуются с экспертными оценками, позволяют выявить основные системообразующие факторы в системе вооружения корабля и оптимизировать структуру информационных связей между комплексом технических средств ГМО и потребителями гидрометеорологических данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. / Под ред. Д.А.Поспелова. - М.: Наука, 1986. - 357 с.
2. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения: Пер. с англ./ Под ред. Р.Р.Ягера - М.: Радио и связь, 1986. - 408 с.
3. Чичварин Н.В. Экспертные компоненты САПР. - М.: Машиностроение, 1991. - 240 с.
4. Заде Л.А. Размытые множества и их применение в распознавании образов и кластер-анализе // Классификация и кластер. - М.: Мир, 1980. -С.208-247 (Сб. научн.тр.).
5. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. - М.: Радио и связь, 1991. - 224 с.

УДК 551.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КРИТИЧЕСКИХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ИНТЕРВАЛЬНОМ ОЦЕНИВАНИИ

В.Г. ДМИТРИЕВ
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Рассматривается способ оценки вероятностей достижения гидрометеорологическими элементами критических значений по интервальным оценкам в случаях попадания этих значений вовнутрь прогнозируемого интервала. Способ основан на понятии вероятностной смеси и использует распределение элементов внутри оценочного интервала. Для практических целей вполне допустима гипотеза о равномерном распределении. Выведенная формула может быть использована и для решения других задач.

Статья предназначена для специалистов в области гидрометеорологического обеспечения.

Современная практика составления прогнозов гидрометеорологической обстановки, точнее говоря, принятая прогностическая терминология [1], ограничивает возможности использования формализованного аппарата принятия решений, основанного на теретико-вероятностном подходе (см., например, [2]). Это обстоятельство обусловлено распространением событийной трактовки (прогнозы формулируются, как правило, в терминах явлений, фаз, градаций и т.п.), в то время как для принятия тех или иных решений в ряде случаев необходимо знать вероятностные распределения гидрометеорологических элементов как случайных величин. В качестве примеров можно привести расчетные формулы, используемые при планировании энергообеспечения [3], оценку потерь эксплуатационного времени причалов морских портов по гидрометеорологическим причинам [4], расчеты испаряемости и водопотребления орошаемых сельскохозяйственных культур [5] и др. (см. также [6]).

Ниже предлагается способ преодоления некоторых трудностей, связанных с применением для прогнозируемых и измеряемых гидрометеорологических элементов интервальных оценок (градаций).

Одна из распространенных ситуаций - принятие решений на основе ограничительных правил при достижении некоторыми гидрометеорологическими элементами пороговых (критических) величин. В этом случае потребителю для принятия обоснованного решения при получении прогноза необходимо знать, с какой вероятностью осуществится

гидрометеорологическая обстановка, при которой выполнение намеченного мероприятия исключено или не рекомендуется.

Рассмотрим для простоты случай ограничения по одному параметру, а именно, если ожидается, что гидрометеорологическая величина превысит пороговое значение q^* , то мероприятие отменяется. Очевидно, что, если дается прогноз W , а f_W - условная плотность распределения величины q при условии прогноза W , то для потребителя представляет интерес вероятность p превышения величиной q значения q^*

$$p = 1 - \int_{-\infty}^{q^*} f_W(x) dx \quad (1)$$

Однако следует учитывать то обстоятельство, что плотность f_W , как правило, неизвестна.

Кроме того, согласно существующей практике прогноз дается в градациях, а архивная информация о фактических значениях некоторых величин зачастую тоже представлена в градациях (например, в тех случаях, когда информация хранится в виде синоптических карт погоды [7]). В результате определение плотности f_W в таких ситуациях непосредственно по архивным данным не представляется возможным. В этом случае можно предложить следующий подход.

Пусть дан прогноз величины q в виде интервала $[\alpha, \beta]$, а фактические значения величины q представлены в градациях $H_i = [a_i, b_i]$, $i = 1, 2, \dots, n$, образующих полную группу событий. Например, дается прогноз скорости ветра 8-11 м/с, а на картах погоды данные о скорости ветра нанесены с помощью символов, соответствующих градациям 2-3, 4-6, 7-8 и 9-11 м/с (заметим, что такой выбор градаций не ограничивает общность рассуждений и приводится здесь только для иллюстрации).

Предполагая, что при условии $[\alpha, \beta]$ интервалы H_i распределены с вероятностями p_i , а внутри интервала H величина q распределена с плотностью f_i , искомую плотность f_W можно выразить в виде плотности вероятностной смеси [8]

$$f_W(x) = \sum_{i=1}^n p_i f_i(x) \quad (2)$$

Пусть для простоты распределение величины q внутри интервала H_i - равномерное (такой выбор оправдан тем, что длина интервала H весьма незначительна. В общем случае распределение гидрометеорологических элементов внутри дискретных интервалов измерения и прогноза требует специальных исследований). Тогда

$$f_i(x) = \begin{cases} const, & x \in H_i, \\ 0, & x \notin H_i \end{cases} \quad (3)$$

Подставляя плотность (2) с учетом выражения (3) в формулу (1), легко получить окончательное выражение для искомой величины p

$$p = 1 - \sum_{i=1}^n p_i \int_{-\infty}^{q^*} \frac{\gamma_i dx}{b_i - a_i} \quad (4)$$

где γ_i - индикатор интервала H_i .

Условные вероятности p , как правило, следует оценивать по результатам обработки статистических данных. Например, на основе архивных данных по прогнозам гидрометеорологической обстановки по г.Кронштадту за 1990-1992 гг. можно показать, что при прогнозе скорости ветра 8-11 м/с условное распределение градаций 2-3, 4-6, 7-8 и 9-11 м/с выглядит следующим образом:

Градация, м/с	Распределение вероятностей
2 - 3	0,14
4 - 6	0,36
7 - 8	0,21
9 - 11	0,29

Пусть пороговое значение q^* составляет 10 м/с. Тогда искомая вероятность при прогнозе 8-11 м/с, вычисленная по формуле (4), составит 0,16.

В заключение следует отметить, что подход к вычислению вероятностей возникновения критических гидрометеорологических условий, основанный на понятии вероятностной смеси, применим в случае использования интервальных форм прогноза и регистрации данных о значениях гидрометеорологических элементов, что соответствует современной практике прогностических центров. Его реализация требует знания условных распределений (5), для определения которых необходима архивация прогностических данных (сами расчеты вероятностей при наличии данных не составляют трудностей). Кроме рассмотренного примера, условная плотность (2) может быть использована и для других вероятностных расчетов.

Открытым остается вопрос определения вероятностного распределения гидрометеорологических элементов внутри интервальных оценок H_i , однако эта проблема, как уже было сказано, нуждается в специальных исследованиях. В рамках сугубо практических требований можно ограничиться равномерным распределением.

Изложенный подход может быть реализован в прогностических центрах в целях повышения уровня обоснованности и исключения элемента субъективизма при принятии решений различными потребителями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч.1. - Л.: Гидрометеоиздат, 1986. - 702 с.
2. Гроот М. Оптимальные статистические решения. - М.: Мир, 1974. - 491 с.
3. Козельцева В.Ф. Использование прогнозов температуры воздуха при планировании энергообеспечения // В кн. "Гидрометеорология и народное хозяйство". - М.: Гидрометеоиздат, 1976. -С. 155-162.
4. Цыплухин В.Ф., Гончаров Е.Н. К вопросу о прогнозировании потерь эксплуатационного времени причалов морских портов по гидрометеорологическим причинам.// Тр. Союзморниипроекта. - 1970. - Вып.28. -С.74-82.
5. Мельник Ю.С. Использование прогнозов теплообеспеченности для оценки испаряемости и водопотребления орошаемых культур.// В кн. "Гидрометеорологическое обслуживание сельского хозяйства в новых районах орошения". - М.: Россельхозиздат, 1976. -С.17-21.
6. Эффективность гидрометеорологического обслуживания народного хозяйства. - Л.: Гидрометеоиздат, 1973. - 164 с.
7. Зверев А.С. Синоптическая метеорология и основы предвычисления погоды. - Л.: Гидрометеоиздат, 1968. - 714 с.
8. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Прикладные задачи теории вероятностей. - М.: Радио и связь, 1983. - 416 с.

УДК 551.46

НАПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ВМФ

**С.П.АЛЕКСЕЕВ,
А.Т.ШЕВЦОВ**
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Рассматриваются вопросы экологического мониторинга водной среды, приводится перечень российских организаций и международных комиссий с участием РФ, ответственных за экологический мониторинг различных природных объектов. Анализируется роль и место ВМФ в системе экологического мониторинга. Предлагается расчетная схема, определяющая возможный "вклад" флота в загрязнение окружающей среды, на основе которой может быть определен подлежащий компенсации материальный ущерб среде.

При определении ответственности за загрязнение определенных объектов природной среды, очевидно, следует исходить из принципа: кто больше загрязняет среду, тот и несет большую ответственность.

Известно, что в настоящее время в Мировом океане наиболее загрязнены внутренние моря и в значительно меньшей мере - океаны. Определенные части побережья этих морей принадлежат различным государствам, зачастую весьма развитым в промышленном отношении. Например, вдоль побережья Балтийского моря расположены такие развитые страны как Россия, Финляндия, Швеция, Дания, Германия, Польша, государства Балтии. На побережье Черного моря расположены: Россия, Грузия, Турция, Болгария, Румыния, Украина. Кроме того, на экологическую обстановку Черного моря через Дунай влияют государства, не расположенные на побережье моря: Австрия, Венгрия, Чехия, Словакия, группа государств бывшей Югославии. На побережье Японского моря расположены: Россия, Япония, Северная и Южная Корея.

Перечисленные государства являются развитыми в промышленном отношении странами, которые через систему рек или напрямую осуществляют сброс загрязненных промышленных стоков в прилегающие моря. Некоторые из этих государств располагают торговым и военным флотами, которые также участвуют в загрязнении морей, особенно нефтепродуктами. Однако удельный вклад флотов этих государств в общую загрязненность морей незначителен.

Военно-морской флот вносит небольшое количество загрязнений в результате просачивания нефтепродуктов (в основном в пунктах базирования), смыва токсичных веществ в красках, предотвращающих обрастание, сбрасываемого мусора, радиоактивных изотопов, попадающих с охлаждающих контуров пл, с синтетической смолой, используемой для деминерализации теплоносителя в ионообменниках, а также в результате аварии пла. Но количество всех перечисленных загрязнений составляет лишь весьма небольшую долю от их количества, сбрасываемого объектами гражданских ведомств.

Поэтому создавать систему экологического мониторинга в Мировом океане должны, прежде всего, те ведомства и министерства, чей вклад в загрязненность морей является определяющим. По-видимому, министерства по охране окружающей среды этих стран должны заключать между собой двусторонние и многосторонние договора по контролю за уровнем загрязненности моря, по допустимым нормам сброса отходов и методам оценки их влияния на биосферу моря. Военно-морские силы этих стран должны входить в общегосударственную систему экологического мониторинга лишь в части контроля за уровнем загрязнения и уровнем

сброса загрязняющих веществ в пунктах базирования флота, на полигонах проведения боевой подготовки и в районах сброса жидких и твердых радиоактивных отходов атомным подводным флотом. Сказанное выше подтверждается созданием в Российской Федерации Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов, основные функции которого определены законом “Об охране окружающей природной среды”.

Для выполнения возложенных функций Министерство определило головные организации (НИИ), ответственные за экологический мониторинг различных природных объектов.

Так, например, Институт Глобального Климата и Экологии образован в 1991 г. в Москве с задачей: контроль фонового состояния окружающей природной среды и воздуха;

Главная Геофизическая обсерватория им.А.И.Воейкова: контроль загрязнения воздуха в городах и населенных пунктах;

Государственный гидрохимический институт в г.Ростове: контроль поверхностных вод;

Государственный океанографический институт в г.Москве с филиалами в г.г.С.-Петербург и Мурманске: контроль экологического состояния внутренних морей;

Институт экспериментальной метеорологии в г.Обнинске: экологический контроль почв;

Академия наук РФ в свою очередь поручила экологический контроль на озерах и водохранилищах НИИ Озероведения АН РФ в г.С.-Петербурге.

Результаты наблюдений хранятся и используются в республиканских и территориальных управлениях Госкомгидромета.

Кроме того, организован ряд двусторонних и многосторонних комиссий, например, по Балтийскому морю:

- Советско-Финское сотрудничество по охране вод Финского залива;

- Советско-Шведская комиссия по охране вод Балтийского моря.

Почти одновременно появились и другие аналогичные комиссии: СССР – Дания, Швеция–Финляндия, Швеция – Дания, Швеция – ФРГ. В 1974 г. подписана конвенция по защите Балтийского моря от загрязнения.

В 1981 г. в системе Госкомгидромета создан Балтийский отдел Института прикладной геофизики им.Е.К.Федорова на базе проблемной лаборатории Таллиннского политехнического института с задачей разработки теоретических основ мониторинга вод Балтийского моря, прогноза качества водных ресурсов, обоснования критериев и стандартов качества сброшенных в море вод, решения проблемы технологических аспектов охраны водной среды. Разработан и принят ряд международных программ исследований экологии морей.

Имеется программа ООН по охране природной среды - ЮНЕП, разработанная совместно международными организациями: ВМО, МОК, СЭВ, ВОЗ и др.

Поскольку экологическая ситуация во многих районах Севера России и Арктики в целом продолжает ухудшаться 16 сентября 1993 г. в Нууке (Гренландия) на конференцию собрались министры 8 стран: Дании, Исландии, Канады, Норвегии, Российской Федерации, Соединенных Штатов Америки, Финляндии и Швеции, которые приняли декларацию об окружающей среде и развитии Арктики. Министры обсудили положение дел с разработкой и осуществлением стратегии охраны окружающей среды Арктики (СООСА) и подтвердили свое намерение осуществлять постоянный контроль за той опасностью, которой подвергается окружающая среда Арктики. Была принята и программа арктического мониторинга и оценки (ПАМО). Арктика служит своего рода отстойником тяжелых металлов. Уровень их превышает предельно допустимые концентрации (ПДК) для людей.

В программе мониторинга в центре находятся три первоочередные категории загрязнителей: стойкие органические вещества, тяжелые металлы и радионуклиды. Эта программа охватывает также мониторинг закисления и арктический “туман”, загрязнение нефтью, ультрафиолетовую радиацию и эвтрофикацию (повышение биологической продуктивности водных объектов в результате накопления в воде биогенных элементов под действием антропогенных или природных факторов).

В законе “Об охране окружающей природной среды” определены объекты охраны среды, государственное обеспечение качества окружающей среды, государственные экологические программы и национальный доклад, компетенция РФ в управлении охраной окружающей природной среды, а также функции высших органов государственной власти РФ в области охраны окружающей среды.

Исходя из изложенного, Военно-морской Флот не может быть головным по экологическому мониторингу морей, а тем более океанов. Для этого он не располагает ни соответствующими правами, определяемыми законом РФ, ни средствами для выполнения функций головной организации, ни системой подготовки кадров - экологов. Однако ВМФ, как одна из составляющих государственных структур, может и должен участвовать в создании сети

экологических станций по кругу своей ответственности, а именно, в пунктах базирования сил флота и в районах проведения боевой подготовки (полигонах).

Служба экологического контроля ВМФ должна входить в состав Гидрометеорологических центров флотов, так как методы сбора экологической информации практически идентичны методам сбора гидрометеорологической информации. Кроме того, они взаимосвязаны и взаимодополняют друг друга.

Помимо сбора информации по концентрации загрязняющих веществ и подготовки информационных экологических бюллетеней, служба экологического контроля должна заниматься также инвентаризацией выбросов в воду и атмосферу с территории ВМБ, а также разработкой экологических паспортов кораблей ВМФ и его предприятий на берегу.

В соответствии с паспортами и с учетом норм ПДК загрязняющих веществ в воде и атмосфере ВМБ служба экологического контроля должна определять предельно допустимое количество кораблей и судов, постоянно базирующихся в ВМБ, а также предприятий, оказывающих неблагоприятное влияние на экологическую ситуацию базы.

Экологическому контролю в ВМБ и на полигонах проведения боевой подготовки подлежат:

- наличие пленок нефтепродуктов на поверхности и диспергированного количества их в определенном объеме воды;
- изменчивость кислорода за 5 и 20 сут и концентрации водородных ионов - рН;
- наличие и концентрация радионуклидов и γ - излучений;
- количество и изменчивость биогенных элементов: фосфора, азота и калия;
- скорость и направление течений на створе входных ворот в гавань;
- скорость и направление ветра в районе ВМБ и в прилегающих к ней районах моря;
- температура и соленость воды (плотность) как в пределах акватории гавани, так и на створе входных ворот;
- степень и длина волн на акватории гавани и в районах моря, прилегающих к ней.

Определение течений, ветра, плотности и волнения необходимы для оценки возможностей самоочищения вод от загрязнений. Основная станция экологического контроля (СЭК) должна устанавливаться в придонном слое створа входных ворот, а течения должны измеряться в определенные сроки по вертикали от поверхности до дна. Такое расположение СЭК позволит оценить количество загрязняющих веществ, поступающих из гавани в открытое море, и тем самым - вклад конкретной ВМБ в общую загрязненность моря. Для этого прежде всего необходимо оценить расход воды в створе входных ворот.

Расход воды можно определить следующим образом. Измеренные на стандартных горизонтах скорости течения необходимо усреднить сначала между горизонтами, а затем и по вертикали в целом по формуле

$$C_{cp} = \frac{\sum_{\Delta H=1}^N C_{cp}' \cdot \Delta H_n}{H},$$

где C_{cp} - средняя скорость по вертикали от поверхности до глубины H ;

C_{cp}' - средняя скорость между двумя горизонтами;

ΔH_n - расстояние между горизонтами измерений течений.

Если на створе ворот установлены несколько СЭК, то определяют среднюю скорость по вертикали между каждой парой соседних станций. Она равна среднеарифметическому из средних по вертикали. После этого определяют среднюю скорость течения по всему разрезу станций по формуле

$$\bar{C}_{разр} = \frac{\sum_{l=1}^n C_{cp} h_{cp} l}{\sum_{l=1}^n h_{cp} l} = \frac{Q}{F},$$

где $\bar{C}_{разр}$ - средняя скорость на разрезе в м/с;

C_{cp} - средняя скорость течения на вертикали между двумя станциями в см/с;

h_{cp} - средняя глубина между двумя станциями или глубина вертикали в м (если на разрезе одна станция);

l - расстояние между станциями в м;

$\sum h_{cp} \cdot l$ - площадь разреза F ;

$\sum C_{cp} h_{cp} l$ - объем воды, проходящей через эту площадь в единицу времени - Q .

Тогда $Q = F \bar{C}_{разр}$.

Объем воды можно определить за любую единицу времени: секунду, час, месяц, сезон, год и т.д. Обычно концентрация вещества определяется в расчете на 1 л. Если расход воды получен в кубометрах, то и концентрацию вещества необходимо пересчитать на кубометр (q), то есть, ее необходимо умножить на 10^6

$$q = 10^6 K_B Q,$$

где K_B - концентрация вещества в одном литре.

Так как входные ворота по ширине обычно невелики, то в их плоскости будет установлена лишь одна станция. В этом случае необходимо вычислить среднюю глубину створа ворот и определить ширину входных ворот.

Тогда расход воды определится по формуле

$$Q_1 = F C_{cp}; \quad F = \frac{L \sum_{i=1}^K h_i}{K},$$

где $\sum_{i=1}^K h_i$ - средняя глубина створа ворот;

L - ширина створа ворот;

C_{cp} - средняя скорость течения на вертикали (в предположении, что в любой точке створа ворот средняя скорость по вертикали одна и та же);

K - число принятых для усреднения глубин.

Далее необходимо определить объем воды D в данном море, который равен произведению площади моря на среднюю глубину

$$D = S \bar{H}_{cp}.$$

Для оценки "вклада" ВМФ в общую загрязненность моря требуется знание величины концентрации загрязняющих веществ G_M в объеме воды D . Распределение загрязняющих веществ в море можно считать изотропным, однородным, а по времени (за промежуток времени 2-3 года) стационарным. В этом случае, выполнив измерения конкретных загрязняющих элементов в нескольких достаточно удаленных друг от друга точках моря, но не ближе 50 миль от берега, можно оценить их среднее содержание:

$$G_M = D K_M,$$

где K_M - концентрация загрязняющих веществ в 1 л (1 м^3 , зависит от размерности D).

Тогда "вклад" (B) ВМБ в общую загрязненность моря будет равен

$$B = \frac{q}{G_M} 100\%.$$

Величина B определяет тот материальный вклад ВМБ в процентах (штраф) от суммы общего загрязнения моря, который ВМБ должна внести для ликвидации нанесенного морю ущерба.

Аналогичные расчеты, выполненные по каждой ВМБ, позволят оценить вклад всего флота в общую загрязненность данного моря, а также подлежащий компенсации материальный ущерб среде.

**ПРОБЛЕМЫ СНИЖЕНИЯ УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ КОРАБЛЯМИ И
БЕРЕГОВЫМИ ОБЪЕКТАМИ ВМФ**

**Б.В.КУЛИКОВ,
Е.В.КАЛАШНИКОВ**
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Произведен анализ различных источников загрязнения воды и атмосферы. Охарактеризованы методы борьбы с ними на кораблях, судах и береговых объектах флота. Даны практические рекомендации по их использованию.

В процессе функционирования военных объектов, разработки, испытаний и утилизации вооружения и военной техники, боевой учебы и боевого дежурства войск и сил флота, обеспечения повседневной деятельности военных гарнизонов, а также при авариях (катастрофах), связанных с эксплуатацией сложных военно-технических систем, все более остро встают вопросы обеспечения экологической безопасности окружающей природной среды (ОПС), ее защищенности от загрязняющих веществ.

Определенный вклад в загрязнение ОПС, особенно в прибрежных и морских районах, вносят корабли, суда и береговые объекты ВМФ. Комплексное загрязнение ОПС в результате деятельности ВМФ имеет сложную биологическую, химическую и физическую природу. Исследуя воздействие эксплуатации кораблей, судов и береговых объектов ВМФ на ОПС, можно утверждать о неизбежности определенных необратимых изменений ее состояния, особенно в локальных масштабах.

Основными источниками загрязнений акваторий и атмосферного воздуха в пунктах базирования ВМФ являются:

- корабли и суда ВМФ (в том числе затонувшие);
- гражданские суда различного назначения, дислоцирующиеся в этих пунктах или посещающие их;
- береговые объекты и технические средства ВМФ (склады и базы жидкого топлива, ремонтные предприятия, автономные системы энергообеспечения, автотранспорт, холодильные установки и установки объемного пожаротушения);
- стоки сторонних канализационных систем, имеющих выпуск в акватории пунктов базирования.

Загрязнение ОПС возникает вследствие несовершенства систем энергетических установок (ЭУ), конструкции оборудования, а иногда в результате аварий на объектах или гибели кораблей. При этом основными загрязнителями морской воды являются: льяльные, трюмные, балластные, сточные, технические и хозяйственно-бытовые воды; отстой топливных и масляных цистерн; протечки ГМС; мусор и др. Атмосферный воздух загрязняется парами, газами, сажей.

Сточные воды. Основная причина загрязнения морской среды в нормальных условиях эксплуатации корабля – сброс в море нефтесодержащих (ляльных и других) вод. При этом под нефтесодержащими понимаются все воды, образующиеся в трюмах энергетических отсеков и подлежащие обязательной очистке перед откачкой за борт.

Ежесуточно в льяла кораблей и судов с котлотурбинными энергетическими установками (КТЭУ) может попадать до 19 л, а на кораблях и судах с дизельными энергетическими установками (ДЭУ) – до 57 л нефтепродуктов [1]. Повышенное количество протечек дизельного топлива связано с высоким давлением в топливной системе ДЭУ, а также с меньшей вязкостью дизельного топлива по сравнению с мазутом. Общая концентрация нефтепродуктов в льяльных водах на ходу в 4-5 раз больше, чем на стоянке [2]. Среднее содержание нефтепродуктов в удаляемых за борт льяльных водах составляет около 2000-3000 мг/л, что в 150-200 раз превышает верхний допустимый предел – 15 мг/л [2, 3]. Возможны потери нефтепродуктов, сопутствующие бункеровкам кораблей (судов), погрузкам и выгрузкам ГСМ у причалов флотских баз и складов жидкого топлива. В ходе этих операций за счет испарений и разливов теряется от 22 до 91 г из каждой тонны перегружаемых нефтепродуктов. Применительно к

используемым в ВМФ видам корабельного и судового жидкого топлива (мазут, дизтопливо, моторное топливо и др.) на разливы может приходиться до 50-85% теряемого продукта.

В целом по России ежегодное количество сбрасываемых за борт с кораблей и судов ВМФ в составе льяльных вод нефтепродуктов оценивается в пределах 2-4 тыс.т. В результате, по данным за 1990 г., загрязненность воды нефтепродуктами для пунктов базирования СФ превышала предельно допустимую концентрацию (ПДК) в 5-18 раз, для БФ – в 3-28 раз, ЧФ – в 10-23 раза. Сбор этих вод в пунктах базирования не организован и они практически повсеместно сливаются за борт, так как мощности по переработке нефтезагрязненных вод позволяют удовлетворить лишь 20% потребности флота. Это означает, что до 80% накопленных нефтесодержащих сточных вод может попадать в акватории.

В настоящее время для очистки сточных вод в основном используются механические, химические, биологические и физико-химические методы.

Механические методы очистки базируются на использовании отстойников различной конструкции и гидроциклонов.

Химические методы очистки основаны на добавлении в сточные воды растворителей (химическое окисление), обработке детергентом. Они широко применяются в практике предприятий химической промышленности, цветной металлургии, машиностроения и т.д. На сегодняшний день разработаны и апробированы способы химической очистки сточных вод, загрязненных красителями, простыми и комплексными цианидами, хроматами, кислотами и катионами металлов.

Биохимические методы основаны на биохимическом окислении органических веществ в аэротэнках.

В основу физико-химических методов положены физические и физико-химические процессы: выпаривание, испарение, экстракция, сорбция, нейтрализация, флотация, возгонка паром и др., а также электрохимические процессы.

Однако перечисленные методы не обеспечивают достаточно высокой эффективности и качества очистки сточных вод, а также недостаточно надежны. Поэтому в перспективе важной задачей является разработка новых, надежных по санитарным показателям методов очистки многих видов сточных вод на основе окисления при высокой температуре и давлении (термический метод), применения ультразвука, ионообменных масс и т.д. Прошедшие очистку сточные воды должны повторно использоваться, сокращая потребление свежей воды, что особенно важно для систем жизнеобеспечения с замкнутым циклом.

К ряду задач, приобретающих в последнее время особую актуальность, относятся прежде всего уменьшение общего объема стоков с котельных, минимизация концентраций вредных веществ в них и перевод вредных примесей в нерастворимые соединения с последующим выделением их из стоков.

Выбросы в атмосферу. Основными источниками выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от кораблей и береговых объектов ВМФ являются корабельные энергетические установки (КЭУ), дизельные электростанции, ремонтные предприятия, газотурбинные и котельные агрегаты, установки объемного пожаротушения и холодильные, автомобильный транспорт и др.

Выброс в атмосферу отработавших газов после парогенераторов, камер сгорания газотурбинных установок и двигателей внутреннего сгорания является необходимым условием нормальной работы паротурбинных, газотурбинных и дизельных установок [3]. Вследствии неполного сгорания топлива, окисления примесей и введения присадок в топлива и масла в составе отработавших газов может находиться до 1% токсичных веществ, оказывающих вредное воздействие на ОПС и человека. При этом основными вредными загрязнителями ОПС являются : оксиды углерода (до 50%), оксиды серы (до 20%), оксиды азота (до 6-8%), углеводороды (до 5-20%).

В дымовых газах КЭУ обнаружено около 200 ядовитых компонентов. Токсичность этих газов определяется сортом и видом топлива, а также условиями его сгорания. Так, применение тяжелых сернистых топлив способствует уменьшению эксплуатационных затрат на топливо, но при этом повышается загрязнение ОПС сернистым и серным ангидридом. Наиболее опасные токсичные выбросы КЭУ: оксиды углерода и азота, альдегиды, формальдегиды, бенз(о)пирен и другие ароматические соединения.

Кроме выброса дымовых газов при работе КЭУ 1-2% потребляемого топлива выбрасывается и оседает на поверхности воды в виде сажи, пыли, золы. Сажа и другие примеси в сочетании с имеющейся в воздухе влагой, особенно при тумане, могут образовывать ядовитую смесь (смог), опасную для здоровья человека.

Значительные выбросы вредных компонентов в атмосферу происходят при запуске, прогреве и смене режимов КЭУ. Сводные данные о суммарном выбросе загрязняющих веществ в атмосферу при условии правильной организации горения КЭУ российского ВМФ приведены в таблице.

Суммарный суточный выброс в атмосферу загрязняющих веществ корабельными ЭУ российского ВМФ, т/сут

Районы работы КЭУ	Г а з ы				Твердые частицы	Всего
	<i>CO</i>	<i>SO₂</i>	<i>NO_x</i>	<i>C_xH_y</i>		
В базе	2627	1049	420	262	892	5250
В море	7686	3074	1230	762	2613	15372
Итого . . .	10313	4123	1650	1031	3505	20622

В зависимости от марки котла береговых котельных установок для выработки тепловой энергии может использоваться любой вид топлива – от дров и бурого угля до биологического газа. Из твердых топлив наиболее широко распространены каменные и бурые угли, из жидких – мазут различной сернистости. При сгорании топлива в котле образуются отработавшие газы, которые содержат загрязняющие вещества. Для котельных наиболее характерными можно считать окислы азота *NO_x* и серы *SO₂*, окись углерода *CO* и взвешенные частицы.

Автомобильная техника играет важную роль в деятельности ВМФ (всего в ВС РФ около 800 тыс. машин). Автомобильные двигатели выделяют примерно половину общего количества выбрасываемых в ОПС углеводородов, 60% окиси углерода, около 40% оксидов азота. Всего в отработавших газах двигателя внутреннего сгорания содержится 170 вредных компонентов, из них около 160 – производные углеводородов, обязанные своим появлением неполному сгоранию топлива в двигателях. При этом токсичность отработавших газов карбюраторных двигателей обуславливается, главным образом, содержанием окиси углерода и окислов азота, а дизельных двигателей – окислов азота и сажи.

Отрицательное воздействие на ОПС оказывают холодильные установки и установки объемного пожаротушения, использующие хладоны.

Помимо вышеперечисленных факторов, влияющих на состояние атмосферы, необходимо указать выбросы промышленных предприятий, имеющие место при ремонте и консервации кораблей и судов, а также в процессе их утилизации. Основными вредными составляющими в этом случае являются летучие органические растворители, выделяющиеся при окраске корпусов, а также пыль и сварочные газы, образующиеся при сварке и газовой резке.

Способы борьбы с загрязняющими ОПС выбросами. Минимизация выбросов загрязняющих веществ может быть достигнута обезвреживанием (удалением) загрязнителей или использованием безотходных технологий, для чего применяется ряд следующих методов и средств [4].

ОТСТАИВАНИЕ – разделение системы воздух-взвешенные частицы под действием силы тяжести. Применяется в основном для отделения взвешенных грубо- или мелко дисперсных аэрозолей. В частности, для обеспылевания газовой (воздушной) среды служат пылеосадительные камеры (циклоны).

ФИЛЬТРАЦИЯ – разделение системы газ-взвешенные частицы или газ-жидкая фаза с помощью пористого материала (пористые, тканевые, зернистые фильтры). Обработка ультразвуком и электромагнитным полем увеличивает степень очистки.

КОАГУЛЯЦИЯ – разделение системы газ-взвешенные частицы путем укрупнения выделяемых дисперсных загрязнителей и удаления их физическим и механическим методами. В качестве коагулянта могут быть использованы соли железа, алюминия, магния и т.п.

ВОЗДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ – пропускание дисперсной системы с определенной скоростью через аппарат, в котором создается магнитное поле. Под действием сил поля изменяется траектория движения частиц и создаются условия для их отделения от очищаемой среды. Может применяться в дополнение к отстаиванию и фильтрации.

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ – воздействие звуковых колебаний на дисперсные системы (дым, пыль и т.п.), вследствие чего протекает быстрая коагуляция аэрозолей и взвесей с образованием осадков.

АДСОРБЦИЯ – поглощение загрязняющих примесей адсорбентом. Наиболее эффективным является активированный уголь.

АБСОРБЦИЯ – поглощение газа жидким поглотителем.

НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ – смешение щелочных и кислых потоков, применение нейтрализующих реагентов, промывка газов водными нейтрализующими растворителями (химическая адсорбция).

ВОССТАНОВЛЕНИЕ – реорганизация неорганических и органических соединений с изменением их валентности и структуры.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА – обработка бактериями отходящих газов. Отличается высокой эффективностью без образования вредных для ОПС продуктов.

Кроме того, одним из перспективных направлений значительного снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при эксплуатации КЭУ является использование в качестве топлива водотопливной эмульсии (ее получение в корабельных условиях возможно при сжигании нефтесодержащих вод).

Заключение. Для решения проблемы очистки сточных вод в качестве первоочередных мер представляется целесообразным:

- разработать нормативно-техническую базу, позволяющую обеспечить необходимое качество очистки сточных вод;

- изменить технологии процессов, приводящих к загрязнению сточных вод;

- изменить состав топлива в агрегатах, загрязняющих сточные воды, проработав возможность использования альтернативных источников энергии;

- создать комплексы автоматизированного управления установками очистки сточных вод.

Для очистки выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от кораблей и береговых объектов ВМФ необходимо:

- улучшение процесса сгорания топлива и повышение экономичности и долговечности дизелей;

- внедрение в эксплуатацию методов и средств очистки от токсичных компонентов отработавших газов;

- создание принципиально новых технологических схем работы двигателей без связи с атмосферой и систем их предпусковой подготовки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нунупаров С.М. Предотвращение загрязнения моря с судов. –М.: Транспорт, 1985.
2. Волошин В.П. Охрана морской среды. – Л.: Судостроение, 1987.
3. Юдицкий Ф.К. Защита окружающей среды при эксплуатации судов. – Л.: Судостроение, 1987.
4. Бортокс П., Радд Д. Стратегия защиты окружающей среды от загрязнителей. – Медицина, 1980.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ РАДИОАКТИВНЫМИ ВЕЩЕСТВАМИ И НЕФТЕПРОДУКТАМИ В ПОВСЕДНЕВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВМФ

**В.И.КУКСЕНКОВ,
А.В.КОВАЛЕВСКИЙ,
В.Г.ХАРЧЕНКО**
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Рассматриваются причины загрязнения морской среды радиоактивными веществами и нефтепродуктами в повседневной деятельности ВМФ, связанные с эксплуатацией нк и пл с ЯЭУ и сбросом нефтесодержащих вод. Дана оценка возможной площади разлива нефтяных полей, проанализированы способы их ликвидации, в том числе в ледовых условиях.

В процессе повседневной деятельности вооружение и военная техника (В, ВТ), пункты базирования и судоремонта ВМФ наносят определенный ущерб окружающей природной среде (ОПС), причем каждый из ее загрязнителей может иметь различные источники и проявляться в различных средах [1, 2]. Причинами загрязнения ОПС являются:

- недостаточное оснащение находящихся в эксплуатации надводных кораблей (нк) и подводных лодок (пл) природоохранными техническими средствами;
- нехватка судов-мусоросборщиков, плавучих и береговых мощностей по переработке отходов;
- отсутствие единой организационной структуры, позволяющей создать целостную программу развития технических средств обеспечения экологической безопасности повседневной деятельности ВМФ, объединяющих нк и пл, пункты базирования и судоремонта;
- неудовлетворительное состояние базы, связанной с созданием системы радиационно-экологического мониторинга, формированием банков данных о состоянии ОПС в зонах ответственности ВМФ и разработкой критериев экологической безопасности.

Радиоактивное загрязнение ОПС при эксплуатации нк и пл с ЯЭУ. Основным источником попадания радиоактивных веществ в морскую среду служат корабельные ЯЭУ. Многолетний опыт их эксплуатации показывает, что возможность возникновения аварийных ситуаций полностью не исключается и может быть связана с отказами как отдельных узлов ЯЭУ, так и с неправильными действиями обслуживающего их персонала.

Наибольшую в экологическом отношении опасность представляют аварийные ситуации, обусловленные разгерметизацией 1-го контура и выходом жидких радиоактивных отходов (ЖРО) в помещения корабля, а также работы по обслуживанию паро-производящей установки, в той или иной мере связанные с разгерметизацией контура (перегрузка активной зоны, дезактивация контура или съемного контурного оборудования, выгрузка фильтров активности и др.).

По источникам образования ЖРО и радиационные воды можно подразделить на семь групп. В их число входят ЖРО, возникающие при:

- контакте с оборудованием III контура;
 - эксплуатации хранилищ отработанных тепловыделяющих сборок;
 - дренаже цистерн биологической защиты;
 - дезактивации спецодежды и кожных покровов;
- и воды, образующиеся при:
- контакте с оборудованием I контура;
 - дезактивации емкостей хранения ЖРО, а также воды из радиохимической лаборатории. Жидкие и твердые радиоактивные отходы могут образовываться при:
 - нормальной эксплуатации – на пунктах базирования;
 - перезарядке реактора – на судоремонтном заводе (СЗР) и береговой технической базе;
 - ремонтах атомных нк и пл на СЗР;
 - дезактивации I контура в сборе на СЗР;
 - ликвидации последствий аварийных ситуаций.

Вклад источников радиоактивного загрязнения в общий объем радиоактивных отходов может быть различным.

Экологические проблемы ВМФ в части утилизации нк и пл с ЯЭУ существуют на всех основных этапах этого процесса. В общем виде они обусловлены:

- подготовкой нк и пл с ЯЭУ на плаву в пунктах временного хранения;
- подготовкой и содержанием ЯЭУ в пунктах длительного хранения;
- разделкой (утилизацией) ЯЭУ;
- аварийными ЯЭУ.

В целом представляется, что разработка проблем, связанных с возможным загрязнением ОПС радиоактивными веществами в процессе повседневной деятельности ВМФ, должна быть увязана с основными принципами по обеспечению экологической безопасности территорий, акватории, объектов и обслуживающего персонала и осуществляться посредством системно-согласованных программ при оптимальной временной последовательности их реализации.

Загрязнение ОПС нефтепродуктами (НП). ВМФ в процессе повседневной деятельности является потребителем значительного количества НП, часть которых неизбежно попадает в ОПС и загрязняет ее. Вследствие этого соответствующая очистка территорий военно-морских баз (ВМБ), аэродромов авиации ВМФ, а также акватории представляется весьма актуальной задачей.

НП – это смеси углеводородов и некоторых их производных, а также индивидуальные химические соединения, получаемые при переработке нефти и используемые в качестве топлив, смазочных материалов, растворителей, нефтехимического сырья и для других целей. Они относятся к четвертому классу токсичности и при попадании в организм человека вызывают заболевания органов дыхания и центральной нервной системы, способствуют развитию повышенной утомляемости и малокровия. Например, этилированные бензины (с антидетонационной присадкой тетраэтиловинцом) ядовиты, поэтому их обязательно окрашивают, а при работе с ними необходимы меры предосторожности [3].

“Регулярным” источником загрязнения ОПС нефтепродуктами в процессе повседневной деятельности ВМФ является сброс нефтесодержащих вод. Под последними понимаются все воды, образующиеся в трюмах энергетических отсеков и подлежащие обязательной очистке перед откачкой за борт. В зависимости от типа ЭУ объем отходов нефтесодержащих вод достигает 12-26% от общего объема отходов. Содержание НП в них колеблется от долей процента до 100%, ограничиваясь, как правило, 2000 мг/л и снижаясь после отстаивания до 200-500 мг/л. Существующая на флотах материально-техническая база не обеспечивает полного сбора нефтесодержащих вод с кораблей и судов. В 1993 г. накопление нефтесодержащих вод на кораблях и судах ВМФ составило 2658 т/сут, при этом только 20% из них подвергалось сбору и очистке. При этом установленная норма нефтесодержания в удаляемых за борт корабельных водах (15 мг/л) в 30 раз превышает количество НП, которое море способно переработать естественным путем (не более 0,5 мг/л).

При попадании в морскую воду нефть распадается на фракции и растекается по поверхности, образуя нефтяное пятно. Время формирования пятна зависит от объема вылива нефти и составляет от 6 до 14 ч при разливах до 10000 т. Наиболее интенсивное формирование пятна происходит в первые 2-4 ч после выброса, т.е. меры по предотвращению растекания нефти по поверхности воды эффективны лишь в пределах этого времени [4]. Скорость дрейфа нефтяного поля по направлению ветра составляет 4% скорости ветра.

Площадь F нефтяного пятна, образовавшегося после разлива, определяется по формуле $F = 1,14 \frac{P_n}{1000}$ км², где P_n – количество пролитой нефти, т [5].

Возможный (не чрезвычайный) разлив НП для судов снабжения и танкеров ВМФ составляет около 500 т, для боевых кораблей – около 180 т, а площадь сформировавшегося пятна – 570 и 200 тыс.м² соответственно.

Процесс ликвидации разлива нефти на акваториях ВМБ состоит из двух периодов – локализации и ликвидации.

Средствами локализации разлива нефти могут быть негорючие боновые заграждения: оперативные (пленочные и панельные) и стационарные. Пленочные заграждения целесообразно применять при ликвидации разливов в условиях защищенных акваторий. Боновые заграждения панельного типа обладают наилучшими из всех типов бон заградительными качествами и многосторонностью применения средств механизации для их постановки.

Способами ликвидации нефтяных полей могут быть:

- сбор нефти с воды нефтемусоросборщиками или нефтесборными устройствами, работающими от штатных насосов танкеров или барж;

- сжигание плавающей нефти (ее легких фракций) при достаточной толщине сжигаемого слоя;
- использование на закрытых акваториях абсорбирующих (впитывающих) материалов: соломы, сена, древесных опилок, полиуретановой пены и др.;
- сбор нефти с помощью акустических излучателей;
- потопление плавающей нефти (в крайних случаях) путем применения минеральных веществ с плотностью немногим более единицы (талька, серы, воскового песка, мела и др) либо рассеивание плавающей нефти прераратами эмульгирующего действия (на большом удалении от берега).

Основным способом для ликвидации последствий разливов НП следует считать их сбор механическими нефтесборными устройствами. Это единственный метод, обеспечивающий безопасность ОПС.

При аварийном разливе нефти в ледовых условиях действия по ликвидации разливов должны быть немедленными. Целесообразны следующие мероприятия:

- механический сбор коагулированных кусков нефти с помощью сетей и других нефтесборных устройств;
- сжигание нефти с помощью воспламеняющихся веществ с обеспечением условий противопожарной безопасности;
- рассеивание плавающих НП с помощью химических препаратов.

Загрязнение акваторий НП может происходить и с затонувших нк и пл. По состоянию на 1 квартал 1995 г., в районах базирования ВМФ России насчитывалось более 260 кораблей, судов и плавсредств, находящихся в затопленном состоянии на глубинах до 20 м. По сведениям проектной технической документации, на затонувших нк и пл может находиться от 2 до 17 т топлива и других НП, которые через повреждения корпуса, шахты машинно-котельных отделений и т.п. поступают на поверхность и загрязняют акватории. Вместе с тем, в отечественном флоте технические средства не обеспечивают откачку НП из цистерн затонувших кораблей и судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Израэль Ю.А., Цыбань А.В. Антропогенная экология океана. - Л.: Гидрометеоиздат, 1989. - 528 с.
2. Уильямс Дж. Основы контроля морских загрязнений. - Л.: Судостроение, 1984. - 135 с.
3. Большая советская энциклопедия, 1974, т.17, с.1586-1587.
4. Глазов С.Ф. Ликвидация разливов нефти в море. - Севастополь: ЦПКБ, 1986, оперативная информация N12.
5. Правила охраны природной среды в Военно-морском Флоте (ПОПС-90). Приказ ГК ВМФ N320-90 г. - М.: Воениздат, 1993.

КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ, СЕМИНАРЫ

СЕМИНАР “ПРИМЕНЕНИЕ ФАЗОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЕ ПОТРЕБИТЕЛЯ СНС ГЛОНАСС. СИНХРОНИЗАЦИЯ НАЗЕМНЫХ РНС”.

6 марта 1995 г. под руководством к.т.н., с.н.с. Ю.И. Базарова состоялся семинар по радионавигации секции НТО им. акад. А.Н.Крылова на тему: *“Применение фазовых измерений в навигационной аппаратуре потребителя СНС ГЛОНАСС. Синхронизация наземных РНС”.*

Семинар был посвящен актуальным вопросам повышения точности определения координат места и синхронизации наземных РНС по сигналам среднеорбитных СНС ГЛОНАСС и НАВСТАР в рамках создания единого радионавигационного поля.

В ходе проведения семинара с докладами выступили представители Гос. НИНГИ, ВМА им. адм. Н.Г. Кузнецова и ВВМУ ПП. Тезисы основных докладов приведены ниже.

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

УДК 621.

ВЫБОР КРИТЕРИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ СИНХРОНИЗАЦИИ НАЗЕМНЫХ РНС

С.П.БАРИНОВ
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Анализ концепции создания единого радионавигационного поля (ЕРНП) позволил сделать вывод о том, что главным ее достоинством для ВМФ является повышение надежности и устойчивости системы НГО, способность системы в условиях активного противодействия сохранять свои основные функции. Это достигается за счет структурного объединения СНС и РНС в систему ЕРНП посредством синхронизации излучения сигналов космических аппаратов (КА) и наземных опорных станций (ОС). Поэтому вполне логично избрать в качестве критерия эффективности методов синхронизации РНС показатель боевой устойчивости системы НГО. Методы оценки данного показателя достаточно глубоко проработаны и подробно изложены в ряде документов и работ. Вместе с тем специфика функционирования системы ЕРНП не позволяет непосредственно использовать эти методы. Чтобы согласовать логический и аналитический выводы об ее эффективности, потребовалось уточнить математическую модель функционирования элементов системы в условиях противодействия.

Функционирование системы ЕРНП в условиях противодействия можно формализовать в виде теоретико-игровой модели с конечным числом стратегий. При этом под “нашей” стратегией понимается выбор того или иного метода синхронизации РНС, а под стратегией “противника” - вид и объект воздействия. Предполагается, что каждая сторона может сделать только один ход, после которого устанавливается исход игры. В качестве исхода игры рассматриваем наш “выигрыш”, а именно - вероятность того, что в зоне совместного использования интегрированных систем при боевом воздействии противника на ее элементы навигационная задача будет решена в любой момент времени и с необходимой точностью. Таким образом, определение “оптимальной стратегии” будет связано с выбором такого метода синхронизации, который бы обеспечил максимальное значение выбранного критерия - боевой устойчивости системы НГО.

В целях сокращения числа возможных сочетаний оцениваемых параметров и обеспечения чувствительности критерия эффективности к внешним условиям были приняты следующие ограничения и допущения.

1. Единое радионавигационное поле существует лишь в тех областях пространства, где зоны “радиоосвещенности” навигационных КА перекрываются с соответствующими зонами опорных станций РНС. Такие области условно назовем “зонами совместного использования систем” (ЗСИС).

2. Выбор типа интегрированной в систему ЕРНП РНС должен увязываться с требованием ВМФ к НГО. При этом следует считать, что априорно (т.е. до начала операции) ЗСИС охватывает весь необходимый район.

3. При оценке эффективности должны рассматриваться только те сочетания элементов системы ЕРНП, которые содержат минимально необходимый для определения места состав ОС и КА.

4. Требования по привязке излучения сигналов ОС к шкале времени (ШВ) СНС не должны входить в противоречие с требованиями внутрисистемной синхронизации станций РНС. В противном случае часть потребителей, не имеющих приемоиндикаторов ЕРНП, может быть лишена навигационной поддержки со стороны РНС.

Учитывая вероятностный характер выбранного критерия эффективности и принятые ограничения (допущения), аналитическое выражение боевой устойчивости можно представить как вероятность произведения следующих случайных независимых событий:

- определение места с требуемой точностью;
- определение места в течение всего хода операции;
- определение места во всем районе проведения операции;
- определение места всеми участниками операции

или как произведение вероятностей этих событий. При этом конкретные условия функционирования системы ЕРНП описываются функцией влияния, параметрами которой являются:

- вектор тактических требований, определяемый видом боевых действий (тактическим фоном);
- вектор первоначального состояния системы ЕРНП (при отсутствии противодействия, определяемый методом синхронизации РНС);
- вектор боевого воздействия противника на систему ЕРНП, характеризующий степень подавления ее элементов.

Вероятность определения координат места с требуемой точностью может быть вычислена исходя из предположения, что случайные погрешности измерений РНП имеют нормальное распределение.

Исходя из гипотезы о равномерной плотности распределения случайной величины – момента использования системы ЕРНП для навигационных определений участниками операции – вероятность навигационных определений по системе ЕРНП в течение всего хода операции может быть найдена как отношение суммарного времени, когда определение места по системе ЕРНП возможно, к времени проведения операции. Заметим, что при неполной орбитальной группировке СНС навигационные определения будут затруднены, а то и невозможны в промежуток времени, когда разность азимутов на КА и ОС составит меньше 30° . При сочетании двух КА и одной ОС допустимо предположить, что в течение суток хотя бы раз азимут одного из КА совпадет с азимутом на ОС. При сочетании одного КА и двух ОС допустимо предположить, что в течение суток хотя бы раз азимут на КА совпадет с азимутом на каждую из ОС. Учитывая угловую скорость КА, равную 0.5 град/мин, время может достигать двух часов в первом случае и четырех – во втором.

Для приближенных расчетов можно принять гипотезу о равномерной плотности распределения места корабля в пределах площади района выполнения боевой задачи. Поэтому значение вероятности навигационных определений по системе ЕРНП во всем районе операции рассчитывается как отношение фактической площади ЗСИС к максимальной площади ЗСИС, априорно охватывающей весь район проведения операции. Площадь зоны совместного использования систем зависит не только от количества ОС в составе РНС, но и числа КА в созвездии.

Возможность охвата навигационной информацией всех потребителей будет определяться как степень их навигационного вооружения, так и способностью системы ЕРНП выполнять условие дуплексности, т.е. одновременно с обеспечением синхронного функционирования всех своих элементов поддерживать автономный режим работы наземных РНС. При этом вероятность определения места всеми участниками операции может быть вычислена как отношение числа потребителей, которым доступно использование СНС и (или) РНС в навигационных целях, к общему числу участвующих в операции потребителей навигационной информации.

В целом, обладая необходимой наглядностью в выражении меры достигаемой цели, предлагаемый критерий корректен при анализе любого метода синхронизации, чувствителен к изменениям условий внешней среды и пригоден для оценки эффективности системы более высокого иерархического уровня в качестве частного критерия.

УДК 621.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СРЕДНЕОРБИТНОЙ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В.А.КРУПЕНЬ
(ВВМУ ПП)

В настоящее время для определения пространственных координат объектов в аппаратуре потребителя (АП) измеряются псевдодальности до находящихся в зоне радиовидимости космических аппаратов (КА). Минимально необходимое число таких КА, как известно, должно быть равно четырем (по числу определяемых параметров). Три из них - для определения пространственных координат, а четвертый - систематической погрешности измерений из-за рассогласования шкал времени опорного генератора (ОГ) АП относительно эталонного.

С учетом всех составляющих погрешность измерения псевдодальности при использовании АП высокоточного кода составляет 2.9-4.25 м ($P=0.68$). Это позволяет определить координаты объекта в плоскости горизонта в зависимости от геометрического фактора с точностью 5.8-12.8 м ($P=0.68$).

В ряде случаев для решения специальных задач ВМФ такой точности оказывается недостаточно. Известно, что одним из возможных путей ее повышения является дифференциальный режим, который, однако, требует дополнительного привлечения сил и средств.

Рассмотрена возможность повышения точности определения координат места объекта за счет фазовых измерений псевдодальностей. Шумовая погрешность при этом оценивается погрешностью определения фазы несущей частоты и составляет приблизительно 0.4 см. При этом возникает необходимость устранения многозначности отсчетов.

Для устранения многозначности предлагается на начальном этапе использовать дальномерные измерения на тактовых частотах кода $f_p=10$ МГц для СНС НАВСТАР или $f_p=5$ МГц для СНС ГЛОНАСС.

Погрешности дальномерных измерений, как известно, можно подразделить на случайные и систематические.

К систематическим относятся: погрешности эфемеридной информации (ЭИ), достигающие 1.6 м через 1 ч после закладки эфемерид наземным комплексом управления; уход шкалы времени опорного генератора АП от эталона, достигающая 1.0 м; некомпенсированная тропосферная погрешность - 0.1-0.6 м (в зависимости от угла возвышения КА); некомпенсированная двухчастотным методом исключения ионосферная погрешность - 0.1 м.

К случайным погрешностям относятся такие, как шумовая погрешность измеряемой дальности - 1.05-1.85 м; погрешность, обусловленная многолучевостью распространения радиоволн - 1.0-3.0 м; погрешность обработки псевдодальности в процессоре - 1.0 м; погрешность квантования дальности - 0.27 м.

Включив систематические погрешности (кроме погрешностей ЭИ) в вектор оцениваемых параметров, подвергнем случайные погрешности статистическому сглаживанию с целью их уменьшения до уровня, когда можно устранить многозначность. Путем известных методов статистической обработки единичных измерений псевдодальностей, значения названных погрешностей можно уменьшить до ± 9.5 см, что обеспечит надежное ($P=0.997$) устранение многозначности. Следует отметить, что сказанное справедливо для прямолинейного и равномерного движения объекта. Поскольку достичь этого в морских условиях практически невозможно, то в общую погрешность измерения псевдодальности непременно войдет динамическая погрешность измерителя, которая зависит от ускорений.

Снижение шумовых погрешностей измеряемых псевдодальностей и погрешностей многолучевости можно достичь двумя путями:

- а) увеличением соотношения сигнал/шум на входе приемника;
- б) сужением полосы пропускания измерителя.

Первый путь связан с сужением диаграммы направленности приемной антенны, что при 4-х КА требует управляемой четырехлепестковой диаграммы направленности антенны. В итоге это приведет к заметному усложнению и удорожанию аппаратуры.

Второй путь связан с возрастанием динамической погрешности при маневрировании и качке. Снизить динамическую составляющую и одновременно сузить шумовую полосу пропускания измерителя предлагается путем использования доплеровских измерений. В этом случае может быть достигнуто почти идеальное знание траектории движения фазового центра антенны в пространстве. При этом точность определяется погрешностью первого и последнего доплеровских измерений и достигает 1.5 см. Это в свою очередь позволяет усреднить приведенные к одному моменту времени измеренные псевдодальности как независимые и равнозначные. Расчеты показывают, что для того, чтобы устранить многозначность на несущей частоте, необходимо усреднить 1498 измерений, что займет 25.3 мин. Вряд ли столь длительное накопление информации может удовлетворить потребителей. Одновременно возрастает вероятность сбоя принимаемого сигнала, а для реализации предложенного способа не должно быть перерывов в доплеровских измерениях.

Поэтому воспользуемся известным в наземной радионавигации методом поэтапного устранения многозначности с использованием разностных частот. Разностная частота в СНС в 4.5 раза меньше несущей, тем самым требования к точности измеряемой дальности снижаются до 43 см (по сравнению с 9.5 см в случае использования несущей). Расчеты показали, что при этом время сглаживания уменьшается до 73 с, что в 21 раз меньше, чем при использовании несущей.

Устранив многозначность на разностной частоте, мы можем измерить дальность с погрешностью до 0.6 см ($P=0.68$). С учетом некомпенсированной остаточной ионосферной погрешности и погрешности ЭИ, а также с учетом геометрического фактора, получим погрешность определения места 3.0-4.5 м ($P=0.68$).

УДК 621.

ПРИНЦИПЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ФАЗОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ТИПА НАВСТАР

В.А. ХОДАКОВСКИЙ
(ВМА им. адм. Н.Г. Кузнецова)

Проблема повышения точности определения координат места в среднеорбитных СНС привела первоначально к внедрению дифференциального режима, а затем к непосредственным фазовым измерениям на несущей частоте. Однако в некоторых публикациях на эту тему есть противоречия, связанные с тем, что точность измерения фазы при современном уровне радиоизмерений может составлять тысячные доли периода, а точность измерения дальности или квази-дальности даже при оптимальной обработке сигнала не может превысить половины периода несущей частоты (половины длины волны).

Данное противоречие связано с тем, что используя даже высокоточное и непрерывное измерение фазы, невозможно устранить неоднозначность измерения дальности. Сигнал, излучаемый среднеорбитной СНС, после обработки в линейном оптимальном приемнике может быть сжат по времени до одного периода тактовой частоты передачи кода ПСП, т.е.

$$f_{\text{ПСП}} = 10 \text{ МГц, или } \tau = \frac{1}{f_{\text{ПСП}}} = 100 \text{ нс, или } 30 \text{ м по дальности. Длина волны несущей частоты}$$

$\lambda \approx 20 \text{ см.}$ Таким образом, после измерения псевдодальности остается неоднозначность в 150 длин волн несущей частоты.

Принципиально есть три возможности устранить указанную неоднозначность. Первая из них заключается в измерении доплеровской частоты на несущей, а вторая в использовании

интерферометрического метода, когда пара КА с известным расстоянием между ними образует базу интерферометра. В первом случае точность определяется крутизной кривой Доплера, а во втором случае будет иметь место неоднозначность фазометра.

Третья возможность связана с использованием разностных частот, а именно разности частот f_1 и f_2 и разности частот $(f_1 + f_{\text{ПСП}}) - f_2$ - т.е. частоты передачи кода ПСП. При этом длина волны первой разности $\lambda_1 = 80$ см, а второй $\lambda_2 = 30$ м. Если фазы указанных частот первоначально были сведены, то измеряя текущие значения фаз несущей и разностных частот можно устранить неоднозначность измерения дальности и получить СКП измерения дальности, равную СКП измерения фазы несущей частоты.

Данный подход справедлив для случая равноточных фазометров, однако, как правило, точность измерения будет зависеть от частоты. Для этого случая точное значение дальности может быть получено путем последовательного уточнения от самого грубого измерения, например, на тактовой частоте f_2 , до самого точного на несущей частоте f_0 .

УДК 621.

ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ СИНХРОНИЗАЦИИ ШКАЛ ЭТАЛОНОВ ВРЕМЕНИ

В.А.ХОДАКОВСКИЙ

(ВМА им.адм. Н.Г.Кузнецова)

Большая часть современных радионавигационных систем, в том числе и спутниковых, требует высокоточной синхронизации шкал времени. При этом для сведения шкал времени широко используется метод, основанный на преобразовании синусоидального колебания высокостабильного генератора в меандр с последующим дифференцированием и получением импульсов с крутыми передними фронтами, позволяющими выполнить высокоточное сведение шкал.

Однако такой метод сведения шкал обладает существенным недостатком - наличием ограничения на постоянную времени дифференцирующей цепочки, поскольку при очень малом ее значении амплитуда дифференцированного импульса будет слишком мала. Именно поэтому крутизна фронта реально получаемых импульсов после дифференцирования незначительно превышает крутизну исходного синусоидального сигнала.

Для увеличения амплитуды дифференцированного импульса при уменьшении постоянной времени необходимо накопить энергию синусоиды в течение периода T данного колебания, а затем всю накопленную энергию выделить на резисторе с очень малым сопротивлением.

Энергия, которая может быть накоплена на конденсаторе, прямо пропорциональна емкости конденсатора c и квадрату напряжения U на нем. Таким образом, для того, чтобы конденсатор за период накопил полную энергию синусоиды, необходимо, чтобы $c = T = 1/f$. Частота f синусоидального колебания в стандартах частоты обычно равна 5 МГц, т.е.

$$T = \frac{1}{5 \times 10^6} = 0.2 \text{ мкс} = 0.2 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$$
 Значит, для накопления полной энергии необходим конденсатор емкостью $c = T = 0.2$ мкф. Если резистор, через который разряжается накопительная емкость, будет иметь сопротивление $R = 0.001$ Ом, то постоянная времени цепи, являющаяся произведением $R \cdot c$, равна 0.2 нс. Следует отметить, что если в настоящее время точность сведения шкал частот 5 МГц не лучше единиц мкс, то здесь можно получить 200 нс.

УДК 623.8

ИЗ ИСТОРИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А.В. ФЕДОТОВ
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Рассматривается история становления и развития Гос. НИНГИ МО РФ. Прослеживаются основные направления его деятельности, описывается участие в разработке и создании новых образцов и методов использования технических средств навигации, гидрографии и гидрометеорологии. Характеризуются творческие достижения ученых Института в этой области.

Начало деятельности Института относится к 1939 г., когда приказом народного комиссара ВМФ от 10.03.39 г. на базе научно-исследовательского бюро Гидрографического управления РК ВМФ был сформирован Научно-испытательный гидрографическо-штурманский институт РК ВМФ (НИГШИ).

Первым начальником Института стал Н.И.Сигачев, впоследствии доктор технических наук, сделавший очень много для развития научных исследований в нашей стране в области создания новой навигационной техники. С первого дня образования Институт развернул широкий фронт научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в промышленности по своей навигационно-гидрографической тематике. В плане работы Института были предусмотрены исследования, направленные на создание приборов автоматического счисления и прокладки пути корабля, звукосигнальной и радиомаячной аппаратуры и других, сложных для того времени, технических средств.

Предвоенная деятельность Института позволила оснастить корабли ВМФ отечественными штурманскими приборами и отказаться от закупки их за рубежом.

С начала войны на кораблях и судах были введены противоминные обмотки. Для компенсации влияния этих обмоток на показания магнитного компаса В.Я. Павлиновым была предложена система электромагнитных катушек. Для обеспечения ночного плавания по фарватерам были созданы и освоены инфракрасные приборы – бинокль и пеленгатор. Для торпедных катеров были приспособлены серийные авиационные гиромагнитные компасы типа ГМК, а также разработаны лаги типа “Рейс” и “БЛС”.

Для малых кораблей была закончена разработка и начато серийное производство малогабаритных гирокомпасов типа “Гиря”, а для остальных – эхолота “НЭЛ-3”. Оперативно решались и многие другие задачи в области радиомаяков, радиопеленгаторов, ремонта навигационной и маячной аппаратуры. Многие сотрудники Института были откомандированы на флоты, где они были зачислены на должности в подразделения Гидрографических служб.

Несмотря на трудности военного периода не прекращалось создание навигационной техники. В промышленности разрабатывалась фазовая радионавигационная система “Координатор”, которая вместе с морским вариантом радиодальномерной системы “Рым” в сжатые сроки обеспечила послевоенное траление в удаленных от берегов районах. За время войны было принято на вооружение более двадцати и закончена разработка десяти новых образцов корабельной навигационной техники.

В послевоенные годы Институт занимался вопросами обеспечения штурманской техникой вновь строящихся кораблей различных классов и одной из главнейших задач – навигационным обеспечением послевоенного траления. Институт принимал оперативное участие в

восстановлении и развитии навигационного оборудования морей, создании классной оптики и круговых радиомаяков. Расширение фронта гидрографических работ обусловило создание промерных эхолотов.

К середине 50-х годов с участием Института промышленностью были созданы и приняты на вооружение: автоматический прокладчик “Путь-1” для крейсеров и эскадренных миноносцев, усовершенствованные гирокомпасы “Курс-3” и “Курс-4”, эхолоты “НЭЛ-4”, радиопеленгаторы “РПН”, “АРП”. Начиная со второй половины 50-х годов главные усилия Института были направлены на обеспечение строительства ракетно-ядерного флота, основу боевой мощи которого составляли подводные лодки. Период 1958-1963 гг. характеризуется расширением районов плавания кораблей ВМФ.

Обеспечение деятельности и плавания атомных подводных лодок в любых районах Мирового океана, в том числе и в Арктическом бассейне без всплытия в надводное положение, потребовало решения целого ряда сложных задач по их оснащению принципиально новыми техническими средствами навигации и морскими навигационными картами.

Вооружение атомных подводных лодок навигационными комплексами и другими специальными техническими средствами навигации, разработка Институтами методик и руководств обеспечивали с 1962г. подводные плавания к Северному полюсу и всплытия во льдах Арктического бассейна. В первом походе к Северному полюсу на атомной подводной лодке была организована научная группа из сотрудников Института и промышленности, которая производила испытания технических средств навигации по специальной программе.

Научная группа собрала уникальный материал по работе навигационных систем в высоких широтах и оказала помощь личному составу подводной лодки в проведении ответственного похода.

Деятельность Института конца 50-х – начала 60-х годов ознаменовалась завершением совместных с промышленными НИИ теоретических исследований принципов создания абсолютных (доплеровских) лагов, корабельных инерциальных систем, спутниковых и наземных радионавигационных систем различного назначения. В 1958 г. началась опытно-конструкторская работа по созданию гидроакустического лага. Первый отечественный низкочастотный гидроакустический лаг был принят на вооружение ВМФ в 1966 г. Следует отметить, что этот лаг не имел зарубежных аналогов и стал первым образцом навигационных приборов принципиально нового класса.

История создания первого корабельного навигационного инерциального комплекса началась в 1961 г., когда по инициативе Института при отделении технических наук АН СССР был организован научный Совет по проблеме “Научные основы построения систем навигации и автоматических устройств с применением новых физических явлений”, который возглавил видный ученый страны академик Б.Н.Петров. В состав Совета от ВМФ были включены представители нашего Института. Совет сыграл важную роль в координации исследований и в создании элементной базы инерциальной навигационной системы (ИНС). Основные трудности при разработке корабельных ИНС состояли в том, что ни один из имеющихся гироскопов не отвечал предъявленным требованиям, а цифровая вычислительная техника обладала низкой надежностью и отсутствовал опыт ее использования в контурах управления гироскопическими приборами.

Первый отечественный навигационный комплекс с инерциальной системой был создан в 1972 г. Внедрение его на подводные лодки сразу же повысило эффективность навигационного обеспечения оружия.

Сотрудники Института проявили много изобретательности и настойчивости при создании спутниковой навигационной системы. Первая идея по использованию искусственных спутников Земли для навигации была высказана в 1956 г. сотрудниками Института – В.А.Фуфаевым и Л.И.Гордеевым. Первые проработки путей создания такой системы начались в 1958 г. Научно-исследовательские работы по этой проблеме оценивались как пионерские.

Совместно с другими научными учреждениями всего за два года по существу были заложены основы низкоорбитальной спутниковой системы. Исследователи не могли опираться на какие-либо аналогичные проработки, работали самостоятельно, проявляя при этом смелость и инициативу. Эти исследования заложили в нашей стране научно-технический фундамент и подготовили к началу 1960 г. этап практического создания низкоорбитальной спутниковой навигационной системы. Однако по ряду причин начало опытно-конструкторской работы было задержано на четыре года. Первый отечественный навигационный спутник “Космос-192” был запущен 23 ноября 1967 г. Опытная эксплуатация системы началась в 1972 г. В это же время сотрудники Института совместно с другими учреждениями продолжали научные исследования для более тщательного анализа навигационного процесса при определении по спутникам.

Создание спутниковой навигационной системы было настоящей революцией в навигации. Особенно важна эта система для нашего военно-морского флота, так как позволяет определяться, используя отечественные системы, с высокой точностью в любой точке Мирового океана. Следует отметить, что советские и американские спутниковые системы создавались параллельно, независимо друг от друга, практически в одни и те же сроки. Различия в научных традициях и подходах приводили к неодинаковым техническим решениям.

Кроме названных главных направлений развития технических средств навигации, которым Институт уделял основное внимание, интенсивно разрабатывались технические задания и осуществлялось научно-техническое сопровождение разработок новых навигационных комплексов для подводных лодок и надводных кораблей, астронавигационных, радиоастронавигационных и радионавигационных систем, систем курсоуказания и измерения скорости, эхолотов и эхоледомеров, навигационных гидроакустических систем, электромагнитных систем ведущего кабеля, зрительных средств навигационного оборудования.

Учитывая особую значимость Северного Ледовитого океана и антарктических морей, сотрудниками Института были обоснованы и детально апробированы методы проведения гидрографических и геофизических работ в Арктике и Антарктиде. За участие в исследованиях Антарктиды Институт был награжден Большой медалью Географического общества.

В начале 60-х годов впервые в СССР по инициативе сотрудников Института были разработаны теоретические положения о морской цифровой картографии, автоматизации картосоставления, а в последующие годы и методы использования цифровых карт в автоматизированных системах. Итогом этих работ было внедрение в производство системы автоматизированных технических средств цифровой морской картографии.

Основные направления разработок Института в области гидрографии, геофизики и картографии были направлены на создание средств и методов изучения параметров гравитационного и магнитного полей Земли в море, на автоматизацию гидрографических работ, методов создания и использования морских карт.

Результаты исследований позволили совместно с промышленностью в 1964 г. создать и внедрить в практику гидрографических работ первый в мире многолучевой эхолот ГЭТ-1, гидрографический эхолот ГЭТ-2; в 1970-1977 гг. – гидрографический эхолограф бокового обзора ГЭБО-100, цифровой промерный эхолот ПЭЛ-4, первый отечественный трехлучевой эхолот с электронной стабилизацией гидроакустического луча ГЭЛ-3, разработать комплексы площадного обследования ГКБО-500 и 2000 и первую гидрографическую радиодальномерную автоматизированную систему.

Для решения задачи обеспечения картографическими материалами труднодоступных участков побережья были проведены теоретические и экспериментальные работы по использованию для этой цели аэроснимков. На основе этих исследований в конце 70-х годов были разработаны и внедрены методы определения глубин моря по аэро- и космическим снимкам. В эти же годы была решена задача камеральной обработки гидрографических работ на ЭВМ, а затем в сотрудничестве с Военно-топографической службой и промышленностью была создана специализированная ЭВМ ТЭМ. Модифицированные ЭВМ этого типа более 20 лет использовались в гидрографических подразделениях флотов. На последующем этапе были созданы и внедрены уже судовые автоматизированные комплексы сбора и обработки гидрографической геомагнитной информации АССОИ и АКОИ.

Важным результатом работы специалистов Института стали разработки по созданию высокоточных средств и методов изучения гравитационного поля Земли.

В 1976-1980 гг. впервые в СССР была разработана комплексная программа навигационного обеспечения нужд обороны страны и народного хозяйства до 1990 г. За период 1981-1985 гг. Институт разработал четыре целевых комплексных программы развития:

- автономных средств навигационных комплексов подводных лодок и надводных кораблей;
- высокоточных средств коррекции;
- средств гидрографического обеспечения;
- средств гидрометеорологического обеспечения.

В этот период был принят на вооружение ВМФ принципиально новый навигационный комплекс. Создание этого комплекса было отмечено Государственной премией СССР, а 14 сотрудников Института награждены орденами и медалями.

Создание новых технических средств навигации и гидрографии, опыт использования этих средств потребовали разработки специальных руководящих и методических документов. Сотрудники Института совместно со штурманами кораблей и соединений флотов, со

специалистами промышленности обеспечивали разработку и внедрение этих документов, что способствовало эффективному использованию новых навигационных комплексов.

Главной целью научно-исследовательских работ, проводимых гидрометеорологическими подразделениями Института в течение всего периода их существования, являлось повышение эффективности гидрометеорологического обеспечения ВМФ. Наиболее последовательно за истекшие годы (начиная с 1947 г.) проводились исследования по изучению влияния гидрометеорологических факторов на технические средства ВМФ. Заметным итогом этих исследований явилось составление и издание в 1960 г. «Справочника по влиянию гидрометеорологических факторов на технические средства и личный состав ВМФ». С начала 70-х годов Институт начал заниматься автоматизацией технологии гидрометеорологического обеспечения. К настоящему времени выполнен ряд работ, позволивших, с одной стороны, автоматизировать процесс поступления гидрометеороинформации в АСУ, а с другой, – решить методические и технические вопросы автоматизации приема и обработки данных в гидрометеорологических частях флотов. Одновременно систематически совершенствовались методы прогноза гидрометеорообстановки, способы сбора океанографических данных и их обобщения для описания климата океанов и морей. В результате было выпущено несколько гидрометеорологических пособий для флота.

В начале 70-х годов возникла необходимость проведения исследований пространственно-временной изменчивости геофизических полей с использованием экспедиционных судов и буйковых станций. Разработанные для решения этой задачи методы реализовались в ходе экспедиционных исследований Мирового океана, выполнявшихся научно-исследовательскими судами ВМФ, Академии наук и Госкомгидромета СССР.

К концу 80-х – началу 90-х годов появилась настоятельная необходимость применения искусственных спутников Земли для ГМО и изучения океанов, что потребовало обоснования состава технических средств гидрометеорообеспечения. Методология такого подхода успешно совершенствуется и в настоящее время.

Одной из важных сторон деятельности гидрометеорологических подразделений Института была разработка совместно с промышленностью океанографической исследовательской аппаратуры, устанавливаемой на глубоководных аппаратах, подводных и надводных буйах. За последние десятилетия они добились значительных достижений в решении таких вопросов как:

- разработка методологии и методов оценки эффективности гидрометеорологического обеспечения ВМФ;
- изучение влияния гидрометеорологических факторов на технические средства навигации;
- совершенствование технологий получения гидрометеорологической информации и их автоматизация.

В 1991-1993 гг. в связи с политическими и экономическими явлениями в стране Институт расширил сферу своей деятельности на чисто гражданские приложения методов и средств навигации, гидрографии и гидрометеорологии.

Одним из таких направлений являются работы, нацеленные на создание единого радионавигационного поля (ЕРНП) в интересах не только Министерства обороны, но и гражданских министерств и ведомств, включая все виды транспорта. В рамках этой работы Институт в качестве головной научной организации подготовил проект федерального Российского радионавигационного плана до 2000 г.

В 1992 г. Институтом организована и проведена 1-я Всероссийская конференция по проблемам морской и воздушной навигации, в которой приняли участие представители министерств, ведомств и научных организаций Российской Федерации.

Научные исследования, проведенные в Институте совместно с другими научными учреждениями, позволили обосновать создание единой среднеорбитальной спутниковой навигационной системы для потребителей различного назначения. Усилиями нашей отечественной промышленности такая система, получившая название ГЛОНАСС, была создана и ее первая очередь сдана в эксплуатацию в 1993 г. Научные исследования сопровождали ее на всех этапах создания и продолжаются после сдачи системы в эксплуатацию.

Внедрение этой системы позволит всем движущимся объектам, где бы они не находились – на суше, в море или в воздухе – непрерывно автоматически с высокой точностью (60 м и точнее) и надежностью получать свое место в единой координатно-временной системе. Объединение этой системы с американской системой НАВСТАР позволит еще более надежно решать все проблемы, связанные с навигацией подвижных объектов.

Официальное признание статуса Института как головной национальной научно-исследовательской организации, ответственной за обоснование и разработку технической политики в области навигации, гидрографии, морской картографии, океанографического обеспечения обороны и экономики страны, нашло отражение в специальном постановлении Правительства РФ от 19.06.94 г. N711 "О совершенствовании научных исследований в области навигации, гидрографии и океанографического обеспечения". Вслед за повышением статуса Института до общегосударственного был осуществлен переход от выпуска внутриведомственных институтских трудов к изданию периодического научно-технического журнала "Навигация и гидрография", что имело целью привести в соответствие с новым положением о Гос. НИНГИ ранг его печатного органа, преобразовав последний в общероссийскую трибуну по вопросам навигации и гидрографии. В определенной мере способствовать этому сможет и организуемая Институтом в ноябре 1995 г. Вторая Российская научно-техническая конференция "Современное состояние, проблемы навигации и океанографии".

В заключение хотелось бы отметить, что создание перспективных технических средств навигации, гидрографии и гидрометеорологии стало возможно только на основе фундаментальных исследований в области гироскопии, лазерной и вычислительной техники. Такие исследования проводились как в академических, так и в прикладных институтах и позволили совершить ряд революционных сдвигов в области навигации и гидрографии.

В результате Институту совместно с промышленностью удалось обосновать и решить ряд крупных научно-технических проблем. К ним относятся:

- создание корабельных инерциальных навигационных систем и построение на их основе навигационных комплексов;
- разработка и создание спутниковых навигационных систем, что позволило построить концепцию единого радионавигационного поля и перейти к ее реализации;
- разработка и создание абсолютных доплеровских гидроакустических лагов;
- начало планомерной съемки геофизических полей Земли, что стало возможно в результате разработки прецизионной съемочной аппаратуры, а также глобальных высокоточных средств определения места;
- разработка и внедрение технических средств и методов, позволяющих представлять, хранить и обрабатывать картографическую информацию в цифровом виде.

Заслуги сотрудников Института высоко оценены командованием ВМФ и правительством. Указом Верховного Совета СССР от 2 февраля 1984 г. Институт награжден Орденом Трудового Красного Знамени.

За выдающийся вклад в разработку технических средств звания лауреатов Ленинской премии были удостоены Ю.И.Максюта и В.Д.Теплов, а лауреатами Государственной премии стали Н.И.Сигачев, С.П.Ростовцев, В.А.Климантович, Ю.В.Ладинский, И.М.Безуглый, А.М.Червяков, А.И.Косниковский, Е.Ф.Суворов, В.А.Фуфаев, В.П.Заколяжный, Ю.А.Обухов, И.И.Тузов, А.К.Овчинников, А.И.Сорокин, Б.Е.Иванов. Премии Ленинского Комсомола были удостоены Н.А.Минаев, В.М.Герасимов, К.А.Виноградов, Г.И.Емельянец, Б.А.Осюхин, И.Ф.Корниенко, А.Н.Илясов.

В 1988 г. в Институте был образован специализированный Совет по защите докторских диссертаций. В настоящее время в Институте трудятся около 80 докторов и кандидатов наук.

**ЧЕРНОМОРСКИЙ ФЛОТ ПРИ М.П.ЛАЗАРЕВЕ
(ОТРЫВКИ ИЗ ВОСПОМИНАНИЙ АДМИРАЛА И.А.ШЕСТАКОВА
“ПОЛВЕКА ОБЫКНОВЕННОЙ ЖИЗНИ”)**

И.А.Шестаков (1820–1888 г.), адмирал, с 1859 г. член Морского и Кораблестроительного технического комитетов, с 1881 г. – председатель Кораблестроительного отделения Морского технического комитета, с 1882 г. – управляющий Морским министерством; генерал-адъютант. Активно содействовал созданию парового и строительству броненосного флота в России. Всю жизнь вел дневники, которые позднее легли в основу его мемуаров. Отрывок из них, описывающий начало службы автора на Черноморском флоте в 1836–1841 гг., борьбу с засильем на кораблях греческого командного элемента и становление национального офицерского корпуса, предлагается Вашему вниманию.

Материал подготовлен к печати В.В.Козырем. Допущены отдельные купюры по тексту авторской рукописи, при этом язык оригинала, в основном, сохранен практически без изменения.

М.П.Лазарев, назначенный в 1833 г. Главным начальником Черноморского флота¹, застал флот отдохавшим на лаврах последней турецкой кампании 1828–1829 гг. Насколько отдых этот был основателен, известно уже из истории; что он был положительно вреден, как всякий продолжительный отдых, доказала Босфорская экспедиция 1833 г. *(Имеется в виду военная поддержка султана в войне с его мятежным вассалом, египетским пашой Мехмет-Али. И хотя посланный в Босфор Российский флот в этой борьбе активных операций не предпринимал, в ходе обеспечивающих действий отчетливо проявилась его слабая боеготовность. – В.К.)*².

Ее значение и цель наших морских сил на юге выказалась осязательно, но вместе с тем уяснилась необходимость всегдашней готовности, вечного бодрствования, на которые тогдашний состав, личности и состояние материальной части никак не позволяли рассчитывать. Опыт в подчиненном положении, где недостатки усматриваются легче и удобнее, в особенности знакомство с личностями не в тумане канцелярской атмосферы, а на доступном безошибочной оценке поле живой действительности, приобретенные адмиралом во время командования Босфорской экспедицией, утвердили его взгляд и укрепили решимость изменить совершенно существующий порядок.

Усовершенствование материальной части не представляло затруднений. Познания и ревность при данных правительством средствах скоро подвинуло дело, в котором адмирал находил истинное наслаждение и отдохновение душе, болевшей от интендантских и канцелярских уязвлений. Не в кораблях и адмиралтействах было главное и труднейшее дело. В величественные массы, в затейливые механизмы нужно было вдохнуть дыхание жизни, провести в них электрический ток, одарить их силой мысли, духом ревности. Предстояло создать людей.

Прискорбны гонения вообще, в особенности поднимаемые на целые сословия, общества или расы. Но если крепко сплотившаяся ассоциация упорно держится привычек, вредящих общей пользе, если слепая к новым требованиям, она отвергает прогресс только потому, что им изменяется существующее, если, вдобавок, за упорство и недвижимость закоснелых

¹ Одновременно командир портов Черного моря, военный губернатор Севастополя и Николаева. (Прим.ред.).

² Здесь и далее все справки по тексту, заключенные в скобки, принадлежат В.В.Козырю. (Прим.ред.).

староверов может в будущем пострадать государство, общественному деятелю, крепкому убеждением и преданностью родине, никто не может вменить в преступление ожесточенной борьбы с подобными элементами. Он не должен поступать иначе; грустная доля жертвовать многими в его положении осветляется уверенностью, что обеспечивается польза и спокойствие всех. Наряду с усилиями по возрождению флота, вместе с приглашениями прежних сослуживцев придти помочь ему в многотрудном деле Лазарев начал преследовать греческий элемент тем с большой ревностью, что нестрогие принципы местного греческого общества возмущали его, как человека.

Выходцы из Архипелага после Чесменской кампании основали, как известно, колонию в Балаклаве, у самых вод, омывающих Севастополь. *(После русско-турецкой войны 1768–1774 гг. в Балаклаве были поселены сражавшиеся на стороне русских греки из Архипелага. Отличные мореходы, они составили основу экипажей кораблей Черноморского флота в период его становления. – В.К.)*. Нет сомнения, они внесли в местность дух морской предприимчивости и даже торговли. Колония с влечением к морю скоро подметила выгоды государственной службы во вновь приобретенном Россией отдаленном крае. Когда с кончиной Екатерины прошла крымская лихорадка и политика наша в силу обстоятельств променяла восточный вопрос на западный, плодородная Новороссия и чудный Крым с его дивной гаванью перестали притягивать коренных россиян и архипелагские выходцы мало-помалу завладели всеми отраслями государственной службы как своим достоянием. Балаклавская колония, имея под рукой целый флот, вползла в него со всей ловкостью и хитростью, свойственными греческому племени, заняла все места и до того сохранила свою особенность, что еще в 1831 г. случалось слышать комментарии русских командных слов на греческом языке и я сам был свидетелем, как лейтенант Левшин обратился к адмиралу с просьбой перевести его с корабля “Анапа” на другой, так как он не слыхал в кают-компании русского наречия.

Никто не станет винить их в усилиях монополизировать сподручную отрасль службы при дремлющем или близоруком правительстве. Но еще менее можно отвергать у правительства права пробудиться, стать чутким к истинным своим интересам и желать положить конец ненормальному антинациональному порядку вещей, оскорбляющему народное самолюбие в настоящем и чреватому бедами в будущем. Военная сила должна быть народная по преимуществу.

Была и другая, чисто нравственная причина, требовавшая изменений. Большинство служивших греков были собственниками в Севастополе или в ближайшем с городом соседстве. Соблазнительная близость арсенала и адмиралтейства, доставлявших огромные средства, вместе с властью распоряжаться рабочей государственной силой, смешали понятия о частной собственности с казенной. Выписали людей других взглядов, совпадавших с взглядом начальника, поставили их сразу в значащее положение и поручили им проповедовать словом и делом новое учение. Нахимов, Корнилов, Путятин *(Воспитанники М.П.Лазарева. Офицеры, отличившиеся высоким понятием чувства долга и совести. – В.К.)* и другие сослуживцы адмирала с давнего времени, люди совершенно различных темпераментов и воззрений на многое, дружно сходились в служебных принципах. Скоро около каждого собрались кружки и пропаганда пошла весьма успешно среди молодежи, восприимчивой к добру. Нравы были грубы и в прямой пропорции к грубости нравов, как всегда и везде, стоял нравственный уровень, действовало или правильнее сказать дремало чувство собственного достоинства. Меры, принятые для привития к служивому сословию более строгих понятий о должном и недолжном, были различны, и секрет умения Лазарева, помимо собственной его личности, вызывавшей невольное уважение, состоял главнейше в оправданной опытом аксиоме: окружите человека порядочностью и он сам станет порядочным.

Корабли стали отделять щеголевато, допустили послабления в форме, не делавшей различия между грязным и опрятным человеком, строго соблюдали дни отдохновения, в которые каждый работник периодически становится мыслящим смертным, с обычной душой, жадной к высшим нравственным впечатлениям, и, наконец, ввели довольно свободный дух критики. Главными же средствами к введению порядочности был клуб и библиотека, которые играли роль важных законодательных учреждений. Свободное время, буйно разматываемое дотопе по грязным притонам разврата, начали сносить в великолепный клуб. Нельзя было вносить грязь и грубость в светлые, пышно убранные комнаты; трудно было не воздержаться на глазах своего сословия, собиравшегося в том же месте. Еще страннее было бы не посещать классической по архитектуре и содержанию библиотеки, богатой специальными книгами, превосходными картинами и инструментами, содержимой в порядке, для русских заведений подобного рода тогда еще новом. Каждый из нас входил в храм мудрости, высившийся на самой маковке городской горы, с некоторым благоговением.

Живо помню впечатление, производимое пожаром, почти истребившем библиотеку на третий год ее существования. (*Севастопольская Морская библиотека была основана 27 июля 1821 г. Здесь упоминается пожар, случившийся в 1845 г. от неисправных печей в новом здании, который почти истребил само строение, часть книг и материальное имущество библиотеки. – В.К.*). Молодежь, и даже не молодежь, выказала героическое самоотвержение, спасая дорого стоившие предметы; это было общее бедствие; от адмирала до мичмана все принимали в нем сердечное участие. Даже сам М.П.Лазарев написал такое исполненное горести и душевных страданий представление, что государь приказал тотчас возобновить библиотеку в том же виде, и она снова поднялась, еще более величественная, над живым еще тогда Севастополем.

С библиотекой и клубом связаны два обстоятельства, показывающие, как легко распоряжается произвол чужой собственностью и теряет свою. Бесконечная история сенявинских призов известна всем служащим во флоте. (*Речь идет о вознаграждении моряков эскадры Д.Н.Синявина за взятые в период Адриатической экспедиции 1806 –1807 гг. призы, решение о выдаче которого последовало с большим запозданием, лишь в 1817 г., спустя 8 лет по представлению в правительство соответствующих документов.– В.К.*) Большинство участников, имевших на них право, отошли в описываемое время к праотцам, некоторые без прямых наследников или с такими, которым нужно было доказать права свои. Не стеснявшаяся законом и законностью власть порешила дело. Невыплаченные призовые деньги велено было присоединить к суммам, образовавшимся из известных процентов жалованья нашего, которые удерживали каждую треть, и все употребить на воздвигавшиеся здания.

С другой стороны, различные предметы, необходимые для устраиваемых сословных учреждений, выписывались из-за границы и подлежали таможенным пошлинам, составляющим долю средств той же власти. Как-то утром, проснувшись, севастьяпольцы увидели на библиотеке мраморные статуи и барельефы. Таможенное начальство удивилось внезапному явлению и донесло на Архимеда и Ксенофонта, как на контрабандистов. Наслали целую комиссию. Статуи оказались привезенными на возвращавшемся с заграничной станции бриге, были бережно выгружены и вознесены на место без малейшего участия фиска.

В числе средств к возвышению сословия в собственных глазах я указал легкость, которая была допущена в разборе действий сослуживцев, даже начальствующих, разумеется вне службы. Служба велась очень строго и в ее жесткие часы не терпелось никаких проявлений самостоятельности. Зато в часы свободные языки развязывались на “мысе свободных размышлений”, как называли обрыв бульвара, а преимущественно на Екатерининской, по народному – Графской, пристани. Ее широкая каменная лестница ведет к площадке, удачно окаймленной колоннадой, представляющей подражание славным Пропилеям. С площадки движения на кораблях и на шлюпках были, как на ладони. К пристани после дневных работ причаливала освободившаяся от флота молодежь; город, со своей стороны, высылал туда представителей. Пропилеи и голубое небо напоминали древнюю Элладу, и место обращалось в истинный форум. Сначала гордые летями подсмеивались над этим ареопагом, но впоследствии, когда суждение и критика приобрели по своей серьезности права гражданства, старость стала прислушиваться к мнениям молодости. Склонные по закону природы к спокойствию и застою невольно одушевлялись пылом нового поколения, которое вначале вело к развитию. На Графской пристани совершался утешительный процесс взаимодействия возрастов и понятий, от которого не спасались и, к чести их следует прибавить, не уклонялись и самые авторитеты, хотя их честное, бескорыстное слово долго было законом. Читатель видит, что я недаром включил Графскую пристань в число социальных учреждений Севастополя и Черноморского флота.

Службой считалось только то, что вело прямо к цели – пребывание в море, или, как выражались, в походе. Необходимые канцелярии и береговые места вели свое обычное, неизменное и ничем не сокрушимое существование, городили горы предписаний и отношений. Но на Черном море в действительности “администрация служила флоту, а не флот администрации”. Главное гнездо канцелярщины, Николаев, был заперт для офицеров, как чумной квартал. Высылкой наплывших туда охотников до окольных путей ревностно и подчас оригинально занимался начальник штаба С.П.Хрущов. (*Адмирал, кругосветный мореплаватель, участник Наваринского сражения и блокады Дарданелл. С 1838 г. по 1849 г. был начальником штаба Черноморского флота и портов. Впоследствии – член Адмиралтейств-Совета. – В.К.*) Его аргусовский взгляд безошибочно вымаргивал искателя канцелярской протекции. И нередко прикидывавшегося больным ловкого пройдоху в тиши ночной бережно переносили с постелью на пароход или транспорт, уходивший с рассветом в Севастополь. Таланту, энергии, страсти к деятельности открывалось широкое море; там и

только там можно было ожидать служебных благ и внимания начальства. Не как на исключение, а как на факт, повторявшийся с многими, укажу на первые одиннадцать лет собственной службы: из них семь в положении подчиненного и четыре командиром я провел в море, за исключением одиннадцати месяцев, употребленных на печатание переведенной мною многотомной истории английского флота. (*Имеется в виду 6-ти тт. "Военно-морская история Великобритании со времени объявления войны Франции в 1793 г. до вступления на престол Георга IV" У.Джеймса. – В.К.*). Эти постоянные плавания, совершенно отвечая специальным требованиям дела, вовсе не мешали разнообразному развитию молодежи. Суровое кавказское крейсерство (*Крейсерство эскадр Черноморского флота под командованием М.П.Лазарева у Кавказского побережья в период 1830-1840 гг. – В.К.*) учило только жесткому ремеслу; зато заграничные станции (*Направление в порты государств, с которыми Россия поддерживала дипломатические отношения, кораблей-стационаров для обеспечения дипломатических миссий, наблюдения за режимом плавания и снабжения информацией русских судов, плавающих в этих водах. – В.К.*), которые адмирал смог монополизировать для Черноморского флота (*По просьбе М.П.Лазарева стационарами в порты Черного, Мраморного и Адриатического морей назначались суда исключительно Черноморского флота. – В.К.*), доставляли средства разнообразить и расширять кругозор молодых офицеров.

В походах, как я сказал, царила большая строгость. Не раз случалось мне впоследствии слышать (от людей, в походах не бывавших) укор, что на Черном море матроса не жалели. Однако едва ли в какой-либо отрасли русской службы заботились о низших чинах с такой ревностью и бескорытием. Правда, на телесные наказания не скупилась, но где же тогда отвергали это зверское средство? К побуждениям наших руководителей, взрослых на английских понятиях о морской дисциплине, присоединились отечественные заимствования от соседей в виде шпицрутенов и т.п., и, наконец, самих нас не жалели в школах. Все это не оправдание, но должно быть включено в число объясняющих приговор причин. Повторяю: были строги, очень строги, но вместе с тем старались быть если не правыми, то справедливыми в жестокости и, карая, ухватывались за всякий случай взлелеять обреченного на суровую долю матроса. Лучшим доказательством тому служило санитарное состояние кавказских эскадр при условиях чрезвычайно невыгодных. По Адрианопольскому трактату с Турцией (1829 г.) Порты отказалась от всякого покровительства горским племенам Кавказа. Война за господство на перешейке, перерезанном гигантским хребтом, велась с большею или меньшею деятельностью с того времени, как могучий Петр отодвинул турецкое владычество от берегов Азовского моря. Кавказские герои приобретали костью и кровью заповедные горские тущобы. Сам кавказский орел, быстрый и зоркий А.П.Ермолов (*С 1817 г. по 1827 г. являлся Главнокомандующим в Грузии и Командиром Отдельного Кавказского корпуса. – В.К.*) неохотно витал по недоступным твердыням и, видя суетность случайных набегов и погромов, положил основание системе постоянного угнетения горцев в тесное пространство.

Но пока берег представлял удобную окраину для сношения через море с Турцией, усилия смирить непокорных не могли быть действительными. Кавказское население получало морем все нужное, а в особенности соль, огнестрельные снаряды и даже предводителей из числа польских эмигрантов, дышавших непримиримой к нам злобой. Не одни, впрочем, поляки, а и всякого племени авантюристы стекались на вершины Кавказа "преломить копьё" в борьбе свободолюбивого народа с алчным деспотизмом, как представляли вопрос европейские глашатаи. Поборникам права не приходило в голову, что на Кавказе с одной стороны боролись дикари, не признававшие у себя иного права, кроме права сильного, а с другой стороны стояло право самосохранения. Они не хотели уяснить себе, что историческими этапами русский люд перешагнул за Дон, разошелся по плодородным равнинам между Доном и Кубанью и уперся в крепкий кряж, с которого туземцы не только мешали дальнейшим его успехам, но всякому мирному прогрессу на пространстве, уже занятом. Весьма понятно, что при таком воззрении, политики, которым не давалась политика дома, и торгаши, не умевшие вести честную торговлю, пользовались открытым побережьем, представлявшим множество пунктов для пристанища.

Продолжение следует

Ваши замечания и предложения по данному материалу просьба направлять как в редакцию, так и непосредственно В.В.Козырю (по адресу: 197341, С.-Петербург, ул. акад. Королева, д.19, кв.637).

УДК 621. 396

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В США

В.С.МАКОДА
(Гос. НИНГИ МО РФ)

Характеризуются основные элементы СНС ТРАНЗИТ и НАВСТАР. Основное внимание уделяется последней. Приводятся данные по современной зарубежной приемной аппаратуре потребителей СНС.

Начало развития навигации по спутниковым системам (СНС) было положено в 1958 г., когда в рамках программы создания первого поколения атомных ракетных подводных лодок США (ПОЛЯРИС) была начата разработка системы ТРАНЗИТ. В настоящее время в эксплуатации находятся две американские спутниковые навигационные системы: низкоорбитальная ТРАНЗИТ, введенная в строй в июле 1964 г. и среднеорбитальная НАВСТАР, задействованная в декабре 1993 г.

Структурно система ТРАНЗИТ состоит из трех подсистем: наземного командно-измерительного комплекса, орбитальной группировки спутников и аппаратуры потребителей. Всего за время существования системы было выведено на орбиту 29 навигационных спутников трех модификаций. Каждый спутник излучает две частоты: $f_1 = 400$ МГц и $f_2 = 150$ МГц. Расчетный срок службы спутников составляет 7 лет, фактически большинство спутников проработало на орбите 10-15 лет. Система ТРАНЗИТ подтвердила высокую эффективность спутниковой навигации. Погрешность (СКП) определения координат места двухчастотным приемником составляет 32 м, одночастотным – 80-100 м [1]. Около 90 тысяч кораблей и судов мирового флота оснащены соответствующей приемной аппаратурой. Министерство обороны (МО) США планирует использовать эту систему до 1996 г.

Система НАВСТАР предназначена для безопасного (пассивного) непрерывного определения трехмерных координат, вектора скорости и времени потребителей с высокой точностью в любой точке на поверхности Земли и в околоземном пространстве в любую погоду космическими, морскими и сухопутными объектами как военного, так и гражданского назначения.

СНС НАВСТАР, как и ТРАНЗИТ, состоит из трех подсистем: орбитальной группировки спутников, наземного командно-измерительного комплекса и аппаратуры потребителей. Орбитальная группировка включает в себя 21 рабочий и 3 активных запасных спутника на круговых орбитах, высотой около 20000 км. Спутники равномерно рассредоточены в шести орбитальных плоскостях. Такое построение обеспечивает непрерывное нахождение более 4-х спутников в пределах видимости для любого района Земного шара.

Для определения координат места потребителями используется созвездие из четырех или трех спутников системы (для трехмерного или двухмерного определения). Каждый спутник системы НАВСТАР передает радионавигационные сигналы на двух когерентных несущих частотах 1575.42 и 1227.6 МГц. Сигналы моделируются двумя типами кодов – основным P – защищенным, обеспечивающим точные измерения и доступным только военным потребителям, и кодом C/A – легко обнаруживаемым, обеспечивающим грубые измерения и доступным любым потребителям.

Проведенные на этапе развертывания системы экспериментальные оценки точности определения места показали, что при отсутствии преднамеренных помех (режима селективной доступности SA, когда в канале C/A кода преднамеренно загроуляются эфемериды KA и измерения навигационного параметра) СКП навигационных определений по коду C/A составляет 15-20 м, а по коду P – 7-10 м. МО США объявило, что погрешность канала C/A для гражданских потребителей будет поддерживаться на уровне 100 м (P=0.95).

В настоящее время насчитывается более 45 тыс. комплектов аппаратуры потребителей системы НАВСТАР [2]. Ею оснащаются ракеты, самолеты, корабли, суда, наземные транспортные средства, личный состав сухопутных войск и т.д.

Система хорошо зарекомендовала себя в период проведения операции “Буря в пустыне” в 1991 г. Аппаратурой СНС НАВСТАР были вооружены 37 стратегических бомбардировщиков В-52, вертолеты МН-53, а в пехотных частях насчитывалось 9000 приемников системы. Траление мин в Персидском заливе было выполнено с помощью дифференциального режима СНС НАВСТАР, который обеспечивал точность непрерывного определения координат места с погрешностью менее 10 м (P=0.95) [3]. Суть дифференциального метода заключается в том, что в пунктах с известными координатами устанавливаются контрольные станции, которые отслеживают сигналы спутников, определяют расхождения между фактическими и расчетными значениями псевдодальностей, вычисляют поправки к принятым сигналам и передают их потребителям, находящимся в зоне действия контрольной станции. Эффективная дальность локального и регионального методов дифференциального режима простирается до 1500 км. При использовании сетей дифференциальных станций может быть реализован “глобальный” дифференциальный режим с дальностью порядка 3500-4000 км от центральной контрольной станции. Погрешность определения координат места при таком методе может быть доведена до 20-30 м (P=0.95) даже при наличии режима селективной доступности (CA) [4]. В качестве передающих контрольных станций могут быть использованы существующие станции сети РСН ближнего действия, радиомаяки, геостационарные спутники-ретрансляторы типа ИНМАРСАТ и т.п.

В мире уже действуют экспериментальные сети СНС НАВСТАР в дифференциальном режиме, разрабатывается и серийно изготавливается аппаратура контрольных станций и потребителей. В частности, фирмы SCORPIO MARINE и MEASUREMENT DEVICES образовали новую компанию, призванную обеспечить высокоточное координирование работ на шельфе Северного моря в дифференциальном режиме; фирма MAGNAVOX разработала вариант контрольной станции МХ-4818 для обеспечения научных, военных, топогеодезических и промышленных работ, которые требуют точного координирования 1-4 м [5].

Характеристики типичных образцов современной зарубежной аппаратуры потребителей приведены в таблице.

Сводные данные по типичным образцам современной зарубежной приемной аппаратуре потребителей СНС

Название аппаратуры	СКП определения		Габариты, см	Масса, кг	Цена, дол.
	места,* м	скорости, м/с			
Trimpack (AN/PSN-10)	25/2	0.2	16 x 17 x 5	1.9	6300
TransPak	15/2	0.1	16 x 17 x 5	1.9	4000
NavGraphic	15/2	0.1	Общий объем 16.7 л	9.5	8000
NavTrac XL	18/2	0.1		30 x 7 x 16	1.6
Ensign	25/3-5	0.1	8 x 17 x 3	0.4	940

(*) Примечание: числитель – стандартный режим; знаменатель – дифференциальный режим.

Trimpack – портативный переносной приемник в военном исполнении (герметичный, противоударный). Может работать при температуре от -30° до +50° С. Сохраняет работоспособность после пребывания в течение 4,5 ч под водой. Нарботка на отказ – 15000 ч. Управление максимально упрощено и рассчитано на работу в автомобиле, движущемся по разбитой дороге. Ввод начальных данных по месту, широте и времени не требуется. Простой поворот рукоятки позволяет получить на дисплее различные варианты навигационной информации: 3 координаты, которые могут быть выданы в любой из 50 систем координат, расстояние и курс до очередной точки заданного маршрута, время прихода в точку и т.д. В случае стационарного расположения приемник производит осреднение последовательных наблюдений с целью получения максимальной точности. Для работы с приемником обучение практически не требуется.

TransPak – гражданский вариант военного приемника Trimpack. Допускает ввод 999 точек маршрута. Может передавать путевые точки и текущее местоположение в другой компьютер, если необходимо постоянно регистрировать местоположение или изображать траекторию движения.

NavGraphic – приемник с отображением на цветном дисплее картографической информации. На дисплее представлена метка своего места на цифровой навигационной карте, а также другие данные, как в приемнике TransPak. Может работать в дифференциальном режиме.

NavTrac – приемник, в котором на черно-белом экране дается трехмерное перспективное изображение, где указан путь судна к очередной маршрутной точке с указанием

действительного его положения относительно оси заданного маршрута. Это делает следование по курсу таким же наглядным, как движение по шоссе.

У последних двух приемников предусмотрена возможность подключить дистанционный водонепроницаемый репитер, копирующий в другом посту управления изображение дисплея основного приемника.

Ensign – персональный миниатюрный приемник, определяющий три координаты. Возможна запись 100 путевых точек. Питание внешнее или внутреннее (батареек хватает на 10 ч работы). При необходимости работы внутри помещения возможно подключение выносной наружной антенны. Возможна работа в дифференциальном режиме.

АП СНС развивается по пути повышения ее надежности, снижения массогабаритных характеристик и энергопотребления. На этапе экспериментальной эксплуатации СНС НАВСТАР, когда неполный состав орбитальной группировки КА не обеспечивал непрерывно глобальную рабочую зону, практиковалось комплексирование АП СНС НАВСТАР с приемными модулями системы ТРАНЗИТ или другими наземными РНС. В настоящее время осуществляется комплексирование АП СНС НАВСТАР с автономными средствами выработки курса и скорости и малогабаритными инерциальными системами, что дает возможность на надводных кораблях реализовать обзорное счисление. Переход в последнее время к микромодульному исполнению АП СНС позволяет включать ее блоки в самые различные комплексы управления подвижными объектами.

Ожидается, что система НАВСТАР будет иметь широкое применение в системах управления движением воздушных, морских и наземных объектов, в обеспечении наземных транспортных перевозок, в поисково-спасательных операциях, при гидрографических работах, в космических исследованиях.

Вместе с тем, учитывая принадлежность системы НАВСТАР к МО США, рядом международных компаний проведена разработка проектов коммерческих спутниковых систем, предназначенных как для навигационного обеспечения, так и для другого функционального назначения. К числу таких систем относятся НАВСАТ, ГРАНАС, ГЕОСТАР.

На основе изложенного можно отметить следующие тенденции, обозначившиеся в разработке спутниковых навигационных систем:

- полномасштабное введение в широкую эксплуатацию СНС НАВСТАР, включая дифференциальные варианты ее использования;
- стремление одновременно иметь в эксплуатации международные системы, независимые от правительств и предназначенные для гражданских потребителей;
- расширение функций систем, направленных на комплексное решение задач, связанных с управлением движением различных объектов и автоматическим процессом определения координат бедствия объектов;
- стремление к сокращению экономических затрат, как определяющего фактора при выборе перспективных направлений развития систем.

УДК 681.327.1: 629.7.05

РАЗРАБОТКА СУДОВЫХ “ЧЕРНЫХ ЯЩИКОВ” ЗА РУБЕЖОМ

П.С.ВОЛОСОВ
(Гос. НИНГИ МО РФ)

На примере ряда зарубежных компаний рассматривается ход разработки и испытаний судовых “черных ящиков”, предназначенных для регистрации обстоятельств плавания и выявления причин морских происшествий.

В середине 80-х – начале 90-х годов ряд зарубежных судовладельческих компаний и классификационных обществ проявил повышенный интерес к обоснованию необходимости разработки требований и созданию опытных образцов автоматических регистраторов обстоятельств плавания (АРОП), аналогичных по назначению известным в авиации “черным ящикам”, которые могли бы оказать существенную помощь в анализе причин морских происшествий.

Идея автоматизации регистрации данных о характере плавания судна появились давно. Но первые регистраторы команд, подаваемых на рулевое управление и машинный телеграф, могли записать очень ограниченную информацию, не решавшую поставленной задачи. В то же время, вызванное экономическими причинами сокращение личного состава судов, обеспечивающего безопасность плавания, а также повышение нагрузки на вахтенных, связанное с увеличением скорости, интенсификацией судоходства, ростом вместимости судов и т.п. стали затруднять ведение привычного вахтенного журнала. В связи с этим при столкновениях или посадке на мель, а также происшествиях другого рода на судах не оказалось четко документированной информации о причинах возникновения аварийной ситуации и действиях вахты по ее предупреждению.

Регистрация обстоятельств плавания стала необходима судовладельцам и страховым компаниям не только для доказательств вины или, наоборот, невинности одной из сторон при судебных разбирательствах инцидентов по искам о возмещении ущерба, но и для анализа поведения судов в различных условиях с целью последующей их модернизации, а также для использования данных в учебных целях для повышения квалификации и ответственности личного состава за безопасность плавания.

Первые попытки создания АРОП не могли быть реализованы в полной мере из-за отсутствия средств записи радиолокационных изображений, несущих огромные количества информации. На первых порах не всегда удавалось преодолеть трудности регистрации голосовой информации. И только с появлением достаточно эффективных электронных средств документирования и воспроизведения информации этого вида стало возможным создание современных АРОП.

Одним из первых разработку современного образца АРОП начало британское квалификационное общество Регистр Ллойда, которое выработало требования к характеристикам самого регистратора, объему и длительности записи параметров. Разработка опытного образца была завершена к концу 1987 г., после чего были проведены интенсивные двухлетние натурные испытания, в том числе морские, на судах компаний Ellerman и Blue Star.

АРОП разработки Регистра Ллойда представляет собой контейнер высотой 700 мм, диаметром 500 мм, массой 70 кг. Он в течение длительного времени способен выдерживать температуру до 1100° С, падение на корпус тяжести до 100 кг, обладает положительной плавучестью даже в случае повреждения корпуса. Внутри находятся блок питания и два самописца, один из которых регистрирует радиолокационную информацию, а другой все остальные данные. На контейнере установлена аппаратура спутниковой системы поиска и спасения (частота 406 МГц) с продолжительностью работы до 7 сут, передатчики сигналов наведения (частоты 121,5 и 243 МГц) с продолжительностью действия до 14 сут и радиолокационный ответчик (частота 9 ГГц), которые начинают работать после отделения контейнера.

АРОП постоянно подключен к системе датчиков. Механизм отделения срабатывает только при одном из следующих условий:

- возникает опасность повреждения записей огнем;
- судно затонуло и глубина погружения контейнера достигла 3-5 м;
- угол крена судна при опрокидывании достиг 85-90°.

Находясь в воде, контейнер с АРОП должен противостоять горячей нефти в течение 30 мин, а также быть устойчивым к вызывающим коррозию жидкостям.

Первые образцы АРОП могли регистрировать до 60 различных параметров; в более поздних их число было увеличено и составило более 400, в том числе 33 непрерывно записываемых параметра и 384 различных сигнала, поступающих из постов управления машинами и механизмами (256) и из рулевой рубки (128) от примерно 350 датчиков. Вся информация регистрируется с привязкой по времени. К ней относятся:

- параметры движения судна и ускорения, в том числе бортовая, килевая и вертикальная качки;
- напряжения в корпусе на миделе и в других заданных точках;
- осадка носом, кормой и на миделе;
- данные об окружающей среде, в том числе состояние моря, ветер, температура и т.п.;
- положение органов управления судном, в том числе угол перекладки штурвала, положение пера руля, установка машинного телеграфа и т.п.;
- навигационные данные, в том числе координаты, курс, скорость судна, глубина под килем;
- радиолокационная информация;

- сигналы о состоянии главных и вспомогательных машин, палубных механизмов, водоотливных и пожарных насосов, грузовых насосов (на танкерах);
- уровни жидкостей в танках;
- состояние водонепроницаемых, газонепроницаемых, противопожарных дверей и крышек;
- состояние ходовых огней, туманной и прочей сигнализации.

По предложению Регистра Ллойда продолжительность записей определяется вместимостью судна и должна составлять от 10 сут для судов вместимостью от 100 до 500 рег.т; для судов более 100000 рег. т она может достигать 54 сут.

Регистр Ллойда не единственное классификационное общество, рассматривающее идею использования АРОП. В конце 80-х годов Германский Ллойд проводил испытания подобного устройства на контейнеровозе "Stuttgart Express".

Шведская судовладельческая компания Stena Line построила свой вариант АРОП на автоматическом регистраторе показаний системы автоматической радиолокационной прокладки, созданной фирмой Navtek (Норвегия). Прибор испытывался на судне "Kronprinsessan Victoria". Он непрерывно записывает цветное радиолокационное изображение на стандартную видеокассету типа VSH одновременно с другой полезной информацией, в том числе с координатами, курсом и скоростью своего судна с привязкой по времени. На звуковой канал кассеты записываются переговоры по линии ОВЧ связи; на него могут быть также записаны команды рулевому и результат их выполнения. Длительность записи от 4 до 6 ч в зависимости от длины ленты.

Достоинство этого варианта АРОП разработчики видят в том, что он дает возможность восстановить действия всех видимых на прокладчике судов. Запись практически невозможно фальсифицировать. Еще до решения в международном плане вопросов об объеме и длительности записей компания Stena Line решила установить эти регистраторы на всех принадлежащих ей судах.

После четырех лет исследовательских работ, в том числе годовых морских испытаний на 10 судах, фирма Broadgate (Великобритания) выпустила АРОП, обеспечивающий непрерывно воспроизводимую запись за предыдущие 24 ч переговоров на постах управления, радиолокационной информации, данных от ряда источников, например, индикаторов координат, курсоуказателей, мониторов работы машин, датчиков давления на корпус и носовую оконечность. В результате аппаратура может быть приспособлена к требованиям конкретного заказчика. Регистрация ведется на специально разработанные кассеты типа VHS, предназначенные для работы со сверхмалым быстродействием. Для сохранения информации в течение 6 ч после отключения бортовой сети предусмотрено аварийное питание, а для облегчения поиска несгораемого водонепроницаемого контейнера имеется спасательный радиобуй.

Для записи переговоров были разработаны защищенные от побочных шумов микрофоны, устанавливаемые на ключевых местах ходового мостика и поста управления машинами. На трех звуковых каналах при микшировании можно записать девять отдельных источников звука. В разработке регистратора принимала участие фирма Racal Recorders.

По результатам испытаний Комитет палаты лордов по науке и технике рекомендовал принять АРОП как обязательное оборудование для всех судов, подпадающих под требования Конвенции СОЛАС.

Как следует из приведенных данных, необходимость создания и внедрения АРОП на судах признана зарубежными морскими кругами, однако, единства среди них в вопросах унификации регистрируемых параметров и длительности записей еще нет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Safety at Sea, 1987, XI, N224, p.20-21; XII, N225, p.21.
2. Fairplay International Shipping Weekly, 1987, v.301, N5403, p.18-19; N5427, p.23; N5428, p.19.
3. The Motor Ship, 1989, v.70, N826, p.42.
4. Small Ships, 1989, N3-4, p.20.
5. World Fishing, 1992, v.41, N5, p.40.
6. Marine Engineers Review, 1989, N4, p.3.
7. Shipping World and Shipbuilder, 1992, N6, p.29-30.

ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ

УДК 623.8

275 ЛЕТ ЦЕНТРАЛЬНОЙ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ФАБРИКЕ ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА

А.В.АНТОШКЕВИЧ
(ЦКФ ВМФ)

*Приводится краткая история
Центральной картографической фабрики ВМФ
России, информация о ее современном положении
и задачах.*

Картографическая фабрика ВМФ является одним из старейших картографических и полиграфических предприятий нашей страны. Датой ее основания считается 2 января 1721 г. В этот день Петром I был издан именной Указ по Адмиралтейств–Коллегии об учреждении типографии при Морской академии.

На протяжении всех 275 лет своего существования, следуя за развитием отечественного флота, Картографическая фабрика осуществляла важный вклад в обеспечение боевой деятельности ВМФ и безопасного плавания судов гражданского флота.

Особенно высокие темпы роста тиражей морских карт и руководств для плавания, расширение их номенклатуры были достигнуты за последние семьдесят лет. Из полукустарного производства фабрика была превращена в современное механизированное и высокоорганизованное полиграфическое предприятие, что позволило полностью ликвидировать зависимость наших мореплавателей от массовых закупок иностранных морских карт и пособий.

В суровые годы Великой Отечественной войны рабочие и специалисты фабрики своим самоотверженным трудом бесперебойно обеспечивали навигационными картами и пособиями все боевые операции на море.

В послевоенный период, когда страна приступила к созданию мощного океанского военно-морского и гражданского флотов, коллектив Картографической фабрики плодотворно трудился над изданием в нужном количестве морских карт и руководств для плавания на все районы Мирового океана, по качеству не уступающим лучшим мировым образцам.

Внедрение современного полиграфического оборудования, освоение новых технологий, борьба за экологически чистое производство – вот что характеризует сегодня полиграфическую промышленность и определяет направленность модернизации картографического производства. Однако в современных экономических условиях конкурировать с предприятиями–“монстрами”, профилированными под выпуск книжно–журнальной продукции, картографической фабрике не просто. Тем не менее на сегодня она остается единственным полиграфическим предприятием, где сосредоточены специалисты по печати морских навигационных карт и выпуску спецпродукции.

Сохранить уникальное производство, обеспечить его полную загрузку, исключить миграцию специалистов на другие предприятия и тем самым обеспечить всех судоводителей необходимыми изданиями и картами по безопасности мореплавания – за решением всех этих непростых задач встречает ЦКФ ВМФ свое 275-летие.

**ЦЕНТРАЛЬНАЯ КАРТОГРАФИЧЕСКАЯ ФАБРИКА
ВОЕННО-МОРСКОГО ФЛОТА ПРЕДЛАГАЕТ
СЛЕДУЮЩИЕ ВИДЫ ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ УСЛУГ
(НА МАТЕРИАЛАХ ЗАКАЗЧИКА
И НА МАТЕРИАЛАХ ФАБРИКИ):**

- печать карт (морских, географических, контурных, карт-схем, путеводителей и т. п.);
- изготовление книг в переплетах № 7 и 7b (скрепление блоков бесшвейное);
- изготовление брошюр в мягкой обложке и шитье проволокой;
- печать цветной листовой продукции (фотообоев, календарей, плакатов, буклетов, открыток и т. д.).

Все работы производятся на современном импортном оборудовании в достаточно короткие сроки и с высоким качеством.



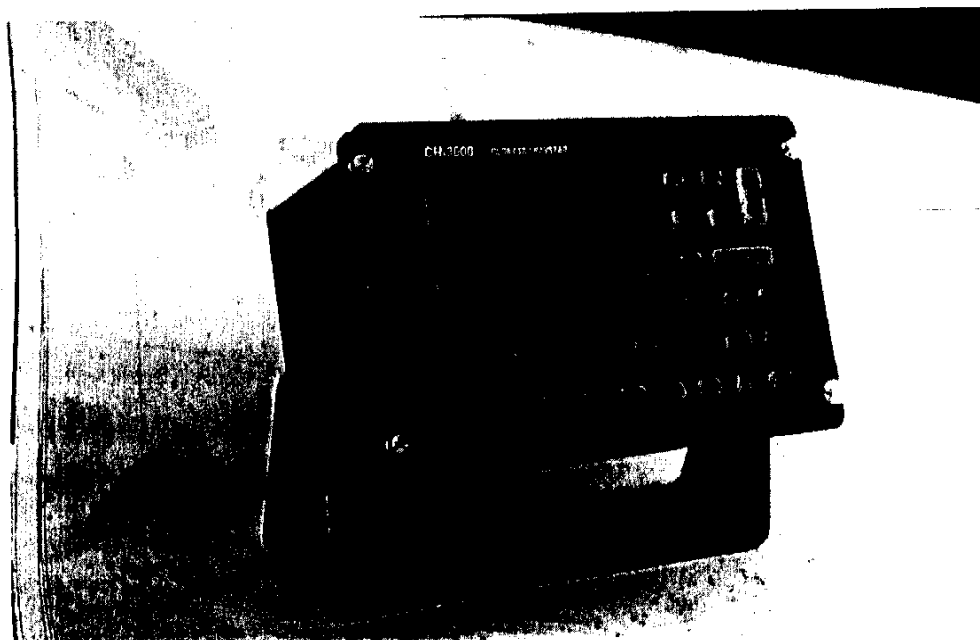
Обращаться по адресу:
193167, г. С.-Петербург,
наб. Обводного канала, 23

Дежурный 277-47-22
тел.: директора 277-01-39
зам. директора 277-03-68
производственный отдел 277-27-95

ОРИЗОН-НАВТИКА

НАВИГАЦИОННЫЙ ПРИЕМНИК ГЛОНАСС-GPS

Модель СЧ-3000



- • Каждый из 14(21) каналов следит за сигналами спутников систем ГЛОНАСС или GPS
- • Работа по всем видимым спутникам
- • При слежении за дальностью используется информация о фазе несущей
- • Программная настройка параметров кольца слежения за фазой несущей
- • Точностные характеристики не зависят от динамики объекта
- • Дифференциальный режим

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Измерения по открытым каналам СНС ГЛОНАСС и GPS	Точность определения координат СКП:
Дифференциальный режим реального времени	GPS – 45 м
Использование навигационной флайт-карты	(при включенном режиме SA GPS)
Время холодного старта <120 сек.	ГЛОНАСС – 10м
Интерфейсы NMEA 0183 и ARINC 429	ГЛОНАСС (неполное созвездие)
Метка времени ARINC 743	совместно с GPS – 18м
2 порта RS-232	Диф. режим – 1-2м
	Диапазон температур: -40 - +55°C
	антенна -55 - +55°C
	Габариты – 146x1 14x197 мм
	Потребление – 10 Вт
	Вес – 2.4 кг

Тел/факс: (04733) 2-22-82

Тел: (812)552-74-07

Условия подписки на журнал “Навигация и гидрография” на 1996 г.

В 1996 г. планируется выпуск двух очередных номеров журнала (в I и II полугодиях, соответственно).

Цена каждого выпуска – 20 000 руб.

Для оформления годовой подписки на оба выпуска журнала (№2 и №3) до 1 февраля 1996 г. необходимо перевести **40 000 руб. + НДС** на расчетный счет **36000340772** в филиале **ОПЕРУ-2 АО ПСБ** к/с **700161136 ЦРКЦ ГУ ЦБ РФ МО 161035; 44030736; ИНН 7801020940** в/ч **62728**, указав в квитанции об оплате – “За подписку на журнал”.

Навигация и гидрография, 1995, №1

Редакторы: А.И.Баранов, С.А.Рудас

Компьютерный набор: В.И.Скалон

Подписано в печать 17.10.95.

Заказ № 261

Тираж 600 экз.
Издание подписное

Рег. №013267 от 26.01.95
Комитет РФ по печати

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