

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

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

Издается с 1995 года

**6
1998**

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санкт-Петербург

**Главный редактор
к.т.н. В.С.Макода**

Редакционная коллегия:

В.А.Авдонюшкин, к.т.н. С.П.Алексеев (заместитель главного редактора),
к.т.н. С.Б.Балясников, к.т.н. А.И.Баранов (секретарь),
д.т.н. Б.Н.Беляев, к.в.н. П.Г.Бродский, к.т.н. А.К.Воробьев,
к.в.-м.н. А.А.Дадашев, к.т.н. В.Г.Дзюба, д.т.н. А.Н.Добротворский,
д.т.н. Г.И.Емельянцеv, к.т.н. А.В.Зинченко (ответственный за выпуск),
д.т.н. Б.Е.Иванов, к.т.н. И.В.Козырь, к.т.н. П.И.Малеев,
д.в.-м.н. А.П.Михайловский, д.т.н. Н.Н.Неронов,
к.т.н. А.Г.Панов, д.т.н. В.И.Пересыпкин, чл.-кор.РАН В.Г.Пешехонов,
к.т.н. Ю.В.Румянцев, к.т.н. С.А.Рудас (заместитель главного редактора),
чл.-кор.РАН А.Е.Сазонов, чл.-кор.РАН А.И.Сорокин,
к.в.-м.н. А.В.Федотов, д.в.н. В.Н.Фрадкин

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

1998

**THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC
INSTITUTE**

**NAVIGATION AND
HYDROGRAPHY**

Published since 1995

**6
1998**

RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE

Saint Petersburg

Editor-in-chief
PhD. V.S.Makoda

Editorial board

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

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

1998

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Пересыпкин В.И., Яковлев А.Н. Северный морской путь	7
Смольков Г.Я. Навигация и космическая погода.....	12
Гудмestad О.Т., Лосет С. Об учете оценки риска при проектировании и эксплуатации судов и шельфовых сооружений в ледовых условиях	18
Неронов Н.Н. К вопросу об учете «привнесенного риска» при проведении морских работ	27

МЕТОДЫ, ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВИГАЦИИ. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШТУРМАНА

Сорокин А.И., Иванов Б.Е. О средней квадратической погрешности определения места и обозначающих ее терминах	33
Иванов Б.Е. Моделирование погрешностей, подчиняющихся распределению Лапласа	38

НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

Емельянцеv Г.И., Анучин О.Н., Гусинский В.З. Интегрированные системы ориентации и навигации для кораблей и морских судов.....	42
Заяц Л.А., Глухов Ю.А. О дальнейшем совершенствовании математического обеспечения средств автоматической радиолокационной прокладки	51

СПУТНИКОВЫЕ И НАЗЕМНЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Арно Г.Р., Резниченко В.И., Бублик С.М., Болдырев В.С. Использование приемной аппаратуры спутниковых навигационных систем на кораблях и судах морского флота	57
Лобойко Б.И., Бублик С.М. Погрешности трансферных измерений дальности и скорости в спутниковых радионавигационных системах	59

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГИДРОГРАФИИ, МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ

Свечников А.И. Обобщенная модель донного грунта при решении гидрографических задач	65
Зубченко Э.С., Абрамов А.М. О перспективных требованиях к съемке рельефа дна гидроакустическими средствами	69
Малеев П.И., Смирнов Б.М., Хасиев И.С. Определение местоположения подвижного объекта по магнитному реперу	75
Сорокин А.И. Оценка потери гидрографической информации при ее регуляризации.....	81

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРЕПЛАВАНИЯ

Мастрюков С.И. Имитационное моделирование статистических характеристик окон погоды в интересах планирования морских операций	84
Степанов С.А. Диагноз штормовых условий при ограниченном количестве гидрометеорологической информации	90
Гайдадым А.В. Восстановление поля приземной температуры воздуха для акватории Северного Ледовитого океана в условиях ограниченного поступления гидрометинформации	94
Полозов В.В. Нетрадиционный метод сверхдолгосрочного прогноза температуры воздуха, осадков и других геофизических элементов	100

КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ, СЕМИНАРЫ

3-я Российская научно-техническая конференция "НО-98"	105
XXI-я юбилейная конференция, посвященная памяти Н.Н.Острякова.....	108
1998 – Международный год Океана	108

ЗА РУБЕЖОМ

Болдырев В.С., Заколюдяжный В.П. Динамика разработки зарубежной навигационной аппаратуры потребителей спутниковых навигационных систем	110
Abstracts of Published Articles	115
Информация об авторах	118

CONTENTS

GENERAL MATTERS

V.I.Peresykin, A.N.Yakovlev. The Northern Sea Route	7
G.I.Smolkov. Navigation and Space Weather	12
O.T.Gudmestad, S.Løset. Risk assessment procedures for design and operation of ships and offshore structures in ice	18
N.N.Neronov. On the issue of the 'brought-in risk' assessment while conducting marine operations	27

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

A.I.Sorokin, B.E.Ivanov. On the Mean Square Error of Position Fixing and Terms Denoting It	33
B.E.Ivanov. Modelling the Laplacean Distribution Errors	38

NAVIGATION AND INTEGRATED SYSTEMS

G.I.Yemelyantsev, O.N.Anuchin, V.Z.Gusinsky. Integrated Attitude Control and Navigation Systems for Ships and Seagoing Vessels	42
L.A.Zayats, Y.A.Glukhov. On Further Improvement of Software for Automatic Radar Plotting Facilities	51

SATELLITE AND LAND-BASED RADIONAVIGATION SYSTEMS

G.R.Arno, V.I.Reznichenko, S.M.Bublik, V.S.Boldyrev. Employment of Satellite Navigation Equipment on Ships and Vessels of the Marine	57
B.I.Loboyko, S.M.Bublik. Errors of Transionospheric Range and Speed Measurements in Satellite Radio Navigation Systems	59

MEANS AND METHODS OF HYDROGRAPHY, MARINE CARTOGRAPHY AND GEOPHYSICS

A.I.Svechnikov. Generalized Model of Bottom Soil Used When Solving the Hydrographic Problems	65
E.S.Zoubchenko, A.M.Abramov. On the Advanced Requirements to Bottom Relief Survey by Hydroacoustic Means	69
P.I.Maleev, B.M.Smirnov, I.S.Khasiev. Fixing the Position of Movable Object by Magnetic Reference Mark	75
A.I.Sorokin. Evaluation of Hydrographic Information Loss in the Process of its Regularization	81

HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT OF MARINE NAVIGATION

S.I.Mastryukov. Simulation Modelling the Statistical Characteristics of Weather Windows for Planning Sea Operations	84
S.A.Stepanov. Diagnosis of Storm Conditions with Limited Hydrometeorological Information	90
A.V.Gaidadym. Re-establishment of the Air Near-Ground Temperature Field for the Arctic Ocean Region under the Conditions of Limited Supply of Hydrometeorological Information	94
V.V.Polozov. Nontraditional Method of Superlong-Term Forecast of Air Temperature, Precipitation and Other Geophysical Elements	100

CONFERENCES, SYMPOSIA, SEMINARS

The Third Russian scientific conference "Contemporary state, problems of navigation and oceanography" (NO-98)	105
The XXI-th jubilee conference, devoted to N.N.Ostryakov's memory	108
1998 – International Year of the Ocean	108

ABROAD

V.S.Boldyrev, V.P.Zakolodyazhny. Dynamics of Users Navigation Equipment Development for Satellite Navigation Systems	110
Abstracts of Published Articles	115
Information about Authors	118

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

ГРНТИ 78.21.41.19.99

СЕВЕРНЫЙ МОРСКОЙ ПУТЬ

**В.И.ПЕРЕСЫПКИН,
А.Н.ЯКОВЛЕВ**
(ЗАО “ЦНИИМФ”)

Кратко освещается история развития Северного морского пути (СМП). Рассматривается современное состояние СМП и перспектива развития международного судоходства по нему. Дается оценка возможностей обеспечения устойчивого функционирования СМП.

Северный морской путь (СМП) является национальной морской транспортной магистралью России в Арктике. Эта трасса открыта и оборудована исключительно усилиями нашего государства. Первый проект морского пути из Студеного моря до устья Оби составил московский дьяк Дмитрий Герасимов в 1525 г. Важную роль в освоении СМП сыграло основание в начале XVII в. торговой фактории и порта Мангазея в Обской губе. В 1648 г. русский мореход Семен Дежнев открыл пролив, разделяющий Азию и Америку.

Петр I положил начало работе Великой Северной экспедиции (1725–1743 гг.), в которой активно участвовали военные моряки. Были выполнены описания побережья Северного Ледовитого океана от устья Печоры до Берингова пролива, изданы 64 карты. Обобщив опыт исследований северных морей России, М.В.Ломоносов в 1763 г. представил в Адмиралтейств-коллегию проект освоения Северного морского пути. Ломоносов считал, что создание СМП приведет к усилению не только экономической, но и военной мощи России на Тихом океане. Однако предпринятая в 1765-1766 гг. попытка преодолеть этот путь на парусных судах (экспедиция В.Я.Чичагова) закончилась неудачно. Даже двойная обшивка корпусов не позволяла парусникам успешно бороться со льдами.

С появлением паровых судов начался новый этап освоения Арктики. В 1878-1879 гг. первым за две навигации с зимовкой в Чукотском море успешно совершил сквозной проход по СМП шведский полярный исследователь Н.Н.Норденшельд на паровой зверобойной шхуне “Вега”. Большая продолжительность плавания тем не менее привела его к выводу о непригодности в то время СМП для коммерческого использования.

Особое место в истории освоения СМП принадлежит вице-адмиралу С.О.Макарову. Предполагая, что в восточном секторе Северного Ледовитого океана нет паковых льдов, он обосновал возможность плавания там при наличии мощного ледокола. В записке в морское министерство в 1897 г. Степан Осипович указывал, что с помощью ледоколов можно не только провести торговые суда в Арктике, но и при необходимости перевести флот в Тихий океан кратчайшим и безопасным в военном отношении путем. Именно при непосредственном участии С.О.Макарова в 1898 г. и был построен первый в мире ледокол “Ермак”.

Остро обсуждалась проблема переброски по СМП эскадр кораблей в 1905 г. после поражения 2-й Тихоокеанской эскадры в Цусимском сражении. Более короткое и безопасное в военном отношении расстояние от Кронштадта до Владивостока по нему составляло 8003 мили, а по южному варианту, вокруг Европы, вдвое больше – 16099 миль. Однако предстояло еще исследовать и проверить на практике, в какой степени безопасна северная трасса в ледовом отношении и насколько условия ледового плавания кораблей могут снизить их боевую готовность.

В 1912 г. попытки сквозного плавания по СМП предприняли лейтенант Г.Л.Брусилов на паровой шхуне “Св. Анна” и известный полярный исследователь В.А.Русанов на зверобойном судне “Геркулес”. Обе эти экспедиции закончились трагически. Суда и почти все члены их экипажей пропали без вести во льдах Карского моря. Спаслось только два участника Брусиловской экспедиции.

Обострившиеся перед Первой мировой войной международные отношения заставили царское правительство вновь обратиться к проблеме изучения СМП. С этой целью в 191–1915 гг. ледокольные суда “Таймыр” и “Вайгач”, укомплектованные военными командами, осуществили сквозное плавание по СМП с востока на запад. Переход был совершен за две навигации, с зимовкой во льдах у мыса Челюскин. Этот выдающийся подвиг военных моряков положил начало проходу российских кораблей по СМП.

Первая мировая война показала возросшее значение СМП для России, поскольку русско-германский фронт нарушил ее традиционные коммуникации со своими союзниками. В 1915 г. начинается сооружение Мурманского порта и строительство железной дороги Романов-на-Мурмане – Петроград. До этой поры базовым портом для военных перевозок был только Архангельск, откуда поступавшие из Англии, Франции и США военные грузы доставлялись на фронт и в центральные районы страны в три–четыре раза быстрее, чем из Владивостока. Идею же превращения СМП в постоянно действующую магистраль по причине отсутствия ледокольного обеспечения реализовать не удалось и, хотя пополнение флотилии Северного ледовитого океана (сформирована в 1916 г.) осуществлялось за счет кораблей Дальнего Востока, их приходилось перевозить южным путем.

В течение первых 20 лет советского периода стимулом к развитию освоения СМП стали экономические интересы СССР. Для изучения и освоения СМП с 1920 г. под руководством К.К.Неупкоева начал действовать Обь-Енисейский гидрографический отряд. В 1921 г. экспедиция Н.И. Евгенова произвела маршрутную опись р.Лена от Якутска до ее устья и морскую опись устьев Оленекской протоки и р.Оленек, выполнила съемку и промер бухты Тикси. Значительный вклад в изучение большинства арктических районов и подготовку СМП к регулярным морским перевозкам внесла Гидрографическая служба ВМФ. В 1923 г. Н.Н.Матусевич возглавил Северный гидрографический отряд, построивший на Новой Земле радиостанцию и обеспечивший гидрографические исследования в проливе Маточкин шар. В 1923 г. Гидрографическое управление ВМФ организовало экспедицию в северо-восточную часть Карского моря на гидрографическом судне “Таймыр” (начальник экспедиции А.М.Лавров, научный руководитель В.В.Шулейкин).

Параллельно с проводившимися исследованиями формировалась организация управления, материально-технического, ледокольного, гидрометеорологического и навигационно-гидрографического обеспечения СМП. И здесь все управленческие структуры, включая образованное в 1932 г. Главное управление Севморпути (ГУ СМП) (с 1971 г. Администрация Северного морского пути), а также элементы системы СМП формировались как сугубо гражданские. На созданное в составе этих структур гидрографическое предприятие были возложены обязанности по выполнению гидрографических работ, установку и обслуживание средств навигационного оборудования на трассе СМП. В итоге на Севере был заложен прочный фундамент для промышленного освоения богатых местных природных ресурсов. К началу Великой Отечественной войны СМП уже был подготовлен к регулярным морским транспортным перевозкам и проходу по нему боевых кораблей.

В предвоенный период использование СМП для межтеатрового маневра силами ВМФ было связано с возникновением военной угрозы на востоке, со стороны Японии, и необходимостью усиления Тихоокеанского флота. Затем на западе – уже во время Великой Отечественной войны – это было необходимо для пополнения Северного флота за счет кораблей ТОФ. Однако экспедиции по проводке военных кораблей происходили эпизодически: три экспедиции в предвоенный период и одна во время войны (в 1942 г. с Тихоокеанского на Северный флот были переведены лидер ЭМ “Баку”, а также ЭМ

“Разумный” и “Разъяренный”). Организация переброски военных кораблей по СМП осуществлялась Полярным отделом Главного штаба ВМФ.

Вместе с тем на Севере постоянно функционировали две транспортные морские магистрали: внешняя, по которой в СССР осуществлялась перевозка грузов из Англии и США, и внутренняя – по СМП, с помощью которой обеспечивались военные поставки фронту из восточных районов страны, а также шла проводка судов с тихоокеанских берегов США с грузами по ленд-лизу.

Корабли Северного флота активно использовались при конвоировании на отдельных участках СМП (в основном в Карском море), где в составе конвоев было проведено 2568 судов. При действиях против конвоев в Карском море немецкие подводные лодки потопили девять советских транспортов. Их собственные потери составили три ПЛ. Район боевых действий на судоходных трассах охватывал только западную часть СМП. Судоходство в восточном секторе Арктики развивалось при отсутствии военного противодействия

Наступившая в послевоенный период эпоха холодной войны до предела обострила региональные военные и политико-правовые проблемы в Арктике. Советский Союз вынужден был укреплять Северный и Тихоокеанский флоты, чьи зоны оперативной ответственности смыкались в арктических морях. Переброска по СМП боевых кораблей с 1949 г. осуществлялась в составе ежегодно формируемых экспедиции особого назначения для перевода в основном малых надводных кораблей – тральщиков, малых противолодочных и пограничных кораблей, а также вспомогательных судов. Переводились по СМП и дизельные ПЛ. В 15% случаев, используя благоприятные в ледовом отношении трассы, корабли совершали переход по СМП самостоятельно, без ледокольного обеспечения. Однако практика показала, что имеющие слабую ледовую защищенность корпусов корабли ВМФ, можно переводить по СМП только в самый благоприятный в ледовом отношении период арктической навигации (август-сентябрь) [1].

В 1992 г. отмечалось 60-летие СМП (за начальный отсчет принят 1932 г., в котором был совершен сквозной коммерческий проход ледокольного парохода “А.Сибиряков” по СМП с запада на восток за одну навигацию и создание ГУ СМП). К этой юбилейной дате на СМП действовали 7 атомных и 8 дизельных линейных ледоколов, атомный лихтеровоз “Севморпуть” и более 130 транспортных судов усиленного ледового класса. Объем перевозимых грузов по СМП составил более 6 млн.т в год, что в 5 раз превышало общий объем ежегодного грузопотока в зарубежной Арктике.

Управление судоходством по СМП осуществляли Штабы морских операций (ШМО), располагавшиеся в портах Диксон (Западный сектор) и Певек (Восточный сектор). Общую координацию работы морских пароходств и ШМО выполняла Администрация СМП. Созданная к этому времени в Арктике система навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения (НГГМО) значительно повысила безопасность и провозную способность судов в ледовых условиях.

СМП стал важнейшей частью экономического комплекса Крайнего Севера и связующим звеном между восточными и западными районами страны. Этот путь объединил в единую транспортную сеть крупнейшие речные артерии. Для Чукотки, арктических островов и ряда населенных пунктов побережья Красноярского края и Тюменской области морской транспорт являлся единственным средством обеспечения массовых перевозок грузов. Значительный объем грузов шел по СМП и для оборонного строительства в Арктике.

В 1977 г. впервые в активном плавании достиг Северного полюса атомный ледокол “Арктика”. В 1979 г. была начата круглогодичная навигация на линии Мурманск-Дудинка, обслуживающая комбинат “Норильский никель”.

В советский период развитие Арктической морской транспортной системы считалось одним из показателей торжества стратегии освоения Арктики и действенным средством реализации оборонной политики в регионе. Достигалось это затратой огромных материальных и людских ресурсов. Стремясь покрыть часть расходов на содержание СМП за счет получения валютных средств за проводку иностранных судов по СМП, Минморфлот в 1967 г. инициировал открытие этой трассы для международного судоходства. Однако ни одно иностранное судно не воспользовалось предложенными услугами. Сказалось отсутствие у западных судоходных компаний достаточной информации о выгодности и безопасности транзита по СМП.

Новый импульс идее международных транзитных перевозок по СМП дали Мурманские инициативы 1987 г. В них указывалась принципиальная готовность СССР предоставить ледоколы для проводки иностранных судов при условии нормализации международной обстановки.

В развитие Мурманских инициатив в 1991 г. были объявлены “Правила плавания по трассам СМП”. В этом документе дано определение СМП как национальной транспортной магистрали, трассы которой в зависимости от ледовой обстановки могут располагаться во внутренних и территориальных водах России, а также в ее морской экономической зоне. СМП ограничен на западе новоземельскими проливами, на востоке — Беринговым проливом.

“Правила” исходят из положений Конвенции ООН по морскому праву 1982 г. (ст. 234, “Покрытые льдом районы”), дающих право прибрежным государствам принимать и обеспечивать соблюдение недискриминационных законов и правил по предотвращению загрязнения морской среды с судов. Установленный “Правилами” уведомительный порядок доступа на трассы СМП судов всех государств обеспечивает широкое открытие СМП для международного коммерческого судоходства. При этом эксплуатирующиеся здесь суда должны соответствовать специальным требованиям к конструкции, оборудованию, снабжению и подготовленности экипажа.

В настоящее время по транспортным артериям СМП осуществляют завоз топлива и продуктов в пункты Российской Арктики более 10 иностранных танкеров и рефрижераторов. На каждую навигацию распоряжениями Правительства РФ открываются для захода иностранных судов более 40 портов и порто-пунктов, расположенных вдоль трассы СМП¹. Вместе с тем коммерческий транзит иностранных судов по СМП пока не развивается. С 1991 г. по 1997 г. осуществлена проводка только одного иностранного судна (“Астролябия” под флагом Франции)². Зарубежные грузоотправители предпочитают использовать (фрахтовать) для перевозки своих грузов в этих водах российские суда ледового класса.

Вместе с тем зарубежные судоходные компании проявляют большой интерес к СМП, нежели к другому арктическому морскому пути — Северо-западному проходу (СЗП), пролегающему в канадских и американских водах. Причина достаточно объективна. На СЗП, трассе той же протяженности, что и СМП, более тяжелая ледовая обстановка. Этот путь в его западной части (море Бофорта) открыт в сторону Центрального Арктического бассейна и многолетние паковые льды нередко блокируют отдельные участки его трассы, и, следовательно, нет гарантии безопасного транзитного прохода в одну навигацию. За всю историю функционирования СЗП по нему совершено всего лишь около 40 транзитных плаваний, в основном ледоколов. Для сравнения: по

¹ В навигацию 1998 г. постановлением Правительства РФ на трассе СМП вдоль Арктического побережья России для захода иностранных судов было открыто свыше 50 портов. Это решение принято из-за необходимости интеграции СМП в транспортный коридор Европа—Азия. Проведенные в мае—июне 1998 г. совместно с комиссией ЕС экспериментальные рейсы танкеров по вывозу газоконденсата с п-ва Ямал в Европу подтвердили перспективность использования СМП для транзита грузов. По расчетам специалистов, при более интенсивном использовании трассы ежегодные объемы проходящих грузов могут возрасти с 2 до 10 млн.т. (Прим. ред, Финансовые известия, 23.08.98, №53 (503), с.1.)

² Для снабжения Арктики, по словам министра морского флота С.О.Франка, тем не менее привлекаются иностранные суда (танкеры и рефрижераторы из Латвии, Финляндии, Германии). Для них открыт один порт — Игарка, а на посещение других выдаются разрешения. Однако пока воспользоваться трассой СМП для перевозки своих грузов желают немногие иностранные компании: за навигацию 1997 г. перевезено всего 200 тыс.т грузов. Это не более 11% от общего современного грузопотока по рассматриваемой магистрали (1,8–1,9 млн.т против 6,9 млн.т в 1987 г.). (Прим. редакции, Известия, 1.08.98, №141 (25241), с.4.)

СМП транзитные проходы ежегодно выполняют до 20 российских судов, в каботажных перевозках принимает участие до 200 транспортов.

В перспективе вполне реально использование преимуществ СМП всем мировым сообществам, что может принести немалые доходы России. В этом плане с 1993 г. ведутся исследования по международному проекту “Северный морской путь” – INSROP [2]. Российские специалисты (головная научная организация – ЗАО “ЦНИИМФ”) совместно с учеными Норвегии, Японии и других заинтересованных стран изучают перспективы развития трансконтинентальных перевозок на линии Европа – Северная Америка – страны Юго-Восточной Азии на основе комплексного анализа Арктической морской транспортной системы и ее грузовой транзитной базы. По данным ООН, на СМП ежегодно можно было бы переключать до 7,6 млн.т транзитных грузов. Сравнения транзита по СМП с вариантами морской транспортировки грузов через Суэцкий канал в Юго-Восточную Азию и через Панамский канала на западное побережье Северной Америки дают основание оптимистично оценить конкурентоспособность СМП. Этот путь сокращает время перехода судна на 10–15 сут.

Исследуется также возможность создания новых морских транспортно-технологических систем экспорта нефти от терминалов Тимано-Печорского нефтяного месторождения, сжиженного природного газа – от Харасавейского месторождения, нефти и газоконденсата – из Обской губы. Общий объем ежегодных морских перевозок углеводородов может достичь по нефти до 20 млн.т, по сжиженному газу – более 25 млн.т [3]. Это свидетельствует о том, что СМП может быть окупаем и даже прибылен: по расчетам, для полной окупаемости и реновации Арктической морской транспортной системы необходимо довести ежегодный объем перевозок по ней до 24 млн.т.

Однако перспективы развития СМП могут быть реализованы только при нормальном функционировании трассы, отвечающем всем требованиям отечественной нормативно-правовой базы и нормам международного права по безопасности мореплавания. К сожалению приходится констатировать, что переход к новым экономическим отношениям в стране пока что отрицательно отразился на всех элементах хозяйственной инфраструктуры Севера, включая и СМП. Вдвое сократился объем перевозок, стареют не получающие должного пополнения ледокольный и транспортный флоты. Из-за отсутствия финансовых средств поступление новых ледоколов и арктических судов, предусмотренное “Программой возрождения торгового флота России на 1993–2000 годы”, значительно задерживается.

Развитие СМП следует рассматривать по этапам и в комплексе с перспективами оживления экономики Севера и страны в целом [4]. В связи с этим Минтранс РФ совместно с другими министерствами и субъектами РФ готовит предложения по обеспечению устойчивого и безопасного функционирования СМП. В этих предложениях будут отражены меры по обновлению морского и речного флота страны, парка полярных самолетов и модернизации арктических портов. За счет государственных средств должны совершенствоваться системы и НГГМО на базе развития ледового центра “Север” (ААНИИ) и береговых дифференциальных станций спутниковых навигационных систем НАВСТАР/ГЛОНАСС.

Вместе с тем Минтранс РФ считает, что развитие СМП, как важнейшей части экономического комплекса Крайнего Севера, должно быть отражено в Федеральной целевой программе оживления экономики северных территорий. В ней следует предусмотреть государственную поддержку приоритетных направлений хозяйственно-экономического развития Севера, способных в наиболее короткие сроки вернуть государству вложенные средства и обеспечить устойчивый доход. Естественно, что само развитие этих приоритетных отраслей экономики будет невозможно без надежного транспортного обеспечения. Арктические отрасли и предприятия должны изыскать возможности для покрытия расходов на всю инфраструктуру СМП. Этот путь в рыночных условиях, как показывает практика Мурманского пароходства, более предпочтителен, чем пассивное ожидание поддержки центра. В процессе перестройки организационного и финансово-экономического обеспечения функционирования СМП государству важно лишь проявить особую заботу о сохранении существующего профессионального

научно-производственного потенциала и всей специализированной инфраструктуры (ледокольный, технический и гидрографический флоты, порты, гидрометеорологические станции и т.д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яковлев А.Н. Северный морской путь России//Морской сборник. – 1995, № 10.–С.16–19.
2. Peresykin V.I. Completion of the first phase of INSROP//The INSROP Newsletter. Issue № 2, Volume 3.–Lysaker, Norway: INSROP Secretariate, 1995.– 23 p.
3. Государственная научно-техническая программа “Комплексные исследования океанов и морей Арктики и Антарктики” //Отчет о результатах работ за 1991–1995 гг. Том 5.–М.: Министерство науки РФ, 1996.–С.232–240.
4. Чилингаров А.Н., Кокорев Е.М. Размышления о Российском Севере.–М: Янус–К, 1997.–497 с.

ГРНТИ 78.25.31.35.29.31.29

НАВИГАЦИЯ И КОСМИЧЕСКАЯ ПОГОДА

Г.Я.СМОЛЬКОВ

(Институт солнечно-земной физики СО РАН)

Приведен обзор факторов космической погоды, воздействующих на спутниковые и наземные навигационные системы. Изложена идеология и суть международной программы по изучению космической погоды. Показана необходимость учета ее характера и степени изменений практически во всех видах навигации.

Навигация подвержена воздействию физических условий, складывающихся в околоземном космосе. Так точность систем морской навигации, использующих сигналы очень низких частот, таких как, например, радионавигационные системы (РНС) LORAN и OMEGA, зависит от знания действительной высоты нижней границы ионосферы. Быстрые вертикальные изменения на этой границе во время солнечных вспышек и геомагнитных бурь могут внести ошибки порядка нескольких километров в определениях местоположений.

Спутниковая навигационная система (СНС) глобального местопределения действует благодаря распространению радиоволн от спутников к приемникам на Земле, самолетах или других спутниках. Эти радиосигналы используются для вычисления точных координат места. Однако, существенные ошибки позиционирования могут возникать, когда сигналы испытывают рефракцию и запаздывание из-за ионосферных условий. Кроме того сигнал СНС может быть вообще утерян при пересечении области ионосферного возмущения (замирания сигнала). Будущие СНС-технологии для достижения необходимой точности потребуют лучшего обеспечения информацией об условиях космической погоды, чтобы избежать обусловленных ими ошибок. Точная диагностика и прогноз свойств ионосферы помогут в разработке и использовании новейших систем [1].

СНС подвержены возмущающему воздействию факторов космической погоды вследствие внезапных изменений интенсивности и состава солнечного излучения. Последние приводят слои земной атмосферы в нестабильное состояние, их плотность не остается неизменной [2, 3]. Названные обстоятельства нарушают траектории спутников. Известны случаи гибели космических аппаратов (КА) по этим причинам в плотных слоях атмосферы. Электрически активная плазменная составляющая атмосферы, взаимодействуя с оболочкой спутников, обуславливает их электризацию и затрудняет или нарушает их функционирование [4]. Миниатюризация электроники, вызванная необходимостью уменьшения веса и объема бортовой аппаратуры, подвергает опасности пагубного воздействия на ее компоненты высокоэнергичных частиц, проникающих в нижние слои атмосферы, особенно на высоких широтах [1]. Таким образом помимо

преднамеренного нарушения нормального функционирования СНС, имеются опасные для данного процесса факторы природного происхождения.

Геофизическая навигация находится в полной зависимости от факторов космической погоды. Всепогодная астронавигация возможна по микроволновому излучению Солнца при условии регулярного использования данных о детальном распределении радиояркости протяженной и изменчивой солнечной короны (и здесь необходимо учитывать солнечную активность!). В 90-е годы такая возможность появилась в России с началом регистрации двумерных радиоизображений Солнца на Сибирском солнечном радиотелескопе ИСЗФ [5].

Опосредствованно навигация может пострадать из-за нарушений под воздействием факторов космической погоды систем радиосвязи, магистральных кабельных линий, электроснабжения, а также неправильного или недостаточного учета роли этих факторов при решении инженерных задач.

Сложившееся в последнее десятилетие понятие “космическая погода” входит в наше самосознание по мере возрастания количества проблем, связанных с нарушениями нормального функционирования тех или иных технических систем. К ним следует отнести неудачи со спутниками, широко распространенные частичные или полные отключения электроэнергии и др. Чем больше человечество становится зависимым от передовых технологий, тем чувствительнее переносятся сбои, выходы их из строя. Протяженным магистральным линиям электропередачи свойственна повышенная вероятность нарушений под воздействием разрушительных токов, наводимых геомагнитными бурями. Эксплуатация летательных аппаратов, рассчитанных для полетов на высотах порядка 20 км, повышает риск облучения экипажа и пассажиров при возмущенной космической погоде. Характерны последствия некоторых событий космической погоды, имевшие место в США, Канаде, Англии и Японии.

24 марта 1940 г. сильнейшая геомагнитная буря вывела из строя 80% всех магистральных телефонных сетей в Миннеаполисе (шт. Миннесота). Электроснабжение временно было нарушено в некоторых регионах восточных штатов США, а также в канадских провинциях Квебек и Онтарио.

9–10 февраля 1958 г. геомагнитная буря вызвала серьезное нарушение телеграфных кабелей восточного побережья США и сделала весьма затруднительной связь по трансатлантическому кабелю между Ньюфаундлендом и Шотландией. Временно прервалась связь в Торонто (Канада).

4 августа 1972 г. сильная геомагнитная буря вызвала 30-минутный перерыв связи по коаксиальному кабелю между Плэно (шт. Иллинойс) и Каскадом (шт. Айова). Мощный трансформатор вышел из строя на ГЭС в канадской провинции Британская Колумбия.

В 1979 г. произошло преждевременное вхождение в плотные слои атмосферы, изменившее орбиту и сократившее время жизни научной космической обсерватории США Skylab, а в результате ее гибель вследствие нагрева и расширения атмосферы, обусловленных изменчивой солнечной ультрафиолетовой радиацией и геомагнитной бурей.

26 ноября 1982 г. 4 быстросканирующих радиометра в видимом и инфракрасном диапазонах на геостационарном спутнике оперативного мониторинга окружающей обстановки (система GOES), которые картографировали облачный покров, вышли из строя через 45 мин. после прихода высокоэнергичных протонов от большой солнечной вспышки. Несанкционированный перерыв мониторинга произошел в то время, как серия интенсивных штормов обрушилась на побережье Калифорнии.

13–14 марта 1989 г. сильная геомагнитная буря вывела из строя систему электроснабжения в канадской провинции Квебек, что привело к потере мощности более 20000 МВт. Это лишило электроэнергии несколько миллионов человек. Время между началом неполадок и полным коллапсом системы составило около 90 с. КВ-радиосвязь была практически вообще невозможной в то время, как УВЧ-передачи распространились на необычно длинные расстояния и создавали помехи. Японский спутник связи потерял половину своей дуплексной командной системы. Орбита спутника НАСА снизилась почти на 5 км из-за возрастания атмосферного торможения.

29 апреля 1994 г. трансформатор на АЭС Maine Yankee (США) катастрофически вышел из строя в течение нескольких часов после начала сильной геомагнитной бури.

20–21 января 1994 г. два канадских спутника связи вышли из строя, нарушив на несколько часов телефонную и радиосвязь, а также телепередачи. неполадки произошли после длительного периода электронной концентрации высокого уровня в окружающем их пространстве [1].

В 1976 г. на орбиту высотой 5000 км был выведен американский геодезический спутник LAGEOS-1, предназначенный для высокоточных лазерных измерений движений земной коры с использованием 426 призматических уголкового отражателей лазерного сигнала, установленных на сферическом корпусе спутника. Для получения надежных данных необходимо было знать точное положение спутника в каждый момент времени. Однако к 1989 г. был замечен дрейф LAGEOS-1 на орбите. Слабый, но постоянно действующий реактивный эффект, обусловленный асимметричным излучением односторонне нагреваемого Солнцем корпуса ИСЗ, постепенно сместил плоскость орбиты на несколько тысяч километров. К началу 1997 г. в корпорации были "Хьюз" проведены вычисления, позволившие внести необходимые поправки в прогноз смещения этого спутника. Улучшение математической модели движения ИСЗ и продление его существования стало возможным после выяснения причин установленных эффектов [6], т. е. характера воздействия космической погоды.

Все вышеописанное более чем убедительно свидетельствует о необходимости знания состояния, степени и характера изменений космической погоды, механизмов воздействия ее факторов на системы и технологию практически всех видов навигации.

Природа космической погоды (или солнечно-земных связей [7, 8]) состоит в следующем. Свойства окружающей среды в сильной степени зависят от особенностей солнечного волнового и корпускулярного излучений [9]. Поэтому можно сказать, что космическая погода начинается на поверхности Солнца. Солнечная активность весьма эффективно модулирует электромагнитное излучение, потоки частиц, магнитогидродинамические процессы, вызывая соответствующие изменения в околоземной космической обстановке, а также на поверхности Земли [10]. Солнечные вспышки и выбросы корональной массы в ряду факторов космической погоды наиболее геоэффективные явления на Солнце. Электромагнитное излучение вспышки воздействует на атмосферу Земли приблизительно через 8 мин, потоки энергичных частиц и ударные волны приходят к Земле через несколько суток. Долгопериодные вариации солнечного излучения не вызывают драматических изменений космической погоды, но они имеют важное значение для понимания процессов, определяющих короткопериодические, импульсного характера изменения. Поэтому, а также из-за сильно выраженных индивидуальных особенностей гелиогеофизических явлений и процессов при неполном выяснении до сих пор механизмов их зарождения, сохраняется необходимость выполнения круглосуточного мониторинга состояния и развития солнечно-земных связей.

Непостоянство солнечного излучения непосредственно сказывается на состоянии верхней атмосферы и ионосферы, изменяя степень возбуждения и ионизации атомов и молекул, распределение плотности и температуры, характер турбулентности, динамики неоднородностей.

Потоки частиц от Солнца содержат и энергичные частицы и низкоэнергичную плазму, составляющие солнечный ветер [9]. И солнечный ветер и электромагнитные поля в гелиосфере эволюционируют по мере удаления от Солнца, особенно когда они образуют межпланетные ударные волны или взаимодействуют с ними. Плазма и магнитное поле солнечного ветра взаимодействуют с геомагнитным полем и атмосферой Земли, формируя ее магнитосферу. Поверхность этой каплевидной области называют магнитопаузой. Обычно она находится на расстоянии около 10 радиусов Земли в направлении на Солнце. В зависимости от динамического давления солнечного ветра это расстояние может изменяться от 5 до 15 радиусов Земли. В антисолнечном направлении хвост магнитосферы простирается за пределы лунной орбиты. Магнитопауза представляет собой барьер, предохраняющий магнитосферу от проникновения внутрь нее почти всей энергии, приносимой солнечным ветром. При спокойных условиях доля

энергии, которая все-таки просачивается сквозь магнитопаузу, сохраняется в виде частиц и полей внутри магнитосферы. Но при некоторых условиях она импульсивно проникает в атмосферу. Импульсная эжекция энергии называется магнитосферной суббурей. Она характеризуется развитием ярких динамических полярных сияний и появлением интенсивных ионосферных токов. Во время таких суббурь магнитное поле в магнитосфере внезапно принимает новую конфигурацию. Время восстановления, возврата поля в невозмущенное состояние может достигать многих часов [7, 8].

Суббуря — относительно кратковременный отклик магнитосферы на воздействие возмущений самого солнечного ветра. Более длительными (дни–недели) возмущениями являются геомагнитные бури — отклики на воздействие более продолжительных потоков солнечного ветра, отличающихся сильной южной компонентой вектора межпланетного магнитного поля. Геомагнитные бури приводят к заметной энергизации кольцевого тока, поясов квазизахваченных электронов, протонов и более тяжелых ионов, к значительным флуктуациям геомагнитного поля на низких географических широтах. Магнитосферные частицы высыпаются в полярные области, нагревая нейтральную атмосферу, инициируя ионосферные возмущения. Суббури могут появляться на фоне геомагнитных бурь (например, при наложении эффектов от вспышек на потоки от корональных дыр). После возвращения солнечного ветра к его фоновому состоянию, магнитосфера и ионосфера восстанавливаются за время от нескольких часов до нескольких дней [7].

Показательный пример — магнитная буря средней интенсивности, имевшая место в январе 1997 г. Ее причиной был выброс корональной массы на Солнце, зарегистрированный 6 января с помощью коронографа орбитальной обсерватории SOHO ESA–NASA. Прогноз специалистов по солнечно-земной физике — через четыре дня Земля окажется на пути мощного потока заряженных частиц, испущенных Солнцем — оказался верным. С помощью ряда ИСЗ была прослежена последовательность событий. 10 января приборы SOHO, находящейся на расстоянии в 1 млн. км от Земли, зафиксировали увеличение скорости солнечного ветра. Вскоре резкое возрастание интенсивности солнечного ветра отметили приборы ИСЗ Wind на меньшем расстоянии от Земли. Под давлением извне обращенная к Солнцу сторона магнитосферы прогнулась примерно на 20 процентов. Колебания границы магнитосферы прослежены ИСЗ Geotail и Interball. Приборы ИСЗ SAMPEX зарегистрировали резкое увеличение потока быстрых электронов, с энергией 1 МэВ, на высоте 600 км, т.е. в ионосфере. Этот уровень в 10000 раз превосходил величину их обычной энергии в радиационных поясах Земли. Такая аномалия продлилась неделю. В этот период отмечено много нарушений радиосвязи, в т. ч. и со спутниками. 12 января наиболее плотная часть выброса, его хвостовая часть, прошла через магнитосферу. Общее количество энергии, выделившейся при этом во время полярных сияний, достигло 1400 ГВт, что почти вдвое превышает мощность всех электростанций США [11].

Поскольку магнитное поле Земли пронизывает магнитосферу, большинство магнитосферных процессов проявляет себя в изменении параметров ионосферы и термосферы. Магнитосферные процессы производят электрические токи, полярные излучения, нагрев за счет трения, ионизацию и замирания радиосигналов. Все это — элементы околоземной космической погоды. Следует отметить, что изменчивость факторов космической погоды и возмущающее их воздействие на окружающую среду являются естественной нормой, но их невозможно избежать, их необходимо знать и умело учитывать.

На околоземную космическую обстановку влияют и процессы, возникающие на более низких высотах. К ним относятся гравитационные волны, прямой вклад энергии солнечного облучения и космических лучей. Факторы космической погоды включают в себя и электрические токи (опасные для протяженных трубопроводов и кабельных коммуникаций), индуцируемые в поверхностных слоях Земли при изменении ионосферных токов. С другой стороны следует отметить, что резкие изменения режимов действия протяженных высоковольтных линий электропередачи также могут вызвать сравнимые эффекты в окружающей обстановке.

Приведенное краткое описание различных явлений космической погоды демонстрирует широту научных и прикладных интересов в этой сфере, а также сложность физических процессов, которые необходимо понять [1]. Эту сложность усугубляют тесные взаимодействия между различными явлениями (например, ионосферно-магнитосферные и наоборот), механизмы которых предстоит выяснить. На это нацелена международная научная программа S-RAMP (Solar Terrestrial Energy Program [12] (1991–1997) — Results, Applications and Modeling Phase [13] (1998–2002). Все это объясняет важность подхода к околоземному космосу как единой системе, в которой процессы, наблюдаемые в одной ее части, не могут быть поняты без должного знания, как функционирует вся система и как все ее элементы связаны воедино [1]. Учет факторов космической погоды осложнен, как уже отмечено, сильно выраженными индивидуальными особенностями процессов и явлений практически во всех областях системы Солнце–Земля.

Понятие космической погоды охватывает прежде всего природные явления в околоземном космосе. Оно не учитывает эффекты техногенного происхождения, например, воздействие космического мусора на спутниковые системы. Однако сведения о космической погоде необходимы для точного расчета траекторий КА и их коррекции путем улучшения диагноза и прогноза вариаций плотности атмосферы, вызывающих торможение орбитальных объектов. При решении инженерных проблем знание характера параметров космической погоды, диапазона их изменений необходимо для совершенствования используемых и грамотной разработки и эксплуатации всевозможных новых технических средств, в том числе навигационных. При этом возможно уменьшить финансовые и материальные затраты, ускорить достижение поставленных целей [1].

Осознание необходимости принятия неотложных мер в рассматриваемой области привело к формированию в СССР в 1980-е годы межведомственной программы "Космическая метеорология". Ее реализация не состоялась по известным причинам. В 1993–1995 гг. ряд ведомств США разработал национальную программу по космической погоде (стратегический план) [14], а к 1997 г. — план ее выполнения. Эти документы — итог многолетнего межведомственного сотрудничества и координации, попытка использования возможностей министерств обороны, торговли, энергетики и окружающей среды, а также Управления метеорологической службы, NASA и Национального научного фонда. Программа рассматривает такие условия на Солнце, в солнечном ветре, магнитосфере, ионосфере и термосфере, которые могут повлиять на работу и надежность орбитальных и наземных технических систем, угрожать жизни и здоровью человека. Она ориентирована на создание в течение 10 лет межведомственной системы, обеспечивающей своевременные, точные и достоверные наблюдения, диагностику и прогноз состояния окружающего пространства. Она включает в себя все виды деятельности, необходимые для своевременного диагноза и прогноза естественных условий в окружающем космосе, которые могут воздействовать на технические системы, в том числе системы навигации. Область главных интересов программы — солнечная активность и солнечный ветер, магнитосфера, ионосфера и термосфера. Ввиду обширности и сложности ее интересов все традиционные направления космических исследований призваны внести свой вклад в достижение поставленных целей [1].

Основная цель программы — предоставить информацию постоянно изменяющемуся сообществу пользователей. Каждый из этих пользователей может выдвигать самые различные и все время развивающиеся требования, затрудняющие задачу подготовки прикладных данных. Поэтому повседневная выработка информации, приспособленной к нуждам конкретного потребителя, не входит в идеологию программы. Диагностическая и прогностическая информация, предоставляемая прогностическими центрами, будет достаточной, чтобы соответствующую ее адаптацию (приспособление) к своим нуждам смогли осуществлять сами заинтересованные пользователи или их специальные службы. В частности, для пользователей министерства обороны предполагается ответственная переработка такой информации службами именно этого ведомства. Вместе с тем представители ведомств и пользователей, включенных в эту программу, будут регулярно оценивать состояние ее продуктов и договариваться об уровне информации, обеспечиваемой в рамках реализации намеченных планов. Полное содержание плана выполнения программы имеется в Internet по адресу: <http://www.ofcm.gov/nswp-ip/text/clover.htm> [1].

Глобальный характер проявления космической погоды не только обусловил необходимость привлечения зарубежных гелиогеофизических наземных и орбитальных обсерваторий к реализации Национальной программы США по космической погоде, но неизбежно привел к логическому предложению трансформировать ее в интернациональную (на специальном рабочем совещании 5.08.97 г. на очередной научной ассамблее Международной ассоциации по геомагнетизму и аэронауке — IAGA, Международной комиссии по средней атмосфере — ICMA, Международной ассоциации по метеорологии и атмосферным наукам — IAMAS и Симпозиума по солнечно-земной физике, состоявшихся в г.Уппсала (Швеция) 4–15.08.97 г.). После этого специальный Международный научный комитет по солнечно-земной физике — SCOSTEP — организует и проводит необходимые для этого мероприятия.

Безусловно, что Россия в силу своей территориальной протяженности, географического расположения на планете, разнообразных связей с зарубежными партнерами нуждается в надежных современных средствах навигации. Осознание данного факта неизбежно приведет заинтересованные ведомства к принятию неотложных мер для определения соответствующих отечественных интересов, концепций, приоритетов, инвентаризации сохранившихся и создания новых средств мониторинга факторов космической погоды, их учета в имеющихся и перспективных системах навигации. Объективная необходимость поэтому уже сегодня требует участия России в международной кооперации в рассматриваемой области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The National Space Weather Program. The Implementation Plan. FCM-P31-1997. Washington, DC. January 1997, 104 p.
2. Поток энергии Солнца и его изменения. Под ред. О. Уайта. М. "Мир", 1980, 560 с.
3. Логинов В.Ф. Характер солнечно-атмосферных связей. Л. "Гидрометиздат", 1973, 48 с.
4. Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. Вып. 86. Электризация геостационарных спутников. Сборник научных трудов. Под ред. Г. В. Попова. М. "Наука", 1989, 184 с.
5. Смольков Г. Я. Радиоастрофизическое обеспечение астронавигации морских, воздушных и космических объектов. Научная школа "Астронавигация-97", СПб, 20.05.97, Гос.НИНГИ, 1997, с.7.
6. Science News, 1997, v.151, p.2 (Земля и Вселенная, 1998, №1, с.9).
7. Акасофу С. И., Чепмен С. Солнечно-земная физика. М. "Мир", т.1, 1974, 384 с.; т.2, 1975, 512 с.
8. Солнечно-земная физика. Под ред. А. Бруцека и Т. Дюрана. М. "Мир", 1980, 256 с.
9. Паркер Е. Динамические процессы в межпланетной среде. М. "Мир", 1965, 364 с.
10. Витинский Ю. И., Оль А. И., Сазонов Б. И. Солнце и атмосфера Земли. Л. "Гидрометиздат", 1976, 352 с.
11. Science News, 1997, v. 151, p. 68 (Земля и Вселенная, 1998, №1, с.64).
12. Solar-Terrestrial Energy Program: Major Scientific Problems. Helsinki University of Technology, ESPOO, Finland, July 23, 1988, 185 p.
13. International STEP Newsletter, 1996, v. 2, No. 3, p. 5–7; 1997, v.3, No.4, p.11–15.
14. The National Space Weather Program. The Strategic Plan. FCMP30-1995, Washington, DC, August 1995, 30 p.

RISK ASSESSMENT PROCEDURES FOR DESIGN AND OPERATION OF SHIPS AND OFFSHORE STRUCTURES IN ICE

O. T. Gudmestad (*Statoil, Norway*),
S. Loset (*Norwegian University of Science and Technology, NTNU,*
and the University Courses on Svalbard, UNIS, Norway)

Abstract

It has been recognised for a long time that the understanding of the risk related to marine operations is essential in order to ensure safe operations and transport. Procedures to assess the risk related to design and operation of structures in areas where there is interaction with ice, should as far as possible, be consistent with and follow procedures to assess structural risk in other areas where ice is not of concern. In the present paper, the specifics of risk analysis related to structural design in areas with ice are being discussed for ships and offshore structures, taking into consideration phases to be covered and possible hazards to be analysed.

1. Introduction

In this paper the term 'risk assessment' covers all areas of concern to the engineers involved in structural design and operation of ships and offshore structures in areas where the structures interact with ice. It should be noted that the term 'risk' involves risk to personnel, environment and material values and that risk related to structural design and operations in principle could cause loss of lives, environmental pollution and loss of assets (see NPD, 1996).

In the present paper, the wording 'risk assessment' should thus not be regarded as synonymous with the term 'reliability assessment' which normally is related to uncertainties in the environmental loading conditions and the associated structural response. Reliability assessments have been reported upon by an ISSC committee (Haver, 1996), although the report from that committee does not cover ice conditions. Reference is also made to E&P Forum (1996). Input for reliability assessments of structures in ice, is available in Shkhinek et al. (1997). It should be noted with considerable concern, however, that the estimated ice loads vary with almost an order of magnitude from one design institute to another (Shkhinek et al., 1994), although this uncertainty over the last years has been reduced (Kennedy et al., 1995, Schwarz, 1994).

In the following sections, the specifics of risk analysis related to structural design in areas with ice are being discussed for ships and offshore structures, taking into consideration *phases* to be covered and possible hazards to be analysed.

2. General

General procedures for risk assessment covers a number of available tools including qualitative tools such as FMECA (Failure Modes, Effects and Availability Analysis), HAZOP (Hazard and Operability Analysis) as well as quantitative risk analysis, see e.g. Aven (1992) for a review of methodology. The evaluation of whether to use qualitative or quantitative methods may be difficult and will depend upon the purpose of the risk analysis and whether data are available to carry out quantitative analysis or not (Gudmestad, 1995). It can, in general, be recommended that a HAZOP should be carried out first, as a part of any risk analysis, to identify hazardous tasks, events or situations. Furthermore, qualitative analysis are required prior to quantitative analysis to identify the level of risk and to evaluate whether there are merits to carry out a full quantitative analysis.

Prior to conducting any risk assessment, the analyst must also identify and decide on proper risk acceptance criteria (Rettedal and Gudmestad, 1995). These acceptance criteria must reflect the company's or relevant authorities' perception of acceptable risk. Events with low to medium probability and high consequence will fall outside the acceptable limit, while events with low probability and low consequences can be regarded as acceptable. Fig. 1 demonstrates how risk acceptance criteria can be defined in qualitative analysis.

It should be noted that procedures for risk analysis normally allow for a band of combinations of probabilities and consequences where the risk should be reduced to as low as reasonably practicable (ALARP), which normally would involve a cost benefit analysis prior to implementing the identified risk reducing measures. This band is called the ALARP band. It should be recognised that the ALARP band possibly should involve *lower* risks for operations in areas with ice (e.g. in the Arctic) than for operations in other areas, in particular if the operations involve risk for environmental pollution. Such pollution could result from structural failures or operations of ships or offshore platforms, and is regarded as more critical having higher consequences in the vulnerable arctic environment than in other areas. In order to carry out risk analysis, and in particular quantitative risk analysis, there is a need for data bases of previous incidents. The most complete data base reflecting also structural risk, is the

World Offshore Accidental Database (WOAD, 1994). Lloyd's list of accidents does also reflect accidents related to failure of ships and offshore structures (Lloyd's, annual).

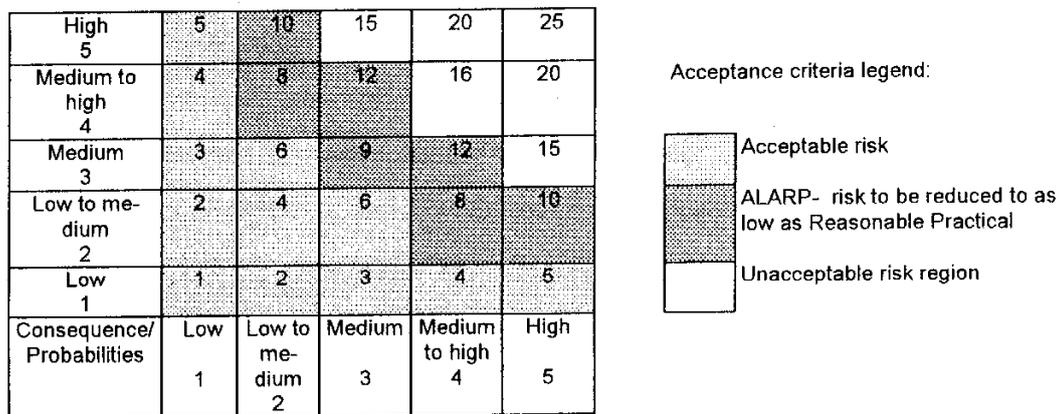


Fig. 1. Typical risk matrix used in qualitative risk analysis.

Furthermore, the Offshore Reliability Database reflects basic events like mechanical or process related failures, whereby it represents a background for detailed quantitative risk analysis of ships and offshore facilities (OREDA, 1994). This data base contains, however, fewer structural events and is regarded of lesser importance with respect to risk assessment of ships and structures. The detailed information contained in these data bases forms the background for quantifying probabilities of failure when fault and event trees are being used to break down the tasks to the lowest possible level. It should, however, be realised that the data bases contain very little information related to conditions with ice. For a thorough discussion of how risk analysis can be used in the construction and installation phases of offshore structures, see Rettedal et al. (1994). When discussing the procedures and the tools for risk analysis of structural related events, it should also be noted that it is considered possible to combine traditional quantitative risk analysis (QRA) using fault and event trees, with structural reliability analysis (SRA) using probability distributions of loads and material strength etc. (Nilsen et al., 1996) as well as distributions for weather exceedance (Brabazon et al., 1996). This combination of QRA and SRA techniques is considered to be particularly powerful and should be developed further for structural risk analysis.

Although structural risk can be attributed to structural failures, most accidents can be considered to be caused by human and organisational failures (PrimaTech, 1996). The effect of the human mind and the organisation should be taken into account in all risk assessments. It is also important to keep in mind that the different risk analysis techniques merely are tools, and that one can not rely entirely on these in the process of identifying dangerous conditions, fault modes and causality.

3. Ships in areas with ice

There are several different groups that are negatively affected if a ship accident occurs. There are mainly three different parties at risk, namely:

- public
- crew
- ship.

Cheaney and Coyle (1977) state that the risk to public includes risk to the life and well-being of members of the general public, risk of damage or loss to public property, and risk of damage to the marine environment. The arctic marine environment has since long been recognised as extremely vulnerable and fragile. If the transport shall take place, the system-designers have to keep this in mind and do anything in their power to avoid contamination of the environment.

The crew category includes the risk that an accident will occur resulting in injuries (including fatalities) to members of the crew of the ship involved, or to members of officially designated rescue and aid parties. Finally, the ship category includes the risk that an accident will result in damage to or loss of the ship and/or her cargo.

Although hazards should be avoided for all these categories, there is a certain ranking from the public's point of view. Damage to the ship is in general of no concern to the public, but of course, important for the shipowner and the insurance companies. Injuries (and even deaths) among the crew is taken more seriously than damage to the ship. Pollution of the environment or accidents affecting the general public are, depending on the extent, taken very seriously by the public, and the shipowners want to avoid this by all means.

In relation to accidents, we usually distinguish between primary and secondary accidents. The secondary accidents usually follow the primary ones and are often a direct consequence of these. Accidents which are classified as primary will therefore in fact be secondary. An example is structural failure: If a tanker grounds and the hull is damaged as a result of this, structural failure is a secondary accident (or consequence). If the hull is damaged as a result of degradation, it is a primary accident. A major part of the risk analysis for a ship, is the system description. This means information on:

- the geographical area, routes, water depths, ports, etc.
- the physical environment such as presence of sea ice and icebergs, sea state, meteorological conditions, visibility, etc.
- the tasks and their characteristics such as transport quantities, cargo type, loading/unloading/transshipment, etc.
- the characteristics of the ships: size, design, number, etc.

For instance, ship traffic in areas with ice is most frequently occurring in the Baltic with lower frequency in the Russian and Canadian Arctic. Risk analysis related to structural design and operations must cover a series of *phases* including the *transit phase* in waters with ice floes and fast ice as well as the effect of passing ridges. For areas of relevance, icebergs must be considered.

Another phase to be covered is the entrance into narrows and harbours filled with ice floes or covered with ice. Furthermore, the assistance of icebreakers must be covered with the possibilities of collisions between ships and icebreakers or between ships in a convoy. The major hazards for a ship are as follows (Cheaney and Coyle, 1977):

- Spills of hazardous cargo: This accident class is defined as including any events leading to release of a hazardous cargo but not including damage to the ship or the crew. 'Release' means that a significant amount of cargo escapes any control measures available and activated. In other words, if the spill is immediately cleaned up and no damage is done to the environment, then the spill is considered not to have any consequences in the terminology of the risk analysis. 'Hazardous' refers to materials that cause damage to the marine environment, as well as those that are toxic, explosive, etc. Typical incidents leading to this class of accidents are e.g. oil spills while loading/unloading, corrosion leading to tank leaks and other incidents as a result of degradation or operational failures of the cargo containment system.

- Collision, ramming and grounding: For this class of accidents, the primary (or initiating) event is when striking another object. 'Collision' refers to striking another ship. 'Ramming' means striking another object (other than ships). 'Grounding' refers to events where the ship contacts the bottom or the shore.

- Structural failure: This accident class includes all circumstances where a ship experiences major structural failure as a primary event.

- Flooding, capsizing and foundering: This accident class includes a ship's loss of buoyancy and/or stability as a result of primary events such as loss of watertight integrity or incorrect cargo load distribution. As a primary event, this type is rare: it more frequently occurs as a secondary event after collision, ramming, grounding or structural failure.

- Fire or explosion: These accident classes include any situation onboard the ship where an ignition of flammable material/cargo leads to a fire or explosion.

- Occupational accident (personnel casualty): This is any accident causing injury or death to crew members independently of ship damage when this accident class is to be considered as a primary one, personnel casualty occurs when the ship is not damaged.

Furthermore, structural hazards are e.g. related to interaction between ships and ice with the possibilities of local and global damage to the ship from floating ice floes, in particular in situations with combined ice floes and waves or strong currents. The structural related hazards must be considered in the following situations:

- interaction between ships and icebergs
- collision between ships and other ships as well as grounding in shallow waters as e.g. during entrance to harbours
- loss of steering power
- loss of propulsion
- mooring of ships in areas with ice where the ice moves with currents and tides
- effects of double hull ships on structural integrity and limitation of pollution
- effect of large waves etc.

After having identified the possible hazards, the probability of damage and the associated evaluation of consequences must be measured against the acceptance criteria in conducting the risk analysis.

4. Offshore platforms in areas with ice

Offshore platforms have already been installed in areas with ice such as in the Bering Sea (Cook Inlet), the Beaufort Sea and Bohai Bay. Furthermore, the Hibernia platform was installed on the Grand Banks in 1997, in an area with frequent occurrence of large icebergs. Plans are also underway to install platforms in the Pechora Sea and offshore Sakhalin. Drilling will furthermore soon start west of Greenland and has been ongoing in the Barents and Kara Seas over several years. The *phases* to be considered when evaluating structural risk to offshore platforms, include:

- fabrication and installation (Rettedal et al., 1994), also including deck transfer to platform, tow to site and exact placement
- operations in waves and ice, including loads from the environment as well as from supply boats, tankers and passing ships
- the decommissioning phase where the offshore platform is moved away from the location. The hazard (e.g. the hazardous situations) may vary from phase to phase, but should in general involve:
 - loss of equipment in floating phases (causing possibly lack of stability or buoyancy)
 - collision in all phases
 - stability during joining of parts of the structure, including potential for grounding during tow
 - effect of water pressure during transfer of deck to platform
 - effect of wave/current and ice loads and where relevant (e.g. Sakhalin), earthquake loads
 - effect of ridges and rubble pile up in front of the platform
 - height of ridges with the potential for ridges to touch topside equipment, etc. During platform operations, hazards are furthermore related to:
 - possible process equipment leakages and explosions/fires
 - possible well associated problems such as blowouts
 - possible pollution during loading or transportation

The methodology used in areas without ice is relevant although expert assessments should be included to evaluate the effects of operating under the Arctic conditions.

References

1. Aven, T. (1992): 'Reliability and Risk Analysis', Elsevier, England, 346 p.
2. Brabazon P., Hopkins, I. and Gudmestad, O.T. (1996): 'Estimating the Likelihood of Weather Criteria Exceedance during Marine Operations'. Proc. of OMAE 1996, Vol II, Firenze, June 1996, pp. 23-28.
3. Cheaney, E.S. and Coyle, A.J. (1977): 'System Safety Analysis of a Commercial Vessel'. Department of Transportation, United States Coast Guard. Washington, D.C., November 1977, 80 p.
4. E&P Fomm (1996): 'Quantitative data sheet: Extreme Weather Risk'. E&P Forum 25/28 Old Burlington Street, London W IX, ILB, UK.
5. Gudmestad, O.T. (1995): 'Critically Examining the Methodology of Risk Assessment in the Construction and Installation Phases of an Offshore Project'. IRR Conf. on 'Assessing & Minimizing Risk in the Design. Construction & Installation of Offshore Structures', London, Sept. 1995.
6. Haver, S. (1996): 'Environmental Conditions for Reliability Assessment'. Report to ISSC Speciality Committee on Environmental Loading, Stavanger, Oct. 1996.
7. Kennedy, K.P., Fitzpatrick, P.J., Hewitt, K.J. and Danielewicz, B.W. (1995): 'Ice Structure Interaction Research and Arctic Modeling Workshop'. Vol. II, North West Research Associates Inc., P.O.Box 3027, Bellevue, WA 98009-3027, pp. 135-142.
8. Lloyds Register of Shipping; 'Register of Ships', updated annually.
9. Nilsen, T., Gudmestad, O. T., Dalane, J. 1., Rettedal, W. and Aven, T. (1996): "Utilisation of Principles of Structural Reliability in Quantitative Risk Analysis. Example from an Offshore Transport". Accepted for publication in 'Reliability Engineering & System Safety. Special Issue on Offshore Safety', Sept. 1996
10. NPD (1996): 'Regulations Relating to Implementation and Use of Risk Analysis in the Petroleum Activities' with 'Guidelines'. The Norwegian Petroleum Directorate, Stavanger.
11. OREDA (1994): 'Oreda Handbook'. Offshore Reliability Database, De norske Veritas, Oslo
12. PrimaTech (1996): 'International Workshop on Human Factors in Offshore Operations'. New Orleans, to be issued by American Bureau of Shipping, Dec. 1997.
13. Rettedal, W., Gudmestad, O.T., Aarum, T. and Vegge, A. (1994): 'Use of Risk Analysis in Offshore Construction Projects'. Proceedings OMAE-94, Vol. I, Houston, pp. 417-432.
14. Rettedal, W. and Gudmestad, O.T. (1995): 'Acceptance Criteria for Risk in Offshore Construction Projects'. Proceedings of OMAE-95, Vol. II, Copenhagen, pp. 513-521,
15. Schwarz, J. (1994): 'Low Level Ice Forces'. Proc. of the 12th Int. Symposium on Ice (IAHR), Vol. 3, Trondheim, pp 1040-1050.
16. Shkhinek, S., Slanchel, D., Croasdale, K., Matskewich, D.G. and Bhat, S.U. (1994): 'Comparison of the Russian and Foreign Codes and Methods for Global Load Estimation'. Proc. Offshore Mechanics and Arctic Engineering, OMAE-94, Vol. IV, ASME, NY, Houston, pp. 75-82.
17. Shkhinek, K., T. Kama, Gudmestad, O.T., Leiset, S., Bolshev, A., Mischenko, S., Chasovskih, E., Lehmus, E. and Shass, P., (1997): 'Potential Structures for the Russian Arctic Offshore'. Proceedings of the 16th International Conference on Offshore Mechanics and Mechanics and Arctic Engineering, Yokohama, 13-18 April 1997, Vol. IV, pp. 183-190. 1
18. WOAD (1994): 'Statistical Report'. World Offshore Accident Databank, Del norske Veritas, Technica, Oslo.

ОБ УЧЕТЕ ОЦЕНКИ РИСКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВ И ШЕЛЬФОВЫХ СООРУЖЕНИЙ В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ

О.Т. ГУДМЕСТАД

(Статойл, Норвегия),

С.ЛОСЕТ

(Норвежский Университет Науки и Техники, Норвегия)

Процедуры оценки риска, связанного с проектированием и эксплуатацией сооружений в тех районах, где приходится встречаться со льдами, должна, насколько это возможно, соответствовать и следовать процедурам оценки риска для конструкции в других районах, где не возникает проблем из-за наличия льда. Обсуждается специфика анализа риска, связанная с проектированием судов и шельфовых сооружений, предназначенных для эксплуатации в ледовых условиях и характеризуются возможные опасности, которые необходимо проанализировать в процессе проектирования.

Введение. Будем считать, что термин «оценка риска» охватывает все области, представляющие интерес для специалистов, занимающихся проектированием плавучих и стационарных сооружений в тех районах, где возможно взаимодействие со льдом. Следует отметить, что понятие "риск" включает в себя риск для персонала, окружающей среды и материальных ценностей и что риск, связанный с проектированием и эксплуатацией конструкций, в принципе мог бы послужить причиной человеческих жертв, загрязнения окружающей среды и потери имущества [1].

Таким образом, термин «оценка риска» в данной статье не следует рассматривать как синоним термину «оценка надежности», который обычно связывают с неопределенностями в условиях нагрузки со стороны окружающей среды и обусловленной этим фактором реакцией конструкции. Оценка надежности выполнена комитетом ISSC [2], хотя в докладе этого комитета ледовые условия не освещены. Определенные данные имеются в материалах E&P Fogum [3]. Исходные данные для оценки надежности конструкций при наличии льда имеется в работе К.Н.Шхинека и др. [4]. Однако следует отметить, что ледовые расчетные нагрузки отличаются в разных проектных институтах почти на целый порядок (величин) [5], хотя эта неопределенность за последние годы уменьшена [6].

Ниже обсуждается специфика анализа риска, связанная с проектированием конструкций применительно к судам и шельфовым сооружениям, эксплуатируемым в районах, где имеется лед: при этом учитываются особенности, которые должны быть охарактеризованы и возможные опасности, которые необходимо проанализировать.

Общие сведения. Общие процедуры оценки риска предусматривают проведение как качественной (методики FMECA, NAZOP), так и количественной оценок. Соответствующий обзор методологии [7]. Решение, какой использовать метод – качественный или количественный – будет зависеть от цели проводимого анализа риска и от наличия исходных данных для количественного анализа [8]. В общем, можно порекомендовать сначала провести анализ опасности эксплуатации (HAZOP), как часть любого анализа риска для определения опасности тех или иных задач, событий или ситуаций в процессе эксплуатации. Кроме того, качественный анализ необходимо выполнить до количественного, чтобы установить уровень риска и определить, существуют ли критерии для проведения полного количественного анализа.

Прежде чем проводить любую оценку риска, аналитик должен также определить соответствующие критерии приемлемого риска [9]. Они должны отражать понимание приемлемого риска соответствующей организацией. События с вероятностью от малой до средней и серьезными (высокими)/большими последствиями будут лежать вне приемлемых пределов, тогда как события с малой вероятностью и незначительными (низкими)/малыми последствиями могут считаться приемлемыми. Критерии приемлемого

риска можно определить при качественном анализе согласно стандартной матрице риска (рисунок).

Вероятность события, балл (5)	5	10	15	20	25
От средней до высокой (4)	4	8	12	16	20
Средняя (3)	3	6	9	12	15
От малой до средней (2)	2	4	6	8	10
Малая (1)	1	2	3	4	5
Последствия/вероятность, балл	Малая (1)	От малой до средней (2)	Средняя (3)	От средней до высокой (4)	Высокая (5)

Стандартная матрица риска, принимаемая при качественном анализе риска:

	приемлемый риск;
	риск, который может быть снижен до разумно возможного/осуществимого;
	неприемлемый риск

Следует отметить, что процедуры анализа риска обычно учитывают группу комбинаций вероятностных событий и их последствий, в которой риск должен быть уменьшен до разумно возможного/осуществимого (ALARP), что обычно могло бы повлечь за собой анализ ожидаемых расходов и прибылей еще до применения установленных критериев снижения риска.. Следует понимать, что эта группа ALARP по возможности должна быть связана с более низким риском эксплуатации в ледовых условиях (например, в Арктике), чем при проведении операций в свободных ото льда акваториях. В частности, если эти операции связаны с риском загрязнения окружающей среды. Такое загрязнение могло бы явиться результатом повреждения судовых конструкций или работы платформ на шельфе. При высокой уязвимости арктической среды оно считается более опасным и имеющим более высокие последствия, чем в других регионах.

Для того, чтобы провести анализ риска, в том числе количественный, необходимо иметь базы данных, содержащие информацию о предыдущих случаях аварий и повреждений в тех или иных конкретных условиях. Наиболее полная база таких данных – Всемирная база данных аварий на шельфе [10]. Ежегодник Ллойда также отражает аварии, связанные с повреждением судов и шельфовых сооружений [11].

Кроме того, база данных Норвежского Веритас о надежности по шельфу отражает такие основные события, как механические повреждения или повреждения, связанные с процессом эксплуатации, что в результате создает основу для проведения детального количественного анализа риска использования судов и шельфовых установок [12]. Однако эта база данных содержит меньше информации о событиях, касающихся конструктивных повреждений и поэтому считается менее важной с точки зрения оценки риска их возникновения.

Детальная информация, содержащаяся в названных базах данных, создает основу для квалификации вероятностей выхода из строя или отказов того или иного оборудования или конструкций, когда деревья отказов и событий используются для того, чтобы разбить задачи до самого низкого из возможных уровней. Однако эти базы данных содержат очень мало информации относительно условий, связанных с наличием льда.

Способы использования процедур анализа риска на стадиях строительства и установки шельфовых сооружений подробно обсуждены, в частности, в работе Реттедала и др. [13].

При обсуждении процедур и средств анализа риска свершения событий, связанных с конструктивными повреждениями, следует также отметить, что считается возможным сочетать традиционный количественный анализ (QRA) риска, используя деревья отказов и событий, с анализом надежности конструкции (SRA), используя распределения вероятностей нагрузок и прочности материалов и т.д. [14], а также распределения случаев возникновения чрезвычайных погодных условий [15]. Считается, что

сочетание QRA и SRA методов является особенно эффективным и методику его использования следует разрабатывать дальше в интересах совершенствования анализа конструктивного риска.

Хотя этот риск может быть связан с разрушением или поломкой конструкции, можно считать, что большинство подобных аварий вызвано ошибками человека и организационными промахами [16]. Поэтому при всех оценках риска следует учитывать влияние решений человека и организации работ. Важно также помнить, что различные методы анализа риска являются всего лишь доступными нам на сегодня инструментами и что в процессе определения опасных условий, видов повреждений и несчастных случаев нельзя полагаться только на них.

Эксплуатация судов в ледовых условиях. В основном можно выделить три категории объектов/групп, подвергающихся риску при аварии судна:

- * народонаселение (в широком смысле слова);
- * экипаж;
- * судно.

Чини и Койл [17] пишут, что риск для народонаселения включает угрозу жизни и благосостоянию всех членов общества, риск повреждения или потери общественной собственности и риск повреждения морской окружающей среды. Морскую окружающую среду Арктики уже давно считают чрезвычайно уязвимой и хрупкой. Если там будут проводиться перевозки, проектанты должны неустанно помнить об этом и делать все возможное, чтобы избежать загрязнения окружающей среды.

Риск категории "Экипаж" включает риск аварии, которая приведет к ранениям и смерти членов экипажа данного судна или членов официально назначенных спасательных и вспомогательных партий, а по категории "Судно" – риск аварии, в результате которой будет повреждено или потеряно судно и/или его груз.

Хотя следует избегать опасности риска всех степеней, с точки зрения общества в этом вопросе существует определенная градация. Повреждение судна общество в целом не затрагивает, хотя само по себе это событие важно для судовладельца и страховых компаний. Ранения (или даже смерть) членов экипажа воспринимаются более серьезно. Загрязнение окружающей среды или аварии, затрагивающие широкие слои общества, в зависимости от серьезности катастроф воспринимаются очень болезненно, и судовладельцы всячески стремятся их не допустить.

Различаются первичные и вторичные аварии. Вторичные обычно следуют за первичными и часто бывают прямым их следствием. Поэтому в ряде случаев аварии, которые относят к первичным, фактически являются вторичными. Примером служит разрушение конструкции. Если танкер садится на мель, в результате чего его корпус получает повреждения, то разрушение обшивки представляет собой вторичную аварию (или последствие). Если же корпус получает повреждение в результате плохого качества его материала, то это – первичная авария.

Основной частью анализа судового риска является описание его как системы и системного элемента. Это означает информацию:

- * о географическом районе – маршрутах, глубинах, портах и т.д.
- * о физических характеристиках среды – наличии морского льда и айсбергов, состоянии моря, метеорологических условиях, видимости и т.д.;
- * о задачах и условиях – количество перевозок, тип груза, характер операций (погрузка/разгрузка/перегрузка) и т.д.
- * о характеристиках судов – размерениях, проекте, количестве и т.д.

Например, судоходство в районах, где имеются льды, наиболее интенсивно на Балтике и менее интенсивно в российской и канадской секторах Арктики.

Анализ конструктивного риска, связанного с проектированием и эксплуатацией судна, должен охватывать ряд этапов, включая этап перехода в водах, где встречаются льдины и неподвижный лед или припай, а также воздействие торосов при движении через них. Для соответствующих районов необходимо учитывать присутствие айсбергов.

Еще один процесс, который необходимо учесть, – это вход в узкости и гавани, которые заполнены льдинами или которые полностью покрыты льдом. Кроме того, необходимо учитывать ледакольную проводку и возможность столкновений судов и ледоколов или столкновений судов в караване. Главными опасностями для судна являются следующие [17]:

* Разлив опасного груза. Этот класс аварий охватывает любые события, ведущие к сбросу опасного груза, но не вызывающие повреждение судна или угрозу экипажу. "Сброс" означает, что со значительным количеством груза не справляются имеющиеся средства борьбы. Другими словами, если разлитый груз немедленно убран, и окружающей среде ущерб не причинен, то считается, что с точки зрения анализа риска разлив никаких последствий не имел.

Термин "опасный" относится к материалам, которые причиняют ущерб морской среде, а также к токсичным материалам, взрывчатым веществам и т.д. Типичными случаями, приводящими к опасным авариям, являются, например, разлив нефти при погрузке/выгрузке или коррозия, приводящая к течи цистерн и другие случаи, являющиеся результатом разрушения или неисправности в системе хранения груза.

* Столкновение, таран и посадка на мель. Для этого типа аварий основным (или инициирующим) событием является удар о другой объект "Столкновение" касается удара о другое судно. "Таран" означает удар о другой объект (не судно). «Посадка на мель» относится к событиям, при которых судно касается грунта или берега.

* Разрушение конструкции. Этот тип аварий вызывается теми причинами, следствием которых является крупное разрушение судовых конструкции как первичное событие.

* Затопление отсеков водой, перевертывание и затопление судна. Эта категория аварий включает потерю судном плавучести и/или остойчивости в результате действий таких первичных событий, как потеря водонепроницаемости или неверное распределение грузов. В качестве первоначального события встречается редко – обычно это вторичное событие после столкновения, тарана, посадки на мель или разрушения какой либо судовой конструкции.

* Пожар или взрыв. Категория аварий, к которой относится ситуация, приводящая к воспламенению горючего материала или груза и, как следствие, к пожару или взрыву.

* Авария, связанная с профессиональными утратами. К этой группе относится любая авария, приводящая к ранениям или смерти членов экипажа (независимо от повреждения судна). Этот тип аварии должен рассматриваться как первичный – когда судно не повреждено.

Кроме того, опасность конструктивных повреждений связана, например, со взаимодействием между судами и льдом, когда возникает возможность местного или полного повреждения судна плавающими льдинами, особенно в сочетании воздействия льда и волнения или сильных течений. Опасности, связанные с повреждением судовых конструкцией, должны рассматриваться в следующих ситуациях:

* взаимодействие судов и айсбергов;

* столкновение судов, а также посадка на мель на мелководье, например во время входа в гавани;

* потеря управляемости;

* выход из строя энергетической установки;

* швартовка судов в районах, где лед перемещается под действием течений и приливных явлений;

* влияние двухкорпусной конструкции на общую прочность судна и ограничение загрязнения среды;

* влияние больших волн и т.д.

После того, как возможные опасности выявлены, необходимо при проведении анализа риска определить вероятность повреждения и связанную с этим оценку последствий с использованием критериев приемлемости.

Платформы на шельфе в ледовых условиях. Добывающие платформы уже работают в таких районах как Берингово море (зал. Кука), море Бофорта и зал. Бохай. Кроме того, на Большой Ньюфаундлендской банке, где часто встречаются большие айсберги, в 1997 г. была установлена платформа "Hibernia". Разрабатываются планы установки платформы в Печорском море и шельфовой зоне Сахалина. Кроме того, скоро начнется бурение в районе к западу от Гренландии; в Баренцевом в Карском морях оно уже проводится несколько лет.

Этапы, которые необходимо учитывать при оценке риска повреждения конструкции шельфовых платформ:

- * изготовление и установка [13]; сюда относятся также доставка палубных блоков на платформу, буксировка ее на место и точная установка на точку;
- * эксплуатация при наличии волнения и в ледовых условиях – нагрузки от воздействия окружающей среды, судов снабжения, танкеров и проходящих судов;
- * вывод из эксплуатации, в процессе которого платформа перемещается с места установки.

Опасность (опасные ситуации) может меняться от этапа к этапу, но в целом возникает в связи со следующим:

- * утратами оборудования – на плаву (что может привести к недостаточной устойчивости или плавучести)
- * столкновениями на всех этапах;
- * потерей устойчивости при монтаже тех или иных конструкции, либо при посадке на мель во время буксировки;
- * влиянием давления воды – при транспортировке палубы на платформу;
- * влиянием нагрузок от воздействия волнения/течений и льда, а также в специфических условиях (например, на Сахалине), при сейсмическом воздействии;
- * влиянием торосов и ледяных валунов перед платформой;
- * угрожающей высотой торосов, что может привести к их соприкосновению с оборудованием на палубе и т.д.

Во время эксплуатации платформ опасности также связаны с:

- * возможными протечками в обрабатываемом оборудовании и взрывами/ пожарами;
- * возможными осложнениями в процессе буровых работ, например, фонтанированием нефти;
- * возможным загрязнением среды во время погрузо/разгрузочных работ или транспортировки.

В целом на сегодняшний день методология оценки риска, применяемая для районов, в которых лед отсутствует, является приемлемой. Однако для оценки факторов, влияющих на эксплуатацию в арктических условиях она должна включить экспертные оценки.

**К ВОПРОСУ ОБ УЧЕТЕ «ПРИВНЕСЕННОГО РИСКА»
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МОРСКИХ РАБОТ****Н.Н.НЕРОНОВ**
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Характеризуется риск, связанный с наличием минной опасности при проведении морских работ. Приводятся схемы миноопасных районов Балтийского, Баренцево и Карского морей, где планируется освоение промысла морских углеводородов или прокладка трубопроводов.

В статье О.Т. Гудместада и С. Лосета рассматриваются вопросы оценки риска при проектировании и эксплуатации плавучих и стационарных сооружений в районах моря, где возможно соприкосновение со льдом. При этом учитываются возможные опасности, которые необходимо проанализировать. Соглашаясь, в общем, с авторами статьи хотелось бы обратить внимание читателя на обстоятельства, которые также следует учесть при анализе условий эксплуатации морских конструкций.

Освоение Мирового океана можно рассматривать как процесс, включающий его изучение и использование. Они тесно взаимосвязаны: результаты изучения определяют возможности использования Мирового океана, а характер его использования – задачи изучения (таблица).

Анализ динамики направлений использования Мирового океана позволяет утверждать, что в начале XXI века эти направления сохранятся и получат дальнейшее развитие. Это положение подтверждается тем, что даже уже разведанные месторождения нефти, газа, марганца, и др. ресурсов в Мировом океане значительно превышают известные запасы на суше, которые к тому же постепенно истощаются, в то время как численность народонаселения планеты ежегодно увеличивается на 1%. В свою очередь добыча морепродуктов и рыболовство при рациональном ее осуществлении несомненно должна внести значительный вклад в пищевой рацион человечества. Все вместе взятое будет увеличивать масштабы освоения запасов Мирового океана. Особенно это важно для России, у которой более двух третей протяженности границ приходится на морские рубежи, причем большая их часть находится в арктических районах. Интенсификация освоения Мирового океана ставит ряд проблем, решение которых определяет эффективность этого процесса. Важнейшими из них являются создание современной технической базы и разработка перспективных технологий изучения и использования океана с учетом обеспечения безопасности выполняемых работ. В этом отношении учет возможного технического риска (о чем, в частности, идет речь в предыдущей статье норвежских специалистов) и сведение его к минимуму при всестороннем учете специфики эксплуатации (включая весь комплекс неблагоприятных погодных условий) может оказаться недостаточным. Необходим дополнительный учет “привнесенного риска”, возникающего при выполнении работ в акваториях, служивших аренами активных боевых действий или местами захоронения трофейного оружия после окончания Второй мировой войны. При этом, если последние не многочисленны, достаточно четко локализованы и хорошо известны, то погибшие корабли и особенно минные постановки являются главным источником возникновения дополнительной опасности для работ в акваториях Мирового океана. Так, только во время последней войны на всех морских театрах военных действий было установлено около 750 тыс. мин [1]. Обладая огромной разрушительной силой (масса взрывчатого вещества достигала 1000 кг) и высокой противотальной стойкостью, мины оказались эффективным поражающим оружием на море. Выставлялись они в основном на мелководье, в районах наиболее интенсивного судоходства, на вероятных путях следования надводных кораблей и подводных лодок. Точное определение местоположения минных заграждений в ряде случаев в связи с утратой (или отсутствием) соответствующей документа-

ции затруднено. В отечественных морях наиболее опасными, по данным на 1960 г., оставались Балтика¹ и ряд районов Баренцево моря (рис.1, 2), т.е. как раз те акватории, где планируется проведение работ, связанных с добычей и транспортировкой морских углеводородов. И

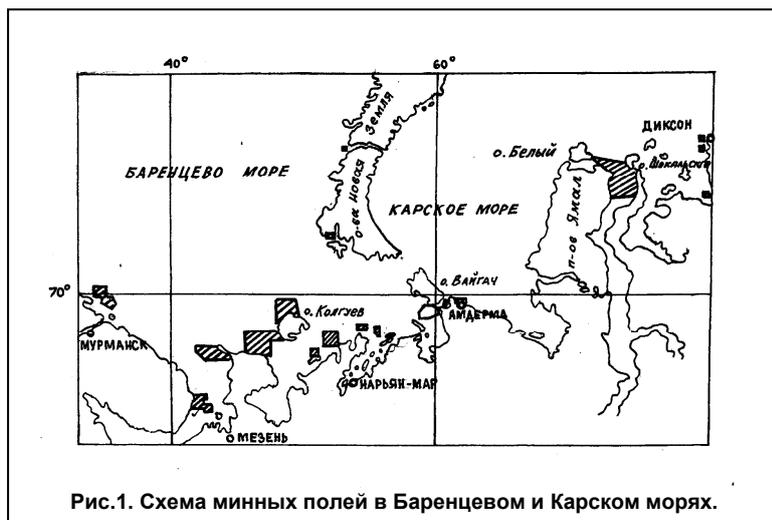


Рис.1. Схема минных полей в Баренцевом и Карском морях.



Рис.2. Схема минных полей в Балтийском море.

мин и оценка их эффективности.

Это обстоятельство дает основание рекомендовать предусматривать в перечне работ по обустройству морских нефтегазовых месторождений противоминное обеспечение, т.е. контрольный поиск мин в районах установки платформ, прокладки трубопроводов, якорных стоянок и т.п. В процессе этого поиска следует также обратить внимание на идентификацию затонувших объектов с целью определения их возможной опасности (наличия остатков топлива, боезапаса и т.п.)³.

Такое же обеспечение следует включать в перечень обязательных работ при проектировании строительства портов, каналов, фарватеров и выполнение других донных работ.

¹ По данным шведских специалистов, на Балтике во времена мировых войн было установлено 85 тыс. мин, с тех пор 30 тыс. мин остаются пока не обезвреженными. (Прим. ред.).

² В третьей декаде сентября 1998 г. на Балтике завершились международные военно-морские учения "Опен Спирит-98". В них приняли участие 15 кораблей ВМС Франции, ФРГ, Нидерландов, Бельгии, Дании, Польши, Финляндии, Литвы, Латвии и Эстонии. В ходе маневров, которые проходили в эстонских территориальных водах, было проведено разминирование 30 морских мин, по одной авиабомбе и торпеды времен Первой и Второй мировых войн. (Прим. ред.).

³ Специалисты стран-участниц уже упоминавшихся учений "Опен Спирит-98" нанесли на карту местонахождение под водой корпусов нескольких судов, подводной лодки и даже самолета. (Прим. ред.).

Противоминные действия в свою очередь потребуют навигационно-гидрографического обеспечения, которое может включать высокоточное определение места корабля-уничтожителя мин (тральщика), знание данных о глубине грунта и рельефе дна в районе поиска, колебаниях уровня моря, гидрологического режима и др.

В заключение следует особо подчеркнуть опасность применения минного оружия в Арктическом бассейне. Учитывая чрезвычайно высокую сложность его ликвидации в водах с постоянным ледовым покровом, представляется целесообразным внести в Международную конвенцию по морскому праву пункт, запрещающий постановку мин под льдами морей Арктики и Антарктики.

Кроме того, ООН и ЕС видимо следовало бы рассмотреть вопрос о формировании специальных многонациональных морских сил с тем, чтобы с их помощью провести в открытых от льда европейских водах операции по полному уничтожению оставшихся там после боевого траления 1945–1962 гг. мин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В.Рудаков. "Противоминные корабли: история развития, уроки и выводы", Морской сборник, 1979, №10, с.39.
2. Приложение к "Извещению мореплавателям", ГУ ВМФ, 1960, №21.
3. О.Т.Гудмestad, С.Лосет. Об учете оценки риска при проектировании и эксплуатации судов и шельфовых сооружений в ледовых условиях, Навигация и гидрография, 1998, №6, с.22–26.

ON THE ISSUE OF THE ' BROUGHT-IN RISK' ASSESSMENT WHILE CONDUCTING MARINE OPERATIONS

N.N.NERONOV
(Gos.NINGI MD RF)

Characterized is the risk related to the existence of mine hazard while conducting marine operations. Schemes of mine-hazardous regions of the Baltic, Barents and Kara Seas where the extraction of marine hydrocarbons or construction of pipelines are planned are given.

The article of O.T.Gudmestad and S.Loset deals with the issues risk assessment covering all areas of concern in structural design and operation of ships and offshore structures in areas where the structures interact with ice. The authors take into consideration different kinds of risks to be analyzed. Concurring in general with the authors we would like to bring the reader's attention to the circumstances which should be also considered while analyzing the conditions of marine structures operation. The opening of the World Ocean can be viewed as a process involving its research and utilization. These two are closely connected : the research results define possibilities of utilizing of the World Ocean while the ways of its utilizing defines the tasks of research (see the table).

The dynamics analysis of the directions of utilizing of the World Ocean gives us the right to assert that at the beginning of the XXI century these directions will not only remain but will also have further development. This statement is backed up by the fact that the already located in the World Ocean deposits of oil, gas, manganese and other resources considerably exceed the known reserves on the surface. Moreover the latter are, gradually becoming exhausted while the number of population on our planet is increasing by 1% annually. In their turn fishing and producing the sea-products if properly conducted should certainly make a significant contribution to food ration of mankind. All these taken together will increase the scale of utilization of the World Ocean's reserves. This is of particular importance for Russia due to the mere fact that two thirds of its frontiers are sea-borders and most of them are located in the Arctic regions.

However the intensification of utilization and research of the World Ocean presents the number of problems and the way they are solved defines the effectiveness of this process. The most important problems are: creation of the modern technical base and working out the perspective technologies of research and utilization of the ocean with the issues of safety provision of the conducted operations taken into consideration. In this respect understanding of probable technical risk (described in the above mentioned article of Norwegian specialists) and its reduction to minimum considering in detail all the specifics of operation (to include the whole complex of unfavourable weather conditions) may

result in being insufficient. In this case the additional understanding of the "brought-in risk" should be taken into consideration. This risk arises when the operations are conducted in the aquatoriums that used to serve as active theatres of war operations or as burial places for trophy weapons during the Second World War. The latter are not numerous and well known as opposed to minefields, which at the moment present main source of additional hazard for the operations, conducted in the World Ocean. Only during the last War about 750 000 mines were laid in all theatres of war operations [1]. Being of high explosive power (explosive substance mass was up to 1000 kg) and high antisweeping resistance mines had come to be the effective defeating weapon on sea. They were laid mainly in shallow waters, in the regions of intensive navigation, on probable fairways of surface ships and submarines. Accurate location of minefields cause difficulties in some cases due to the loss (or mere absence) of documentation. In the Russian seas the most hazardous are (according to the data of 1960) the Baltic Sea ¹ and some regions of the Barents Sea (fig.1,2) ² i.e. the aquatoriums where operations connected with extraction and transport of marine hydrocarbons are planned. Even though after the end of the war up to 1953 included mines were exterminated here by means of combat minesweeping and blowing them up with shells, there are no any data that all the mines which had been laid in these regions are exterminated ³. One can only make a supposition that a part of them (estimated approximately as more than 50%) is left on the sea bottom and presents a certain hazard for operations connected with oil and gas extraction and their transport.

From the above mentioned follows that for full description of navigation risk as a system [3], one should include in the list of data on the geographical reason to be researched and utilized data on minefields used to be laid in this region and on minesweeping activities conducted there. These should include: co-ordinates of places of laying with the estimation of its accuracy, types of mines and their characteristics, actions taken to exterminate the mines and estimation of effectiveness of these actions.

This gives the grounds to recommend to include in the list of operations conducted on constructions on the site of marine oil and gas deposits minesweeping operations i.e. checking search for mines in the regions of installation of platforms, laying of pipelines, anchorages etc. In this process it is necessary to identify all sunken objects for its dangerous definition (presence of oil, ammunition etc. ⁴). The same minesweeping operations should be included in the list of obligatory operations while designing constructions of ports, canals, fairways and other bottom operations. Activities against mines will in their turn demand navigating and hydrographic provision, which may contain highly accurate location of place of a minesweeper, data on the ground depth and bottom relief in the region of search, variation of the sea level, hydrological regime etc.

In conclusion one should underline the hazard implementation of the mine weapons in the Arctic basin. Noting the extreme difficulty in the liquidation of this weapon in the waters with permanent ice cover it seems reasonable to include a point forbidding minelaying under the ice of Arctic and Antarctic. In the International convention the Law of the sea. Besides, UNO and EEC should consider the issue of organizing special multinational naval forces to conduct with their help in the free of ice European waters operations on overall liquidation of mines left there after combat minesweeping of 1945-1962.

LITERATURE

1. V.Rudakov "Minesweepers : history of development, lessons and conclusions" Morskoi Sboinik, 1979, № 10. p. 39.
2. Appendix to "Notices to Mariners", 1960, №21.
3. O.T.Gudmestad and S. Laset. Risk assessment procedures for design and operation of ships and offshore structures in ice. Navigation and Hydrography, 1998, №6, p 18-21.

¹ According to the date published by the Swedish specialists, 85,000 mines were planted in the Baltic during WWI and WWII; 30,000 mines are still not rendered safe.

² See Russian text, p. 29.

³ In the third decade of September 1998, the international naval exercise "Open Spirit 98" was completed in the Baltic. Fifteen ships of France, FRG, the Netherlands, Belgium, Denmark, Poland, Finland, Lithuania, Latvia and Estonia participated in this exercise. In the course of the maneuvers which were conducted in the Estonia territorial waters, 30 sea mines, one aircraft bomb and one torpedo from the times of WWI and WWII were neutralized.

⁴ Specialists of the states which took part in "Open Spirit-98" plotted on the chart the underwater positions of several vessels, a submarine and even an aircraft.

МЕТОДЫ, ТОЧНОСТЬ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАВИГАЦИИ. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ШТУРМАНА

ГРНТИ 78.21.41.19

О СРЕДНЕЙ КВАДРАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТА И ОБОЗНАЧАЮЩИХ ЕЕ ТЕРМИНАХ

А.И.СОРОКИН
(ИНОЗ РАН),
Б.Е.ИВАНОВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Анализируется строгость оценки точности определения места с помощью среднего квадратического эллипса и средней квадратической погрешности определения места, а также обоснованность терминов, используемых для обозначения последней величины.

В навигации и гидрографии, так же как в других отраслях науки и техники, имеют место неточности в определении некоторых величин, применение нескольких терминов для обозначения одной величины, использование одного и того же термина для обозначения нескольких величин. Ниже рассматриваются такие неточности и неоднозначности, связанные с понятием о средней квадратической погрешности определения места.

1. О "приближенности" средней квадратической погрешности определения места. При оценке точности определения места обычно рассматривается или средний квадратический эллипс погрешностей, или средняя квадратическая погрешность (СКП) определения места. Средний квадратический эллипс характеризуется тремя величинами: большой a , малой b полуосями и направлением одной из них. СКП определения места M оценивается по формуле [1]

$$M = \sqrt{a^2 + b^2}. \quad (1)$$

СКП определения места несет в себе меньшее количество информации по сравнению с эллипсом погрешностей, поскольку является интегральной оценкой, не учитывающей анизотропность распределения, т.е. его зависимость от направления. Вероятно поэтому бытует мнение, что эллипс является строгой и точной характеристикой погрешности, а СКП определения места носит приближенный характер и применяется на практике только из-за простоты и удобства. Некоторые считают, что формула (1) теоретически не обоснована и получена только для того, чтобы эллипс заменить более простой фигурой – окружностью. Рассмотрим, насколько справедливы подобные суждения.

Эллипс является линией равной плотности вероятностей только в случае, когда погрешности измерений навигационных параметров подчинены нормальному закону распределения. Многие полагают, что именно этот случай имеет место в морской навигации, и пытаются это доказать, основываясь на центральной предельной теореме из работы [2] и экспериментальных определениях закона распределения. Однако, теоретический и экспериментальный пути позволяют говорить лишь о близости к нормальному распределению, и то только при обязательном соблюдении ограничивающих условий. Вопрос этот не нов. Еще А.Пуанкаре заметил: "Все верят в нормальный закон: математики – потому, что думают, что физики наблюдают его на опыте; физики же – потому, что думают, что математики способны доказать теоретически, что нормаль-

ный закон выполняется" [3].

В действительности же погрешности измерений принципиально не могут следовать нормальному закону, допускающему появление погрешностей любых размеров с определенной вероятностью. Очевидно, что ошибка пеленгования даже при наличии промахов не может превышать 180° , а погрешность измерения разности расстояний – величины базы станций и т.п. Впрочем, на это обстоятельство указывал еще Гаусс [4]. Таким образом, речь может идти только о некоторой усеченной модификации нормального распределения. Следовательно, применяя нормальный закон при оценке точности наблюдений, мы должны отдавать себе отчет в том, что допускаем приближение, позволяющее упростить наши выкладки.

Результаты наблюдений показывают, что во многих случаях большие погрешности появляются гораздо чаще, чем это предусмотрено в нормальном распределении. С целью учета такого обстоятельства В.Т.Кондрашихин предложил использовать распределение Лапласа [5], что приводит к появлению линии равной плотности вероятностей в виде параллелограмма. Погрешности определения места с помощью ИСЗ не подчиняются нормальному распределению, а, к примеру, ошибки определения места по расстояниям до кораблей, стоящих на якорю, подчиняются закону арксинуса, не имеющим уже ничего общего с нормальным законом [6]. В последнем случае линия равной плотности вероятностей будет представлять собой овал в виде параллелограмма с закругленными углами. При использовании створа погрешность положения изолинии будет подчинена равномерному распределению, а в качестве линии равной плотности вероятностей при любом законе распределения погрешностей положения второй изолинии будут выступать два параллельных отрезка.

Если даже предположить, что погрешности измерений строго следуют нормальному распределению, то и тогда эллипс нельзя считать абсолютно точной оценкой погрешности определения места. Вывод уравнения эллипса погрешностей был сделан при условии постоянства градиентов навигационных параметров в области действия погрешностей их измерения. Это условие строго никогда не выполняется. В большинстве случаев изменчивость градиентов невелика и эллипс с достаточной степенью приближения может характеризовать линию равной плотности вероятностей. Однако при значительной изменчивости градиентов искажения будут большими. Так при определении места по расстояниям или разности расстояний в районе базовой линии линия равной плотности вероятностей представляет собой овал, существенно отличающийся от эллипса, а непосредственно на базовой линии – два симметричных овала. Кстати, при этом могут наблюдаться систематические погрешности определения места даже при отсутствии систематических погрешностей измерения навигационных параметров.

Эллипс погрешностей определяется на основе знания СКП измерения навигационных параметров. Неопределенность оценок СКП измерения, что имеет место всегда, приводит к неопределенности оценок элементов эллипса и, в частности, направления полуоси, наличие которого, как уже отмечалось выше, является важным аргументом в пользу использования эллипса. Таким образом, незыблемость этого аргумента в определенной степени ставится под сомнение. Кроме того, могут быть частные случаи, когда неопределенность СКП измерения скажется на оценках элемента эллипса, но совершенно не повлияет на величину СКП определения места.

В связи с изложенным утверждение о том, что эллипс может считаться строгой оценкой погрешности определения места, является некорректным.

В отличие от эллипса, величина СКП определения места не зависит от закона распределения погрешностей измерения и соответствует среднему квадратическому значению всех погрешностей определения места, входящих в генеральную совокупность, что в общем виде выражается зависимостью

$$M^2 = \iint_{\omega} (x^2 + y^2) \varphi(x, y) dx dy, \quad (2)$$

где $\varphi(x, y)$ – значение плотности вероятностей погрешности определения места в те-

кущей точке с координатами x и y относительно определяемого места;

ω – область действия погрешностей навигационных измерений.

Принципиальная строгость и универсальность СКП определения места делает ее незаменимой в практической навигации, где она используется намного чаще, чем эллипс. Так в правилах ведения навигационного журнала указана необходимость записи данных только о СКП определения места. В связи с тем, что СКП определения места выражается одним значением, только ее применение и возможно при решении некоторых задач, в частности, при построении линий равной точности определения места.

Так называемая "приближенность" СКП определения места возникает тогда, когда ее начинают применять, вводя допущения. Так, допущением будет являться использование формулы (1) для расчетов при реальном законе распределения погрешностей, поскольку эта формула справедлива только при условии существования нормального распределения. Кроме того, допущением будет являться простая замена эллипса кругом с радиусом M . Эллипс отождествляется с линией равной плотности вероятностей, а окружность с радиусом M будет соответствовать этой линии только при равенстве полуосей эллипса $a = b$, т.е. в случае преобразования эллипса в круг с радиусом, равным a .

В связи с приближенностью характеристик погрешности определения места следует отметить, что споры о том, какую погрешность считать предельной – удвоенную или утроенную, исходя из величины их вероятности, вычисляемой до третьего знака после запятой, представляется достаточно беспредметным, поскольку правильность исходной посылки – степени соответствия погрешностей наблюдений принятому закону распределения – обычно не оценивается.

Таким образом, СКП определения места является строгой интегральной оценкой, а средний квадратический эллипс погрешностей – приближенной, но более информативной оценкой. Мнение о "приближенности" СКП определения места не имеет под собой основания.

2. О терминах, обозначающих среднюю квадратическую погрешность определения места. Наряду с суждением о "приближенности" СКП определения места, ей не повезло также и с названием. За всю историю использования величины M она обозначалась разными терминами, что продолжается и в настоящее время.

Вопрос присвоения понятию того или иного термина часто сопровождается дискуссией, которая может продолжаться длительное время. Это связано с тем, что в терминологии общепринятый термин появляется не как объективно установленный результат некоего познавательного процесса, а как следствие многолетнего развития той или другой отрасли знаний либо как результат соглашения или волевого решения. При этом должны выполняться три основных правила. Во-первых, установившийся термин, который выдержал испытание временем, по возможности не следует менять. Во-вторых, одно и то же понятие без крайней необходимости не следует называть по-разному. В-третьих, более важным требованием является недопустимость присвоения одного термина разным, но схожим между собой понятиям, что может приводить к ошибочным выводам и решениям при его использовании.

Рассмотрим, как выполняются указанные правила при установлении терминов, обозначающих величину M . На начальном этапе оценки точности навигации для обозначения величины M крупные ученые применяли следующие термины: автор обобщенного способа линий положения, являющегося основой для оценки точности определения места, известный ученый В.В.Каврайский – "средняя ошибка положения точки" [7]; А.П.Белобров – "средняя квадратическая круговая ошибка в положении точки" [8]; Н.Н.Матусевич – "средняя квадратическая ошибка положения точки" [9]; А.Д.Козлов – "средняя квадратическая ошибка определения места" [1]. Последний термин длительное время широко использовался штурманами и гидрографами. В связи с требованиями ГОСТ-а [10] в этом термине слово "ошибка" было заменено на "погрешность". Если не считать последнего уточнения, то термин "СКП определения места" можно полагать установившимся термином, находящим применение и в настоящее время.

Однако примерно с 1970 г. для обозначения величины M в морской навигации начал применяться термин “радиальная средняя квадратическая погрешность (РСКП) определения места”. Несмотря на предупреждения, сделанные в работах [11, 12], он стал широко распространяться, причем, в основном, среди военных штурманов. Одной из первых работ с термином “РСКП определения места” было “Руководство ...” [13]. Кстати, в нем РСКП и СКП определения места обозначают чуть ли не разные величины, которые только “идентичны по вероятностным характеристикам”, хотя вычисляются по одним и тем же формулам.

В результате для обозначения величины M стали применяться два термина – СКП и РСКП. В последнее время в нормативные документы и учебники по навигации вошел термин РСКП, а в пособиях по гидрографии продолжает использоваться термин СКП. В принятом в 1979 г. ГОСТ-е 23634–79 [14], подвергнутом резкой критике со стороны известных ученых-штурманов военно-морского и транспортного флотов [15,16], в приложении “Термины, относящиеся к практике судовождения” предложен термин РСКП.

В пособиях по теории вероятностей (при артиллерийских расчетах), по геодезии и по другим дисциплинам всегда применялся термин СКП. В зарубежных трудах по навигации и гидрографии встречается исключительно термин СКП. Он используется, в частности, в действующем ныне Стандарте 4278 “Методы описания навигационной точности” [17], ратифицированном всеми странами НАТО.

Кроме двух указанных терминов для обозначения величины M некоторые авторы применяют и другие термины, например, РСКП обсервованных и счислимых координат. В таких случаях подчас невозможно установить, какую именно величину он обозначает. Все это привело к тому, что на кораблях нашего флота в настоящее время находятся пособия, содержащие разные термины, обозначающие однако одну и ту же величину.

Нами проанализированы материалы сборника “Записки по гидрографии” с 1965 по 1997 г., в которых используется величина M . Все они разделены на следующие четыре группы.

К 1-й группе отнесены статьи с терминами “СКП определения места”, “СКП места”, “СКП координирования”, “СКП определения точки” и т.п.

Ко 2-й отнесены статьи с терминами “РСКП определения места”, “РСКП места”, “РСКП” и т.п.

К 3-й отнесены статьи, в которых одновременно использованы термины, относящиеся к 1-й и 2-й группам.

К 4-й группе отнесены статьи с терминами “точность” и т.п.

Результаты выполненного анализа показали, что авторы сборника “Записки по гидрографии” даже в последние годы отдают предпочтение термину СКП (таблица).

Несколько иная картина наблюдается при рассмотрении пяти номеров журнала “Навигация и гидрография”, издающегося с

Разбивка статей в сборнике
“Записки по гидрографии”
по группам и по годам издания

Год	Количество статей в группе				
	1	2	3	4	итого
1965	3	–	–	–	3
1966	2	–	–	1	3
1967	5	–	–	–	5
1968	6	–	–	2	8
1969	2	–	–	–	2
1970	–	–	–	–	–
1971	2	–	1	1	4
1972	2	–	–	1	3
1973	1	–	–	–	1
1974	1	–	–	–	1
1975	2	–	–	–	2
1976	2	–	–	3	5
1977	–	–	–	–	–
1978	4	–	–	1	5
1979	4	–	–	1	5
1980	1	–	–	–	1
1981	3	–	–	–	3
1982	2	–	–	–	2
1983	–	–	–	–	–
1984	2	–	–	–	2
1985	1	–	1	1	3
1986	5	–	–	1	6
1987	2	–	–	1	3
1988	2	–	–	–	2
1989	3	–	–	–	3
1990	2	1	–	1	4
1991	9	–	–	–	9
1992	3	–	1	–	4
1993	1	–	2	–	3
1994	3	1	2	–	6
1995	3	1	1	–	5
1996	2	1	–	–	3
1997	5	–	–	1	6
Итого	85	4	8	15	112

1995 г. Количество статей этого журнала по группам составило 8, 1, 2 и 6 соответственно, в порядке возрастания номера группы.

Погрешность определения места может трактоваться только как расстояние между известным (определенным по измеренным навигационным параметрам) и истинным местами корабля. Следовательно, термин "СКП определения места" полностью определяет понятие, которое он обозначает, и не требует каких-либо дополнительных пояснений. Конечно, для специалистов, не усматривающих сразу качественное различие между СКП определения места и СКП положения изолинии (измерения угла, определения широты и т.п.), слово "радиальная" является полезной подсказкой; а сама аббревиатура "РСКП" в обиходе узкого круга специалистов даже не требует дополнительных пояснений. Однако бездумное применение "привычного" термина может привести к таким курьезам, как использование термина "РСКП курса", который вообще не имеет никакого смысла.

Термин СКП обладает универсальностью, он может быть отнесен не только к одномерным, но и многомерным величинам. Несмотря на то, что гидрографы, геодезисты и специалисты других профессий никогда не встречали затруднений в этом вопросе, для лиц, реже сталкивающихся с данной терминологией, по-видимому, полезно иметь в названии термина дополнительные указания о размерности обозначаемой им величины. Так, согласно Стандарту НАТО 4278 [17], в случае необходимости, размерность указывается буквой d (dimension) перед названием погрешности. Например, 1RMS, 2dRMS и 3dRMS обозначают средние квадратические погрешности (root mean square) на линии, плоскости и в пространстве, т.е. в переводе на русский язык аббревиатура принимает вид 1СКП, 2мСКП и 3мСКП.

Важным обстоятельством является то, что термин РСКП уже давно "занят" в теории вероятностей [2, 18]. Там он относится к круговому распределению, когда полуоси эллипса становятся равными $a = b$, и эллипс превращается в круг, называемый круговой погрешностью. Здесь, и только здесь, можно говорить о радиальной погрешности, которая не связана с определенным направлением, а поэтому может рассматриваться как погрешность в двумерном пространстве, подчиненная уже другому закону распределения (распределению Рэлея в случае, если линейные погрешности вдоль полуосей a и b распределены по нормальному закону). Естественно, что термин "радиальная", образованный как прилагательное от слова "радиус", относится лишь к круговому распределению, т.е. в случае эллиптического распределения, строго говоря, не может быть и радиальной погрешности.

РСКП R кругового распределения равна [2, 18]

$$R = a. \quad (3)$$

При этом распределении на основании формулы (1) можно выразить СКП

$$M = a\sqrt{2}. \quad (4)$$

Из формул (3) и (4) видно, что величина M в 1,4 раза больше R , а вероятности попадания в окружности с радиусом M и R соответственно равны 0,63 и 0,39 [6]. Побутно заметим, что равенство (3) утверждает лишь то, что величины a , b и R равны между собой, но не доказывает их идентичность, т.к. они являются характеристиками случайных величин, которые, как отмечено выше, подчинены разным законам распределения.

Закончив на этом экскурс в классическую терминологию, перейдем к рассмотрению приближенных величин, которые получаются при простой замене эллипса кругом. В этом случае в справочнике [18] РСКП выражается зависимостью

$$R_1 = \left(\frac{\sqrt{a} + \sqrt{b}}{2} \right).$$

У Н.Н.Матусевича [9] аналогичная величина определяется по формуле

$$R_2 = \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}}.$$

Отношение M к R_1 изменяется от 1,4 до 4, отношение M к R_2 постоянно и равно 1,4.

Таким образом, величина РСКП как в строгом, так и в приближенном понимании никогда не равна величине СКП. Кстати, в сборнике "Записки по гидрографии" наряду со статьями, в которых термин РСКП обозначает величину M , встречается статья, в которой тот же термин обозначает совершенно другую величину R .

В связи с изложенным штурманам и гидрографам при использовании тех или иных пособий необходимо обращать пристальное внимание на термины, характеризующие погрешность определения места, и учитывать исторически сложившуюся неоднозначность и особенности их применения, изложенные выше.

Затронутые вопросы целесообразно широко обсудить и учитывать в дальнейшем при составлении новых ГОСТ-ов, ведомственных нормативных документов, учебников и других материалов по морской навигации и гидрографии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козлов А.Д. Оценка точности определения мест корабля.–[Л.]:ГУ ВМС,1954.–190 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей.3-е изд., испр.– М.:Наука, 1964.–576 с.
3. Грекова И. Методологические особенности прикладной математики на современном этапе ее развития//Вопросы философии.–1976.–№6.–С.104–114.
4. Гаусс К.Ф. Способ наименьших квадратов. Теория соединения наблюдений, приводящих к наименьшим погрешностям. Геттинген, 1821.– М.:Библ. естеств. и математич. наук, 1859.–32 с.
5. Кондрашихин В.Т. Определение места судна. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1989. –230 с.
6. Сорокин А.И. Гидрографические исследования Мирового океана.–Л.:Гидрометеиздат, 1980.–287 с.
7. Каврайский В.В. Избранные труды. Т.1. Астрономия и геодезия.–[Л.]:УНГС ВМФ, 1956.–358 с.
8. Белобров А.П. Гидрографические работы (дополнительные вопросы).– [Л.]:ГУ ВМС, 1951.–207 с.
9. Справочник штурмана по математике. Вып.2. Практическая математика/Составит. Н.Н.Матусевич, ред. А.П.Ющенко.–[Л.]:ГУВМС,1951.–143 с.
10. ГОСТ 16263-70. Метрология. Термины и определения.–М.:Издательство стандартов,1972.– 53 с.
11. Кондрашихин В.Т. Об изменении навигационных терминов//Морской сборник.–1980.–№6.–С.56–59.
12. Сорокин А.И. Об оценке точности определения места одним числом и используемых при этом терминах и понятиях //Записки по гидрографии. – 1987.–№217.–С.20–23.
13. Руководство по оценке точности кораблевождения.–[Л.]:ГУ МО, 1970.–86 с.
14. ГОСТ 23634-79. Навигация и гидрография. Морские термины и определения.–М.:Издательство стандартов, 1979.–13 с.
15. Скворцов М. В терминологии неточности недопустимы//Морской сборник.–1988.–№5.–с.48–50.
16. Кондрашихин В.Т. О навигационной терминологии //Морской сборник. – 1988.–№6.–С.43.
17. NATO STANDARDIZATION AGREEMENT 4278. Method of expressing navigation accuracies.Edition 2.1986.
18. Справочник по вероятностным расчетам. 2-е изд., доп. и испр./ Г.Г.Абезгауз, А.П.Третьяков, Ю.Н.Копенкин, И.А.Коровина. – М.:Воениздат, 1970.–536 с.

ГРНТИ 78.21.41.19

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ, ПОДЧИНЯЮЩИХСЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ЛАПЛАСА

Б.Е.ИВАНОВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Получена зависимость для моделирования случайных погрешностей, подчиняющихся распределению Лапласа. В отличие от ранее известной формулы эта зависимость позволяет вычислять искомую случайную погрешность только по одному значению равномерно распределенной случайной величины, генерируемой на ЭВМ. Это позволяет увеличить ряд искомых случайных величин и уменьшить время вычисления. Предложенная модель проверена с использованием критерия согласия К.Пирсона.

При совершенствовании средств и методов навигации и океанографии часто используется метод статистических испытаний, для реализации которого необходимо иметь модели погрешностей соответствующих параметров. В настоящее время в навигации и океанографии широко используется нормальное распределение погрешностей.

При этом случайная погрешность Δ_H согласно [1] определяется как

$$\Delta_H = \sigma \left(\sum_{i=1}^n R_i - \frac{n}{2} \right) \sqrt{\frac{n}{12}} + M, \quad (1)$$

где σ – средняя квадратическая погрешность;

R_i – значение равномерно распределенной случайной величины в пределах от 0 до 1, генерируемое в i -ом цикле на ЭВМ;

n – число циклов;

M – систематическая погрешность.

Как видно из формулы (1), для получения одного значения величины, подчиняющейся нормальному распределению, необходимо суммировать несколько генерируемых на ЭВМ чисел, что, естественно, приводит к увеличению времени решения задачи. Кроме того, в некоторых ЭВМ число генерируемых случайных чисел может быть небольшим. В этом случае при использовании формулы (1) ряд нормально распределенных случайных чисел может быть существенно ограничен.

В работе [2] взамен нормального распределения предлагается в навигации использовать распределение Лапласа. Для моделирования случайной величины Δ , подчиняющейся распределению Лапласа, согласно [1] имеем

$$\Delta = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} \ln \left(\frac{R_i}{R_{i+1}} \right) + M. \quad (2)$$

При вычислении по формуле (2) одного значения величины Δ необходимо использовать два значения равномерно распределенной случайной величины. Это может привести к увеличению времени решения задачи и сокращению ряда искомых случайных чисел. Поэтому представляется целесообразным получение зависимости для нахождения случайной величины Δ по одному генерируемому на ЭВМ значению равномерно распределенной случайной величины. Такая задача решается ниже.

Для получения значения случайной величины Δ , имеющей функцию распределения $F(\Delta)$, может быть использовано равенство [1]

$$F(\Delta) = R, \quad (3)$$

где R – значение случайной величины, подчиняющейся равномерному распределению в пределах от 0 до 1.

В равенстве (3) искомая величина Δ выражена в неявном виде. Кроме того, для нормального распределения функция распределения выражается интегралом, который не имеет решения в аналитической форме. В связи с этим использование формулы (3) для нормального распределения представляет собой трудоемкую задачу. Достаточно просто эта задача может быть решена для распределения Лапласа, функция распределения которого выражается зависимостями [3]

$$\left. \begin{aligned} F(\Delta) &= \frac{1}{2} e^{-\alpha|\Delta-M|} \quad \text{при } \Delta \leq M; \\ F(\Delta) &= 1 - \frac{1}{2} e^{-\alpha|\Delta-M|} \quad \text{при } \Delta > M, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где параметр $\alpha = \sqrt{2}/\sigma$.

Подставим выражения (4) в равенство (3). После логарифмирования и преобразования найдем

$$\left. \begin{aligned} \Delta &= \frac{\sigma}{\sqrt{2}} \ln(2R) \quad \text{при } R \leq 0,5; \\ \Delta &= -\frac{\sigma}{\sqrt{2}} \ln[2 \dots (1-R)] + M \quad \text{при } R > 0,5. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Для удобства реализации на ЭВМ вместо двух формул (5) получим одну расчетную формулу

$$\Delta = \frac{\sigma}{\sqrt{2}} \operatorname{sgn}(0,5 - R) \ln [I + (2R - I) \operatorname{sgn}(0,5 - R)] + M, \quad (6)$$

где $\operatorname{sgn}(0,5 - R)$ оператор определения знака выражения $0,5 - R$.

Формула (6) имеет преимущество перед формулой (2) в том, что содержит только одно значение равномерно распределенной случайной величины. Кроме того, полученная формула гораздо проще при реализации на ЭВМ, чем формула (1). Это еще раз подтверждает вывод о том [4], что распределение Лапласа более удобно при вычислениях, чем нормальное распределение. По формуле (6) были выполнены расчеты на ПЭВМ при $M = 0$ и $\sigma = 1$. По результатам вычисления 1000 значений случайной погрешности получены значения экспериментальной вероятности нахождения погрешности в градации размером 0,5 и значения теоретической вероятности, рассчитанные с использованием формул (4) (табл.1).

Из приведенных в табл.1 данных видно, что экспериментальная и теоретическая вероятности достаточно близки друг к другу. Для оценки меры их близости и справедливости гипотезы о соответствии экспериментального и теоретического

распределений использовался критерий согласия К.Пирсона χ^2 . Были получены 20 моделей погрешностей, каждая из которых состояла из 1000 значений случайной погрешности, и вычислены значения величины χ^2 . В результате оказалось, что гипотеза соответствия экспериментального и теоретического распределений может считаться правдоподобной.

В соответствии с [5] с помощью критерия согласия можно только опровергнуть выбранную гипотезу, но не доказать ее справедливость. В связи с этим более убедительной будет оценка того, насколько критерий согласия экспериментального и теоретического распределений для распределения Лапласа будет больше, чем для исходного равномерного распределения. В качестве такой оценки можно использовать от-

Таблица 1
Экспериментальная и теоретическая вероятности нахождения погрешности в пределах назначенной градации

Границы градации		Вероятности	
левая	правая	экспериментальная	теоретическая
-4,0	-3,5	0,002 208	0,001 606
-3,5	-3,0	0,003 412	0,003 319
-3,0	-2,5	0,008 228	0,006 862
-2,5	-2,0	0,015 252	0,014 185
-2,0	-1,5	0,032 912	0,029 323
-1,5	-1,0	0,062 011	0,060 616
-1,0	-0,5	0,132 049	0,125 306
-0,5	0,0	0,248 445	0,259 032
0,0	0,5	0,253 462	0,259 032
0,5	1,0	0,123 620	0,125 306
1,0	1,5	0,058 198	0,060 616
1,5	2,0	0,031 708	0,029 323
2,0	2,5	0,015 252	0,014 185
2,5	3,0	0,007 425	0,006 862
3,0	3,5	0,004 214	0,003 319
3,5	4,0	0,001 605	0,001 606

Таблица 2
Отношение значений критерия согласия для распределения Лапласа и равномерного распределения

№	$\frac{\chi^2}{\chi_R^2}$	$\frac{\chi_o^2}{\chi_R^2}$	№	$\frac{\chi^2}{\chi_R^2}$	$\frac{\chi_o^2}{\chi_R^2}$
1	0,802	0,595	11	0,950	0,412
2	1,155	1,717	12	1,049	1,353
3	1,037	1,060	13	0,479	0,613
4	0,598	0,549	14	0,369	0,529
5	0,701	2,304	15	0,882	1,459
6	0,843	0,974	16	0,484	0,504
7	0,652	0,929	17	1,155	1,510
8	0,846	0,475	18	0,813	0,498
9	0,694	0,471	19	1,138	0,592
10	0,868	1,375	20	0,454	0,825

ношение вычисленного значения χ^2 к значению критерия согласия χ_R^2 , полученному для проверки модели исходных значений равномерно распределенной случайной величины R . Вычисленные значения указанного отношения для 20 полученных ранее моделей приведены в табл.2. Кроме того в ней же приведены отношения значения критерия согласия К.Пирсона χ_o^2 , полученные в случае использования формулы (2), к значению χ_R^2 .

Из табл.2 видно, что значения критерия согласия для распределения Лапласа и исходного равномерного распределения примерно одинаковы. Более того, значения χ^2 и χ_o^2 в большинстве случаев меньше значений χ_R^2 , а среднее отношение указанных величин для 20 моделей составляет 0,798 и 0,937 соответственно при использовании формул (6) и (2).

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что при решении задач навигации и океанографии методом статистических испытаний в качестве модели погрешностей, подчиняющихся распределению Лапласа, можно использовать значения случайных погрешностей, вычисленные по формуле (6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям. – СПб.: ВМА им. Н.Г.Кузнецова, 1996.–282 с.
2. Кондрашихин В.Т. Определение места судна. 2-е изд., перераб. и доп.– М.: Транспорт, 1989. – 230 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы. Пер. с англ. – М.: Наука, 1968. – 720 с.
4. Беляев Б.Н., Иванов Б.Е. К вопросу использования распределения Лапласа в навигации // Навигация и гидрография. – 1996.– No 3. – С.43-44.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Изд.2-е, перераб. и доп. – М.: Физматгиз, 1962. – 564 с.

НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

ГРНТИ 78.25.31.35.29.01

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ ДЛЯ КОРАБЛЕЙ И МОРСКИХ СУДОВ

ЕМЕЛЬЯНЦЕВ Г.И.,

(Гос.НИНГИ МО РФ)

АНУЧИН О.Н.

(Гос.ИТМО, С.-Пб)

ГУСИНСКИЙ В.З.

(ЦНИИ «Электроприбор», С.-Пб)

Анализируется перспектива развития навигационного вооружения для кораблей и морских судов - создание интегрированных систем ориентации и навигации (ИСОН) на базе бескарданных инерциальных измерительных модулей, приемной аппаратуры СНС и модуля электронной карты. Рассматриваются решаемые задачи, структура построения и состав ИСОН для кораблей и судов различных классов. Приводятся результаты численного моделирования на ПЭВМ погрешностей ИСОН в выработке навигационных параметров.

1. Назначение, решаемые задачи и структура построения ИСОН. К числу основных информационных задач, решаемых в настоящее время на кораблях и морских судах, относятся задачи навигации, управления движением, стабилизации и начальной выставки бортовых приборов различных корабельных потребителей, например, комплексов оружия и палубной авиации. Для решения этих задач требуется соответствующее информационное обеспечение. В работе [1] показано, что эффективным и универсальным измерителем параметров движения корабля как в низкочастотной, так и в высокочастотной области спектра его линейных и угловых перемещений в интересах всех корабельных потребителей являются бескарданные инерциальные навигационные системы (БИНС). Кроме того, в этом случае эффективно решается и проблема обеспечения современных требований по информационной автономности навигационного вооружения (НВ) боевых кораблей. Увеличение длительности и протяженности современной морской операции, применение противником разнородных сил с комплексным воздействием РЭП и УРО, воздействие гидрометеорологических факторов существенно уменьшает вероятность обсерваций по радионавигационным (РНС, СНС) и астронавигационным (АНС) системам и приводит к необходимости ориентироваться на автономные средства навигации, из которых наибольшей эффективностью обладают инерциальные системы.

Данный вывод подтверждается и мировой практикой. Так, на вооружение кораблей стран НАТО в 1990 году поступила в качестве стандартной навигационной системы БИНС на лазерных гироскопах (ЛГ) Mk.49 разработки фирм «Sperry» и «Honeywell» (США). Ее стоимость порядка 300–400 тыс. дол. В зависимости от класса надводных кораблей и свойственной им длительности боевых действий устанавливаемые на них платформенные ИНС и БИНС на электростатических (ЭСГ)–N2000 – и лазерных гироскопах обладают различным уровнем точности. В состав НВ надводных кораблей ВМС Великобритании начала XXI века также планируется использовать автономные средства навигации [2].

Проведенное в работе [3] сравнение различных структур построения контура навигации надводных кораблей по критерию эффективности, учитывающему требования по точности и информационной автономности при обеспечении навигационными системами высоких эксплуатационных характеристик (для ИНС: среднее время наработки на отказ $T_0 \geq 10\ 000$ ч; время готовности $T_r \leq 2$ ч; ремонт силами личного состава) при снижении их массогабаритных характеристик (МГХ), энергопотребления и стоимости, а также анализ современных мировых тенденций развития навигационного оборудова-

ния различных подвижных объектов [4] позволяет сделать вывод, что основу перспективного навигационного вооружения боевых надводных кораблей должны составлять интегрированные системы ориентации и навигации (ИСОН), содержащие бескарданные инерциальные измерительные модули (БИИМ) средней точности на электростатических и лазерных гироскопах, информационно интегрированные с приемной аппаратурой (ПА) СНС «Навстар» («Глонасс») и электронными картографическими навигационно-информационными системами (ЭКНИС). Структурная схема такой ИСОН представлена на рис.1.

Принципиальной особенностью ИСОН является более глубокая интеграция данных ПА СНС, инерциального модуля и ЭКНИС по сравнению с обменом информацией для стандартного НВ, что уже имеет место в авиационных ИСОН, например, LN-100G (фирма Littin) и H-764G (фирма Honeywell) [5]. В частности, в алгоритмах ИСОН, по данным БИИМ и эфемеридной информации от ПА СНС, могут формироваться расчетные значения псевдодальности и радиальной скорости каждого спутника для использования в ПА СНС в схемах слежения по коду и несущей частоте, а совместная обработка данных БИИМ и СНС может осуществляться на уровне первичных навигационных измерений. Это существенно повышает помехозащищенность ПА СНС. Для повышения надежности и уменьшения МГХ корабельных ИСОН может также использоваться бескорпусная ПА СНС, что уже имеет место в современных авиационных системах. Как показано в работе [1] ИСОН должны представлять собой единые общекорабельные системы навигации и стабилизации, решающие следующие основные задачи:

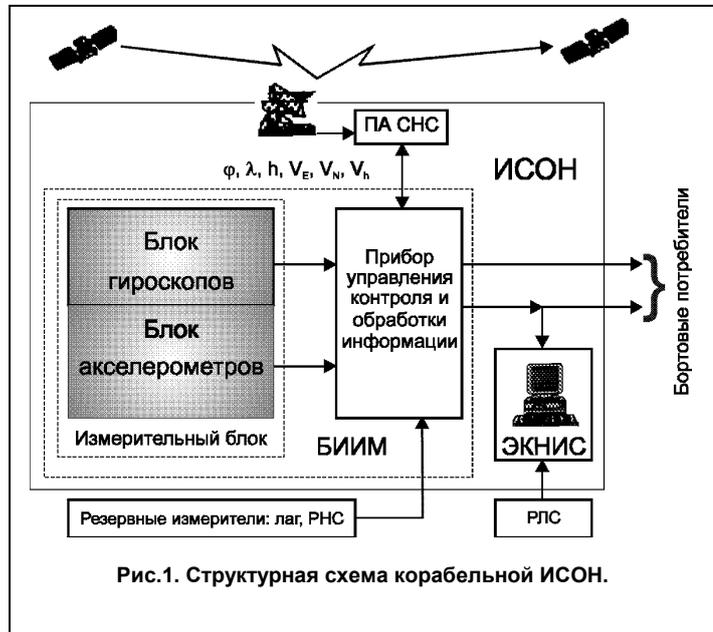


Рис.1. Структурная схема корабельной ИСОН.

1. Выработка всех кинематических параметров корабля в месте установки БИИМ ИСОН, характеризующих как поступательное движение его ц.м. (навигационные параметры), так и угловое движение вокруг ц.м. (динамические параметры) и необходимых для решения задач навигации, начальной выставки и стабилизации бортовых приборов корабельных потребителей (комплексов оружия, палубной авиации и т.п.) и управления движением. При этом точностные требования в части выработки навигационных параметров определяются, прежде всего, требованиями задачи навигации по обеспечению навигационной безопасности плавания, а в части выработки динамических параметров - требованиями задачи начальной выставки и стабилизации бортовых приборов комплексов оружия.

2. Приведение (пересчет) значений навигационных и динамических параметров от места установки БИИМ к точке размещения бортовых приборов корабельных потребителей навигационной информации с учетом при необходимости динамических деформаций корпуса корабля.

3. Отображение текущей навигационной информации о движении корабля на дисплее ЭКНИС, наряду с данными РЛС, картографической информацией и навигационным оборудованием района.

Определяющими требованиями к точности БИИМ в низкочастотной области спектра их погрешностей, входящих в состав ИСОН кораблей начала XXI века, будут нормы ИМО по точности выработки координат места в интересах обеспечения навигационной безопасности плавания в прибрежной зоне ($\Delta\varphi, \Delta\lambda = 2$ мили, $\rho = 0,95$) и в стесненных водах ($\Delta\varphi, \Delta\lambda = 10$ м, $\rho = 0,95$), а также требования по информационной автоном-

ности НВ боевых кораблей, составляющие, согласно зарубежным данным, от нескольких часов до суток и более.

Для выработки требований к точности чувствительных элементов (ЧЭ) БИИМ приведем приближенную модель погрешностей ИСОН, использующей БИИМ на позиционных гироскопах типа ЭСГ или датчиках угловой скорости типа ЛГ для автономного режима ее работы (в данном режиме для демпфирования шулеровских колебаний погрешностей БИИМ используется информация относительного лага; данные ПА СНС по координатам места и составляющим вектора линейной скорости привлекаются для обеспечения решения фильтровых задач по начальной выставке, протяженной коррекции и калибровке БИИМ). Можно показать, что погрешности ИСОН в выработке широты $\Delta\varphi$ и долготы места $\Delta\lambda$, а также погрешность выработки курса α_s (основная составляющая без учета погрешностей привязки осей измерительного блока БИИМ к осям корабля) связаны с ошибками $\delta\alpha_*$, $\delta\tau_*$, $\delta\rho_*$ моделирования в БИИМ инерциальной системы координат (ИСК) и ошибками β , γ моделирования вертикали места известными кинематическими соотношениями

$$\Delta\varphi = \delta\rho_* - \beta, \Delta\lambda = -\delta\alpha_* + tg\varphi \cdot \delta\tau_* + \frac{1}{\cos\varphi} \cdot \gamma, \quad (1)$$

$$\alpha_s = \frac{1}{\cos\varphi} \cdot \delta\tau_* + tg\varphi \cdot \gamma + \Lambda_{qh},$$

где Λ_{qh} - составляющая погрешности по курсу, обусловленная погрешностями измерения углового положения векторов кинетических моментов гироскопов относительно осей измерительного блока (имеют место лишь в БИИМ на позиционных гироскопах типа ЭСГ).

Модель погрешностей аналога ИСК для автономного режима работы ИСОН можно представить в виде

$$\begin{aligned} \delta\dot{\alpha}_* &= \delta\omega_{q\eta_m}, \delta\tilde{\alpha}_*(t_k), \\ \delta\dot{\tau}_* &= \dot{\lambda}_* \cdot \delta\rho_* + \delta\omega_{q\zeta_m}, \delta\tilde{\tau}_*(t_k), \\ \delta\dot{\rho}_* &= -\dot{\lambda}_* \cdot \delta\tau_* + \delta\omega_{q\xi_m}, \delta\tilde{\rho}_*(t_k), \end{aligned} \quad (2)$$

где $\delta\omega_{q\xi_m}$, $\delta\omega_{q\eta_m}$, $\delta\omega_{q\zeta_m}$ - проекции неучтенных дрейфов гироскопов на оси экваториальной системы координат $\xi_m \eta_m \zeta_m$, связанной с меридианом места объекта;

$\delta\tilde{\alpha}_*(t_k)$, $\delta\tilde{\tau}_*(t_k)$, $\delta\tilde{\rho}_*(t_k)$ - значения ошибок на момент коррекции БИИМ по данным СНС, как результат решения задачи фильтрации при совместной обработке их информации на конечном интервале времени;

$\dot{\lambda}_* = \Omega + \dot{\lambda}$ - угловая скорость вращения экваториальной системы координат, связанной с меридианом места объекта.

Систематические составляющие ошибок аналога вертикали БИИМ при непрерывном демпфировании шулеровских колебаний по данным измерителя линейной скорости могут быть приближенно аппроксимированы следующей моделью

$$\begin{aligned} \bar{\beta} &= -\frac{\delta\bar{a}_N}{g} - \bar{\Lambda}_{qE} + \bar{\xi}_g, \\ \bar{\gamma} &= \frac{\delta\bar{a}_E}{g} - \bar{\Lambda}_{qN} - \bar{\eta}_g, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\delta\bar{a}_{E(N)}$ - неучтенные составляющие смещения нулей акселерометров в проекциях на географические оси;

$\bar{\Lambda}_{qE(N)}$ - сглаженные в контуре вертикали погрешности измерения углового положения опорного гироскопического трехгранника $q_1q_2q_3$, связанного с векторами кинетических моментов гироскопов, относительно осей измерительного блока (имеют место лишь в БИИМ на позиционных гироскопах типа ЭСГ);

$\bar{\xi}_g, \bar{\eta}_g$ - неучтенные составляющие уклонений отвесной линии (УОЛ).

Итак, для ориентировочной оценки погрешностей ИСОН в выработке координат места и курса можно записать

$$\begin{aligned} \Delta\varphi &= [\delta\tilde{\rho}(t_k) + \frac{\delta\bar{\omega}_{q\zeta m}}{\dot{\lambda}_*}] \cdot \cos(\dot{\lambda}t) - [\delta\tilde{\tau}_*(t_k) - \frac{\delta\bar{\omega}_{q\zeta m}}{\dot{\lambda}_*}] \cdot \sin(\dot{\lambda}t) - \frac{\delta\bar{\omega}_{q\zeta m}}{\dot{\lambda}_*} + \frac{\delta\bar{a}_N}{g} + \bar{\Lambda}_{qE} - \bar{\xi}_g, \\ \Delta W &= \Delta\lambda \cdot \cos\varphi = [\delta\tilde{\alpha}_*(t_k) - \delta\bar{\omega}_{q\eta m} \cdot (t - t_k)] \cdot \cos\varphi + \sin\varphi \cdot \{[\delta\tilde{\tau}_*(t_k) - \\ &- \frac{\delta\bar{\omega}_{q\zeta m}}{\dot{\lambda}_*}] \cdot \cos(\dot{\lambda}t) + [\delta\tilde{\rho}(t_k) + \frac{\delta\bar{\omega}_{q\zeta m}}{\dot{\lambda}_*}] \cdot \sin(\dot{\lambda}t) + \frac{\delta\bar{\omega}_{q\zeta m}}{\dot{\lambda}_*}\} + \frac{\delta\bar{a}_E}{g} - \bar{\Lambda}_{qN} - \bar{\eta}_g, \\ \alpha_S &= \frac{1}{\cos\varphi} \cdot \{[\delta\tilde{\tau}_*(t_k) - \frac{\delta\bar{\omega}_{q\zeta m}}{\dot{\lambda}_*}] \cdot \cos(\dot{\lambda}t) + [\delta\tilde{\rho}(t_k) + \frac{\delta\bar{\omega}_{q\zeta m}}{\dot{\lambda}_*}] \cdot \sin(\dot{\lambda}t) + \frac{\delta\bar{\omega}_{q\zeta m}}{\dot{\lambda}_*}\} + \\ &+ tg\varphi \cdot [\frac{\delta\bar{a}_E}{g} - \bar{\Lambda}_{qN} - \bar{\eta}_g] + \Lambda_{qh}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $\delta\bar{\omega}_{q\zeta m}, \delta\bar{\omega}_{q\eta m}, \delta\bar{\omega}_{q\zeta m}$ - систематические составляющие проекций неучтенных дрейфов гироскопов на оси экваториальной системы координат ξ_m, η_m, ζ_m , связанной с меридианом места объекта.

Требования к точности чувствительных элементов БИИМ, предназначенных для информационного обеспечения кораблей различных классов, могут быть предварительно рассчитаны в соответствии с моделью погрешностей ИСОН, приведенной выше, полагая при этом, что в состав ИСОН входит ПА СНС типа "Бриз" (табл.1).

Таблица 1

Требования к точности чувствительных элементов для кораблей различных классов

Показатель точности	Класс корабля		
	I*	II**	III***
Нестабильность дрейфа гироскопов, град./ч	$\leq 1 \cdot 10^{-3}$	$(3..5) \cdot 10^{-3}$	$10^{-2} \dots 10^{-1}$
Погрешности акселерометров, м/с ²	$(2,0..3,0) \cdot 10^{-4}$	$(3,0..5,0) \cdot 10^{-4}$	10^{-3}
Погрешности списывающих устройств, угл.с	3...5	-	-

Примечание: * - корабли с информационной автономностью НВ сутки и более;

** - корабли с информационной автономностью НВ в несколько часов;

*** - вспомогательные корабли и морские суда, основные требования к НВ которых предъявляются со стороны систем автоматического управления движением по заданной траектории без предъявления существенных ограничений по информационной автономности).

Следует отметить, что в БИИМ на датчиках угловых скоростей (например, на ЛГ) необходимо учитывать кроме инструментальных еще и так называемые «вычислительные» дрейфы, обусловленные погрешностями численного интегрирования уравнений Пуассона, а также тот факт, что для них имеют место чрезвычайно высокие требования к линейности и стабильности масштабных коэффициентов гироскопов. Вместе с тем, в таких БИИМ отсутствуют системы измерения углового положения гироскопов относительно осей измерительного блока, которые имеют место в БИИМ на позицион-

ных гироскопах типа ЭСГ, погрешности которых будут оказывать существенное влияние на точность выработки динамических параметров, используемых в задачах управления движением и начальной выставки и стабилизации бортовых систем корабельных потребителей.

ИСОН для боевых кораблей. Результаты проведенных к настоящему времени стендовых испытаний макетных образцов бескарданных ЭСГ позволяют прогнозировать с учетом их автокомпенсационных вращений в составе БИИМ следующие значения (3σ) нестабильности коэффициентов модели дрейфа [4]:

$$\delta a_1 = 0,5 \dots 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ град./ч}; \delta a_2 = 3 \dots 5 \cdot 10^{-5} \text{ град./ч};$$

$$\delta a_3 = 1 \dots 2 \cdot 10^{-4} \text{ град./ч}; \delta a_4 = 3 \dots 4 \cdot 10^{-3} \text{ град./ч};$$

$$\delta a_5 = 2 \dots 3 \cdot 10^{-5} \text{ град./ч}.$$

Наибольшая величина нестабильности дрейфа ЭСГ обусловлена возмущающим моментом от четвертой гармоники формы ротора, не зависящим от действующих нагрузок: $\delta a_4 = 3 \dots 4 \cdot 10^{-3}$ град./ч. Весовой коэффициент, стоящий при этой величине, зависит от направляющих косинусов оси вращения ротора относительно корпуса ЭСГ, динамику изменения которых, в основном, определяет качка объекта и автокомпенсационные вращения как корпусов ЭСГ с периодом порядка 10...20 с, так и измерительного блока БИИМ в целом.

Модель погрешностей измерения углового положения оси вращения ротора относительно корпуса ЭСГ (погрешности определения соответствующих направляющих косинусов) обычно принимается в виде двух составляющих:

$$\delta h_i = \delta h_{ic} + \delta h_{ik} + \delta h_{i\phi}, \quad (5)$$

где δh_{ic} - систематическая составляющая погрешности, уровень которой прогнозируется около 5...10 угл.с;

δh_{ik} - составляющая, обусловленная погрешностями калибровки системы списывания углового положения ротора ЭСГ и описываемая случайным процессом, порождаемым пуассоновской выборкой с $\sigma = 15-20$ угл.с и величиной μ , обратной интервалу

корреляции $\mu = \frac{\dot{h}^{cp}}{\Delta_k}$ (где Δ_k - шаг калибровки по углу; \dot{h}^{cp} - средняя скорость изменения направляющего косинуса на шаге калибровки, определяемая угловыми скоростями движения объекта);

$\delta h_{i\phi}$ - флуктуационная составляющая погрешности, аппроксимируемая белым шумом ($\sigma \geq 1$ угл.мин).

Модель погрешностей линейных акселерометров БИИМ, как правило, имеет три составляющие:

- погрешность смещения «нуля», т.е. погрешность практически постоянная на достаточно длительном интервале, которая может описываться либо постоянной величиной либо интегралом от белого шума;
- погрешность масштабного коэффициента, которая определяет погрешность пропорциональную измеряемой величине;
- «шумовая» погрешность характеризует быстроизменяющиеся погрешности датчиков.

С учетом этого инструментальные погрешности акселерометров могут быть записаны следующим образом

$$\begin{aligned} \delta a_i &= \delta \bar{a}_i + \delta \tilde{a}_i + \delta a_i^\Phi, i = 1, 2, 3 \\ \dot{\delta \tilde{a}}_i &= \sqrt{q_{Ai}} \cdot \xi(t), \bar{\delta a}_i(t_0), \\ \tilde{\delta a}_i &= \Delta M_{ai} \cdot n_{ai} \end{aligned} \tag{6}$$

где δa_i^Φ - "белозумная" составляющая погрешности, характеризуемая среднеквадратическим отклонением ($\sigma_{2ai} = 10$ угл.с на частоте 10 гц.);

q_{Ai} - интенсивность изменения квазисистематической составляющей, начальный уровень которой находится в пределах $\sigma_{1ai} = 4$ угл.с;

ΔM_{ai} - погрешность масштабного коэффициента акселерометра

n_{ai} - измеряемое им кажущееся ускорение;

$n_{ai} \xi(t)$ - «белый» шум единичной интенсивности.

Ниже на рис.2 и рис.3 приведены результаты численного моделирования погрешностей ИСОН на базе БИИМ на ЭСГ в выработке навигационных параметров в



Рис.2. Погрешности ИСОН на ЭСГ в автономном режиме по координатам места и курсу



Рис.3. Погрешности ИСОН на ЭСГ по составляющим вектора линейной скорости.

автономном режиме на суточном интервале времени при заданных ранее численных значений инструментальных погрешностей и следующих условиях движения объекта:

- линейная скорость 7 м/с;
- курс 45 град.;
- начальная широта места 60 град.;
- углы и периоды качки и рыскания:
 - бортовая качка 20 град., 9,5 с;
 - килевая качка 5 град., 5,5 с;
 - рыскание 4 град., 20 с;
- отстояние измерительного модуля от центра качания:
 - по продольной оси 50 м;
 - по поперечной оси 5 м;
 - по «вертикальной» оси 2 м.

Для демпфирования шулеровских колебаний погрешностей БИИМ использовался относительный лаг, погрешность которого определяется, в основном, изменчивостью морских течений, северная и восточная составляющие которых задавались следующей моделью [7]

$$\delta V_j = \delta V_j^{(1)} + \delta V_j^{(2)}, j = E, N, \quad (7)$$

где

$$\delta \dot{V}_j^{(1)} = -\mu_1 \cdot \delta V_j^{(1)} + \sqrt{2\sigma_1^2 \cdot \mu_1} \cdot \xi(t),$$

$$\delta \dot{V}_j^{(2)} = -\mu_2 \cdot \delta V_j^{(2)} + \sqrt{2\sigma_2^2 \cdot \mu_2} \cdot \xi(t),$$

а $\sigma_1 = (0,1 \dots 0,4)$ узл., $\sigma_2 = 0,23$ узл.,

$$\mu_1 = \left[0,1 + \left| \frac{V}{10} \right|^{2/3} \right] \text{ ч}^{-1}, \mu_2 = \left[0,2 \cdot \left| \frac{V}{10} \right| \right] \text{ ч}^{-1}, V \text{ — линейная скорость объекта в узл.}$$

Анализ полученных результатов позволяет заключить, что возможна выработка координат места (радиальная составляющая ΔS) с погрешностью на уровне 3–5 км на суточном интервале времени.

Одна из основных проблем в создании БИИМ на ЭСГ – разработка прецизионной системы списывания информации об угловом положении ротора ЭСГ. В современных бескарданных ЭСГ из-за значительного уровня погрешностей системы списывания углового положения ротора гироскопа значения отдельных коэффициентов полинома, аппроксимирующего динамические составляющие погрешностей БИИМ в выработке линейной скорости, могут превышать допустимые значения. Кроме того, возникают проблемы с точностью выработки динамических параметров (угловых скоростей рыскания и качки), необходимых для обеспечения САУД корабля, а также с обеспечением «гладкости» погрешностей ИСОН в обсервационном режиме ее работы при проходе кораблем узкостей. Одним из возможных путей в решении данной проблемы является комплексирование данных ЭСГ и ВОГ, т.е. включение в состав БИИМ на ЭСГ блока малогабаритных дешевых ДУС типа ВОГ.

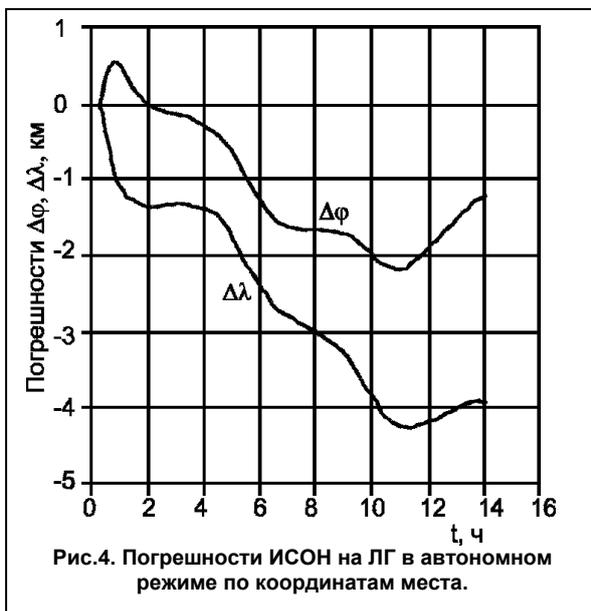


Рис.4. Погрешности ИСОН на ЛГ в автономном режиме по координатам места.

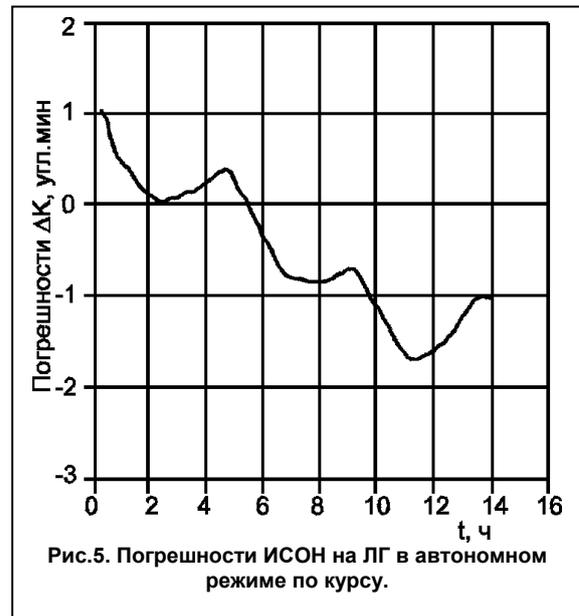
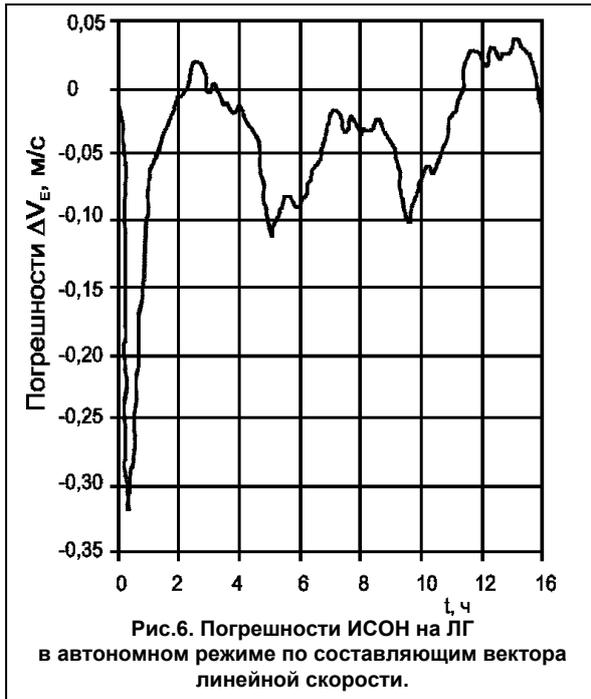


Рис.5. Погрешности ИСОН на ЛГ в автономном режиме по курсу.

На рис.4,5 и 6 представлены результаты моделирования погрешностей ИСОН на базе БИИМ на ЛГ в выработке навигационных параметров в автономном режиме с прогнозируемым уровнем инструментальных погрешностей акселерометров и ЛГ при следующих условиях:



- погрешности калибровки систематических составляющих дрейфов гироскопов на уровне $(2...3) \cdot 10^{-3}$ град./ч (которые не компенсируются вращением БИИМ);
- флуктуационные составляющие дрейфов, аппроксимируемые белым шумом с $\sigma_\delta = 10^{-2}$ град./ч;
- модель и численные значения погрешностей акселерометров и относительного лага, используемого для демпфирования шулеровских колебаний, а также параметры движения объекта принимались аналогичными как и при численном моделировании погрешностей БИИМ на ЭСГ.

Анализ результатов моделирования погрешностей ИСОН на базе БИИМ на ЛГ показывает, что при прогнозируемом уровне инструментальных погрешностей

ее элементов требования по точности выработки навигационных параметров обеспечиваются в автономном режиме работы на интервале времени до 10...12 часов. Погрешности выработки динамических составляющих вектора линейной скорости (значение коэффициентов аппроксимирующего полинома) также соответствуют предъявляемым требованиям.

Однако следует отметить, что в настоящее время отсутствуют отечественные образцы ЛГ, точность которых соответствует требованиям ($\Delta\omega \leq 3...5 \cdot 10^{-3}$ град/ч), предъявляемым к ним со стороны корабельных БИИМ.

ИСОН для вспомогательных кораблей и морских судов. С появлением в настоящее время дешевой гироскопической элементной базы для бескарданных систем (динамически настраиваемых, волоконно-оптических и волновых твердотельных гироскопов, а также так называемых микромеханических гироскопов и акселерометров) с нестабильностью дрейфа на уровне $0,1...1,0^\circ$ /ч на вспомогательных кораблях и морских судах, где основными потребителями навигационной информации являются авторулевые и системы динамического позиционирования, открывается возможность применения высоконадежных интегрированных систем, содержащих относительно дешевые (20...25 тыс. дол.) малогабаритные БИИМ. При этом информационная автономность таких ИСОН в части выработки координат места не превышает единиц...десятков секунд, что обеспечивает их работоспособность по навигационным параметрам в автономном режиме только на время сбоя в приеме данных СНС.

Одной из проблем на пути создания рассматриваемых ИСОН с достаточно «грубыми» чувствительными элементами (ЧЭ) БИИМ является проблема выполнения требований по точности выработки курса для обеспечения навигационной безопасности судовождения, которую в последнее время пытаются решить, в частности, за счет создания для подвижных объектов приемной аппаратуры (ПА) СНС с фазовыми интерферометрическими измерениями, обеспечивающей выработку поправки курса [8]. Однако этот путь ведет к усложнению ПА СНС, повышению ее стоимости и, кроме того, в этом случае имеет место потеря информационной автономности ИСОН по курсу.

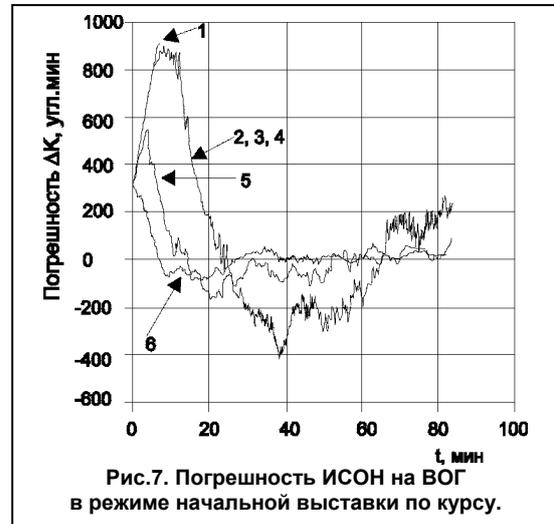
В работе [9] предложено альтернативное решение, т.е. рассмотрена возможность повышения точности БИИМ с «грубыми» ЧЭ по курсу в условиях рыскания объекта при установке БИИМ в штурманской рубке судна (т.е. при ощутимом удалении его от ц.м. судна) и при модуляционных поворотах на ± 180 град. его измерительного блока в плоскости палубы. В качестве опорной информации использовались данные СНС по

составляющим V_E, V_N, V_h вектора \vec{V} линейной скорости (без их сглаживания, которое обычно осуществляется в стандартной ПА СНС), приведенные от точки размещения приемной антенны к месту установки БИИМ. Для обеспечения информационной автономности ИСОН по курсу при сбоях в приеме данных СНС предполагается использовать данные относительного лага с приведением их к месту размещения БИИМ.

На рис.7 приведены результаты моделирования погрешностей ИСОН на базе БИИМ с «грубыми» ВОГ (начальное смещение нуля - $40^\circ / ч$, нестабильность дрейфа в пуске - $\sigma = 2^\circ / ч$) по курсу в режиме начальной выставки для различных условий эксплуатации. Кривые 5, 6 характеризуют переходный процесс в системе при наличии отстояния БИИМ от ц.м. судна по продольной оси - 20 м и при различных параметрах рыскания объекта:

$$\varphi_r = 1,5^\circ, T_r = 25 \text{ с} \quad \text{и}$$

$\varphi_r = 3^\circ, T_r = 20 \text{ с}$ соответственно, при этом дрейфы ВОГ уточнялись до уровня $0,1^\circ / ч$; кривые 2, 3, 4 – без отстояния БИИМ от ц.м., а кривая 1 (расходящийся процесс) соответствует случаю размещения БИИМ в ц.м. судна и при отсутствии модуляционных поворотов его измерительного блока.



Выводы

1. Проведенные исследования по структуре построения и составу ИСОН для кораблей и морских судов с целью информационного обеспечения задач навигации, управления движением, начальной выставки и стабилизации бортовых систем корабельных потребителей показывают, что для НВ морских подвижных объектов различного класса целесообразно создание ряда ИСОН, в состав которого войдут унифицированные корабельные ПА СНС и ЭКНИС. Выбор же типа БИИМ будет определяться тактико-техническими характеристиками корабля.

2. Для больших надводных кораблей океанской и морской зоны, для НВ которых характерны значительный уровень информационной автономности, а также имеют место значительные деформации корпуса корабля, может быть рекомендована схема построения ИСОН, включающая прецизионный бескарданный инерциальный измерительный модуль на ЭСГ и ряд измерителей динамических параметров на базе БИИМ на ДУС типа ВОГ, расположенных непосредственно вблизи корабельных потребителей и исключая влияние деформаций корпуса корабля на точность решения задачи начальной выставки бортовых систем комплексов оружия и палубной авиации.

3. Для малых надводных кораблей прибрежной зоны, требование к информационной автономности НВ которых составляет несколько часов, а деформации корпусов кораблей из-за ограниченности их линейных размеров незначительны, наиболее эффективной является схема ИСОН на базе лазерного БИИМ. Однако из-за отсутствия отечественных ЛГ соответствующего уровня точности представляется более перспективной схема построения ИСОН на основе БИИМ, измерительный блок которого включает два ЭСГ и блок ВОГ, что обеспечивает выработку навигационных и динамических параметров с требуемыми характеристиками.

4. Для вспомогательных кораблей и морских судов, построение интегрированных систем которых предполагается на основе БИИМ с «грубыми» ЧЭ типа ВОГ, возможно использование в составе ИСОН недорогой ПА СНС с фазовыми интерферометрическими измерениями, обеспечивающей выработку поправки курса с погрешностями на уровне $0,2^\circ \dots 0,3^\circ$. Это позволит существенно снизить требования к точностным характеристикам и, следовательно, к стоимости БИИМ. Вместе с тем, в интересах обеспечения навигационной безопасности при маневрировании и плавании в стесненных

водах целесообразно сохранение информационной автономности ИСОН по курсу, хотя бы и на более грубом уровне. Это требует использования способов, типа рассмотренного выше, для калибровки дрейфов БИИМ с точностью не хуже $0,1^0 / ч$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.П., Емельянцеv Г.И. Об интеграции информационного обеспечения задач навигации, стабилизации и управления движением морских подвижных объектов. \Сб. "Навигация и гидрография", № 2, 1996, с.73-76.
2. Навигация в королевском флоте (оборудование, личный состав, техника и обучение к XXI веку)", Proceedings of the International Navigation Congress, Sydney 2 - 5th February 1988.
3. Емельянцеv Г.И., Моисеев Э.С., Солнцеv А.Н. Современные требования и облик навигационного комплекса для боевых надводных кораблей начала XXI века.\Сб. "Навигация и гидрография", N 1, 1995, с.35-39.
4. C.Kiel, R.Poquette etc.. Integrated INS/GPS navigation systems for land, airborne and tactical applications.// The 2nd Saint Petersburg international conference on gyroscopic technology and navigation, may 24-25,1995.
5. R.E.Phillips, G.T.Schmidt. GPS/INS Integration. System Implications and Innovative Applications of Satellite Navigation// AGARD, Lecture Series 207 (June 1996).
6. Гусинский В.З., Лесючевский В.М., Падерина Т.В. Автокомпенсация уходов ЭСГ в корабельных бескарданных инерциальных навигационных системах. Гироскопия и навигация, № 1, 1998, с.
7. Беляев В.П., Болдырев В.С. Применение теории случайных функций к изучению морских течений. «Океанология», 1973, вып.6.
8. 5.Анучин О.Н., Емельянцеv Г.И. О влиянии угловых колебаний объекта на точность и время выставки по курсу интегрированной системы ориентации и навигации. Гироскопия и навигация, №3, 1997, с.7-13.
9. 6.Резниченко В.И., Шашков А.А., Фазовый метод определения ориентации по сигналам спутниковой навигационной системы. \Сб. "Навигация и гидрография", № 2, 1996, с.56-60.

ГРНТИ 78.21.41.19

**О ДАЛЬНЕЙШЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
СРЕДСТВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ПРОКЛАДКИ**

**Л.А.ЗАЯЦ
Ю.А.ГЛУХОВ**
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Проанализирована достаточность существующих алгоритмов средств автоматической радиолокационной прокладки и предложены пути повышения их эффективности. Формализованы требования МППСС-72 по расхождению с судами.

В отечественных и зарубежных средствах автоматической радиолокационной прокладки (САРП) по каждой сопровождаемой цели вырабатывается формуляр, в котором оговариваются следующие параметры:

$N_{ц}$ – номер цели;

$P_{ц}$ – пеленг на цель;

$D_{ц}$ – дистанция до цели;

$K_{ц}$ – курс на цель;

$V_{ц}$ – скорость цели;

$D_{кр}$ – дистанция кратчайшего сближения с целью;

$t_{кр}$ – время до кратчайшего сближения.

Учитывая, что для определения степени опасности цели судоводителю необходимо также знать дистанцию до точки пересечения целью нашего курса $D_{пер}$ и время до пересечения курса $t_{пер}$ предлагается дополнить формуляр этими параметрам.

Так как все расчеты в САРП производятся из предположения равномерного прямолинейного движения цели, то при ее маневрировании данные формуляра могут резко измениться, о чем необходимо предупредить судоводителя путем выработки сигналов: "Циркуляция цели $N \dots$ вправо (влево)", "Увеличение (уменьшение) скорости цели $N \dots$ ".

Для этого существующие в САРП алгоритмы выработки элементов движения цели (ЭДЦ) необходимо дополнить алгоритмом грубого определения ЭДЦ ($K_{u_{z.p.}}, V_{u_{z.p.}}$), например, методом скользящей линейной регрессии на интервале времени 1 мин.

Упомянутые сигналы предлагается вырабатывать, если

$$|V_u - V_u^{zp}| > 2 \text{ уз} \quad \text{или} \quad |(K_u - K_u^{zp})^l| > 20^\circ,$$

где ^{l)} – правило нахождения разности направлений в полукруговом счете

$$\begin{aligned} K_u - K_{u_{z.p.}} &= \alpha; \\ (K_u - K_{u_{z.p.}})^l &= \alpha, \quad \text{если } |\alpha| < \pi; \\ (K_u - K_{u_{z.p.}})^l &= \alpha - 2\pi, \quad \text{если } \alpha > \pi; \\ (K_u - K_{u_{z.p.}})^l &= \alpha + 2\pi, \quad \text{если } \alpha < -\pi. \end{aligned}$$

Причем при $V_u < 3$ уз сигнал маневра цели по курсу предлагается не вырабатывать из-за большой погрешности определения курса цели при малой её скорости

$$m_{K_u} = \frac{57,3^\circ m_{V_u}}{V_u},$$

где m_{K_u}, m_{V_u} – средние квадратические погрешности определения курса и вектора скорости цели соответственно.

Очевидно, что для надежного решения поставленной задачи грубого определения ЭДЦ необходимо повысить точность измерения Π_u и D_u , особенно в условиях качки корабля.

В частности, значительного улучшения точности измерения Π_u можно добиться путем учета в САРП поправок за наклон палубы $\Delta\Pi_{nn}$ и инструментальных поправок, $\Delta\Pi_u$, определенных при юстировке РЛС (САРП). Методика нахождения $\Delta\Pi_{nn}$ и $\Delta\Pi_u$ известна [1].

Для исключения влияния маневрирования, а также рыскания своего корабля по курсу и скорости на точность выработки ЭДЦ предлагается находить их в режиме истинного движения на основе точного знания текущих географических координат, т.е. приводить все измеренные пеленги и дистанции к начальной счислимой точке, фиксированной на момент измерения первых полярных координат цели в массиве сглаживания, как если бы свой корабль не имел движения. Для этого текущие географические координаты должны поступать в САРП от навигационного комплекса (НК), электронной навигационной информационной системы (ЭНИС) или непосредственно приемоиндикатора СНС (РНС). При использовании СНС ГЛОНАСС–НАВСТАР точность непрерывного определения координат ($P=0,95$) составляет 10–45 м (10 м – в дифференциальном режиме), что значительно превышает точность определения места цели по РЛС относительно своего корабля.

Ввиду малых значений S , можно найти $ПУ, S$ по упрощенным формулам

$$S = \sqrt{(\varphi_2 - \varphi_1)^2 + [(\lambda_2 - \lambda_1)^l \cos \varphi_1]^2};$$

$$ПУ = \arctg \frac{(\lambda_2 - \lambda_1)^l \cos \varphi_1}{\varphi_2 - \varphi_1}.$$

Согласно рисунку, из треугольника $A, B, 2$ имеем зависимости

$$D'_2 = \sqrt{S^2 + D_2^2 + 2D_2 \cos(\Pi_2 + ПУ)};$$

$$\Delta\Pi_2 = \arccos \frac{D_2^2 + D_2'^2 - S^2}{2D_2 D_2'}.$$

Из него также видно, что

$$\Pi'_2 = (\Pi_2 - \Delta\Pi_2)^2, \quad \text{если } (\Pi_2 - ПУ)^l > 0$$

$$\text{и } \Pi'_2 = (\Pi_2 + \Delta\Pi_2)^2, \quad \text{если } (\Pi_2 - ПУ)^l < 0,$$

где ²⁾ – правило нахождения разности (суммы) направлений в круговом счете

$$\Pi_2 \pm \Delta\Pi_2 = \alpha;$$

$$(\Pi_2 \pm \Delta\Pi_2)^2 = \alpha, \quad \text{если } 0 \leq \alpha < 2\pi;$$

$$(\Pi_2 \pm \Delta\Pi_2)^2 = \alpha + 2\pi, \quad \text{если } \alpha < 0;$$

$$(\Pi_2 \pm \Delta\Pi_2)^2 = \alpha - 2\pi, \quad \text{если } \alpha \geq 2\pi.$$

Аналогично находят Π'_3, D'_3 и т.д. Для определения ЭДЦ берут Π'_i, D'_i , где i – порядковый номер в массиве информации.

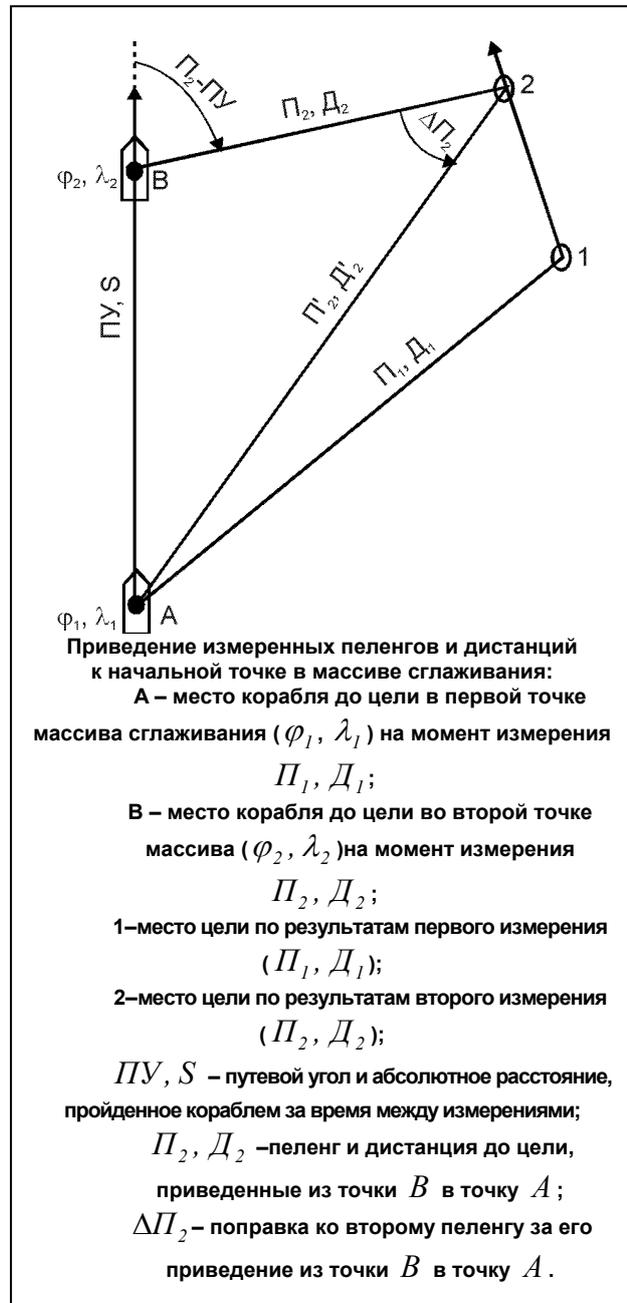
Так как при использовании обсервованных координат корабля определяются абсолютная скорость цели, то для последующего определения параметров сближения в САРП должны использоваться путевой угол и абсолютная скорость своего корабля, определяемые в задаче обсервационного счисления по данным обсерваций, лага и гирокомпаса. Эту задачу можно организовать в самом САРП.

В существующих САРП признак "Опасная цель" вырабатывается при выполнении условий

$$D_{кр} \leq D_{кр доп} \quad \text{и} \quad t_{кр} \leq t_{кр доп}, \quad (1)$$

где $D_{кр доп}$ и $t_{кр доп}$ – допустимые параметры кратчайшего сближения, введенные с пульты.

Однако анализ возможных ситуаций сближения показывает, что сближения данных критериев недостаточно. Действительно, при малых относительных скоростях цели (например, при обгоне) может оказаться, что дистанция до цели уже



меньше допустимой, т.е. $D_{ц} < D_{кр доп}$, в то время как $t_{кр} > t_{кр доп}$ и сигнал опасности не вырабатывается. Поэтому условия (1) предлагается дополнить неравенством

$$D_{ц} \leq D_{кр доп}. \quad (2)$$

Если появляется опасная цель, то согласно МППСС-72 собственное судно всегда должно предпринять маневр для расхождения с нею, независимо от курсового угла на цель (справа или слева), а также признака обгона (обгоняемая или обгоняющая). При этом необходимо учесть сторону отворота, рекомендуемую МППСС-72, а также предложение расходиться, в основном, путем изменения курса, которое должно быть "существенным", легко обнаруженным другим судном" (Правило 8). Предлагается принять минимально допустимый угол изменения курса $\delta K = 20^\circ$.

Требования МППСС-72 в отношении стороны отворота можно формализовать следующим образом.

А. Обгон. Ситуация имеет место, если выполняется условие

$$-67,5^\circ \leq (\Pi_{ц} - K_{ц})^l \leq 67,5^\circ.$$

В правиле 13 говорится, что "обгоняющее судно должно держаться в стороне от пути обгоняемого судна", поэтому

- если свое судно находится у цели на курсовых углах левого борта, т.е. выполняется условие

$$0 < (\Pi_{ц} - K_{ц})^l \leq 67,5^\circ, \quad (3)$$

то рекомендован поворот влево;

- если свое судно находится у цели на курсовых углах правого борта, т.е. выполняется условие

$$-67,5^\circ \leq (\Pi_{ц} - K_{ц})^l \leq 0, \quad (4)$$

то рекомендован поворот вправо.

Б. Ситуация сближения судов, идущих прямо друг на друга. В Правиле 14 не говорится о конкретной разности курсов и конкретном курсовом угле на цель, определяющем понятие "друг на друга". Поэтому предлагается принять абсолютную величину курсового угла на цель не более 5° , а абсолютную величину разности курсов своего корабля (K) и цели ($K_{ц}$) не менее 175° . Таким образом, ситуация имеет место, если выполняется условие

$$|(K_{ц} - K)^l| > 175^\circ \text{ и } |(\Pi_{ц} - K)^l| < 5^\circ. \quad (5)$$

В этом случае рекомендован поворот вправо.

В. Ситуация пересечения курсов. Имеет место, если условия (3) ÷ (5) не выполняются, а условия (1),(2) выполняются (появилась опасная цель), т.е. суда сближаются. Случай обгона своего судна целью, следующей параллельным или непересекающим курсом условно включается в эту категорию. Согласно Правилу 19 "следует избегать изменения курса в сторону судна, находящегося на траверзе или позади траверза". Это означает :

- если цель находится за траверзом на правом борту, т.е. выполняется условие

$$90^\circ \leq (\Pi_{ц} - K)^l \leq 180^\circ, \quad (6)$$

то рекомендован поворот влево;

- если цель находится за траверзом на левом борту, т.е. выполняется условие

$$-180^\circ \leq (\Pi_{ц} - K)^l \leq -90^\circ, \quad (7)$$

то рекомендован поворот вправо;

- если цель находится впереди траверза на левом борту, т.е. выполняется условие

$$-90^\circ \leq (\Pi_{ц} - K)^l \leq 0, \quad (8)$$

то согласно Правилу 19 рекомендован поворот вправо, а если на правом борту, т.е. выполняется условие

$$0 < (\Pi_{ц} - K)^{l)} < 90^{\circ}, \quad (9)$$

то также вправо, но согласно Правилу 15 при этом следует, "если позволяют обстоятельства, избегать пересечения курса другого судна у него на носу".

Легко убедиться, что пересечение курса другого судна у него на носу имеет место, если выполняется условие

$$D_{пер} < 0, \quad (10)$$

где $D_{пер}$ – дистанция до точки пересечения другим судном нашего курса : с (+) по носу, с (-) по корме ($D_{пер}$ входит в состав формуляра цели).

Тогда, если условие (9) выполняется, а условие (10) не выполняется, то рекомендован поворот вправо; если условия (9) и (10) выполняются, то рекомендован поворот влево т.к. известно [1], что если цели приближаются с направлений впереди траверза, то изменение своего курса вправо приводит к развороту их линий относительного движения (ЛОД) по часовой стрелке, а изменение курса влево – к развороту ЛОД против часовой стрелки. В последнем случае ($D_{пер} < 0$) при повороте влево ЛОД будет отдаляться от своего судна, а $D_{кр}$ увеличиваться.

Таким образом, решение в САРП логических зависимостей (1)-(10) позволит учесть требования МППСС-72 в части стороны поворота.

В существующих САРП выработка конкретного курса на расхождении не производится. Используя данные САРП, курс выбирает сам судоводитель – методами проигрывания или секторов опасных истинных курсов своего корабля (СОИК).

В первом случае, вводя с пульта САРП имитируемые курсы "скачками" по 5–10° и наблюдая на экране символы целей, оператор запоминает тот ближайший курс, при котором нет опасных целей (ни один символ не мерцает).

Во втором случае, наблюдая на экране СОИК, отображаемые в виде светящихся дуг окружностей вдоль шкалы пеленгов, оператор считывает со шкалы тот ближайший курс, который не попадает в какой-либо СОИК.

Представляется целесообразным избавить судоводителя от этих операций путем автоматической выработки рекомендованного курса непосредственно в САРП. Для этого можно использовать метод автоматического проигрывания в сочетании с СОИК, которые вырабатываются в некоторых САРП. Вычисления производятся путем перехода от секторов опасных относительных курсов целей (СООК) к СОИК своего корабля для текущей скорости методом О.Г.Морева [1].

Предлагается обозначать СОИК следующим образом

$$\text{СОИК} = K_l \rightarrow K_n,$$

где K_l и K_n – левая и правая границы СОИК (от курса левого до курса правого, по часовой стрелке).

Имитируемые курсы $K_{им}$ при автоматическом проигрывании маневра находят следующим образом

$$K_{им} = (K + \delta K)^2, \text{ если рекомендован поворот вправо;}$$

$$K_{им} = (K - \delta K)^2, \text{ если рекомендован поворот влево,}$$

где K – текущий курс;

δK – абсолютная величина изменения курса.

На первом шаге проигрывания $\delta K = 20^{\circ}$, на втором $\delta K = 25^{\circ}$ и т.д., через 5° до 60° .

$K_{им}$ считается попавшим в СОИК, если выполняется условие

$$(K_{им} - K_{л})^2 \leq (K_{п} - K_{л})^2. \quad (11)$$

Если для очередного $K_{им}$ условие (11) не выполняется, то ему придают признак рекомендуемого курса $K_{рек}$

Результатом решения задачи является выработка сигнала: "Для безопасного расхождения с целями рекомендован поворот вправо (влево) на курс °".

Если проигрывание положительных результатов не дает (т.к. все $K_{им}$ попали в СОИК), что бывает при наличии большого количества целей, то автоматически уменьшают $D_{кр доп}$, введенное ранее с пульта, например, ступенями по 20% от начального значения, повторяют решение задачи и указанный выше сигнал дополняют фразой "Максимально возможное $D_{кр доп} = \dots$ кбт".

Если при $D_{кр доп} > 5$ кбт задача не решается, то вырабатывается сигнал "Безопасное расхождение невозможно. Рекомендуется остановка движения".

Выводы. С учетом изложенного, в целях дальнейшего совершенствования САРП целесообразно:

1. Дополнить формуляры целей параметрами $D_{нер}, t_{нер}$.
 2. Повысить точность измерения радиолокационных пеленгов путем учета инструментальных поправок и поправок за наклон палубы.
 3. Обеспечить выдачу текущих координат корабля в САРП и учитывать их при выработке ЭДЦ.
 4. Ввести выработку сигналов о маневре цели.
 5. Дополнить критерий опасной цели неравенством $D_{ц} \leq D_{кр доп}$.
 6. Обеспечить автоматическую выработку рекомендованного курса для безопасного расхождения со всеми целями с учетом МППСС-72.
- Учет данных предложений позволит улучшить автоматизацию процесса предупреждения столкновений судов и тем самым повысить навигационную безопасность плавания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила использования навигационных радиолокационных станций в кораблевождении, ГУНиО МО, Л., 1984.
2. Международные правила предупреждения столкновений судов в море 1972 (МППСС-72), ГУНиО МО, Л., 1973.

СПУТНИКОВЫЕ И НАЗЕМНЫЕ РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

ГРНТИ 78.25.31.35.29.29.31.29

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИЕМНОЙ АППАРАТУРЫ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА КОРАБЛЯХ И СУДАХ МОРСКОГО ФЛОТА

Г.Р.АРНО
(РОИН),
В.И.РЕЗНИЧЕНКО,
С.М.БУБЛИК
(Гос.НИНГИ МО РФ),
В.С.БОЛДЫРЕВ
(ЗАО ЦНИИ МФ)

Выявляются пути реализации информационных возможностей спутниковых навигационных систем на морских объектах. Предлагается схема взаимодействия спутниковых и автономных навигационных средств.

В настоящее время бортовые навигационные технические средства надводного корабля объединяются в состав навигационного комплекса (НК), предназначенного для непрерывной автоматической выработки навигационных параметров, необходимых для обеспечения кораблевождения, использования оружия, корабельной авиации, работы различных технических средств и систем корабля. Структура НК определяется кругом задач и условиями функционирования [1] и включает необходимый набор измерительных, управляющих, транслирующих и т.п. устройств (функциональные модули), имеющих, как правило, встроенные средства вычислительной техники и унифицированный интерфейс. Совместное функционирование средств комплекса обеспечивается аппаратурой обмена, построенной по принципу кодовой магистрали.

В составе НК приёмная аппаратура спутниковых навигационных систем (ПА СНС) присутствует как функциональный модуль, обеспечивающий непрерывную выработку текущих значений координат места и скорости точки приема радионавигационного сигнала на корабле. Погрешности выработки навигационных параметров в штатном режиме использования среднеорбитной СНС имеют значения 10...20 м по координатам и 0,01...0,03 м/с, по составляющим вектора скорости. Ещё более высокая точность определения координат места (3...5 м) достижима при использовании дифференциального режима работы среднеорбитной СНС. Однако использование этой информации для навигационного обеспечения широкого круга корабельных потребителей затруднено тем, что место размещения приёмной антенны может значительно отстоять от места расположения потребителей, а линейные размеры корабля столь велики, что параметры движения различных точек корабля в условиях качки и маневрирования существенно отличаются [2]. Возникающие при этом погрешности (2...4 м/с по скорости в штатном режиме и 5...10 м по координатам в дифференциальном режиме) не позволяют реализовать уже сегодня существующие возможности среднеорбитных СНС на морских объектах.

Основными параметрами, определяющими погрешности навигационных данных, используемых различными потребителями, являются угловая скорость вращательного движения корабля в условиях качки и текущие значения углов качки и рысканья. При наличии информации об этих параметрах в навигационном комплексе можно осуществить вычисление поправок к выходным данным ПА СНС с учётом конкретного распо-

ложения потребителей навигационной информации на корабле. В работе [3] приведён алгоритм решения этой задачи. Коррекция выходных данных ПА СНС вычисленными поправками обеспечивает необходимую точность навигационных определений

Структурой перспективного НК кораблей [1] в составе автономного контура фактически предусматриваются измерители угловой скорости вращательного движения, углов качки и рысканья, в качестве которых выступают инерциальные навигационные системы, гиригоризонткомпасы или просто гирикомпасы. Все они представляют прецизионные гироскопические приборы с дрейфом гироскопов $1 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^{-2}$ град/час. Высокие точности позволяют удовлетворить достаточно жёсткие требования информационной автономности НК на этапах выполнения боевых задач. Более низкие точности необходимы для коррекции данных ПА СНС, например, с использованием информации датчиков угловой скорости (ДУС). Требования к точности датчиков угловой скорости, используемых для вычисления поправок к выходным данным ПА СНС, могут ограничиваться дрейфом до 10 град/час. Это позволяет использовать дешёвые волоконно-оптические и твердотельные волновые датчики [3], обладающие высокой эксплуатационной надёжностью, малыми весом и габаритами. На этих элементах возможно создать

многоканальный (по числу потребителей) преобразователь навигационной информации (МПИ), обеспечивающий вычисление поправок к данным ПА СНС. Функциональный модуль МПИ можно ввести в автономный контур и обеспечить связи с теми модулями НК, которые вырабатывают информацию, необходимую для работы принятого алгоритма вычисления поправок. В случае реализации алгоритма [3] структура интегрированной системы ориентации и навигации, включающей ПА СНС, МПИ и гирикомпас (ГК), показана на рисунке. Интегрированная навигационная система показанной структуры при вводе исходной информации и использовании данных ДУС и ГК, принимая сигналы СНС, сможет вырабатывать текущие значения координат места и составляющие вектора скорости для всех необходимых потребителей на корабле, а также углы рысканья и качки корабля. Ее информационные возможности таковы, что она может выступать в роли самостоятельной или резервной общекорабельной информационной системы для решения задач навигации, стабилизации и управления движением. Это может обеспечить сохранение технического ресурса прецизионных элементов автономного контура (ИНС, БИНС), при необходимости их иметь, и повышение живучести НК в целом.



Как показывает практика, оснащение морского объекта навигационным комплексом полного состава требует значительных затрат. Среди кораблей и судов морского флота лишь немногие оборудованы навигационными комплексами. Большинство морских судов имеют на борту минимально необходимый набор навигационных средств, содержащий измеритель относительной скорости, гирокомпас и простейшие средства радионавигации. С появлением спутниковых навигационных систем суда стали оснащаться приемной аппаратурой СНС, начиная с низкоорбитальных систем, что способствовало улучшению технических и экономических показателей навигационного обеспечения. Совершенствование навигационного обеспечения морских объектов ныне во многом базируется на использовании потенциальных возможностей среднеорбитальных СНС. Для реализации таких возможностей на судах морского флота уже в настоящее время необходимо разработать интегральную навигационную систему минимального состава, отвечающую современным требованиям. В качестве такси системы можно использовать предложенную выше (рисунок) интегрированную систему ориентации и навигации, собранную из штатных судовых приборов ПА СНС и ГК с дополнением их блоком МПИ. Блок содержит датчики угловой скорости, устройство ввода-вывода информации, вычислительное и управляющее устройства. При реализации унифицированных каналов связи с ПА СНС и ГК блок МПИ выполняет функцию интегрирования штатных навигационных средств судна и обеспечивает выработку текущих значений координат места, составляющих вектора скорости потребителей, а также углов качки и рысканья судна. Подобная навигационная система способна полностью обеспечить повседневную деятельность кораблей и судов морского флота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емельянцев Г.И., Моисеев Э.С., Солнцев А.Н. Современные требования и облик НК для боевых надводных кораблей начала XXI века. Навигация и гидрография 1995, №-1. С. 35-39.
2. Зайцев А.В., Резниченко В.И. Особенности функционирования спутниковой навигационной аппаратуры на морском объекте. Навигация и гидрография. 1995, №1.С. 56-60.
3. Резниченко В.И., Яценко С.В., Зуев В.Ф. Алгоритм определения скорости аппаратурой СНС в условиях качки. Навигация и гидрография. 1998, №-5. С. 30-33.

ГРНТИ 78.25.31.35.29.31.29.33

ПОГРЕШНОСТИ ТРАНСИОНОСФЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДАЛЬНОСТИ И СКОРОСТИ В СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

**Б.И.ЛОБОЙКО,
С.М.БУБЛИК**
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Рассмотрены и проанализированы механизмы влияния ионосферы на качество фазовых измерений, причины возникновения погрешностей. Показаны возможности различных способов компенсации ионосферных погрешностей, их достоинства и недостатки.

Для измерения радиальной скорости навигационных спутников применяют метод, использующий эффект Доплеровского сдвига частоты принимаемого радиосигнала. Как и при определении дальности, при измерениях радиальной скорости спутников возникает погрешность, связанная с пространственно-временной неоднородностью ионосферы. С одной стороны она определяется отклонением траектории луча от линии визирования, а с другой – нестационарностью параметров ионосферы вдоль луча.

В диапазоне ОВЧ/УВЧ минимальные отклонения показателя преломления от единицы, а также траекторий распространения от линии визирования позволяют использовать при построении теории погрешностей измерений методы разложений по малым параметрам. В качестве таких параметров выступают отношения плазменной и

гирочастоты в ионосфере к рабочей частоте радиосигналов ОВЧ/УВЧ диапазонов. На практике эти условия используются при разложении величины по степеням единого параметра $1/f$.

В магнитоактивной ионосферной плазме показатель преломления высокочастотных ОВЧ/УВЧ радиосигналов описывается формулой Эпплтона–Хартри в бестолковательном приближении [1]

$$n^2 = 1 - \frac{X}{1 - \frac{Y^2 \sin^2 \theta}{2} \pm \sqrt{Y^2 \cos^2 \theta + \frac{Y^4 \sin^4 \theta}{4}}}, \quad (1)$$

где $X = (f_p/f)^2$;

f_p – плазменная частота;

f – рабочая частота;

$Y = f_H/f$;

f_H – гирочастота;

$f_p^2 = 80,8 Ne$;

Ne – электронная концентрация;

$[Ne] = \text{см}^{-3}$;

$[f, f_H, f_p] = \text{кГц}$;

θ – угол между волновым вектором и направлением магнитного поля;

знак « + » – для обыкновенной, знак « - » – для необыкновенной компонент.

На практике при анализе погрешностей радиоизмерений удобно использовать продольно-поперечное приближение для выражения (1), когда в знаменателе квадратный корень суммы заменяется на сумму корней

$$\psi = \sqrt{Y^2 \cos^2 \theta + Y^4 \frac{\sin^4 \theta}{4}} \approx Y |\cos \theta| + \frac{Y^2 \sin^2 \theta}{2}.$$

В этом случае наибольшая ошибка вычисления корня будет в окрестности точки θ_o , где выравниваются значения слагаемых. Из условия, что $Y \ll 1$, получим

$$\frac{2 \cos \theta_o}{\sin^2 \theta_o} \ll 1, \cos \theta_o \ll 1, \sin^2 \theta_o \approx 1, \theta_o = \arccos\left(\frac{Y}{2}\right),$$

при $Y = 10^{-3} = 1 \text{ МГц}/1 \text{ ГГц}$, $\theta_o \approx 90^\circ$.

Тем не менее вне области θ_o продольно-поперечное приближение описывает весь диапазон изменения θ , т.е. в продольно-поперечном приближении квадрат показателя преломления будет иметь вид

$$n^2 = 1 - \frac{1}{1 \pm Y |\cos \theta_o| - \frac{1 \pm 1}{2} Y^2 \sin^2 \theta}.$$

Согласно методу геометрической оптики, распространение радиоволн в пространстве в общем случае описывается волновым уравнением

$$\nabla^2 U + k^2 \varepsilon U = 0, \quad (2)$$

где U – комплексная амплитуда волны, распространяющейся с угловой частотой ω ;

$k = \omega/C = 2\pi/\lambda$ – волновое число;

C – скорость света в вакууме;

λ – длина волны;

$\varepsilon = n^2$ – диэлектрическая проницаемость в окружающем пространстве.

Когда характерные размеры неоднородной структуры ионосферы много больше первой зоны Френеля, можно пользоваться приближением волнового уравнения в виде системы уравнений геометрической оптики. Эти уравнения можно получить, если искать решение волнового уравнения для поля U в виде почти плоской волны

$$U = A \exp^{+iks}, \quad (3)$$

где i – мнимая единица;

$A(\vec{r})$ – амплитуда волны;

$\varphi = ks$ – фаза волны;

$S(\vec{r})$ – эйконал (фазовый путь),

\vec{r} – радиус-вектор.

После подстановки (3) в волновое уравнение (2) и раздельного приравнивания к нулю действительной и мнимой частей полученного равенства, устремляя $k \rightarrow \infty$ ($\lambda \rightarrow 0$), получим систему из двух дифференциальных уравнений относительно действительных функций – амплитуды A и эйконала S

$$(\nabla S)^2 - n^2 = 0; \quad (4)$$

$$\nabla^2 S + 2 \frac{1}{A} \nabla A \nabla S = 0. \quad (5)$$

Уравнение (4) носит название эйконала, а (5) является уравнением переноса для амплитуды нулевого приближения.

Уравнения характеристик эйконала можно записать в различных формах, но на практике используют запись в виде

$$d\vec{r} = \vec{I}; \quad (6)$$

$$\frac{d\vec{I}}{d\sigma} = \nabla_{\perp} \ln n, \quad (7)$$

где $d\sigma$ – элемент длины луча;

\vec{I} – касательный к лучу единичный вектор;

$\nabla_{\perp} \ln n = \nabla \ln n - \vec{I} (\vec{I} \nabla \ln n)$ – поперечная к лучу компонента градиента логарифма показателя преломления.

В результате решения тем или иным способом уравнений (6) и (7), получим в первом приближении выражение для траекторий распространения лучей, после чего можно во втором приближении рассчитать траекторные характеристики.

Если радиотехническими методами измеряется фазовая или групповая задержка радиосигнала, то дальность определяется как

$$S_{\phi/zp} = C \tau_{\phi/zp}. \quad (8)$$

Используя выражения для углов рефракции и отклонений траектории от линии визирования с учетом временной задержки, формулу (8) можно преобразовать к виду

$$S_{\phi/zp} = Z_m + \frac{\mu^{(2)}}{f^2} + \frac{\mu^{(3)}}{f^3} + \frac{\mu^{(4)}}{f^4} + \theta \left(\frac{1}{f^5} \right). \quad (9)$$

где $\mu^{(2)} = (\pm) 40,4 \int_0^{Z_m} Ne(Z) dZ$;

$\mu^{(3)} = (\pm) \pm 40,4 \int_0^{Z_m} Ne(Z) f_H |\cos \theta| dZ$;

$\mu^{(4)} = \mu_1^{(4)} + \mu_2^{(4)} + \mu_3^{(4)} + \mu_4^{(4)}$;

$$\mu_2^{(4)} = (\pm)40,4 \int_0^{Z_m} Ne f_H^2 \left(\cos^2 \theta + \frac{1 \pm 1}{2} \sin^2 \theta \right) dZ;$$

$$m_2^{(4)} = \frac{1(\pm)2}{2} (40,4)^2 \int_0^{Z_m} Ne^2 dZ;$$

$$\mu_3^{(4)} = (\pm)(40,4)^2 \int_0^{Z_m} \nabla_{\perp} Ne \left[\int_0^Z (Z - Z') \nabla_{\perp} Ne dZ' - \frac{Z}{Z_m} \int_0^{Z_m} (Z_m - Z'') \nabla_{\perp} Ne dZ'' \right] dZ;$$

$$\mu_4^{(4)} = \frac{(40,4)^2}{2} \int_0^{Z_m} \left[\int_0^{Z_m} \left(1 - \frac{Z}{Z_m} \right) \nabla_{\perp} Ne dZ - \int_0^Z \nabla_{\perp} Ne dZ' \right]^2 dZ.$$

Коэффициенты $\mu^{(i)}$ в общем случае зависят от того, какая задержка измеряется – фазовая или групповая (знаки (\pm) взяты в круглые скобки, верхний – фазовая, нижний – групповая) и от того к какому направлению вращения вектора поляризации чувствительна приемная антенна (знаки \pm без скобок, верхний – обыкновенная компонента, нижний – необыкновенная).

Из выражения (9) видно, что поправка второго порядка малости по частоте определяется интегральным электронным содержанием вдоль луча и имеет различные знаки в зависимости от того, какой путь измеряется – фазовый или групповой. Поправка третьего порядка малости определяется линейной связью показателя преломления с электронной концентрацией и анизотропией земной ионосферы в совокупности и при $\theta = 90^\circ$ (например – экватор, зенит) обращается в нуль. Это главный член, характеризующий магнито-ионное расщепление при $\theta \neq 90^\circ$. Поляризационная зависимость $S_{\phi/zp}$ проявляется в том, что коэффициент $\mu^{(3)}$ входит в формулу (9) с разными знаками для обыкновенной и необыкновенной компонент волны. Следует иметь в виду, что поправка к дальности четвертого порядка малости по частоте имеет довольно сложную структуру и учитывает влияние магнитного поля, нелинейную связь показателя преломления с электронной концентрацией, а также отклонение траектории луча от линии визирования вследствие поперечных к лучу градиентов электронной концентрации.

Что касается скорости, то измерение доплеровского сдвига частоты для перемещающихся относительно друг друга передатчика и приемника позволяют рассчитать радиальную составляющую относительной скорости их движения по формуле

$$Vr = \frac{\omega_g}{k} = \frac{f_g}{f} C,$$

которая справедлива для свободного пространства. С учетом ионосферной рефракции скорость, измеренная в вакууме, будет отличаться от скорости, измеренной в ионосфере. Аналогично (9), радиальную составляющую скорости можно представить в виде ряда по обратным степеням частоты

$$Vr = Vr_0 + \frac{\gamma^{(2)}}{f^2} + \frac{\gamma^{(3)}}{f^3} + \frac{\gamma^{(4)}}{f^4} + \theta \left(\frac{1}{f^5} \right). \quad (11)$$

где $\gamma^{(2)} = 40,4 \left\{ Vr_0 Ne(Z_m) + \vec{V}_{\perp} \int_0^{Z_m} \frac{Z}{Z_m} \nabla_{\perp} Ne dZ - \int_0^{Z_m} \frac{dNe}{dt} dZ \right\};$

$$\gamma^{(3)} = \pm 40,4 \left\{ Vr_0 Ne(Z_m) f_H(Z_m) |\cos \theta(Z_m)| + \vec{V} \int_0^{Z_m} \frac{Z}{Z_m} f_H |\cos \theta| \nabla_{\perp} Ne dZ - \int_0^{Z_m} \frac{dNe}{dt} f_H |\cos \theta| dZ \right\};$$

$$\begin{aligned}
 \gamma^{(4)} = & 40,4Vr_0Ne(Z_m)f_m^2(Z_m)\left(\frac{1\pm 1}{2}\sin^2\theta(Z_m)+\cos^2\theta(Z_m)\right)+ \\
 & +\frac{40,4^2}{2}Vr_0Ne^2(Z_m)-40,4^2Ne(Z_m)\vec{V}_\perp\int_0^{Z_m}\frac{Z}{Z_m}\nabla_\perp Ne dZ+2\cdot 40,4^2V_\perp\cdot \\
 & \cdot\int_0^{Z_m}\frac{Z}{Z_m}Ne\nabla_\perp Ne dZ+40,4\vec{V}_\perp\int_0^{Z_m}\frac{Z}{Z_m}(\cos^2\theta+\frac{1\pm 1}{2}\sin^2\theta)\nabla_\perp Ne dZ- \\
 & -\left\{40,4^2\int_0^{Z_m}Ne\frac{\partial N}{\partial t}dZ+40,4\int_0^{Z_m}f_H^2\left(\frac{1\pm 1}{2}\sin^2\theta+\cos^2\theta\right)\frac{\partial Ne}{\partial t}dZ- \right. \\
 & \left.-40,4\int_0^{Z_m}\vec{A}\frac{\partial \vec{A}}{\partial t}dZ+40,4^2\int_0^{Z_m}\nabla_\perp\frac{dNe}{\partial t}\vec{B}dZ+40,4^2\int_0^{Z_m}\nabla_\perp Ne\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}dZ\right\}; \\
 \vec{A}(z,t) = & \int_0^{Z_m}\left(1-\frac{Z}{Z_m}\right)\nabla_\perp Ne(z,t)dZ-\int_0^Z\nabla_\perp Ne(z',t)dZ'; \\
 \vec{B}(z,t) = & Z\int_0^{Z_m}\left(1-\frac{Z}{Z_m}\right)\nabla_\perp Ne(z,t)dZ-\int_0^Z(Z-Z')\nabla_\perp Ne(z',t)dZ'; \\
 \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = & \int_0^{Z_m}\left(1-\frac{Z}{Z_m}\right)\nabla_\perp\frac{\partial Ne(z,t)}{\partial t}dZ-\int_0^Z\nabla_\perp\frac{\partial Ne(z',t)}{\partial t}dZ'; \\
 \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = & Z\int_0^{Z_m}\left(1-\frac{Z}{Z_m}\right)\nabla_\perp\frac{\partial Ne(z,t)}{\partial t}dZ-\int_0^Z(Z-Z')\nabla_\perp\frac{\partial Ne(z',t)}{\partial t}dZ'.
 \end{aligned} \tag{12}$$

Проводя анализ составляющих выражения (11), можно утверждать, что поправка первого порядка и радиальной скорости $\gamma^{(2)}$ состоит из трех членов. Первый имеет локальный характер и характеризует среду окружающую передатчик; второй – рефракционный, учитывающий отличие проекций скорости навигационного спутника на линию визирования и на траекторию луча; третий описывает влияние пространственно-временной неоднородности ионосферы и пропорционален скорости изменения интегральной электронной концентрации во времени. Все они существенно различаются по порядку величины в зависимости от свойств принятой модели ионосферы и внешних параметров. Если, например, навигационный ИСЗ находится на средней орбите СНС (НАВСТАР), а под временной неоднородностью ионосферы наиболее мелкого масштаба подразумеваются суточные вариации, то первый и третий члены будут практически одного порядка, а второй – на три-четыре порядка больше. Тем не менее, несмотря на это, существуют частные случаи, когда второй член обращается в нуль. Они соответствуют ортогональности δl углового рефракционного вектора $\vec{\delta l}(Z_m)$ и проекции скорости спутника \vec{V}_\perp на поперечную к линии визирования плоскость. Поправки второго ($\gamma^{(3)}$) и третьего ($\gamma^{(4)}$) порядка содержат аналогичные типы членов, что и $\gamma^{(2)}$, но в отличие от них имеют поляризационную зависимость и учитывают более сложные пространственно-временные зависимости вдоль луча.

Решение координатно-временных задач при помощи СНС Транзит, ЦИКАДА, НАВСТАР и ГЛОНАСС тесно связано с измерением дальности до навигационных ИСЗ и их скоростей. При трансionoсферном распространении навигационных сигналов измерения этих величин будут содержать погрешности, обусловленные пространственно-временной неоднородностью ионосферы. Разложение в ряд по степеням обратной

частоты дальности $S_{\phi/zp}$ (9) и скорости V_r (10) позволяет исследовать эти погрешности для одночастотного и двухчастотного методов измерений. Введем обобщенную величину $\alpha = \alpha_0 + \frac{\beta^{(2)}}{f^2} + \frac{\beta^{(3)}}{f^3} + \frac{\beta^{(4)}}{f^4}$ – результат измерения расстояния или скорости,

где $\beta^{(i)}$ – коэффициент разложения, $i = 1, 2, 3$.

Если используется одночастотный метод измерения, то остаточная погрешность выразится через сумму поправок первого, второго и третьего порядка

$$\Delta_1 = \frac{\beta^{(2)}}{f^2} + \frac{\beta^{(3)}}{f^3} + \frac{\beta^{(4)}}{f^4} \approx \frac{\alpha^{(2)}}{f^2}.$$

Потребители, которым необходима более высокая точность измерений, используют двухчастотный метод, суть которого состоит в исключении погрешности первого порядка с применением измерений на двух различных частотах, когерентных сигналу синхронизации. Например, система НАВСТАР функционирует на двух несущих частотах [2] – 1575,42 МГц и 1227,6 МГц. Оба сигнала когерентны сигналу синхронизации, а их частоты кратны его частоте, равной 10,23 МГц. Для исключения погрешности первого порядка умножим измерения на двух частотах на обратные квадраты сопряженных частот и вычтем выражения одно из другого

$$\frac{1}{f_2^2} \left\{ \gamma_1 = \gamma_0 + \frac{\alpha^{(2)}}{f_1^2} + \frac{\alpha^{(3)}}{f_1^3} + \frac{\alpha^{(4)}}{f_1^4} \right\} - \frac{1}{f_1^2} \left\{ \gamma_2 = \gamma_0 + \frac{\alpha^{(2)}}{f_2^2} + \frac{\alpha^{(3)}}{f_2^3} + \frac{\alpha^{(4)}}{f_2^4} \right\},$$

получим

$$\frac{\gamma_1}{f_2^2} - \frac{\gamma_2}{f_1^2} = \gamma_0 \left(\frac{1}{f_2^2} - \frac{1}{f_1^2} \right) + \alpha^{(3)} \left(\frac{1}{f_2^2 f_2^3} - \frac{1}{f_1^2 f_1^3} \right) + \alpha^{(4)} \left(\frac{1}{f_2^2 f_1^4} - \frac{1}{f_1^2 f_2^4} \right).$$

Тогда остаточные погрешности двухчастотного метода измерений дальности и скорости

$$\begin{aligned} \Delta_2 &= \gamma_0 - \frac{\left(\frac{\gamma_1}{f_2^2} - \frac{\gamma_2}{f_1^2} \right)}{\left(\frac{1}{f_2^2} - \frac{1}{f_1^2} \right)} - \alpha^{(3)} \frac{\left(\frac{1}{f_2^2 f_1^3} - \frac{1}{f_1^2 f_2^3} \right)}{\left(\frac{1}{f_2^2} - \frac{1}{f_1^2} \right)} - \alpha^{(4)} \frac{\left(\frac{1}{f_2^2 f_1^4} - \frac{1}{f_1^2 f_2^4} \right)}{\left(\frac{1}{f_2^2} - \frac{1}{f_1^2} \right)} = \\ &= \frac{\alpha^{(3)}}{f_1 f_2 (f_1 + f_2)} + \frac{\alpha^{(4)}}{f_1^2 f_2^2}, \end{aligned}$$

где $\gamma = \{S_{\text{ТМ}/\text{р}}, Vr\}$, $\alpha^{(i)} = \{\mu^{(i)}, \nu^{(i)}\}$.

Таким образом при двухчастотных измерениях производится автоматическое исключение влияния ионосферы на задержку радиосигналов, а при одночастотных необходимо использовать способы компенсации влияния ионосферы. Эти способы базируются на вводе поправок на ионосферную задержку сигнала, получаемых расчетным путем по принятым в практике моделям ионосферы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колосов М.А., Арманд Н.А., Яковлев О.И. Распространение радиоволн при космической связи. – М.: Связь, 1969.
2. Шебшаевич В.С., Дмитриев П.П., Иванцевич Н.В. и др. Сетевые спутниковые радионавигационные системы – М.: Радио и связь, 1982.

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ ГИДРОГРАФИИ, МОРСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОФИЗИКИ

ГРНТИ 78.21.39.17.17.19

ОБОБЩЕННАЯ МОДЕЛЬ ДОННОГО ГРУНТА ПРИ РЕШЕНИИ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

А.И.СВЕЧНИКОВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Предложена геоакустическая модель донного грунта, в основе которой лежат результаты экспериментальных измерений плотности и скорости звука в донных отложениях. Модель построена применительно к трем возможным типам грунтов: сильнорассеивающим средам, акустически тонкослоистым и сильно поглощающим (газонасыщенным) средам. Модель позволяет путем дистанционных акустических измерений оценивать распределения плотности грунта по разрезу.

При решении практических задач гидрографии необходимы сведения о распределении плотности донного грунта в его ненарушенном состоянии (как по площади, так и по разрезу) в большинстве случаев в пределах первых десятков метров толщи донного грунта. Контактные методы, базирующиеся на изучении керна скважин и грунтовых трубок в лабораторных условиях, весьма дорогостоящи, обладают низкой производительностью и не позволяют получить непрерывные сведения о распределениях плотности донного грунта в его естественном залегании.

Донный грунт является геологической категорией, механизм его формирования тесно связан с геологическими процессами осадконакопления в океане. В результате поверхность морского дна может быть представлена либо плотными структурами (выходы коренных пород, скальные образования, литофицированные толщи), либо рыхлыми толщами (неуплотненные, тонкослоистые донные отложения, как правило, покрывающие плотные структуры).

С понятием «донный грунт» целесообразно связывать нелитофицированные, рыхлые толщи донных отложений, хотя продукты разрушения горных пород также можно относить к категории «грубообломочные грунты».

В результате выполненных автором экспериментальных исследований получены общие закономерности, которые обуславливают связь вторичного акустического поля, возникающего при взаимодействии зондирующего импульса с донной поверхностью. Так, например, акустическое поле, регистрируемое над грубообломочными, скальными грунтами характеризуется малой длительностью, нерегулярным характером распределения интенсивности его пространственных компонент, сильным рассеянием акустической энергии.

Тонкослоистые, рыхлые толщи донного грунта имеют наибольшее распространение в Мировом океане. Эти толщи характеризуются плавным нарастанием плотности донного грунта по разрезу, низкими значениями коэффициента шероховатости и значительными длительностями акустического поля, регистрируемого над ними. Особое место в группе рыхлых донных отложений занимают грунты, содержащие в своем составе газ. Для газонасыщенных донных грунтов глубина проникновения энергии акустической волны минимальна из-за ее сильного поглощения.

Таким образом, закономерности осадконакопления в океане позволяют разделить донные грунты на 3 большие группы: сильнорассеивающие, акустически тонкослоистые и сильнопоглощающие грунты, сформировав для каждой из них геоакустическую модель. Согласно [1], под геоакустической моделью донного грунта понимается модель реальной геологической среды, характеризующая экспериментально измерен-

ными, экстраполированными и предсказанными акустическими характеристиками, используемыми для наиболее корректного объяснения основных особенностей экспериментально наблюдаемого вторичного акустического поля и решения на этой основе обратных задач.

Предлагаемая геоакустическая модель для сильнорассеивающих сред (рис.1а) является типичной для выходов коренных пород и литофицированных донных отложений. Она характеризуется практически постоянным вертикальным распределением скорости и плотности по глубине для верхней части разреза (первые десятки метров). При этом $\rho_{\Gamma} > 2 \text{ г/см}^3$ и $c_{\Gamma} > 2000 \text{ м/с}$.

В настоящее время наиболее представительные материалы получены с использованием акустических методов исследований и относятся к категории рыхлых донных отложений.

Внутреннее строение этой толщи донного грунта весьма сложное, причем мощность отдельных тонких слоев в ней может быть меньше 5 см.

На основании изучения керна скважин и материалов донного опробования, выполненных Калининградским отделением Института океанологии в различных районах Мирового океана, установлены основные закономерности распределения скорости звука, плотности, пористости и затухания по глубине для этой категории донных грунтов. В результате измерений по кернам буровых скважин и колонкам грунтовых станций Балтийского и Баренцева морей (2400 замеров ВНИИморгео, г.Рига) скоростей звука установлено, что их основная часть группируется в диапазоне скоростей 1400 – 1550 м/с.

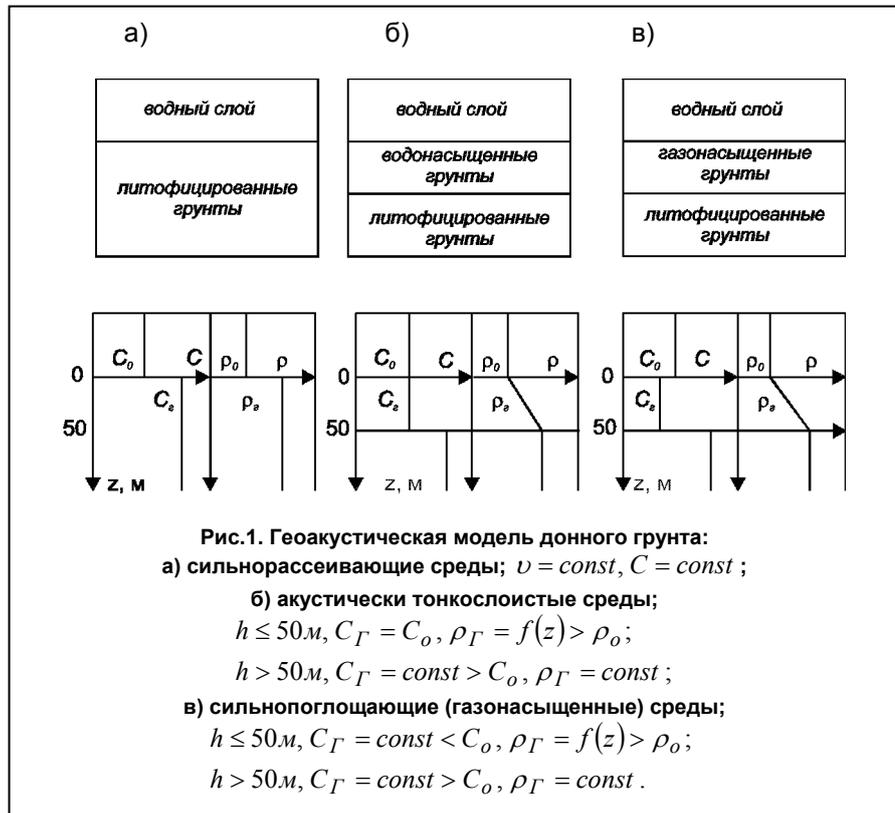
Дистанционные методы измерения скорости звука в донном грунте связаны с методикой применения и обработки многоканальных сейсмических наблюдений. Причем скорость звука в обособленном слое донного грунта вычисляется на основе значений эффективной скорости звука, определяемой по годографу отраженной волны. Погрешность вычисления скорости звука в слое при этом определяется соотношением [2]

$$dc > (2H/h \times d v),$$

где $d v, \%$ – погрешность определения эффективной скорости;

$H, \text{ м}$ – глубина залегания слоя грунта;

$h, \text{ м}$ – мощность слоя грунта.



Если $H=100\text{м}$, а $h=10\text{м}$ и $dV=1\%$, то погрешность дистанционных измерений скорости $dc > 20\%$. Большинство исследователей отмечают слабую зависимость скорости распространения продольных волн в грунте от размера частиц, слагающих его. При изменении преобладающего диаметра частиц в грунте от 0,001 мм до 0,1 мм она медленно меняется от значений скорости звука в воде c_o до значений $c_r=1550\text{м/с}$ [3]. Градиент изменения скорости по разрезу донного грунта за счет гравитационного уплотнения не превышает 1 м/с. Скорость в рыхлых морских осадках увеличивается с глубиной моря. При изменении глубины моря на 1 км скорость звука в грунте увеличивается на 1%.

Наибольшее влияние на значение продольной скорости звука в донном грунте оказывает присутствие в нем газа. Так например, при концентрации газа 0,01% в водонасыщенных песках скорость звука в них снижается до 1000 м/с.

Таким образом, геоакустическую модель рыхлых донных отложений, представленных акустически тонкослоистыми толщами, можно характеризовать постоянным значением скорости звука по разрезу грунта $c_r = c_o$ и плотностью $\rho_r = \rho(z)$. При этом изменение плотности по толще донного грунта связывается с изменением его литологического состава (рис. 1б). Геоакустическая модель сильнопоглощающих донных грунтов связывается с газонасыщенными грунтами и характеризуется аномально низкими значениями скорости $c_r < 1000\text{ м/с}$ и плотностью $\rho_r = \rho(z)$ (рис. 1в).

Физическое толкование предложенной модели основывается на механизме осадконакопления в Мировом океане. Отдельные частицы, формирующие донный осадок, размещаются в водной среде. При этом на начальной стадии образования донного грунта они не соприкасаются друг с другом. В процессе гравитационного уплотнения частицы сближаются, образуя подвижные контакты. На этой стадии развития осадка скорость передачи упругих возмущений определяется только водной средой. Упругие характеристики отдельной частицы не в состоянии повлиять на скорость передачи возмущения, так как энергия акустической волны вызывает только механические перемещения частиц относительно друг друга. На стадии литификации отдельные частицы грунта теряют свою подвижность, образуя монолитный скелет, способный передавать упругие возмущения и тем самым влиять на скорость распространения упругих волн в грунте. При появлении газа в рыхлых грунтах вода перестает быть сплошной средой, определяющим становится фактор степени нарушения ее сплошности (концентрация газа), который и определяет скорость передачи упругого возмущения в донном грунте.

Оценка достоверности разработанной геоакустической модели была осуществлена при выполнении экспериментальных работ на литологическом полигоне Финского залива. Измерения плотности поверхностных донных грунтов выполнялись двумя методами – прямым, использующим эффект ослабления γ -излучения веществом и косвенным, при котором значения плотности вычислялись на основе измерений отражательной способности донного грунта.

Методика прямых измерений предусматривала дискретные измерения плотности в характерных точках профиля, которые на акватории закреплялись с помощью заякоренных вех. В районе каждой i -ой вехи на дно опускался специальный зонд с размещенными на нем приемником и источником γ -излучения.

Измерение плотности ρ_{r_i} акустическим методом осуществлялось в непрерывном режиме при движении судна по закрепленному профилю. Значения плотности донного грунта c_r по профилю вычислялись в соответствии с принятой моделью среды $c_r = c_o$ по формуле

$$\rho_{r_i} = \rho_o (I + R_i) / (I - R_i),$$

где ρ_o – плотность воды;

R_i – текущее значение амплитудного коэффициента отражения по профилю.

Сопоставление результатов измерений (рис. 2) показало, что расхождение прямых и косвенных измерений плотности по профилю N1 не превышает 10%. Результаты исследований, выполненных по профилю N1 подтвердили правомерность принятой модели для илисто-глинистых донных грунтов и доказали существование устойчивых связей между литологическим типом донного грунта и его плотностью.

В ходе проведения экспериментальных работ, выполненных на участках литологического полигона, донный грунт которого был представлен песками (рис. 3), установлено, что распределение плотности для песчаного грунта в пределах профиля №2 характеризуется значениями 2,11 – 2,19 г/см. В то же время результаты многократных измерений скорости продольных волн, выполненных в характерных точках профиля №2 с помощью специальной донной установки, не выявили сколь-либо заметных отклонений скорости звука в песчаном грунте от скорости звука в воде.

Предложенная геоакустическая модель для донных грунтов позволяет путем дистанционных измерений акустическим методом выполнять оценки распределения плотности по разрезу. Распределение плотности ρ_{Γ_j} для j -го слоя грунта можно получить на основании распределений R_j по формулам Френеля в предположении, что $c_{\Gamma} = c_o$

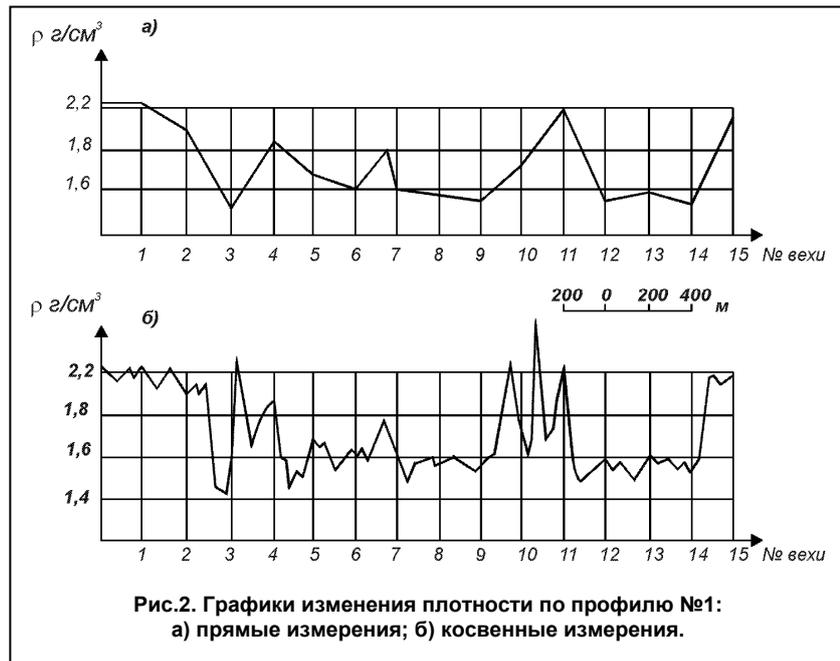


Рис.2. Графики изменения плотности по профилю №1: а) прямые измерения; б) косвенные измерения.

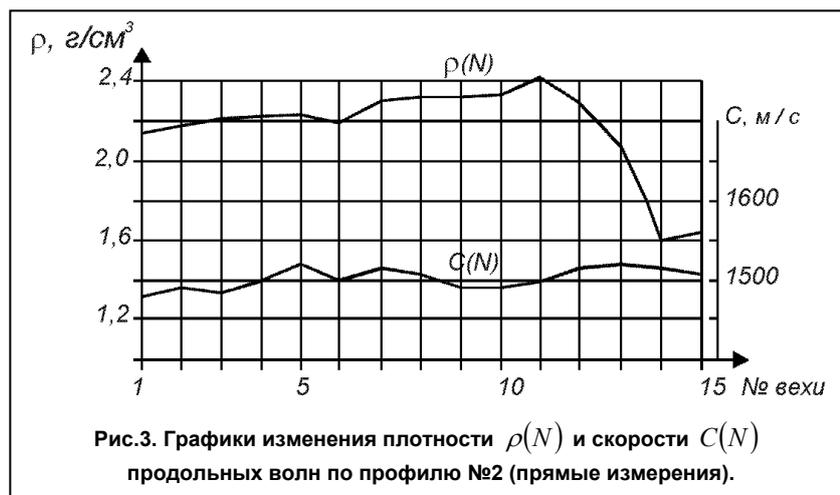


Рис.3. Графики изменения плотности $\rho(N)$ и скорости $C(N)$ продольных волн по профилю №2 (прямые измерения).

$$p_{j(z)} = p_{j-1} \frac{(1 + R_j)}{(1 - R_j)}$$

Значение плотности донного грунта при решении практических задач может быть получено только после определения типа донного грунта и отнесения его к одной из трех названных выше групп в соответствии с предложенной геоакустической моделью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сейсморазведка: Справочник геофизика – М.: Недра, 1981. – 464 с.
2. Авербух А.Г. Изучение состава и свойств горных пород при сейсморазведке.– М.: Недра, 1982. –232 с.
3. Смит Д.Т. Акустические и механические свойства осадков: в книге "Акустика морских осадков", под редакцией Л.Хэмптона, М. Мир.1977.– С.47–65.

**О ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЯХ К СЪЕМКЕ РЕЛЬЕФА ДНА
ГИДРОАКУСТИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ**

**Э.С.ЗУБЧЕНКО,
А.М.АБРАМОВ**
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Рассматриваются перспективные требования проекта стандарта качества гидрографической съемки Международной Гидрографической Организации к точности получения данных о рельефе дна. Модифицирована методика и приведены результаты оценки точности глубин и их планового положения, измеренных техническими средствами Гидрографической службы ВМФ РФ.

В отечественной практике качество съемки рельефа дна при картографировании морских акваторий в соответствии с [1] оценивается подробностью и точностью съемки. При использовании однолучевых эхолотов (ОЭ) важнейшим показателем подробности съемки по-прежнему остается величина междугалсового расстояния. Однако, для все шире используемых в настоящее время многолучевых систем, обеспечивающих практически сплошное покрытие обследуемого участка дна, этот параметр качества съемки утратил свое значение.

Точность съемки характеризуется средней квадратической погрешностью (СКП) значения глубины на планшете или в цифровой модели рельефа дна (ЦМРД), а также СКП ее положения в принятой системе координат. Допустимые значения этих параметров, обеспечивающих безопасность плавания, в [1] определены следующими величинами: в диапазоне 0–30 м СКП глубины на планшете не должно быть более 0,3 м, в диапазоне 30–50 м – 0,5 м, в диапазоне 50–100 м – 1 м, на глубинах свыше 100 м – 1% от измеряемой глубины. СКП положения глубины не должно превышать 1,5 мм в масштабе съемки.

В связи с интенсификацией различного рода морских работ круг потребителей данных о рельефе дна увеличивается, расширяется и диапазон требований к качеству съемки. Так морские инженерные изыскания в соответствии с [2] требуют, чтобы сама глубина в диапазоне 0–200 м имела СКП порядка 2–15 см, а СКП положения изобат было порядка 0.1 м.

В 1997 г. Международная Гидрографическая Организация (МГО) предложила для обсуждения проект стандарта качества гидрографической съемки [3]. Главными критериями ее установлены погрешности глубин и их планового положения, а также погрешность создаваемой по результатам съемки ЦМРД. Доверительный уровень вероятности для этих погрешностей определен равным 95%, т.е. 2σ . Допустимая величина названных погрешностей зависит от значимости района съемок для судоходства, при уровне требований определяется как минимальный. В соответствии со сказанным, введены четыре категории съемок. Не останавливаясь подробно на характеристике соответствующих их районов, укажем, что величина допустимой погрешности глубины и ЦМРД (доверительный уровень вероятности – 95%) задается значениями коэффициентов a и b в зависимости от глубины z по формуле

$$\sigma^2 = a^2 + (bz)^2. \quad (1)$$

В табл.1 приведены требуемые точности планового положения глубин и значения коэффициентов a и b для вычисления допустимых погрешностей глубин и ЦМРД в зависимости от категории съемки. Величина допустимой СКП рассчитана по формуле

$$\sigma^2 = 0.5^2 (a^2 + b^2 z^2). \quad (2)$$

Приведенные данные убеждают нас, что регламентированные в [1] показатели качества съемки, должны быть скорректированы. Однако выдвигаемый инженерными изысканиями их уровень слишком высок и, очевидно, в ближайшее время недостижим.

Таблица 1

Требуемые проектом стандарта МГО значения погрешностей съемки

Параметр	Категория съемки			
	1	2	3	4
Погрешность планового положения глубины, м	2	5	20	150
Коэффициенты, определяющие погрешность глубины: <i>a</i> , м <i>b</i>	0,2 0,0075	0,5 0,013	1,0 0,023	1,0 0,023
Коэффициенты, определяющие погрешность ЦМРД: <i>a</i> , м <i>b</i>	0,2 0,0075	1,0 0,026	0,2 0,05	5,0 0,05
Диапазон глубин, м	0 – 30	30 – 100	100 – 200	200 – 2000
СКП глубины, м	0,1 – 0,15	0,32 – 0,70	1,25 – 2,53	2,53 – 23,0

Требования же проекта стандарта МГО, хотя и выше принятых в [1], в связи с возможным расширением международного обмена данными съемки могут рассматриваться для ГС ВМФ РФ как перспективные. Поэтому имеет смысл оценить, могут ли используемые в отечественной практике для съемки рельефа дна штатные средства обеспечить их выполнение. Для этих целей была использована методика оценки точности съемки рельефа дна многолучевыми системами [4]. Однако, учитывая, что в практике гидрографических работ широко применяются также ОЭ, указанная методика была модифицирована. Рассмотрим содержание основных вычислительных операций по данной модифицированной методике, а затем произведем оценку точности глубин измеренных штатными техническими средствами ГС ВМФ.

Для получения общей погрешности глубины необходимо вычислить семь следующих составляющих.

1. Составляющую, вызываемую погрешностями измерения расстояния до точки отражения и угла наклона зондирующего луча

$$\sigma_{z_1}^2 = \sigma_r^2 \cos^2 \theta + y_n^2 \sigma_\theta^2, \quad (3)$$

где σ_r – инструментальная СКП измерения наклонного расстояния;

σ_θ – инструментальная СКП определения угла наклона оси зондирующего луча;

θ – расчетный угол наклона луча;

y_n – расстояние по горизонтали между точками излучения и отражения зондирующего луча.

При использовании ОЭ, в качестве первой составляющей в (3) необходимо принять только инструментальную СКП измерения глубины σ_{zu}

$$\sigma_{z_1} = \sigma_{zu}. \quad (4)$$

2. Составляющую, определяемую угловой шириной ψ диаграммы направленности излучающей антенны

$$\sigma_{z_2} = d(1 - \cos \frac{\psi}{2}), \quad (5)$$

где d – измеренное наклонное расстояние.

Для ОЭ в формуле (5) величину d следует заменить измеренной глубиной z .

3. Составляющую, вызванную погрешностью определения угла бортовой качки σ_R

$$\sigma_{z_3} = y_n \sigma_R. \quad (6)$$

При съемке ОЭ необходимо рассматривать два ее варианта:

• Съёмка выполняется без стабилизации направления зондирующего луча. В этом случае σ_{z_3} будет определяться предельным углом бортовой ($\alpha_{\sigma_{\delta\kappa}}$) или килевой ($\alpha_{\kappa\kappa}$) качки при съёмке

$$\sigma_{z_3} = z(\sec \alpha_{\sigma_{\delta\kappa}} - 1). \quad (7)$$

• При съёмке используется стабилизация зондирующего луча.

Для вычисления составляющей погрешности необходимо использовать формулу:

$$\sigma_{z_3} = z(\sec \alpha_{cm} - 1), \quad (8)$$

где α_{cm} – СКП стабилизации зондирующего луча.

4. Составляющую от вертикальной качки

$$\sigma_{z_4}^2 = \sigma_{\Delta Z}^2 + x^2 \sigma_p^2 + y^2 \sigma_R^2, \quad (9)$$

где $\sigma_{\Delta Z}$ – СКП выработки положения центра тяжести судна относительно уровенной поверхности;

σ_p – СКП выработки угла килевой качки;

x, y – расстояния между излучателем и центром масс судна.

При съёмке ОЭ без использования датчика вертикальной качки первое слагаемое в формуле (9) нужно заменить половиной высоты волны h , соответствующей степени волнения в период съёмки. Для этих целей можно воспользоваться шкалой силы ветрового волнения [5]. Величины σ_p и σ_R в формуле (9) целесообразно заменить предельными углами бортовой и килевой качки, наблюдавшимися при съёмке

$$\sigma_{z_4}^2 = (h/2)^2 + (x\alpha_{\kappa\kappa})^2 + (y\alpha_{\sigma_{\delta\kappa}})^2. \quad (10)$$

5. Составляющую, вызванную рефракцией звука в воде

$$\sigma_{z_5}^2 = \left\{ (d/V_3)^2 + y_n \left[(\operatorname{tg} \theta / 2V_3)^2 + (\operatorname{tg}(\theta - \sigma) / V_3)^2 \right] \right\} \sigma_{v_3}^2, \quad (11)$$

где V_3 – скорость звука в воде;

σ – СКП определения величины V_3 ;

θ – угол между перпендикуляром к матрице излучающих элементов и направлением в надир.

Для ОЭ σ_{z_5} выглядит следующим образом

$$\sigma_{z_5} = z \sigma_{v_3} / V_3. \quad (12)$$

6. Составляющую, вызванную погрешностью определения заглубления излучателя из-за погрешности в знании осадки судна

$$\sigma_{z_6}^2 = \sigma_{oc}^2 + \sigma_{\partial o}^2 + \sigma_{mo}^2, \quad (13)$$

где σ_{oc} – СКП определения осадки судна на стопе;

$\sigma_{\partial o}$ – СКП определения осадки при движении судна;

σ_{mo} – СКП учета изменения осадки вследствие расхода топлива и других запасов на судне в период выполнения съёмки.

7. Погрешность учета высоты мгновенного уровня над нулем глубин σ_{yp} .

Общая погрешность глубины, полученной в результате съёмки равна сумме этих составляющих

$$\sigma_z^2 = \sigma_{z_1}^2 + \sigma_{z_2}^2 + \sigma_{z_3}^2 + \sigma_{z_4}^2 + \sigma_{z_5}^2 + \sigma_{z_6}^2 + \sigma_{yp}^2. \quad (14)$$

Для определения общей СКП планового положения глубины при съёмке необходимо определить шесть следующих составляющих.

1. Погрешность системы координирования находится как сумма квадратов стандартных отклонений плановых координат на выходе алгоритма для их вычисления. В

нашем случае определим ее как круговую СКП определения места. Для дальномерных систем при вычислении круговой СКП в [1] предложена формула

$$\sigma = m_D \sqrt{2} / \sin \chi, \quad (15)$$

где m_D – СКП дальномерной линии положения;

χ – угол пересечения линий положения.

Принимая $\chi = 30^\circ$, как допустимые наихудшие условия определения места, запишем (15) как

$$\sigma_1 = 2.82 m_D. \quad (16)$$

Формула для вычисления СКП определения места при использовании высокочастотных разностно-дальномерных РНС при условии $\omega_1 = \omega_2 = \chi = 30^\circ$ примет вид

$$\sigma_1 = 5.45 m_r, \quad (17)$$

где m_r – СКП разностно-дальномерной линии положения.

2. Составляющую, вызываемую погрешностью измерения наклонного расстояния и угла наклона зондирующего луча

$$\sigma_2^2 = (\sin \theta \sigma_r)^2 + (d \sigma_\theta)^2. \quad (18)$$

Для ОЭ формула (18) будет иметь вид

- для случая стабилизации луча

$$\sigma_2 = z \sigma_{cm}. \quad (19)$$

- при отсутствии стабилизации луча

$$\sigma_2 = z \sqrt{\text{tg}^2 \alpha_{\text{кк}} + \text{tg}^2 \alpha_{\text{ок}}}. \quad (20)$$

3. Составляющую, вызываемую рефракцией

$$\sigma_3^2 = \left\{ (y_n / V_3)^2 + d^2 \left[(\text{tg} \theta / 2V_3)^2 + (\text{tg}(\theta - \sigma) / V_3)^2 \right] \right\} \sigma_{v_3}^2. \quad (21)$$

Для ОЭ в случае стабилизации луча формула (21) примет вид

$$\sigma_3 = 1.22 z \sigma_{cm} \sigma_{v_3} / V_3. \quad (22)$$

Без стабилизации луча

$$\sigma_3 = 1.22 z \alpha_{\text{к}} \sigma_{v_3} / V_3, \quad (23)$$

где $\alpha_{\text{к}} = \sqrt{\alpha_{\text{кк}}^2 + \alpha_{\text{ок}}^2}$.

4. Составляющую, вызываемую погрешностями выработки качки и курса

$$\sigma_4^2 = d^2 (\sigma_R^2 + \sigma_p^2) + y_n^2 \sigma_\alpha^2, \quad (24)$$

где σ_α – СКП выработки курса.

Для ОЭ $\sigma_4 = 0$.

5. Составляющую, вызываемую погрешностями определения взаимного положения центра приема РНС и центра излучения гидроакустического сигнала

$$\sigma_5^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 + (x^2 + y^2) \sigma_\alpha^2 + z^2 d (\sigma_R^2 + \sigma_p^2). \quad (25)$$

6. Составляющую, вызываемую временной задержкой (латентностью) системы координирования

$$\sigma_6 = V_c \sigma_{\Delta T}. \quad (26)$$

Следует отметить, что параметр $\sigma_{\Delta T}$ – латентность для отечественных РНС – вообще не определен.

Общая СКП планового положения глубины вычисляется по формуле

$$\sigma_{pz}^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2 + \sigma_5^2 + \sigma_6^2. \quad (27)$$

При этом технические параметры средств измерения глубин и определения места, состоящих на вооружении ГС ВМФ РФ (табл.2), взяты из [1].

Для спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС и навигационного приемника “Бриз” величина СКП определения места σ_1 принималась равной:

- в дифференциальном режиме – 5 м ;
- в обычном режиме – 20 м.

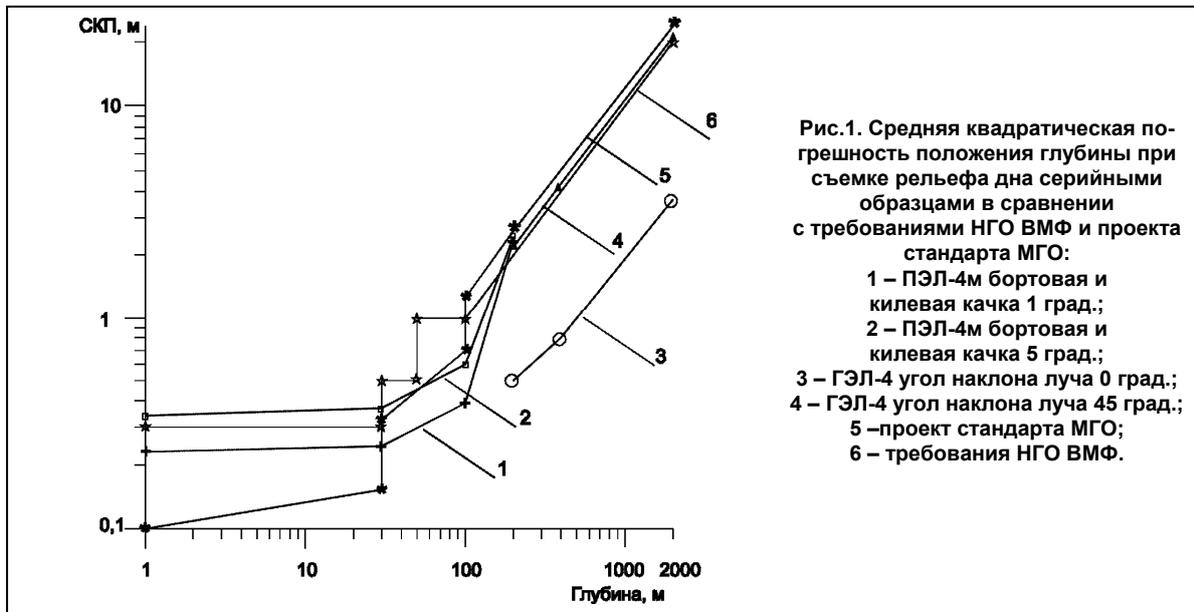
Таблица 2.
Значения параметров, использовавшихся при оценке точности съемки рельефа дна серийными образцами отечественной гидрографической техники

Параметр	Значение
Скорость судна при съемке V_c , уз	10
Точность курса σ_α , град.	0.5
Высота волны h , м:	
• при слабом волнении (1 балл)	0.25
• при умеренном волнении (2 балла)	0.5
Плановое положение гидроакустической антенны относительно центра масс судна $x = y$, м	0
Положение гидроакустической антенны относительно антенны РНС:	
• $x = y$, м	0
• z_d , м	10
Угол крена и дифферента $\alpha_{\delta к} = \alpha_k$, град.:	
• при слабом волнении (1 балл)	1
• при умеренном волнении (2 балла)	5
Расчетная скорость звука в воде V_3 , м/с	1480
СКП расчетной скорости звука при съемке σ_{v_3} , м/с.	2.5

При расчете σ_1 для РНС берегового базирования угол пересечения линий положения принимался равным 30°.

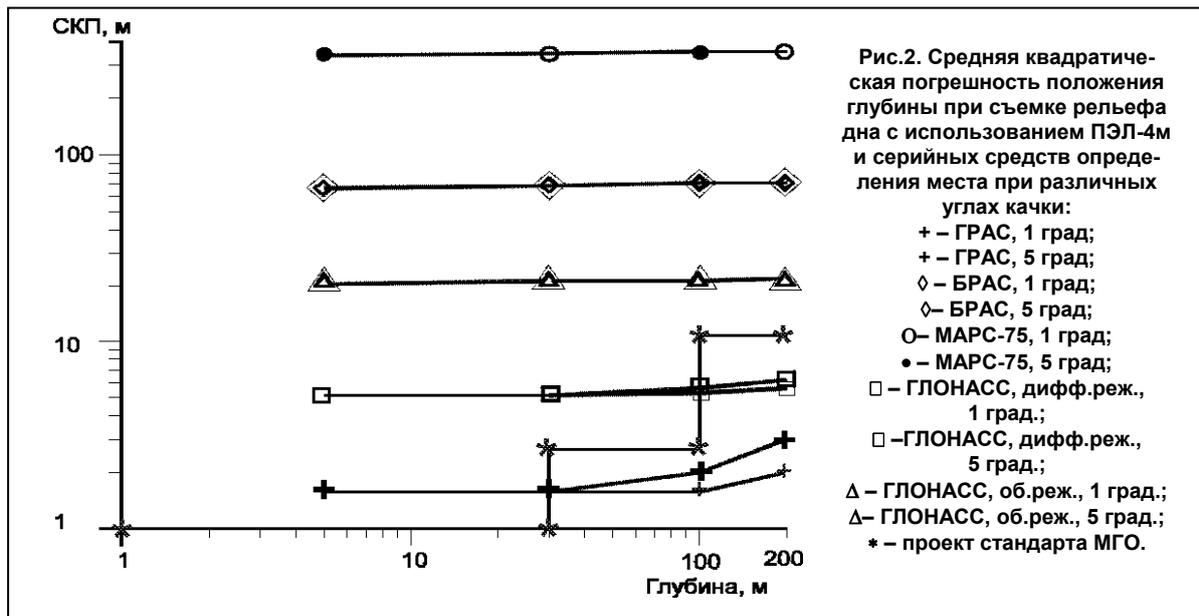
В соответствии с изложенной методикой был разработан алгоритм и составлена программа для оценки точности съемки рельефа дна с использованием различных средств.

Результаты оценки СКП глубины, полученной при съемке с использованием эхолотов ПЭЛ-4М, ГЭЛ-4, показаны на рис.1, здесь же приведены требования [1] и требования стандарта МГО. Сравнение этих данных показывает, что перспективным требованиям проекта стандарта МГО, ГЭЛ-4 удовлетворяет во всем диапазоне углов наклона боковых лучей, т.е. от 0° до 45°, в то время как ПЭЛ-4М требованиям проекта стандарта МГО не удовлетворяет.

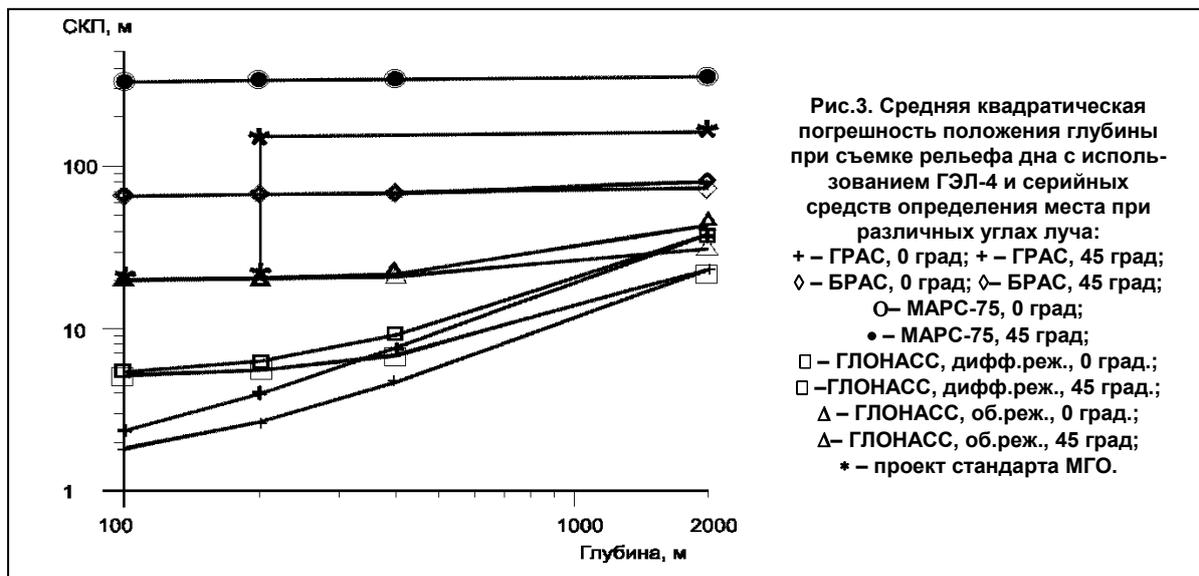


На рис.2 представлены результаты оценки точности планового положения измеренной глубины при съемке рельефа дна эхолотом ПЭЛ-4М с использованием серийных РНС ГРАС и СНС ГЛОНАСС. Видно, что только ГРАС обеспечивает выполнение требований проекта стандарта МГО при съемке глубин с помощью ПЭЛ-4М в диапазоне 30–200 м при углах качки не более 1°. В диапазоне глубин от 100 до

200 м при тех же условиях съемки требования проекта стандарта МГО обеспечивает использование СНС в дифференциальном режиме.



На рис.3 показаны СКП глубин, измеренных эхолотом ГЭЛ-4. Их величина удовлетворяет требованиям проекта стандарта МГО при использовании РНС ГРАС и СНС ГЛОНАСС во всем диапазоне глубин 100–2000 м при углах наклона зондирующего луча 0°- 45° и работе СНС в дифференциальном режиме.



Полученные оценки позволяют сделать вывод о том, что все вновь разрабатываемые средства измерения глубин в диапазоне 0–100 м необходимо “подтягивать” к перспективным требованиям МГО. Что касается средств определения места, то для соответствия требованиям проекта стандарта МГО при измерении глубин в диапазоне 0–30 м необходимо повышать точность РНС и СНС до уровня десятых долей метра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила Гидрографической службы № 4. Съёмка рельефа дна. Ч 1. Основные положения. Ч. 2. Требования и методы (ПГС № 4), ГУНиО МО,– 1984.
2. Инструкция по созданию топографических карт шельфа и внутренних водоемов, ГУГиК, 1985.
3. IHO Standards for Hydrographic Surveys. Special Publication № 44, Four edition (Final draft for circulation to member states).– Monaco, International Hydrographic Organization,– 1997.
4. R. Hare. Depth and position error budgets for multibeam echosounding. //International Hydrographic Review,– 1995. V. 72, № 2, p. 37–69.

5. Егоров Н.И. Физическая океанография.– Л., Гидрометеиздат, 1974.

ГРНТИ 78.21.37.19.17

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА
ПО МАГНИТНОМУ РЕПЕРУ**

П.И.МАЛЕЕВ
(Гос.НИНГИ МО РФ),
Б.М.СМИРНОВ,
И.С.ХАСИЕВ
(ВНИИМ им. Д.И. Менделеева)

Рассмотрен метод определения координат подвижного объекта относительно магнитного репера с известными координатами. Суть метода состоит в одновременном измерении проекций векторов магнитной индукции или их разности в трех точках пространства.

Задача определения местоположения подвижных, в частности морских, объектов относительно источника магнитного поля (магнитного репера) является обратной задачей пеленгования и определения координат источника магнитного поля. Известные методы пеленгования и определения координат источников магнитного поля, в том числе и применяемые в магниторазведке, обладают для решения данной задачи рядом недостатков. Одни из них требуют использования буксируемых за объектом магнитометров, вариационных станций, а также сложных и трудоемких предварительных работ по съемке магнитного поля и созданию карт [1, 2, 3]. Другие требуют знания направления перемещения источника и реализуются лишь в случае, когда объект находится над источником [4]. Для третьих необходимо использование установочной платформы и устройств ее разворота [5].

Как представляется, рассматриваемый ниже метод в наибольшей степени удовлетворяет решению поставленной задачи. Суть его состоит в одновременном измерении трехкомпонентными магнитометрами проекций векторов магнитной индукции или их разности в трех разнесенных точках пространства.

Действительно, вектор магнитной индукции \vec{B}_n дипольного источника поля в n -й точке пространства, где $n = 1, 2, \dots, \infty$, при условии, что магнитная проницаемость среды $\mu = 1$, может быть представлен выражением [6]

$$\vec{B}_n = A_n \vec{M}, \tag{1}$$

где $A_n = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{1}{r_n^5} G_n$;

$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ Гн/м}$;

$$G_n = \begin{bmatrix} 3(x+a_n)^2 - r_n^2 & 3(x+a_n)(y+b_n) & 3(x+a_n)(z+c_n) \\ 3(x+a_n)(y+b_n) & 3(y+b_n)^2 - r_n^2 & 3(y+b_n)(z+c_n) \\ 3(x+a_n)(z+c_n) & 3(y+b_n)(z+c_n) & 3(z+c_n)^2 - r_n^2 \end{bmatrix};$$

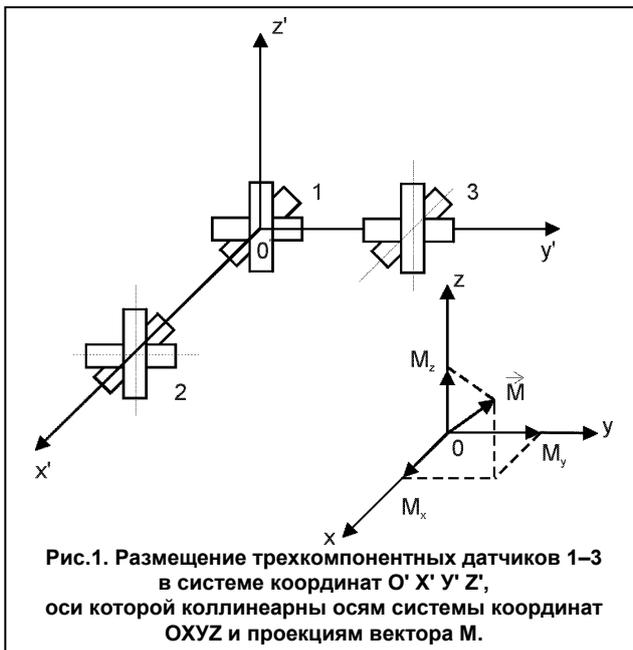
r_n – модуль радиус-вектора \vec{r}_n в n -й точке измерения составляющих вектора магнитной индукции с полюсом в точке размещения диполя;

x, y, z – координаты точки наблюдения в системе координат $OXYZ$ (рис.1) с началом координат в точке O , где размещен диполь;

a_n, b_n, c_n – координаты датчиков магнитометров в системе координат $O'X'Y'Z'$ с началом координат в точке O' , принятой за точку наблюдения;

\vec{M} – вектор дипольного магнитного момента.

Разместим трехкомпонентный датчик 1 (см. рис.1) в точке O' , а трехкомпонентные датчики 2 и 3 – на соответствующих осях $O'X'$ и $O'Y'$, коллинеарных осям OX и OY . В таком случае координаты датчика 1 будут иметь значения x, y, z , координаты датчика 2 – значения $x+a, y, z$ и координаты датчика 3 – значения $x, y+b, z$.



Принятое размещение датчиков обеспечивает однозначное определение координат и магнитного момента дипольного источника поля за исключением случая, когда дипольный источник расположен в плоскости $O'X'Y'$, а вектор \vec{M} перпендикулярен этой плоскости. Решение задачи определения \vec{M} и, например \vec{r}_1 , будем осуществлять по измеренным в трех точках пространства векторам магнитной индукции $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3$.

Измерив проекции векторов магнитной индукции $B_{x_1}, B_{y_1}, B_{z_1}$ датчиком 1 (см. рис.1), $B_{x_2}, B_{y_2}, B_{z_2}$ датчиком 2 и $B_{x_3}, B_{y_3}, B_{z_3}$ датчиком 3, определим приближенные значения пространственных производных магнитной индукции с привязкой по местоположению к точке O' из следующих выражений

$$\frac{\partial B_x}{\partial x} \approx \frac{B_{x_1} - B_{x_2}}{a}; \quad \frac{\partial B_y}{\partial x} \approx \frac{B_{y_1} - B_{y_2}}{a}; \quad \frac{\partial B_z}{\partial x} \approx \frac{B_{z_1} - B_{z_2}}{a};$$

$$\frac{\partial B_x}{\partial y} \approx \frac{B_{x_1} - B_{x_3}}{b}; \quad \frac{\partial B_y}{\partial y} \approx \frac{B_{y_1} - B_{y_3}}{b}; \quad \frac{\partial B_z}{\partial y} \approx \frac{B_{z_1} - B_{z_3}}{b}.$$

Радиус-вектор $\vec{r}_1^{(o)} \{x^{(o)}, y^{(o)}, z^{(o)}\}$ определим согласно [7] как

$$\vec{r}_1^{(o)} = \frac{3}{\lambda_2 \lambda_3} [D_1 + \lambda_1 E] \vec{B}_1, \tag{2}$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – собственные значения тензора D_1 ;

$$D_I = \begin{bmatrix} \frac{\partial B_{x_1}}{\partial x} & \frac{\partial B_{x_1}}{\partial y} & \frac{\partial B_{x_1}}{\partial z} \\ \frac{\partial B_{y_1}}{\partial x} & \frac{\partial B_{y_1}}{\partial y} & \frac{\partial B_{y_1}}{\partial z} \\ \frac{\partial B_{z_1}}{\partial x} & \frac{\partial B_{z_1}}{\partial y} & \frac{\partial B_{z_1}}{\partial z} \end{bmatrix};$$

E – единичный тензор;

$$\bar{B}_I \{ B_{x_1}, B_{y_1}, B_{z_1} \}.$$

Матрица D_I симметрична, а сумма элементов главной диагонали ее равна нулю, поэтому

$$\frac{\partial B_{z_1}}{\partial x} = \frac{\partial B_{x_1}}{\partial z}; \quad \frac{\partial B_{z_1}}{\partial y} = \frac{\partial B_{y_1}}{\partial z}; \quad \frac{\partial B_{z_1}}{\partial z} = -\frac{\partial B_{x_1}}{\partial x} - \frac{\partial B_{y_1}}{\partial y}.$$

Полученные координаты датчика 1 принимаем за начальные приближенные значения и обозначим через $x_0^{(o)}, y_0^{(o)}, z_0^{(o)}$. Они соответствуют начальной или центральной точке пространства. Определим значения $x_i^{(o)}, y_i^{(o)}, z_i^{(o)}$ для шести точек пространства, $i = 1 \dots 6$ (рис.2). Дополнительные точки пространства выбираем симметрично относительно начальной точки на соответствующих осях, коллинеарных осям заданной декартовой системы координат, с начальным шагом итерации $\delta_n^{(o)}$ и конечным шагом итерации ε_δ .

Из измеренных $\bar{B}_1, \bar{B}_2, \bar{B}_3$ выбираем следующие два вектора:

1. \bar{B}_1 и \bar{B}_2 , если для \bar{B}_1 и \bar{B}_3 выполняются условия $B_{x_1} = B_{x_3}, B_{y_1} = -B_{y_3}, B_{z_1} = B_{z_3}$, а следовательно \bar{B}_1 и \bar{B}_3 линейно зависимы;

2. \bar{B}_1 и \bar{B}_3 , если для \bar{B}_1 и \bar{B}_2 выполняются условия $B_{x_1} = -B_{x_2}, B_{y_1} = B_{y_2}, B_{z_1} = B_{z_2}$, а

следовательно \bar{B}_1 и \bar{B}_2 линейно зависимы;

3. \bar{B}_1 и \bar{B}_2 или \bar{B}_1 и \bar{B}_3 , или \bar{B}_2 и \bar{B}_3 , у которых $\det A_n$, где $n = 1, 2, 3$ имеют наибольшие значения для выбранных приближенных значений координат, если $\bar{B}_1, \bar{B}_2, \bar{B}_3$ независимы.

Если $B_{x_1} = -B_{x_2}, B_{y_1} = B_{y_2}, B_{z_1} = B_{z_2}$ и $B_{x_1} = -B_{x_3}, B_{y_1} = -B_{y_3}, B_{z_1} = B_{z_3}$, то дипольный источник расположен на оси, перпендикулярной плоскости O', X', Y' , проходящей через середину отрезка прямой, соединяющей датчики 2 и 3, а вектор \vec{M} направлен вдоль этой оси. В этом случае значение координаты x равно половине отрезка прямой, соединяющей датчики 1 и 2, а значение координаты y равно половине отрезка прямой, соединяющей датчики 1 и 3. Значение величины координаты z определим из выражения

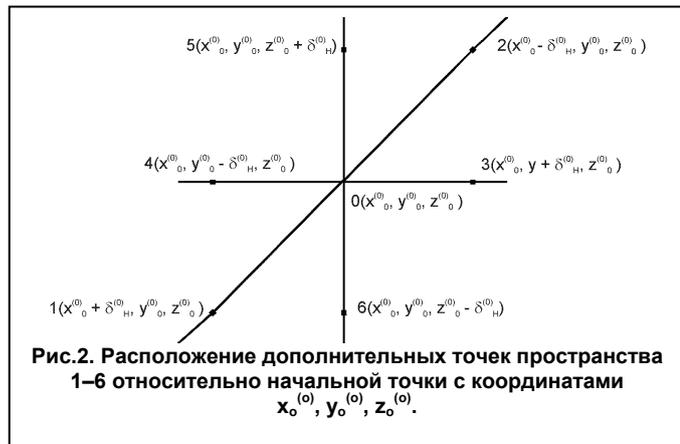


Рис.2. Расположение дополнительных точек пространства 1-6 относительно начальной точки с координатами $x_0^{(o)}, y_0^{(o)}, z_0^{(o)}$.

$$z = \frac{3x \pm \sqrt{9x^2 + 8P^2(x^2 + y^2)}}{4P}, \quad (3)$$

где $P = B_{x_1} / B_{z_1}$.

Подкоренное выражение в уравнении (3) по абсолютной величине больше $3x$, поэтому z имеет знак плюс или минус. Знак z определим из уравнения (2).

По выбранным векторам магнитной индукции, например \vec{B}_1 и \vec{B}_2 , измеренным в соответствующих точках пространства, осуществим численным методом поиск истинных значений $\vec{M} \{x, y, z\}$ и $\vec{M} \{M_x, M_y, M_z\}$, где M_x, M_y, M_z – проекции \vec{M} на оси системы координат $OXYZ$.

Для полученной начальной точки с координатами $x_o^{(o)}, y_o^{(o)}, z_o^{(o)}$ определим функционал $F_o^{(o)}$ согласно [6] как

$$F_o^{(o)} = [\vec{B}_1 - A_1^{(o)} (A_2^{(o)})^{-1} \vec{B}_2]^2, \quad (4)$$

где вектор $A_1^{(o)} \cdot (A_2^{(o)})^{-1} \cdot \vec{B}_2$ является начальным приближением вектора \vec{B}_1 .

Аналогично определим функционалы в шести дополнительных точках пространства. Затем выберем точку пространства, которой принадлежит функционал с минимальным значением. Если минимальный функционал соответствует дополнительной точке пространства, то ее принимаем за новую начальную точку, координаты которой обозначим через x_o, y_o, z_o . По значениям координат этой точки и заданному шагу итерации $\delta_n^{(o)}$ определим новые значения координат шести дополнительных точек пространства и вновь проведем поиск наименьшего значения функционала. Этот поиск осуществляем до тех пор, пока функционал очередной начальной точки не будет иметь вновь наименьшее значение. В этом случае дается разрешение на уменьшение шага итерации $\delta_n^{(o)}$ в несколько раз (например в два раза), а координаты новых дополнительных точек пространства выбираются относительно начальной точки с новым начальным шагом.

Определим функционалы во вновь выбранных дополнительных точках пространства. Сравним функционалы в начальной и дополнительных точках пространства между собой. Обозначим эти функционалы через $F_s^{(k)}$, где $s = 1, 2, \dots, 6$ – выборочные точки пространства k -й итерации. Выберем точку пространства, которой принадлежит функционал с минимальным значением. Значения координат k -й итерации принимаем за решение системы уравнений выбранных векторов магнитной индукции, когда функционал в соответствующей точке, принятой за начальную, реализует отсчетный шаг меньше выбранной невязки ε_δ , т.е. $\delta_n^{(t)} < \varepsilon_\delta$, где $t = 1, 2, \dots, \infty$.

Оценим погрешность определения координат и магнитного момента дипольного источника от погрешности измерения магнитной индукции, например датчиками 1 и 2. Для этого, продифференцировав уравнение (1) при $n = 1$ и $n = 2$, возведя в квадрат левые и правые части полученных дифференциальных уравнений, а затем, найдя их математические ожидания и принимая приращения каждой проекции r_p, B_p и M на оси координат как независимые случайные величины, получим следующие выражения

$$\sigma_r = \sqrt{6} N \sigma_B; \quad (5)$$

$$\sigma_M = \frac{4\pi}{\mu_o} \cdot \left(\frac{1}{r_1^6} + \frac{1}{r_2^6} \right)^{-\frac{1}{2}}, \quad (6)$$

где

$$N = \left\{ \left(\frac{\partial B_{x_1}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{y_1}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{z_1}}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{x_2}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{y_2}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{z_2}}{\partial z} \right)^2 + \right. \\ \left. + 2 \left[\left(\frac{\partial B_{x_1}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{x_1}}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{y_1}}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{x_2}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{x_2}}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{y_2}}{\partial z} \right)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}};$$

σ_r и σ_M – средние квадратические отклонения результатов наблюдений координат и магнитного момента дипольного источника;

σ_B – среднее квадратическое отклонение результатов измерений магнитной индукции.

Произведем количественную оценку σ_r и σ_M . Так, например, при $M = M_x = 2 \cdot 10^6$ Ам², координатах первого датчика (100 м, 0, 300 м), координатах второго датчика (75 м, 0, 300 м), имеем значения магнитной индукции $B_{x_1} = -4,43$ нТл, $B_{y_1} = 0$, $B_{z_1} = 5,69$ нТл, $B_{x_2} = 5,57$ нТл, $B_{y_2} = 0$, $B_{z_2} = 4,77$ нТл, $\sigma_B = 0,3$ нТл.

Из уравнения (1) определим

$$\begin{aligned} \frac{\partial B_{x_1}}{\partial x} &= 0,15 \text{ нТл/м}; \quad \frac{\partial B_{x_1}}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial B_{x_1}}{\partial z} = 2,846 \cdot 10^{-2} \text{ нТл/м}; \\ \frac{\partial B_{y_1}}{\partial y} &= 1,897 \cdot 10^{-2} \text{ нТл/м}; \quad \frac{\partial B_{z_1}}{\partial z} = -0,15 \text{ нТл/м}; \quad \frac{\partial B_{x_2}}{\partial x} = 4,306 \text{ нТл/м}; \\ \frac{\partial B_{x_2}}{\partial y} &= 0; \quad \frac{\partial B_{y_2}}{\partial y} = 1,59 \cdot 10^{-2} \text{ нТл/м}; \quad \frac{\partial B_{z_2}}{\partial z} = -5,897 \cdot 10^{-2} \text{ нТл/м}; \quad \frac{\partial B_{y_1}}{\partial z} = 0; \\ \frac{\partial B_{y_2}}{\partial z} &= 0; \quad \frac{\partial B_{x_2}}{\partial z} = 4,49 \cdot 10^{-2} \text{ нТл/м}. \end{aligned}$$

Подставив полученные значения пространственных производных векторов магнитной индукции и значения r_1 и r_2 в уравнения (5) и (6), получим $\sigma_r = 3,1$ м; $\sigma_M = 64795,677$ А·м². Отсюда относительные погрешности определения координат и магнитного момента имеют значения $\sigma_r = 1,0\%$ и $\sigma_M = 3,2\%$.

Решить задачу определения \vec{r}_1 и \vec{M} можно и по измеренным двум разностям векторов магнитной индукции для выбранных трех точек пространства [8]

$$\vec{B}_{1,2} = [A_1 - A_2] \vec{M}; \quad (7)$$

$$\vec{B}_{1,3} = [A_1 - A_3] \vec{M}, \quad (8)$$

где $\vec{B}_{1,2} = \vec{B}_1 - \vec{B}_2$; $\vec{B}_{1,3} = \vec{B}_1 - \vec{B}_3$.

Последнее решение, в отличие от предыдущего, позволяет исключить влияние однородных магнитных помех. Алгоритм решения системы уравнений (7) и (8) аналогичен алгоритму решения системы уравнений (1) при $n = 1, 2$.

Среднюю квадратическую погрешность результатов наблюдений радиус-вектора дипольного источника, обозначенную σ_r , можно представить в виде

$$\sigma_r = \sqrt{6} R \sigma_{\Delta B}, \quad (9)$$

где $\sigma_{\Delta B}$ – среднее квадратическое отклонение результатов измерений разностей векторов магнитной индукции;

$$R = \left\{ \left(\frac{\partial B_{x_2}}{\partial x} - \frac{\partial B_{x_1}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{y_2}}{\partial y} - \frac{\partial B_{y_1}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{z_2}}{\partial z} - \frac{\partial B_{z_1}}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{x_3}}{\partial x} - \frac{\partial B_{x_1}}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{y_3}}{\partial y} - \frac{\partial B_{y_1}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{z_3}}{\partial z} - \frac{\partial B_{z_1}}{\partial z} \right)^2 + 2 \left[\left(\frac{\partial B_{x_2}}{\partial y} - \frac{\partial B_{x_1}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{x_2}}{\partial z} - \frac{\partial B_{x_1}}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{y_2}}{\partial z} - \frac{\partial B_{y_1}}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{x_3}}{\partial y} - \frac{\partial B_{x_1}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{x_3}}{\partial z} - \frac{\partial B_{x_1}}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial B_{y_3}}{\partial z} - \frac{\partial B_{y_1}}{\partial z} \right)^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Предположим, что координаты третьего датчика относительно источника магнитного поля имеют значения (100 м, 100 м, 300 м), а $\sigma_{\Delta B} = 0,5$ нТл. Используя исходные данные первого примера о магнитном моменте источника поля и о координатах первых датчиков, получим $\sigma_r = 5,8$ м. В этом случае относительная погрешность определения радиус-вектора $\sigma_r = 1,8$ %.

Рассмотренные варианты определения координат магнитного репера по измеренным векторам и разностям векторов магнитной индукции возможны при исключении влияния магнитных помех объекта. Одно из технических решений этой задачи изложено в [9].

Подобным образом можно использовать и естественные магнитные реперы, связанные с геологическими разломами [10,11], что может привести к значительному увеличению дальности действия систем, построенных на использовании рассмотренного подхода.

Таким образом, по измеренным проекциям или разностям проекций векторов магнитной индукции в трех выбранных точках пространства можно определить координаты и магнитный момент источника поля с относительными погрешностями порядка единиц процентов, а, следовательно, с той же погрешностью определить местоположение корабля относительно репера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Л. ЛГУ, 1978, 592 с.
2. Логачев А.А., Захаров В.П. Магниторазведка, Л.: "Недра" 1979, 352 с.
3. Лейбов М.В., Углов Б.Д. и др. Практические вопросы повышения точности морских магнитных систем. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 1986, 142 с.
4. Mc Aunlay A.O. Computerized model demonstrating Magnetic submarine localization // IEEE Trans. Aerosp. Electr. Soc. 1977/ AES – 13, №13, P. 246–254.
5. Яроцкий В.Н. Методы обнаружения и определения местоположения объектов по их постоянному магнитному полю. Зарубежная электроника 1984, №3. С. 45–56.
6. Смирнов Б.М. Метод определения координат и магнитного момента дипольного источника поля // Измерительная техника, 1988, вып.9. С. 40–42.
7. Семенов Б.Г. Решение обратной задачи по определению источника физического поля дипольной и квадрупольной модели // Методы и средства измерения параметров магнитного поля. Л., НПО ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 1980. С. 3–19.
8. А.С. № 1437812 СССР. МКИ G OIR 33/02. Устройство для определения координат и магнитного момента дипольного источника поля / Б.М.Смирнов // Открытия, изобретения, 1988, № 42.
9. Пат. № 2096818 РФ. МКИ 6 G05D 1/08, G01R 33/02 G01 R 33/ 02, G01V 3/ 00. Способ определения коэффициентов Пуассона подвижного объекта и устройство для его осуществления /Б.М. Смирнов// Открытия, изобретения, 1997, №32.
10. Система экстренного обнаружения землетрясений и подачи сигнала ложной тревоги / Nakamura Yutaka// Кэйсоку то сэйчэ = J. Soc. Instrum. and Contr. Eng. – 1989 – 28, №8, 727 с.
11. Предсказания землетрясений по теллурическому току / Vyeda Seiya// Котай буцури = Solid State Phys. – 1990 – 25, №4. С. 60 – 69.

ОЦЕНКА ПОТЕРИ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ЕЕ РЕГУЛЯРИЗАЦИИ

А.И.СОРОКИН
(ИНОЗ РАН)

Предлагается метод оценки потери информации о рельефе дна и геофизических полях при ее переработке для представления в виде матрицы чисел или с помощью изолиний. Приводится пример вычисления размеров потерянных микроформ для фактического профиля гравитационного поля Земли.

Под гидрографической информацией здесь будем понимать результаты гидрографических исследований, направленных на изучение рельефа дна и стационарных геофизических полей, а под регуляризацией информации – ее переработку с целью построения базы данных в матричной или иной упорядоченной форме, либо при изображении поля с помощью изолиний.

Если взять наиболее простой случай, когда съемочные маршруты совпадают со строками и столбцами матричной сетки, то при условии достаточно частых измерений (как например, при эхолотном промере) можно полагать, что записанные в виде матрицы значения интересующего нас гидрографического параметра (глубины, ускорения свободного падения, модуля суммарного вектора напряженности магнитного поля Земли и т.п.), практически свободны от ошибок интерполяции.

Однако, произведенная дискретизация данных приводит к необходимости получения с помощью интерполяции промежуточных значений, следствием чего является не только появление соответствующих интерполяционных ошибок, но и утрата мелко-масштабных аномалий, т.е. потеря части полезной информации. В отдельных случаях подобная дискретизация может привести к полной потере нужной информации – например, при записи в матричной форме глубин района абиссальной равнины, в пределах которого проходит достаточно узкий срединно-океанический каньон (который может иметь к тому же большое навигационное значение).

В общем случае, когда съемочные маршруты расположены произвольным образом по отношению к матричной решетке, матричные значения уже сами содержат ошибки интерполяции, зависящие от величины междугалсовых расстояний и еще увеличивающие потери полезной информации. При изображении поля с помощью изолиний появляется дополнительная трудно оцениваемая погрешность, связанная с их “выравниванием” в процессе проведения плавных кривых через точки, найденные путем обратной линейной интерполяции.

В том и другом случае имеется необходимость оценить допустимую потерю информации, исходя из характера съемочных профилей и расстояния между узлами матричной сетки или между изолиниями. Рассмотрим решение этой задачи для достаточно общего случая, когда изучаемое поле может быть представлено как реализация двумерной стационарной в широком смысле случайной функции, заданной пересекающимися его профилями достаточной протяженности, позволяющей определить их автокорреляционные функции.

Естественно полагать, что при регуляризации информации исчезают те микроформы, размеры которых меньше ошибок, вызванных этим процессом. Поэтому количественная оценка потери этих микроформ (т.е. информации об особенностях поля рельефа или геофизических полей) может быть связана с оценкой ошибок, вызванных регуляризацией информации, т.е., в нашем случае, в основном ошибок интерполяции.

Очевидно, что средняя квадратическая погрешность (СКП) интерполяции вдоль дискретизированного профиля соответствует дисперсии составляющих его микроформ поля. Что же касается погрешности интерполяции в нормальном к профилю направлении, то она будет несколько отличаться за счет отличия автокорреляционной функции поля по данному направлению и возникновения дополнительных ошибок при проведе-

нии изолиний в виде “плавных кривых”. Тем не менее, если выполнить подобную оценку вдоль всех профилей, использованных при построении изолиний или матрицы, можно получить значение дисперсий потерянных при этом микроформ и отсюда найти некоторую среднюю оценку для всей карты (или матрицы) в целом.

Такая оценка в известной степени зависит от принятого способа интерполяции. Однако, как показали исследования, это влияние является столь незначительным, что при решении нашей задачи им можно пренебречь.

Учитывая вышесказанное, будем иметь дело с простой (не оптимальной) линейной интерполяцией, которую обычно и применяют на практике.

Как известно, наибольшая (на середине интервала) СКП линейной интерполяции m_z равна

$$m_z = \sigma_z \left[1,5 - 2\tilde{K}\left(\frac{l}{2}\right) + 0,5\tilde{K}(l) \right]^{\frac{l}{2}}, \quad (1)$$

где σ_z – вертикальная расчлененность поля, имеющего характер стационарной случайной функции;

$\tilde{K}(l)$ – нормированная автокорреляционная функция;

l – средний интервал между изолиниями или узлами матричной решетки.

Таким образом, величину СКП интерполяции можно рассматривать как среднюю вертикальную расчлененность той части поля, которая не улавливается при нахождении значений параметра путем осуществления линейной интерполяции между изолиниями или его матричными значениями. Иными словами, мы полагаем, что справедливым является равенство

$$m_z = \sigma_m, \quad (2)$$

где σ_m – вертикальная расчлененность микроформ (микроаномалий) поля, потерянных при регуляризации гидрографической информации.

Приведем пример расчета дисперсии микроформ, которые теряются при изображении поля с помощью изолиний на картах различного масштаба. Используя результаты гравиметрической съемки в Индийском океане в районе профиля Chain-965, зададимся средним расстоянием между изолиниями, равным 1,5 см, что составит на местности величину l , зависящую от масштаба карты:

Масштаб карты	l , км
1:100000	1,5
1:200000	3
1:500000	7,5
1:1000000	15

Нормированная автокорреляционная функция $\tilde{K}(l)$ для указанного выше профиля, полученная после снятия с него тренда методом скользящего среднего при отрезке осреднения, равном 50 км, имеет следующие значения:

l , км	$\tilde{K}(l)$
0	1
1,5	0,98
3	0,92
4,5	0,80
6	0,70
7,5	0,60
9	0,40
10,5	0,25
12	0,16
13,5	0,04
15	-0,05

При этом корень из дисперсии вертикальных размеров аномалий $\sigma_z = 7,2$ мгл.

Результаты расчета величины вертикальной расчлененности гравитационного поля, потерянной при его изображении с помощью изолиний, отстоящих друг от друга на 1,5 см, произведенного по формуле (1), сведены в таблицу.

Расчет величины σ_m

Масштаб	Значения параметров						
	λ , км	$\tilde{K}\left(\frac{l}{2}\right)$	$\tilde{K}(l)$	$0,5K(l)$	$2\tilde{K}\left(\frac{l}{2}\right)$	Σ	σ_m , мгл
1:100000	1,5	0,99	0,98	0,49	1,98	0,01	0,7
1:200000	3	0,98	0,92	0,46	1,95	0,01	0,7
1:500000	7,5	0,85	0,60	0,30	1,70	0,10	2,3
1:1000000	15	0,60	-0,05	-0,02	1,20	0,28	3,8

Как следует из таблицы, в результате изображения гравитационного поля в районе профиля Chain-965 с помощью изолиний, нанесенных на карту через 1,5 см, мы теряем аномалии величиной порядка 1 мгл и менее при использовании карты масштаба 1:100000 и до 4 мгл при работе с картой миллионного масштаба, поскольку эти величины перекрываются погрешностями интерполяции.

Очевидно, что данная оценка является достаточно приближенной, поскольку условие однородности и изотропности поля обычно не соблюдаются, учитываются не все источники искажения информации при ее регуляризации, СКП интерполяции вычисляется для наиболее неблагоприятного случая – середины интервала.

Таким образом, имеются факторы как повышающие, так и снижающие уровень этой оценки. Тем не менее, можно полагать, что предложенный метод дает определенное представление о порядке размеров потерянных микроформ, что является полезной информацией при решении различных прикладных задач (например, при определении места с помощью навигационных геофизических систем).

В связи с этим хотелось бы еще раз сказать о перспективности разработки методов использования информации, не предусматривающих ее предварительную регуляризацию, т.е. практически исключаящих данный источник дополнительных ошибок.

К таким методам, в частности, относится так называемый “галсовый” способ определения места по рельефу дна и геофизическим полям, предложенный нами еще в начале 60-х годов, но не нашедший пока должной реализации по различным причинам. В этом случае в качестве исходной информации используются не матрицы данных и не изолинии поля, а сами съемочные профили, полученные в процессе выполнения промера или геофизических исследований. Процесс сравнения глубин обсервационного маршрута с глубинами на промерных галсах выполнения интерполяционных вычислений не предусматривает, а поэтому свободен от ошибок интерполяции и не связан с потерей полезной навигационно-гидрографической информации. Однако пока используются другие способы определения места, предусматривающие проведение предварительной регуляризации исходной информации, предложения, высказанные в данной статье, могут быть использованы с целью выбора шага дискретизации, при котором ошибки интерполяции и соответствующая потеря информации оказываются приемлемыми. Влияние же потери информации на точность определения места по рельефу дна и геофизическим полям является отдельным предметом исследования и требует дополнительного рассмотрения.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРЕПЛАВАНИЯ

ГРНТИ 78.21.43.15

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОКОН ПОГОДЫ В ИНТЕРЕСАХ ПЛАНИРОВАНИЯ МОРСКИХ ОПЕРАЦИЙ

С.И. МАСТРЮКОВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Описана имитационная модель окон погоды (по ветровым условиям), для использования которой достаточно иметь обычные сведения, приводимые в гидрометеорологических пособиях и справочниках: условную повторяемость ветра со скоростью выше пороговых значений по градациям непрерывной продолжительности и число штормов (случаев со скоростью ветра выше заданной) различной обеспеченности. При отсутствии сведений о числе штормов в заданный период с той или иной обеспеченностью предложен способ их расчета по данным о повторяемости градаций скорости ветра, обязательно публикуемых в метеорологических ежегодниках.

Проверка модельных оценок проведена путем сравнения с данными, полученными путем обработки срочных наблюдений на о. Жижгин за 23-летний период. Показана высокая степень соответствия полученных результатов, что позволило рекомендовать разработанную модель к практическому применению.

Под окнами погоды понимают события, когда гидрометеорологические условия благоприятны для выполнения тех или иных действий. Обычно этот термин используют в более узком смысле как обратный для термина “шторм”, и благоприятными считают условия, при которых скорость ветра и высота волнения ниже некоторых критических значений.

Статистические характеристики окон погоды представляют собой набор статистик, которые позволяют описать частоту их появления, количество, их непрерывную продолжительность различного уровня обеспеченности за тот или иной промежуток времени и т.п. Для практических нужд помимо перечисленных традиционных характеристик важны и другие, например, время ожидания окна погоды заданной непрерывной продолжительности при заданном уровне обеспеченности.

Эти и некоторые другие характеристики необходимы при планировании морских транспортных операций. Особое значение оценка этих характеристик имеет при планировании крупных морских транспортных операций, когда важно учитывать не только само время выполнения операции, но и период ожидания благоприятных условий. Кроме этого наличие таких данных для окон погоды различной продолжительности и для разных критических значений штормовых условий позволяет обосновать состав сил и средств той или иной морской транспортной операции.

Результаты расчетов статистических характеристик окон погоды по натурным данным практически отсутствуют. Отсутствуют они как для совместного распределения скорости ветра и высоты волнения, так и для каждого из параметров в отдельности. Это вызвано тем, что необходимых для обработки материалов натуральных измерений волнения очень мало, а по срочным наблюдениям за скоростью ветра на метеорологических станциях расчет этих характеристик весьма трудоемок. Отсутствие сведений по характеристикам окон погоды возможно вызвано многообразием требований к их расчетным данным. Действительно, для каждой из практических задач может быть свой набор критических скоростей ветра, требований по непрерывной продолжительности

окон погоды, уровням обеспеченности и т.д. Однако более вероятно то, что до последнего времени у потребителей метеорологической информации не возникало острой потребности в получении таких характеристик.

Вместе с тем задачи по планированию буксировки разрабатываемых в последние годы уникальных нефтегазопромысловых комплексов и их модулей обуславливают необходимость получения названной информации в обеспечение решения такого рода задач.

Наиболее простым способом решения общей задачи моделирования статистических характеристик окон погоды является построение численных моделей ветра и волнения и расчет совместного распределения скорости ветра и высоты волнения в заданных точках по полям давления за продолжительный ряд лет. Такие расчеты позволят сформировать ряды скорости ветра и высоты волнения за нужное число синоптических сроков. В результате последующей статистической обработки полученных данных можно непосредственно определить любые статистические характеристики окон погоды. Основным и, видимо, единственным недостатком такого способа (при условии применения современных моделей ветра и волнения) является его высокая трудоемкость и связанная с этим высокая стоимость работы. Для получения представительных результатов длина ряда должна быть не менее 20–30 лет, при этом потребуются обработать несколько десятков тысяч полей давления. Сведения о выполнении подобных работ в нашей стране отсутствуют.

Другим способом, применяемым для оценки некоторых статистических характеристик окон погоды, является использование теории выбросов, основанной на классической теории случайных процессов [1,2]. Однако строгое аналитическое решение в рамках данной теории налагает ряд ограничений на вид корреляционной функции, описывающей случайный процесс. Эта теория пригодна, в основном, для процессов, подчиняющихся нормальному закону распределения. Принципиальным ее недостатком является то, что с ее помощью можно оценивать лишь некоторые характеристики штормов (окон погоды). В частности, нельзя оценить характеристики времени ожидания окна погоды заданной непрерывной продолжительности.

В рамках данной теории, при допущении о нормальном законе распределения стационарной случайной функции x , $N(a)$ – среднее число выбросов за уровень a в течении промежутка времени T – определяется по формуле

$$\overline{N(>a)} = \frac{T\sigma_v}{2\pi\sigma_x} e^{-\frac{(a-\bar{x})^2}{2\sigma_x^2}}$$

где σ_x^2 – дисперсия;

$$\sigma_v^2 = -K_x''(0);$$

K_x – корреляционная функция.

Среднее число окон погоды (промежутков времени, когда $x < a$) определяется выражением

$$\overline{N(<a)} = T \left(1 - \frac{\sigma_v}{2\pi\sigma_x} e^{-\frac{(a-\bar{x})^2}{2\sigma_x^2}} \right).$$

Аппроксимируя корреляционную функцию срочных значений скорости ветра тем или иным дважды (а для определения средней длительности выброса –четырежды) дифференцируемым аналитическим уравнением и, имея сведения о величинах средней скорости ветра и ее среднеквадратическом отклонении, можно определить среднее число и среднюю непрерывную продолжительность выбросов (окон погоды).

В приложении к волнению известны полуэмпирические методы расчета характеристик штормов и окон погоды (по волнению), основанные на обработке продолжительных наблюдений волнения. Такие методы, как справедливо указывает Г.В.Матушевский [3], носят локальный характер и получены обычно для неоднородных условий, т.е. в целом за год, без разбиения по месяцам (сезонам). Им предложены универсальные параметризованные соотношения для оценки среднего и максимального числа штормов и окон погоды. Вместе с тем, предложенный Матушевским подход также требует предварительной обработки данных волнографных измерений в заданных районах и, главное, он позволяет рассчитывать лишь некоторые характеристики штормов и окон погоды.

Из-за явного недостатка данных продолжительных измерений волнения В.В.Надеев [4] предпринял попытку на основе известных климатических сведений об автокорреляционной функции и функции распределения высот волн воспроизвести некую искусственную последовательность высот волн с такими же статистическими свойствами. Для имитации такой последовательности, применительно к негауссовым стационарным процессам им разработан достаточно сложный алгоритм расчета коэффициентов авторегрессии временного ряда. При таком подходе появляется возможность получения оценок любых статистических характеристик окон погоды. Недостатком метода представляется сложность выбора порядка модели авторегрессии, а так же недостатки вычислительного характера, возникающие при решении большого числа линейных уравнений на этапе оценки коэффициентов модели авторегрессии.

В настоящей работе в приложении к скорости ветра предлагается иной способ имитационного моделирования для расчета практически любых статистических характеристик окон погоды (по ветру).

В основе его лежит та же посылка о возможности использования опубликованных и широко применяемых климатических характеристик скорости ветра для имитационного моделирования распределения по времени штормов и окон погоды с последующей оценкой их статистических характеристик.

В качестве априори известных климатических характеристик примем:

- * условную повторяемость ветра со скоростью выше пороговых значений различной непрерывной продолжительности;
- * повторяемость ветра заданной скорости за ряд лет.

Кроме того воспользуемся известными связями между числом штормовых периодов и вероятностью скорости ветра свыше заданных значений [5]. Все эти данные содержатся в справочных пособиях Росгидромета [5,6].

На первом этапе по данным о повторяемости заданной скорости ветра за ряд лет можно рассчитать число непрерывных периодов со скоростью ветра выше заданной, оценить среднее число этих периодов и среднеквадратическое отклонение от него.

Функцию распределения числа штормовых периодов как правило [2,3] аппроксимируют распределением Вейбулла. Интегральная функция распределения Вейбулла для неотрицательных значений x имеет вид

$$P(X < x) = F(x) = 1 - \exp\left[-(x/\beta)^\alpha\right],$$

где α и β – параметры функции распределения.

Параметры распределения α и β связаны со средним и дисперсией ряда x соотношениями

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \beta \Gamma(1 + 1/\alpha); \\ \sigma_x^2 &= \beta^2 \left[\Gamma(1 + 2/\alpha) - \Gamma^2(1 + 1/\alpha) \right] \end{aligned}$$

где $\Gamma(1 + 1/\alpha)$ – гамма-функция.

Поскольку связь параметров распределения Вейбулла с начальными моментами распределения носит неявный характер, для их оценки использована несложная итерационная процедура. Суть ее заключается в определении параметра β по двум выражениям – через среднее и через среднеквадратическое отклонение исходного ряда при варьируемых значениях параметра α . За искомые значения параметров распределения принимаются те, при которых невязка параметра β , определенного по двум выражениям, меньше некоторого наперед заданного малого числа. Для этой же цели могут быть использованы другие методы аппроксимации – максимального правдоподобия или наименьших квадратов.

На втором этапе на основе проведенной аппроксимации определяется число штормов различного или заданного уровня обеспеченности – уровня, для которого необходимо провести оценку статистических характеристик окон погоды. Основным же на данном этапе является имитация временного распределения определенного ранее количества штормов за месяц или сезон. Учитывая, что корреляционная функция срочных значений скорости ветра быстро затухает (зимой радиус корреляции не превышает 18 ч, а летом – 12 ч [6]), представляется обоснованным сделать допущение, что сроки начала штормов в течение месяца (сезона) подчиняются закону равномерного распределения, т.е. равновероятны. Естественным ограничением при этом является лишь условие отсутствия пересечения двух штормовых периодов.

По существу, собственно имитационная модель основана на использовании генератора случайных чисел в диапазоне от первого до последнего синоптического срока наблюдений в тот или иной месяц или сезон для задания срока начала шторма. Окончание шторма определяется с учетом повторяемости распределения величин непрерывной продолжительности штормов. При этом, если период нового шторма пересекается с периодом любого из ранее рассчитанных штормов, срок начала шторма рассчитывается вновь с использованием того же генератора случайных чисел. Таким образом мы получаем искусственную временную последовательность штормов и окон погоды, статистические характеристики которых соответствуют известным климатическим сведениям о повторяемости штормов и их непрерывной продолжительности. При этом отчасти учитывается вид автокорреляционной функции скорости ветра.

Отметим, что распределение этих штормов по месячной временной оси за один моделируемый год носит случайный характер. Для получения представительных данных целесообразно проводить моделирование несколько раз, имитируя последовательность лет наблюдений.

На последнем этапе для каждого из имитируемых рядов и для заданных уровней обеспеченности (количества штормов) легко могут быть рассчитаны практически любые характеристики окон погоды, например:

- * число окон погоды заданной непрерывной продолжительности;
- * среднее и максимальное время ожидания окна погоды заданной непрерывной продолжительности;
- * среднеквадратическое отклонение времени ожидания окна погоды заданной непрерывной продолжительности и т.п.

После имитации распределения штормов за ряд лет могут быть получены окончательные результаты оценки характеристик окон погоды заданного уровня обеспеченности, например:

- * среднее число окон погоды;
- * минимальное число окон погоды;
- * среднее время ожидания окна погоды заданной непрерывной продолжительности;
- * абсолютный максимум времени ожидания окна погоды заданной непрерывной продолжительности.

Здесь под числом окон заданной непрерывной продолжительности понимается число непересекающихся промежутков времени, когда наблюдаются благоприятные

условия. Например, при отсутствии штормов за месяц будет наблюдаться 15 окон погоды непрерывной продолжительностью 2 сут. Отметим, что в классической теории выбросов в этом случае будет одно окно погоды продолжительностью 30 сут. Остальные термины в пояснениях не нуждаются.

Наиболее трудоемким этапом в изложенной методике является выборка из справочных пособий Росгидромета сведений о повторяемости скоростей ветра по месяцам за ряд лет. При отсутствии этих данных, основываясь лишь на известных сведениях о числе штормов (дней с штормами) и повторяемости их непрерывной продолжительности, можно выполнить оценку всех перечисленных характеристик, но для одного уровня обеспеченности – 50 %.

В настоящей работе были оценены статистические характеристики окон погоды для открытой части Белого моря. В качестве исходных данных были использованы сведения о повторяемости ветра по градациям скорости за 88 лет – с 1898 по 1985 г. (с перерывом с 1917 по 1921 г.) на метеостанции о.Жижгин и сведения о повторяемости периодов с заданной скоростью ветра различной непрерывной продолжительности [6]. Сведения о повторяемости скорости ветра по градациям были использованы для оценки параметров распределения Вейбулла и расчета числа штормов различного уровня обеспеченности.

На рис.1 представлено количество «штормов» (скорость ветра выше 10 м/с) за указанный период в летние месяцы. Результаты осреднения этих данных за летний период и последующего скользящего сглаживания по пятилеткам представлены на рис.2.

Обращает на себя внимание существенная изменчивость количества штормов в летние месяцы и достаточно выраженная многолетняя цикличность этого показателя штормовой активности. Период такой цикличности соответствует 20–22 годам. Экстраполируя ход сглаженной кривой можно предположить, что в Белом море в 2000-2005 гг. будет наблюдаться локальный максимум штормовой активности.

Для проверки изложенного метода по фактическому ряду срочных значений скорости ветра (1948–1961 гг., 1970–1979 гг.) для различных месяцев (май – сентябрь) были рассчитаны следующие статистические характеристики окон погоды:

- * среднее число окон погоды различной непрерывной продолжительности;
- * минимальное число окон погоды;
- * среднее время ожидания окна погоды;
- * максимальное время ожидания окна погоды.

Имитация распределения штормов осуществлялась описанным выше образом, при этом среднее число окон погоды и среднее время ожидания окна погоды рассчитывались по среднему для того или иного месяца числу штормов, а максимальное время ожидания окна и минимальное число окон погоды – по числу штормов 95%-ой обеспеченности, рассчитанному по найденным функциям распределения Вейбулла.

Результаты расчета среднего и минимального числа окон погоды (скорость ветра менее 10 м/с) полученные путем имитационного моделирования и обработки фактиче-

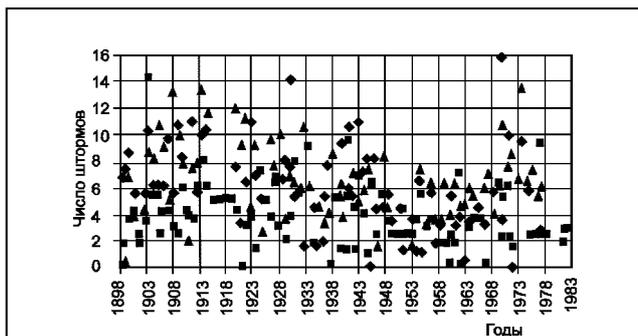


Рис.1. Число «штормов» в бассейне Белого моря:
♦ – в июне; ■ – в июле; ▲ – в августе.

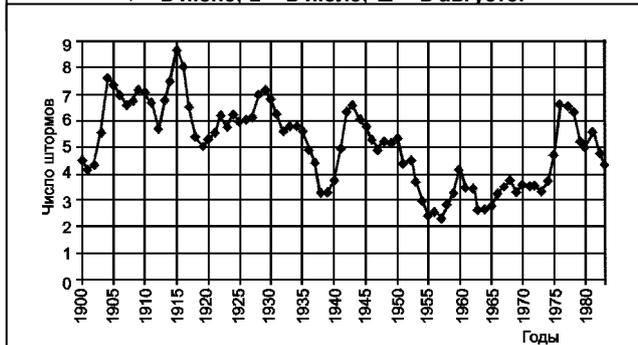
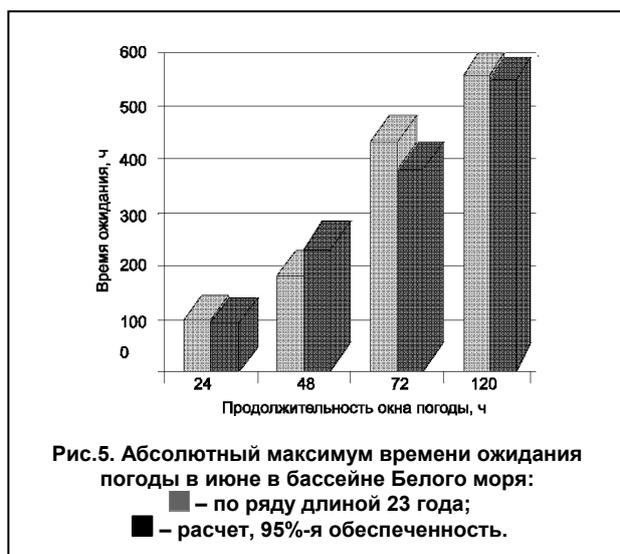
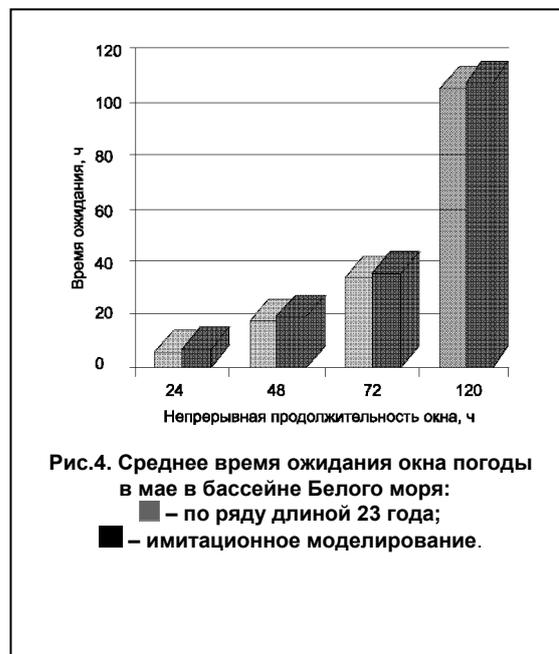
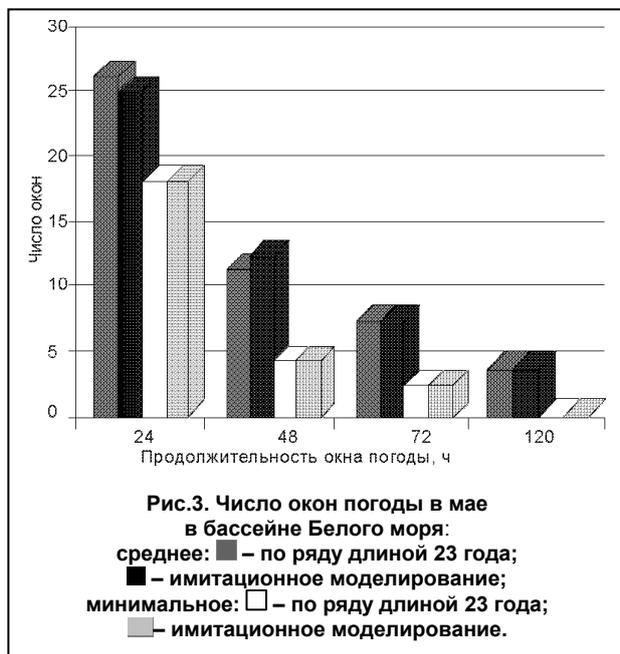


Рис.2. Среднее в летний месяц число «штормов» со скоростью ветра более 10 м/с, сглаженное по пятилеткам.

ских данных для бассейна Белого моря в мае представлены на рис.3. Обращает на себя внимание то, что 1 раз в 20 лет в мае, в Белом море может не быть пятидневного периода со скоростью ветра менее 10 м/с.

Модельные и фактические оценки среднего времени ожидания окон погоды различной продолжительности представлены на рис.4.



Наибольший интерес, с точки зрения выбора состава сил и средств обеспечения важных морских транспортных операций представляет оценка максимального (при том или ином уровне обеспеченности) времени ожидания окна погоды. Оценки этой характеристики, полученные путем имитационного моделирования и обработки срочных данных о скорости ветра представлены на рис.5.

Сравнительный анализ приведенных данных свидетельствует о соответствии результатов имитационного моделирования характеристик окон погоды результатам обработки фактических наблюдений с высоким уровнем статистической значимости, что позволяет

рекомендовать разработанный метод для практического использования.

Автор выражает признательность сотрудникам Гос.НИНГИ МО РФ – Полозову В.В., Басканичеву В.Г., Морозовой С.И. и Серее О.Г за помощь в подготовке данных для проверки модели и обсуждение результатов работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганин М.П., Свешников А.А. Теория вероятностей и ее применение для решения задач ВМФ, Л.: Изд. ВМА, 1968, 650 с.
2. Рожков В.А., Теория вероятностей случайных событий, величин и функций с гидрометеорологическими примерами. Кн. 1., СПб.: Прогрес–Погода, 1996, 154с.
3. Матушевский Г.В., Надеев В.В. Статистические закономерности распределения характеристик устойчивости ветрового волнения// Метеорология и гидрология, №9. 1987. С. 70–76.
4. Надеев В.В. Имитационное моделирование рядов ветрового волнения для определения продолжительности штормовых циклов. Сборник “Проблемы исследования и математического моделирования ветрового волнения”, под общей редакцией проф. И.Н. Давидана. СПб.: Гидрометеоиздат, 1995, 432с.
5. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3, части 1–6, вып.1, кн.1.,Л: Гидрометеоиздат, 1989, 484 с.
6. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР, т.5 – Л.: Гидрометеоиздат, 1984.

ГРНТИ 78.21.43.15.15

**ДИАГНОЗ ШТОРМОВЫХ УСЛОВИЙ ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ КОЛИЧЕСТВЕ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ**

С.А.СТЕПАНОВ
(ВВМУ им.М.В.Фрунзе)

Описан алгоритм диагноза штормовых условий в заданном районе Мирового океана при отсутствии поступления гидрометеорологической информации с моря. Алгоритм составлен с учетом взаимокорреляции типовых приземных барических полей над территориями суши и океана.

Одним из методов диагноза приземного барического поля (ПБП) является его объективный анализ, заключающийся в оптимальной интерполяции измеренных значений ПБП в узлы регулярной сетки на основе известной статистической структуры анализируемого поля. Существующая практика объективного анализа в метеорологии ориентирована на использование месячных статистических моментов в узлах регулярной сетки, что является оправданным при наличии большого количества данных метеорологических наблюдений на суше. При объективном анализе ПБП над акваториями Мирового океана ситуация существенно изменяется, т.к. число гидрометеорологических наблюдений над океаном крайне невелико. При этом возникают ситуации, когда расстояние от точки наблюдений до узла регулярной сетки становится больше, чем радиус пространственной автокорреляции для данного района. В этих случаях значение ПБП в узле принимается равным его среднемесячному значению (норме) для данной точки. Вместе с тем, синоптический опыт показывает, что в течение месяца в районе одной и той же точки наблюдений существуют периоды как циклонической, так и антициклонической завихренности воздушных масс. Именно эти периоды определяют истинные границы квазистационарности (анизотропности) атмосферных процессов, при осреднении которых в жестких календарных границах (суток, недели, месяца, года и так далее) природная изменчивость затушевывается, становится нестационарной, а календарная норма объединяет в себе два диаметрально противоположных процесса. Вполне очевидно, что при объективном анализе ПБП в конкретный день месяца было бы целесообразно заменять интерполированное значение в узле не месячной нормой, а нормой ПБП преобладающей завихренности атмосферных процессов.

В практике гидрометеорологических исследований в последние десятилетия для нахождения взаимосвязи анализируемые поля раскладывают по естественным ортогональным составляющим (ЕОС). Выбор данного математического аппарата удобен тем, что ЕОС являются производной от изменчивости поля. С учетом того, что каждый тип ПБП имеет свою пространственную корреляционную матрицу и соответствующие ЕОС, несложно произвести количественную типизацию полей. Для этого банк данных разби-

ваются на зимний и летний массивы, в которых вычисляются корреляционные матрицы значений ПБП в узлах суши России. После процедуры фильтрации сезонных (зимы и лета) корреляционных матриц вычисляются соответствующие им ЕОС, а по ЕОС – коэффициенты разложения суточных барических полей ПБП над территорией России. Типизация барических полей осуществляется на основе анализа повторяемости значений коэффициентов разложения поля ГМП: первого коэффициента разложения, второго и так далее – пока количество суток в типах не снизится до 40–100, т.е. когда дальнейшая детализация станет нецелесообразной из-за возможной потери статистической устойчивости выделенных типов.

В результате создания количественной типизации ПБП над территорией России появляется возможность выявить статистическую связь между этими полями и соответствующими полями над акваториями прилегающих морей в каждом типе. С этой целью ежедневные ПБП рассортировываются на массивы полей над районами Мирового океана (МО) и Россией. Для каждого из массивов вычисляются статистики, корреляционные матрицы, соответствующие им вектора ЕОС и коэффициенты разложения барических полей по ЕОС. В результате процедуры множественной регрессии получают коэффициенты взаимокорреляции (регрессии) между коэффициентами разложения барических полей над МО и территорией России. По зависимой выборке каждого типа с помощью полученной синоптико-статистической модели (ССМ) восстанавливаются барические поля над водными акваториями по соответствующему барическому полю над территорией России. Восстановленные поля затем сопоставляются с соответствующими барическими полями из банка данных. В результате сопоставления оценивается эффективность разработанных ССМ по среднеквадратической погрешности (σ) восстановления значений ПБП в узлах регулярной сетки. Общая погрешность восстановления ПБП над акваторией МО оценивается средней погрешностью.

Многочисленные исследования в метеорологии показали, что математический аппарат ЕОС позволяет выделить из общего спектра гармоник анализируемого поля наиболее значимые, что дает возможность уверенно выполнить синоптическую интерпретацию. Таким образом, логично предположить, что анализ первых временных коэффициентов разложения по ЕОС приземного барического поля над территорией России и акваторией МО позволит выявить устойчивые макрочерты временных синоптических преобразований (типы).

Рассмотрим конкретную ситуацию, когда в интересах ГМО флотской операции в заданном районе Баренцева моря, в условиях поступления ГМИ только с территории России, необходимо знать о наличии (отсутствии) штормовых условий в этом районе в текущий момент времени.

Известно, что направление и скорость приводного ветра в определенном географическом районе обусловлены конкретным пространственным распределением ПБП в этом районе и вблизи него. В свою очередь, наличие физико-статистической связи между барическими полями над сушей и океаном позволяет восстановить количественными методами барическое поле над океаном по барическому полю над сушей. Задача диагноза штормовых условий в этом случае сводится к задаче создания ССМ восстановления конкретных типов барического поля над Баренцевым морем, соответствующих наличию штормовых условий в заданном районе, по барическому полю над Россией.

Для создания такой ССМ из банка гидрометеорологических данных заданного района выбираются случаи экстремальных значений скорости ветра, когда значение скорости ветра превышает 12 м/с. В соответствии с датами строится гистограмма скорости ветра. Выбранные данные сортируются по сезонам (лето–зима).

По датам случаев из банка данных выбираются соответствующие барические поля (значения приземного давления в узлах регулярной сетки $5^\circ \times 10^\circ$) над Россией. В сезонных массивах вычисляются пространственные корреляционные матрицы значений атмосферного давления в узлах регулярной сетки, характеризующих барическое поле в северной полярной области. Затем эти матрицы делятся на матрицы суши и матрицы океана. С учетом того, что сильная скоррелированность давления P в узлах

приводит к отрицательной определенности матриц, из полученных матриц отфильтровываются узлы, имеющие значения корреляции, превышающее критическое значение (0,75). В результате фильтрации для каждого сезона образуется своя репрезентативная нерегулярная сетка.

По корреляционным матрицам сезонов вычисляются собственные числа и соответствующие им ЕОС. Все барические поля в сезонах над Россией, соответствующие экстремальным условиям в заданном районе (например, в западной части Баренцева моря), раскладываются по соответствующим сезонным ЕОС.

В результате процедуры разложения каждое фактическое экстремальное барическое поле (т.е. барическое поле, соответствующее экстремальному ветру в заданном районе) над Россией будет характеризоваться набором коэффициентов разложения, равным 1/3 числа репрезентативных узлов. Осуществляем количественную типизацию экстремальных барических полей, используя наборы коэффициентов разложения.

На первом этапе разработки типизации анализируется повторяемость значений первых коэффициентов разложения, что позволит выделить определенное количество типов I-го уровня. В этих массивах анализируется повторяемость значений второго коэффициента разложения, для которого в свою очередь выделяются пучности со своими границами, после чего массивы I-го уровня делятся на массивы II-го уровня. Процедура производится до такого уровня, при котором количество суток в типах не снизится до 15–25 ($N + 3$). Дальнейшая детализация будет нецелесообразной из-за возможной потери статистической устойчивости выделенных типов. В результате указанной процедуры получаем каталоги типов и массивы барических полей для каждого типа, соответствующего штормовым условиям для заданного района, иначе – каталоги типов экстремальных барических полей.

Для каждых суток из типа экстремального ПБП над Россией из банка данных выбираются соответствующие ПБП над Баренцевым морем. Для каждой из частей типа (море и суша) вычисляются свои корреляционные матрицы.

В отфильтрованных матрицах всех типов методом вращения Якоби вычисляются собственные числа и соответствующие им полные естественные ортогональные вектора. Барические поля моря (A) и суши (B) представляем числом коэффициентов разложения по ЕОС (Φ_{ij} и Ψ_{ij}), в среднем соответствующем 1/3 числа репрезентативных узлов (N^1 и M^1), т.е. рядом, имеющим 60–70% информации о разложенном поле

$$A_i = \sum_{n=1}^N \Phi_{ni} dP_n, \quad i = 1, \dots, N^1;$$

$$B_j = \sum_{m=1}^M \Psi_{mj} dP_m, \quad j = 1, \dots, M^1;$$

$$dP_{kt} = \frac{P_{kt} - \ddot{P}_k}{\sigma_k},$$

где \ddot{P}_k – норма давления в узле k ;

P_{kt} – фактическое значение давления в узле k для реализации поля t ;

σ_k – среднеквадратическое отклонение (СКО) давления в узле k .

Все данные и статистики выбираются из типовых выборок.

Таким образом, в массивах барических полей типов вычисляются для каждых суток наборы коэффициентов разложения над океаном A_i и сушей B_i .

В каждом массиве типа вычисляются средние значения A_i и B_i , их дисперсии и матрицы их взаимокорреляций C . Элементы матрицы C после преобразования вида

$$a_{ij} = \frac{C_{ij}\sigma_A}{\sigma_B},$$

где σ_A – СКО элемента матрицы A ;

σ_B – СКО элемента матрицы B ,

являются параметрами a_{ij} системы линейных уравнений регрессии – ССМ восстановления коэффициентов разложения над океаном A_i по коэффициентам B_j .

$$A_i = a_{i1}B_1 + a_{i2}B_2 + \dots + a_{iM'}B_{M'} = \sum_{j=1}^{M'} a_{ij}B_j; \quad i = 1, \dots, N^I.$$

Используя полученную ССМ, восстанавливаем давление в узлах над акваторией моря по коэффициентам разложения барического поля над Россией на текущие сутки $P = f(A_i)$.

В качестве критерия однозначного определения типа экстремального барического поля выбираем евклидово расстояние ε_T

$$\varepsilon_T = \sqrt{\sum_{m=1}^M (P_m^o - \bar{P}_m)^2},$$

где P_m^o – фактическое экстремальное барическое поле;

\bar{P}_m – “маска” экстремального барического поля выявленного типа.

Естественно, что при качественно выполненной типизации все поля типа будут иметь минимальное ε_T со своей “маской”. Для каждого типа экстремального ПБП вычисляем свои ε_T .

Для диагноза экстремального ветра в текущий момент времени раскладываем фактическое ПБП над Россией по суточным коэффициентам разложения B_i^Φ , и сравниваем их с коэффициентами разложения типов экстремальных ПБП – B^T . При условии, когда $(\sum B_i^\Phi - \sum B^T) < \varepsilon_T$, фактическое ПБП относится к экстремальному, и делается вывод о наличии экстремального ветра в заданном районе Баренцева моря. В противном случае фактическое ПБП над Россией не является экстремальным и можно с достаточной достоверностью говорить об отсутствии экстремального ветра в заданном районе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Корнеев О.Ю. Синоптико-статистический диагноз и прогноз приземного барического поля над водными акваториями северной полярной области земли в условиях ограниченности поступления гидрометеорологической информации. – СПб.: Изд. ГУНиО МО РФ, 1995.–97 с.

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОЛЯ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ДЛЯ
АКВАТОРИИ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОГО
ПОСТУПЛЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОИНФОРМАЦИИ**

А.В.ГАЙДАДЫМ
(ВВМУ им. М.В.Фрунзе)

Рассмотрены алгоритмы двух способов типизации полей приземной температуры воздуха. Раскрыта методология оптимизации процедуры восстановления полей температуры воздуха. Представлен сопоставительный анализ результатов восстановления. Показан путь улучшения качества гидрометеорологического обеспечения действий флота на акваториях Северного Ледовитого океана.

Для эффективного решения как военных, так и гражданских задач в Арктике необходимо качественное прогнозирование гидрометеорологической обстановки в северной полярной области Земли. Одним из перспективных направлений в обеспечение получения достойной прогнозной гидрометеорологической информации (ГМИ) для этого региона – применительно к полю приземной температуры воздуха (ППТВ) – является метод восстановления гидрометеорологического поля (ГМ-поля) над неосвещенной ГМИ акваторией Северного Ледовитого океана (СЛО) по аналогичному ГМ-полю над освещенной ГМИ территорией Российской Федерации.

Так как принципиально невозможно покрыть всю акваторию океана измерительными приборами, чтобы непосредственно измерять значения гидрометеопараметров (ГМП), существует единственная возможность следить за изменениями гидрометеорологической обстановки – комбинировать имеющиеся измерения с расчетами по соответствующим численным моделям. Питать такую численную модель должен поток информации об отдельных значениях ГМП, измеряемых дистанционным или контактным методом. Модель должна предусматривать:

- комплексное использование всей доступной информации о состоянии атмосферы и океана;
- оптимальную процедуру обработки данных;
- последовательное сравнение модельных оценок с наблюдениями за ГМП;
- оптимальную коррекцию прогностических оценок состояния атмосферы и океана;
- адаптацию к архивным данным и к текущим наблюдениям ГМП.

Все это требует обеспечения возможности непрерывного ввода в модель новой информации, т.е. усвоения данных в модели. Этой цели может служить разработанный в метеорологии и уже применяемый в океанологии метод четырехмерного анализа наблюдений.

Один из перспективных путей решения проблемы ограниченного поступления гидрометеорологической информации с акватории океана – использование и учет пространственно-временных масштабов изменчивости полей ГМП, которые зафиксированы в различного рода типизациях (классификациях) – предложен О.Ю.Корнеевым [1]. Для его реализации необходимо разработать количественную типизацию полей ГМП. Требуется произвести разбиение объектов исследуемой выборки, чтобы в каждом типе (классе) они оказались близки и похожи, а объекты из разных типов были бы непохожи и удалены друг от друга (чтобы в итоге суммарная ошибка прогноза по регрессионным уравнениям в типах была минимальной). На основе объективной типизации можно создать эффективные синоптико-статистические модели (ССМ) взаимосвязи полей ГМП над сушей и океаном в каждом типе, позволяющие восстанавливать и прогнозировать поля ГМП над акваторией океана при наличии информации о ГМП только лишь с территории суши. Данный метод в совокупности с фактической информацией, поступающей от дрейфующих гидрометеорологических буев, кораблей (судов) и средств

спутникового зондирования атмосферы и океана, позволит эффективно прогнозировать значения ГМП и решить задачу ГМО ВМФ.

В практике гидрометеорологических исследований в последние десятилетия для нахождения взаимосвязи анализируемые поля раскладывают по естественным ортогональным составляющим (ЕОС) [2-5]. Выбор данного математического аппарата удобен тем, что ЕОС являются производными от изменчивости поля. Многочисленные исследования в метеорологии показали, что математический аппарат ЕОС позволяет из общего спектра гармоник анализируемого поля выделить наиболее значимые, что дает возможность уверенно выполнить синоптическую интерпретацию [3]. Такой подход оправдан тем, что каждый коэффициент разложения характеризует одну из черт распределения в пространстве поля ГМП, которые взаимосвязаны и взаимообусловлены, а изменение структуры поля ГМП во времени определяется предшествующим изменением его пространственной структуры.

Логично предположить, что анализ первых временных коэффициентов разложения по ЕОС поля ГМП над территорией России и акваторией СЛО выявит устойчивые макрочерты временных синоптических преобразований (типы). Реализация физико-статистического подхода позволит установить прогностические зависимости между составными частями поля выделенного типа, либо между этим и последующими за ним полями ГМП.

С учетом того, что каждый тип поля ГМП имеет свою пространственную корреляционную матрицу и соответствующие ЕОС, представляется возможным произвести количественную типизацию полей. Для этого выбранный банк данных разбивается на естественные природные сезонные массивы, в которых вычисляются корреляционные матрицы значений ГМП в узлах суши России.

Поскольку сильная скоррелированность ГМП в узлах приводит к отрицательной определенности матриц, из полученных матриц целенаправленно отфильтровываются малозначимые и высококоррелированные узлы, имеющие значения корреляции, превышающее критическое значение ($r_{kp} = 0,75$) [4]. В результате фильтрации для каждого сезона образуется своя репрезентативная нерегулярная сетка. По корреляционным матрицам сезонов вычисляются собственные числа и соответствующие им ЕОС. В итоге:

Сокращается объем и размерность анализируемой матрицы, собственного вектора и соответствующих ему ЕОС.

Уменьшается оперативное время обработки данных.

Исключается “белый шум” и формируется набор узлов, наиболее информативных с точки зрения их физической и статистической взаимосвязи.

В настоящей работе в качестве предмета исследования принят ежесуточный статистический ансамбль температуры воздуха на изобарической поверхности 850 Гпа за период 1962–1989 гг. для двух сроков на 0 и 12 ч среднегринвичского времени, с общим количеством сроков 9410 и 9439 соответственно. Банк данных предоставлен Национальным метеорологическим центром атмосферных исследований США (NMSAR) на CD-ROM версия № 2 от 10.04.90. Объект исследования представлен в узлах равнопромежуточной картографической сетки северного полушария по 20° с.ш. с центром в северном полюсе и шагом примерно $3,2^\circ$, что почти в 1,5 раза чаще, чем принятый в ранних исследованиях других авторов способ представления данных в узлах географической сетки с шагом 5° по широте и 10° по долготе. На территории Российской Федерации ППТВ характеризовалось 183, а над СЛО – 73 узлами. Задачей исследования явилась разработки автоматизированной ССМ восстановления ППТВ над акваторией СЛО по аналогичному полю лишь с российской территории для обеспечения комплексного прогноза ГМ обстановки для акватории СЛО, следуя методике [1]. С этой целью прежде всего на основе обработки многолетнего ансамбля данных определяются статистические закономерности, связывающие пространственно-временные характеристики ППТВ над территорией России (поле предиктора) с характеристиками ППТВ над акваторией СЛО (поле предиктанта).

Все поля ГМП в сезонах над Россией раскладываются по соответствующим сезонным ЕОС. В результате каждое фактическое поле температуры воздуха (ТВ) над Россией будет характеризоваться набором неких коэффициентов разложения. Далее, используя эти наборы, осуществляется количественная типизацию ППТВ [4]. При этом использовались два метода:

1. Метод экспертной типизации – на основе анализа гистограмм повторяемости значений коэффициентов разложения: первого, второго и так далее – пока количество случаев в типе не снизится до 30–100, т.е. когда дальнейшую детализацию можно считать нецелесообразной из-за возможной потери статистической устойчивости выделенных типов. Этот метод базируется на одном фундаментальном положении: оператор (эксперт) хорошо различает образы и в состоянии сам принять решение о структуре данных при удобном их восприятии.

2. Метод формальной типизации – на основе расчетов евклидовых расстояний. В качестве меры близости между объектом и классом используется евклидово расстояние – подмножество обобщенной метрики Минковского [6]. Выбор евклидова пространства обоснован свойством ортогональности коэффициентов разложения по ЕОС, что в результате разбиения позволяет минимизировать внутритиповой разброс. Квадрат евклидова расстояния тесно связан с дисперсионным критерием искажения, к тому же значение самого евклидова расстояния не очень сильно влияет на результаты работы алгоритма типизации [6].

Такой подход важен как для выявления лучшей типизации, так и для сопоставления субъективного и объективного методов типизации. Анализ и сравнение количественных и качественных характеристик упомянутых типизаций показал некоторое преимущество типизации методом расчета евклидовых расстояний [4].

Исходное поле предиктора ППТВ над территорией России определяется совокупным взаимовлиянием и воздействием на восстанавливаемое поле предиктанта – ППТВ над акваторией СЛО – как в процессе предшествующих, так и в последующих изменениях поля в пространстве и во времени. Типизация предиктора повышает определенность предшествующего хода атмосферных процессов. В предлагаемой синоптико-статистической модели (ССМ) поле предиктора и поле предиктанта представляются коэффициентами разложения по ЕОС соответствующих районов. Параметры зависимости ищутся между указанными коэффициентами. Процесс восстановления поля предиктанта состоит из следующих этапов:

1. Разложение поля предиктора по ЕОС.

2. Определение коэффициентов разложения предиктанта по коэффициентам предиктора.

3. Определение значений поля предиктанта с помощью ЕОС.

В качестве класса функций, в пределах которого отыскиваются параметры зависимости, выбрана модель линейной регрессии и тогда в соответствии с описанным применительно к определению приземного барического поля подходом [7] имеем

$$Y = X\Theta + \Theta_0 + \varepsilon,$$

где Y – вектор коэффициентов поля предиктанта;

X – вектор коэффициентов поля предиктора;

Θ и Θ_0 – векторы параметров регрессии;

ε – вектор ошибок модели.

Эта модель широко применяется в метеорологических исследованиях благодаря своей простоте и наличию разработанного аппарата прикладной статистики, позволяющего найти оптимальные и статистически устойчивые параметры. Выборочные оценки параметров в модели линейной регрессии определяются методом наименьших квадратов (так называемые МНК-оценки), который позволяет минимизировать ошибки регрессии. Регрессия строится между индивидуальными коэффициентами разложения поля ГМП каждого дня типа над Россией и аналогичными коэффициентами полей этого же ГМП над СЛО.

В отфильтрованных как по количеству узлов, так и по количеству коэффициентов разложения, матрицах для всех типов методом вращения Якоби вычисляются собственные числа и соответствующие им полные естественные ортогональные вектора. ППТВ океана (A) и суши (B) выражаются через число коэффициентов разложения по ЕОС (Φ_{ij} и Ψ_{ij}), в среднем соответствующее 1/3 числа репрезентативных узлов (N^l и M^l), т.е. рядом, имеющим 60–70% информации о разложенном поле

$$A_i = \sum_{n=1}^N \Phi_{ni} dP_n, \quad i = 1, \dots, N^l;$$

$$B_j = \sum_{m=1}^M \Psi_{mj} dP_m, \quad j = 1, \dots, M^l;$$

$$dP_{kt} = \frac{P_{kt} - \ddot{P}_k}{\sigma_k},$$

где \ddot{P}_k – норма температуры воздуха в узле k ;

P_{kt} – фактическое значение температуры воздуха в узле k для реализации поля t ;

σ_k – среднеквадратическое отклонение (СКО) температуры воздуха в узле k .

Все данные и статистики выбираются из типовых выборок. Таким образом, в массивах типов ППТВ для каждых суток вычисляются наборы коэффициентов разложения над океаном A_i и суши B_i . В каждом массиве определенного типа вычисляются средние значения A_i и B_i , их дисперсии и матрицы их взаимокорреляций C [2]. Элементы матрицы C после преобразования вида

$$a_{ij} = \frac{C_{ij} \sigma_A}{\sigma_B},$$

где σ_A – СКО элемента матрицы A ;

σ_B – СКО элемента матрицы B ,

являются параметрами a_{ij} системы линейных уравнений регрессии – ССМ восстановления коэффициентов разложения над океаном A_i по коэффициентам B_i

$$A_i = a_{i1} B_1 + a_{i2} B_2 + \dots + a_{iM^l} B_{M^l} = \sum_{j=1}^{M^l} a_{ij} B_j; \quad i = 1, \dots, N^l.$$

Используя полученную ССМ, восстанавливаем ППТВ в узлах над акваторией СЛО по коэффициентам разложения ППТВ над Россией $P = f(A_i)$.

В качестве критерия однозначного определения типа ППТВ выбираем евклидово расстояние ε_T

$$\varepsilon_T = \sqrt{\sum_{m=1}^{M'} (P_m^o - \bar{P}_m)^2},$$

где P_m^o – фактическое ППТВ;

\bar{P}_m – “маска” ППТВ выявленного типа.

Естественно, что при качественно выполненной типизации все поля определенного типа будут иметь минимальное ε_T со своей “маской”. Для каждого типа ППТВ вычисляем свои ε_T .

Для выбора оптимального состава членов предиктора использовался хорошо зарекомендовавший себя метод “пошаговой регрессии с включением”. Сущность его заключается в последовательном включении каждого элемента предиктора в прогностическое уравнение и вычислении скорректированного коэффициента детерминации

$$\tilde{R}^2 = 1 - \frac{I}{T - P_2 - 1} \left(1 - \frac{\sum_{t=1}^T E_t^2}{\sigma_i^2} \right),$$

где T – количество членов анализируемого ряда;

P_2 – количество предикторов в i -ом уравнении ;

$\sum_{t=1}^T E_t^2$ – сумма регрессионных остатков при p -предикторах;

σ_i^2 – дисперсия предиктанта при p -предикторах.

Процедура включения начинается с составления прогностического уравнения регрессии с одним предиктором, который выбирается из всего его виртуального состава по максимальному коэффициенту корреляции с предиктантом. На следующем шаге регрессии составляется прогностическое уравнение с двумя предикторами. На роль второго предиктора выбирается тот элемент виртуального состава, который приведет к наибольшему увеличению \tilde{R}^2 . Пошаговая регрессия для каждого прогностического коэффициента разложения предиктанта продолжается до тех пор, пока \tilde{R}^2 не начнет уменьшаться.

Преимущество скорректированного коэффициента детерминации \tilde{R}^2 по сравнению с обычным коэффициентом детерминации $R_i^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T E_t^2}{\sigma_i^2}$ заключается в том, что

\tilde{R}^2 учитывает рост количества предикторов на точность регрессии в обратно пропорциональной зависимости. Данное положение препятствует искусственному увеличению точности регрессии за счет увеличения количества предикторов. Практическая реализация указанной процедуры позволяет установить те из индивидуальных коэффициентов разложения ППТВ, которые оказывают наибольшее влияние на предиктант.

В связи с тем, что природа практически никогда не повторяется во всех деталях на 100%, вполне естественно, что ЕОС начиная с некоторого номера (N^l) и выше будут неустойчивыми. Выбор оптимальных значений r_{kp} [4] и N^l производится проверкой устойчивости ССМ прогноза методом “скользящего экзамена” зависимой выборки ППТВ предиктора и предиктанта в типах. В данном методе из ряда последовательно исключается пара узлов “предиктор–предиктант”, после чего производится вычисление ЕОС оставшейся части ряда, вычисление соответствующих коэффициентов разложения и построение уравнений регрессии, которые проверяются на исключенной паре. При определении необходимого объема выборки полей ГМП для устойчивого вычисления ЕОС следует иметь в виду, что данная выборка должна быть больше $N^l + 3$ случаев реализации. Для аномальных типов, имеющих число реализаций меньше необходимого объема выборки ($N^l + 3$), для восстановления целесообразно использовать метод подбора аналогов по минимальному евклидову расстоянию T_{jk} соответствующего месяца.

Установив достаточный объем выборки, оптимальную структуру предиктора и предиктанта, следует тем же методом “скользящего экзамена” определить погрешности восстановления значений температуры воздуха в узлах поля предиктанта. Эффективность прогностической ССМ восстановления поля предиктанта оценивается относительной ошибкой

$$\rho = \frac{\sum_{n=1}^{N'} (P_n^B - P_n^o)^2}{\sum_{n=1}^{N'} (P_n^B - \bar{P}_n)^2},$$

где P_n^B – восстановленное значение температуры воздуха по ССМ в n -узле;

P_n^o – значение температуры воздуха из банка данных в n -узле;

\bar{P}_n – соответствующее среднемесячное значение температуры воздуха в n -узле.

В результате расчетов восстановления поля предиктанта (ППТВ над СЛО) были получены характеристические таблицы для каждого типа ССМ и осредненные количественные характеристики для природных сезонов (таблица).

Количественные сезонные характеристики восстановления ППТВ для типизаций двумя методами

Природный сезон	Срок	Метод типизации	Количество сроков			Оценка до оптимизации		Оценка после оптимизации			
			общее	значимое	в типе	абсолютная	относительная	абсолютная	относительная		
									min	средняя	max
Промежуточный	День	“Евклидова”	3628	3573	53	3,48	0,70	2,52	0,20	0,51	0,68
		“Гистограмм”	3628	3451	58	3,67	0,75	2,69	0,24	0,55	0,68
	Ночь	“Евклидова”	3620	3583	48	3,49	0,71	2,49	0,22	0,50	0,68
		“Гистограмм”	3620	3555	56	3,70	0,76	2,80	0,39	0,57	0,69
Зимний	День	“Евклидова”	3718	3718	66	4,26	0,74	3,24	0,39	0,56	0,68
		“Гистограмм”	3718	3672	64	4,39	0,77	3,38	0,45	0,59	0,70
	Ночь	“Евклидова”	3711	3629	67	4,23	0,73	3,21	0,39	0,55	0,72
		“Гистограмм”	3711	3607	63	4,41	0,77	3,37	0,44	0,59	0,70
Летний	День	“Евклидова”	2090	2087	95	3,03	0,76	2,35	0,41	0,56	0,66
		“Гистограмм”	2090	2066	74	3,01	0,73	2,35	0,54	0,56	0,64
	Ночь	“Евклидова”	2079	2072	86	3,06	0,75	2,31	0,41	0,55	0,67
		“Гистограмм”	2079	2005	63	3,03	0,73	2,28	0,52	0,55	0,65
В среднем ...		“Евклидова”	3141	3109	70	3,59	0,73	2,69	0,33	0,54	0,68
		“Гистограмм”	3141	3059	63	3,70	0,75	2,81	0,43	0,57	0,68

Анализ полученных данных объективно подтверждает несколько лучшее восстановление поля предиктанта для типизации, произведенной методом расчета евклидовых расстояний. В частности:

- количество значимых сроков (не аномальных) больше на 0,6–3,2 % (что составляет 20–120 сроков);
- относительная ошибка восстановления поля предиктанта меньше на 0,1–0,2 для промежуточного и зимнего сезонов и практически одинакова для летнего сезона;
- процедура оптимизации состава предиктора и предиктанта методом “пошаговой регрессии с включением”, с учетом 13–26 коэффициентов разложения по ЕОС (не менее 99 %), уменьшила среднеквадратическую погрешность (СКП) восстановления предиктанта на 0,7–1,0°C, что улучшило восстановление для типизации методом “евклидова” на 23–28 % и для типизации методом “гистограмм” на 22–26 %;
- СКП восстановления поля предиктанта лучше на 3–5 % и составляет для типизации методом “евклидова” 2,3–3,2°C для всех природных сезонов;

• относительная ошибка восстановления ППТВ при использовании разработанной ССМ по сравнению с восстановлением аналогичного поля по среднемесячным данным составляет до 0,50–0,56 для сезонов и вплоть до 0,20 для отдельных типов.

В целом разработанная ССМ восстановления ППТВ для акватории СЛО в совокупности с ССМ восстановления барических полей и текущей информацией (поступающей от дрейфующих гидрометеорологических буев, арктических станций, кораблей и средств спутникового зондирования атмосферы и земной поверхности) по экспертным оценкам позволит значительно повысить качество и эффективность освещения гидрометеорологической обстановки над акваторией СЛО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корнеев О.Ю. Синоптико-статистический диагноз и прогноз приземного барического поля над водными акваториями северной полярной области Земли в условиях ограниченности поступления гидрометеорологической информации. – СПб.: Изд. ГУНиО МО РФ, 1995. – 97 с.
2. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: основы моделирования и первичная обработка данных. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 472 с.
3. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: исследование зависимостей. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 487 с.
4. Корнеев О.Ю., Гайдадым А.В., Джолос Е.Р. Методология диагноза и прогноза гидрометеорологического поля над акваторией океана. – Гос.НИНГИ МО РФ: 3-я Российская научно-техническая конференция “Современное состояние, проблемы навигации и океанографии” (“НО–98”) 20–23.05.1998. Материалы конференции. – С.119
5. Гандин Л.С., Каган Р.Л. Статистические методы интерполяции метеорологических данных. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976. – 356 с.
6. Мандель И.Д. Кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
7. Корнеев О.Ю. Восстановление барического поля над Северной Атлантикой, Северным Ледовитым океаном и северной частью Тихого океана по барическому полю над территорией России. – СПб.: Записки по гидрографии, 1996, № 237, С. 70–79.

ГРНТИ 78.21.43.15.15

НЕТРАДИЦИОННЫЙ МЕТОД СВЕРХДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА, ОСАДКОВ И ДРУГИХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.В.ПОЛОЗОВ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Предложен метод сверхдолгосрочного прогноза возможных изменений погоды и климата, базирующийся на учете влияния гравитационного поля планет Солнечной системы на атмосферу Земли. На отдельных примерах продемонстрирована эффективность такого подхода к прогнозированию температуры воздуха, осадков и ледовых фаз.

Анализ существующих методов долгосрочных прогнозов погоды и изменений климата показал, что их оправдываемость все еще недостаточно высока и уже много лет почти не меняется. Мала также заблаговременность прогнозов. Поэтому можно сделать предположение, что возможности предикторов, используемых в действующих методах прогноза и основанных на различных способах представления исходных полей гидрометеорологических элементов, уже исчерпаны или близки к этому. Возникает потребность изыскать новые, нетрадиционные подходы в надежде найти пути к повышению оправдываемости и увеличению заблаговременности прогнозов.

В настоящее время считается, что поиск источников информации (предикторов, имеющих большую “память”) о многолетних колебаниях гидрометеорологических характеристик является одной из наиболее важных задач современной метеорологии. Ее решение позволит разработать методы прогнозирования на длительные сроки.

К середине текущего столетия сложилось представление о пределах предсказуемости атмосферных процессов. По мнению Чарни, предел предсказуемости составляет 15 суток, по Г.В. Груза, 2-3, а по Смагоринскому, 3-4 недели. А.С. Монин предполагает, что сроки предсказуемости не имели бы ограничений, если бы можно

было точно фиксировать начальное состояние всех мелкомасштабных движений и точно решать полные уравнения их динамики. Однако пока это невозможно в силу различных причин.

Предел предсказуемости можно частично увеличить, если использовать осредненные данные, а также закономерности последовательного развития макропроцессов, учтя влияние внешних факторов.

Поскольку атмосфера не является изолированной средой, а подвержена влиянию подстилающей поверхности и космических факторов, то очевидно, что чем больше заблаговременность прогноза, тем меньше роль исходного состояния атмосферы и сильнее влияние внешних воздействий.

В сверхдолгосрочных прогнозах погоды и прогнозах изменений климата главными представляются внешние воздействия. Были предприняты усилия по изучению энергообмена атмосферы с подстилающей поверхностью, прежде всего – океанической. С этой целью реализована специальная программа Г.И. Марчука “Разрезы”. Однако исследования взаимодействия атмосферы с подстилающей поверхностью до сих пор не внесли существенного вклада в долгосрочное, и тем более, сверхдолгосрочное прогнозирование.

Еще хуже обстоит дело с учетом космических воздействий на атмосферу. Предполагалось, что они связаны с притоком солнечной энергии, а их непостоянство – с колебаниями солнечной активности, которая оценивается главным образом по пятнообразовательной деятельности на Солнце. Однако существенных колебаний притока солнечной энергии, связанных с изменением запятненности Солнца, обнаружить не удалось. Непосредственная связь между солнечной активностью и метеорологическими элементами оказалась неустойчивой. В результате удовлетворительные в одну эпоху прогнозы погоды, составленные с учетом гелиогеофизических связей, сменялись неудачными в другую. Механизм этой связи так и не был найден. Непостоянство энергетических воздействий на атмосферу из космоса колебаниями солнечной активности объяснить не удалось.

Во второй половине прошлого века было высказано предположение о связи колебаний солнечной активности с движением планет. Результаты проведенных исследований за истекшее время подтвердили существование такой связи [1,2]. Полученные данные позволили предположить, что гравитационное поле планет оказывает влияние не только на атмосферу Солнца, но и на атмосферы самих планет, в том числе и Земли. Однако дальнейшее выявление таких связей и степени влияния той или иной группы планет на околоземные атмосферные процессы авторы указанных работ не продвинулись. Некоторые прогностические признаки удалось выявить Н.И. Михайловой [3]. В середине 80-х годов попытку решить задачу по созданию метода сверхдолгосрочного прогноза возможных изменений погоды и климата предпринял автор [4].

Исследования были начаты на материалах метеостанции С.-Петербург, располагающей самым длинным в нашей стране рядом метеорологических наблюдений. Использовались данные о средней температуре воздуха января месяца с 1752 по 1986 г. и долготы планет Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн и Уран. Для привлечения информации о планетах Нептун и Плутон длина рядов с исходной информацией о метеорологических полях явно недостаточна. Удалось установить, что связь температуры воздуха с положением планет имеет в принципе волновой характер. Длина собственных волн для каждой из планет неодинакова. Максимальная соответствует Венере, минимальная – Сатурну. Следовательно, в один и тот же момент времени или при определенном положении Земли и планет в атмосфере появляются волны, часть из которых, соответствующая определенным планетам, способствует понижению, а другая, связанная с иными планетами – повышению температуры воздуха. Следовательно, при интерференции волн в фиксированный момент времени возможно возникновение больших аномалий температуры воздуха, когда все или большинство планет способствуют изменению температуры в одну сторону (повышение или понижение) или малых, когда изменения температур для разных планет имеют неодинаковый знак.

Причины возникновения температурных волн или механизм связи между космическими факторами и параметрами атмосферы Земли пока не установлены. Уровень современных знаний и степень проникновения в эту проблему дают возможность строить в ее отношении лишь те или иные гипотезы. Независимо от справедливости последних связь, вероятно, должна проявляться через влияние космических факторов на уже существующую циркуляцию атмосферы, возникшую благодаря действию тепловых машин 1-го и 2-го рода.

Долготы планет, как известно, точно рассчитываются. Поэтому составить прогноз по методу, в котором в качестве предикторов используется одна из координат планет, можно с большой заблаговременностью. Предел предсказуемости пока не установлен, но можно предположить, что при наличии достаточно длительного ряда исходных данных заблаговременность может быть существенно большей, чем 5–10 лет.

Составление прогнозов по большому количеству точек предложенным методом связано с большой трудоемкостью. По этой причине возникла необходимость формализовать процедуру расчета с помощью соответствующей специальной программы, составленной О.С. Богомоловым. Она позволила исследовать возможности использования рассматриваемого метода для прогноза других параметров земной атмосферы и определить его оправдываемость. В результате получена возможность прогнозирования не только температуры воздуха, но и количества осадков, речного стока, весеннего паводка, уровня замкнутых водоемов, гидротермического коэффициента, годичного прироста древесных колец, урожайности сельскохозяйственных культур, сроков появления льда и окончательного от него очищения. Этот список может быть, очевидно, продолжен. Здесь приведен перечень только тех элементов, по которым были составлены и оценены сверхдолгосрочные прогнозы.

Представляется, что описанный метод прогноза можно считать универсальным. В данном случае под универсальностью понимается неизменность схемы подготовки прогноза, программы при предвычислении различных элементов. Необходимым условием для выполнения расчетов является большая длина исходного ряда прогнозируемого элемента. Она должна составлять примерно 80 – 100 лет. Эффективность метода существенно зависит и от количества принятых во внимание планет-предикторов. Далеко не всегда учет влияния всех шести планет-предикторов обеспечивает наилучшие прогнозы. Поэтому в программу дополнительно был введен блок оптимизации, который позволяет определить для каждой станции и месяца, на который составляется прогноз, состав планет-предикторов, обеспечивающий наилучшую оправдываемость прогнозов. По показателю ρ

$$\rho = \frac{n_+ - n_-}{n_+ + n_-},$$

где n_+ – количество прогнозов, оправдавшихся по знаку;

n_- – количество прогнозов, неоправдавшихся по знаку

оправдываемость прогнозов за весь период наблюдений колеблется в основном около 0.2 – 0.4 (табл.1,2).

По мере увеличения интегральности прогнозируемой характеристики отмечается рост оправдываемости прогнозов. Вероятно, по этой причине успешность прогноза стока рек, например, в целом несколько лучше, чем прогноза температуры воздуха и осадков.

Таблица 1

Оправдываемость прогноза температуры воздуха по показателю ρ

Пункт	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Балхаш	0,35	0,43	0,42	0,56	0,35	0,33	0,39	0,20	0,48	0,50	0,37	0,44
Караганда	0,47	0,33	0,37	0,41	0,49	0,42	0,53	0,44	0,38	0,40	0,37	0,53
Оймякон	0,31	0,45	0,42	0,46	0,26	0,43	0,41	0,50	0,41	0,32	0,15	0,31
Олекминск	0,41	0,41	0,26	0,30	0,38	0,30	0,40	0,23	0,40	0,46	0,45	0,31
Бомнак	0,44	0,33	0,31	0,28	0,28	0,46	0,38	0,40	0,53	0,40	0,44	0,25
Душанбе	0,48	0,50	0,41	0,57	0,21	0,32	0,27	0,28	0,24	0,32	0,51	0,48

Наиболее уязвимым местом всех методов прогноза считается прогноз значительных аномалий. Излагаемый метод позволяет их нередко предвидеть. Так, сравнение фактической и рассчитанной в качестве примера прогностической карты аномалий температуры воздуха на январь 1994 г. на территории СССР показало, что прогноз температуры в основном оправдался, как по знаку аномалий, так и по их величине (хотя в сверхдолгосрочных прогнозах обычно подлежит оценке только знак аномалий).

Начиная с 60–70-х годов текущего столетия в печати стала широко обсуждаться идея глобального потепления климата, связанного с увеличением концентрации углекислого газа в атмосфере. Появилось много статей, в которых излагались результаты моделирования будущих климатических условий при различных концентрациях углекислого газа, а также возможные последствия климатических изменений. Разброс полученных результатов при этом оказался очень большой.

С 1988 по 1997 г. на европейской части России наблюдались теплые зимы (за исключением февралей 1994 и 1996 г.) Сторонники антропогенных изменений климата не замедлили приписать это потепление влиянию только углекислого газа. Однако с помощью излагаемого метода удалось спрогнозировать все эти теплые зимы и холодный февраль 1996 г. А поскольку парниковый эффект в нем никак не учитывается, следует признать, что теплые зимы 90-х годов обусловлены, в основном, естественными изменениями климата, на которые безусловно накладываются лишь небольшие изменения, связанные с парниковым эффектом.

Теорией антропогенного изменения климата трудно объяснить в отдельных регионах переходы от года к году положительных аномалий температуры воздуха к отрицательным и наоборот. В то же время рассматриваемый метод, в основу которого заложена возможность прогнозировать естественные изменения погоды и климата [3,4], позволяет не только обосновать, но и предвидеть эти переходы. В частности, после упомянутых теплых зим в 1988–1995 гг. на значительной части европейской территории России следует ожидать холодные зимы в 1999 и 2000 годах. В частности, в С.-Петербурге в феврале 1999 г. и в январе 2000 г. прогнозируются отрицательные аномалии температуры воздуха.

Рассмотрим возможности метода применительно к ГМО ВМФ.

Как было отмечено ранее, он позволяет прогнозировать ледовые фазы для водоемов: первое появление льда, устойчивое появление льда и окончательное от него очищение. Прогноз этих элементов был впервые составлен в опытном порядке для Финского зал. в марте 1997 г. и часть его, а именно прогноз окончательного очищения от льда акватории залива в районе станции Кронштадт, был передан в Северо-Западное управление гидрометеорологической службы. По оценке сотрудников управления этот прогноз хорошо оправдался (табл.3).

Таблица 2
Оправдываемость прогноза осадков по сезонам по показателю ρ

Пункт	Сезон			
	зима	весна	лето	осень
Балхаш	0,35	0,35	0,51	0,53
Туруханск	0,55	0,38	0,31	0,32
Акмолинск	0,57	0,37	0,29	0,24

Прогноз и фактические даты ледовых фаз по станциям Финского зал. на 1997 – 1998 гг.

Станция	Первое появление льда, прогноз/факт	Устойчивое появление льда, прогноз/факт	Окончательное очищение от льда, прогноз/факт
Сескар	22.12.97 / 23.12.97	—	—
Кронштадт	—	21.11.97 / 20.11.97	3.05.98 / 1.05.98
Мощный	—	5.01.98 / 2.01.98	7.05.98 / 7.05.98
Гогланд	28.01.98 / 30.01.98	—	—

Несмотря на высокую в данном случае оправдываемость прогнозных данных следует оговориться, что для окончательного суждения степени надежности рассматриваемого метода при прогнозировании ледовых фаз, особенно применительно в интересах ВМФ, безусловно следует произвести более широкую проверку его на практике.

Не исключена возможность составления информативных прогнозов погоды для месячного и недельного планирования боевой подготовки флотов. Обоснованием тому служит достаточно хорошее совпадение с фактическими данными расчетов прогностических значений среднедекадных температур и осадков, выполненных по башкирским станциям Бирск и Чишма (расчет на основе информации за 1913–1994 гг. на 1995 и последующие годы). При этом хорошие показатели оправдываемости прогнозов среднедекадных температур и осадков дают надежду на получение и практически удовлетворительных прогнозов среднедекадного давления, т.к. технология прогнозирования, как отмечалось ранее, универсальна.

Представляется целесообразным исследовать возможность расчета прогнозных значений среднемесячного давления. Если эти прогнозы будут иметь практически удовлетворительную оправдываемость, то в совокупности с прогнозами среднемесячной температуры и осадков можно будет обеспечить интересы тыла флота.

В интересах обеспечения флота там, где имеются крупные реки можно также использовать прогнозы речного стока и весеннего паводка.

Перечисленные задачи могут быть решены при тесном взаимодействии Гос.НИНГИ с гидрометеорологическими службами флотов. Распределение обязанностей при этом очевидно: Институт выполняет прогностические расчеты и научное обобщение работ, ГМЦ флотов осуществляют сбор исходной информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мерс Х.Т., Шламмингер Л. Движение планет, солнечные пятна и климат.— Солнечно-земные связи, погода и климат.— М. Мир, 1983. С. 222–235.
2. Джозе П.Д. Движение Солнца и солнечные пятна //Астрономический журнал.—1965.—Т. 70.—N 1328. Ланкастер.— С. 193–200.
3. Михайлова Н.И. Аномалии температуры и связь их с ритмами космоса. //Тр.Укр. НИГМИ.— 1978.—N 169.—С.90–100.
4. Полозов В.В. Сверхдолгосрочный прогноз естественных изменений климата // Доклады 15-й международной конференции по метеорологии Карпат.— 1991.— С.49–54.
5. Полозов В.В. Использование информации о планетах для прогноза естественных изменений климата // Агроэкологические ресурсы Сибири; сб. научн. тр ВАСХНИЛ, Сиботделение. — Новосибирск, 1990.— С. 88–98.

КОНФЕРЕНЦИИ, СИМПОЗИУМЫ, СЕМИНАРЫ

ГРНТИ 78.21.41.19

3-Я РОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ “СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ НАВИГАЦИИ И ОКЕАНОГРАФИИ”

20 – 23 мая 1998 г. в Государственном научно-исследовательском навигационно-гидрографическом институте Министерства обороны РФ (Гос.НИНГИ МО РФ) состоялась Третья научно-техническая конференция “Современное состояние, проблемы навигации и океанографии” (“НО–98”), организованная Гос.НИНГИ совместно с Ленинградским областным правлением научно-технического общества судостроителей им. акад. А.Н. Крылова, Научным Советом по проблемам управления движением и навигации Российской Академии Наук, Гидрографическим обществом, Межгосударственным Советом “Радионавигация”, Российским общественным институтом навигации и Научно-производственным концерном “Промэлектроника” при поддержке городской Администрации.

Работа конференции проводилась на пленарном заседании и 8 научных секциях:

1. Методы, точность и эффективность навигации
2. Автономные навигационные системы и комплексы
3. Спутниковые и наземные радионавигационные системы
4. Средства навигационного оборудования
5. Гидрография и морская картография
6. Средства и методы морской геофизики
7. Океанографические исследования
8. Гидрометеорологическое обеспечение морской и воздушной навигации.

На выставке, функционировавшей в период конференции, были представлены действующие и макетные образцы техники.

На конференцию были заявлены доклады от 137 предприятий и организаций РФ (в том числе 56-ти санкт-петербургских), а также из Белоруссии, Украины, Норвегии, Польши и Японии. Всего в конференции участвовало 237 специалистов, среди которых 21 доктор и 43 кандидата наук. Заслушано и обсуждено 183 доклада.

В принятых по итогам работы конференции рекомендациях отмечено, что:

1. В настоящее время в связи с определенным увеличением интенсивности движения на море, суше и в воздушном пространстве, изменениями возможностей средств передвижения и характера перевозимых грузов требования к навигационному обеспечению подвижных объектов возрастают, спектр этих требований расширяется.

Общая тенденция повышения значения Мирового океана в экономическом, политическом и военном отношениях не только сохраняется, но и будет усиливаться по мере истощения природных ресурсов на суше.

2. Положение в Российской Федерации с навигационным, океанографическим и гидрометеорологическим обеспечением со времени проведения Второй конференции (1995 г.) принципиально не изменилось. Недостаточное финансирование обуславливает сокращение направлений исследований, в том числе фундаментальных. Зачастую средства неоправданно выделяются на узко прикладные исследования, приоритетность которых не определяется.

Особую обеспокоенность вызывает резкое и все увеличивающееся снижение потенциала спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС, использование которой предусматривается в большинстве перспективных разработок. Штатное рабочее состояние системы предопределяет успешное решение основных задач навигационного и гидрометеорологического обеспечения подвижных объектов.

3. Несмотря на сложность экономической ситуации, продолжается инициативная работа ряда научных и производственных коллективов, стремящихся сохранить современный уровень разработок в области навигации, гидрографии, океанографии и гидрометеорологического обеспечения.

Наиболее успешны исследования по:

- созданию интегрированных систем ориентации и навигации на базе инерциальных измерительных модулей и приемной аппаратуры СНС ГЛОНАСС – НАВСТАР;
- разработке аэрокосмических методов зондирования морского дна, повышению их надежности и точности;
- совершенствованию методов автоматизированной обработки навигационно-гидрографической информации при использовании систем дискретной и площадной съемки рельефа морского дна и грунта;
- разработке средств и методов изучения приразломных и шельфовых морских зон, в том числе по созданию нового поколения систем подводного координирования;
- разработке радиолокационных станций декаметрового диапазона; а также комплексных автоматизированных информационных систем приема, отображения и распространения гидрометданных;
- освоению использования гидрографической аппаратуры АГКПС–200;
- использованию фазовых методов обработки сигналов в спутниковой навигации;
- разработке методов обобщения, архивации и представления океанографических данных (в т.ч. с применением новых информационных технологий, исследованием свойств отдельных явлений и процессов в океане).

Подготовлен проект очередного Российского радионавигационного плана с учетом выполнения Правительственной программы по использованию спутниковых навигационных систем.

В процессы навигации подвижных объектов интенсивно внедряется электронная картография – увеличивается база данных, продолжаются разработки современных электронных навигационно-информационных систем.

4. Участниками конференции положительно оценивается работа таких общественных организаций, как Российский общественный институт навигации, Гидрографическое общество, секция НТОС им.акад.А.Н.Крылова, Академия “Навигация и управление движением”. Большую работу, объединяющую специалистов в области навигации, гидрографии, океанографии, гидрометеорологии, морской картографии и экологии, выполняет выпускаемый Гос.НИНГИ журнал “Навигация и гидрография”.

Принципиально важное значение в совершенствовании информационного обеспечения приобретает система ИНТЕРНЕТ, в которой целесообразно иметь соответствующие профилированные разделы.

5. Рекомендации предыдущей конференции “НО–95” в целом выполнены.

С учетом сказанного 3-я конференция “НО-98” рекомендует:

1. Сохранить основные направления научно-технического развития в области:

- *навигации* – по созданию интегрированных систем навигации и ориентации на базе широкого использования БИНС, отечественной унифицированной приемной аппаратуры СНС, электронных навигационно-информационных систем и оснащению ими подвижных объектов;
- *океанографии и гидрографии* – по созданию и использованию автоматизированных гидрографических и океанографических комплексов с широким спектром измерений геофизических параметров, а также по практическому внедрению методов навигации по геомагнитным полям;

- *гидрометеорологического обеспечения* – по совершенствованию аэрокосмических методов изучения Мирового океана и дистанционного зондирования гидрометеорологических параметров.

2. В сложившихся условиях считать координационную работу по исследованиям и разработкам одним из важнейших направлений в деятельности научных и промышленных профильных отечественных организаций.

3. Продолжить практику проведения на базе Гос.НИНГИ конференций “Современное состояние, проблемы навигации и океанографии”.

Очередную, 4-ю конференцию провести в 2001 г.

4. Уточнить в ходе выполнения комплексных исследований с участием профильных организаций отдельные приоритетные направления научно-технической политики в области навигационно-гидрографического, океанографического и гидрометеорологического обеспечения экономики страны на основе преимущественного развития отечественной техники, а также определить необходимые изменения в подготовке соответствующих специалистов.

Предложения представить в руководящие органы и распространить по организациям, занимающимся обоснованиями и разработкой соответствующей техники.

Обратиться в Главное Управление навигации и океанографии МО РФ с предложением о необходимости заказа Минэкологии РФ исследований по разработке автоматизированной системы прогноза состояния морской среды силами ГМЦ флотов.

5. Предусмотреть в разрабатываемом МВК “Интернавигация” Российском радионавигационном плане специальный военный раздел, отработку которого выполнять в кооперации с научно-исследовательскими организациями видов ВС РФ.

6. Продолжить работы:

- по исследованию арктических морей в интересах дальнейшего развития районов Севера с использованием современных материалов ГУНиО МО, ВНИИОкеангеология, Института Арктики и Антарктики и других организаций, а также с учетом инициатив президента республики Саха–Якутия;
- по использованию сигналов спутниковых радионавигационных систем для синхронизации шкал времени технических средств различного назначения;
- по методологии комплексного проектирования систем навигационного оборудования районов в соответствии с рекомендациями МАМС;
- по корректуре и приведению в соответствие с международными стандартами существующих документов, регламентирующих способы съемки рельефа морского дна и грунта, а также морской геофизической съемки.

7. Гос.НИНГИ рассмотреть возможности и порядок использования сети ИНТЕР-НЕТ для распространения информации по навигации, океанографии и гидрометеорологическому обеспечению пользователей.

Совместно с заинтересованными организациями подготовить Положение об использовании сервера Института.

8. Предложить Гос.НИНГИ провести с привлечением широкой научной общественности конференцию, посвященную 60-летию Института, на которой заслушать доклады по истории развития отечественной навигации, гидрографии и океанографии.

9. Профильным научным и промышленным организациям принять участие в международной выставке “Нева 99”, проводимой в 3 кв. 1999 г. (г.С.-Петербург).

10. Докладчикам-участникам конференции в соответствии с рекомендациями секций подготовить статьи по сделанным докладам для публикации в специализированных изданиях.

11. Разослать рекомендации конференции “НО–98” в специализированные комитеты и ведомства РФ, а также организациям-участникам конференции.

Рекомендации были единогласно приняты на заключительном рабочем заседании участников конференции.

ГРНТИ 78.21.41.19

XXI-я ЮБИЛЕЙНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, ПОСВЯЩЕННАЯ ПАМЯТИ Н.Н.ОСТРЯКОВА

25–26 ноября 1998 г. ГНЦ РФ–ЦНИИ“Электроприбор” провел очередную конференцию, посвященную памяти выдающегося конструктора гироскопических приборов Н.Н.Острякова.

Программа конференции включала более 80 докладов, заслушанных на пленарном и секционных заседаниях по следующим направлениям:

- Чувствительные элементы систем навигации и управления.
- Гироскопические системы.
- Навигация и управление движением:
 - комплексные навигационные системы;
 - определение параметров ориентации;
 - надежность навигационных систем;
 - управление движением;
 - алгоритмы навигационных систем.
- Электроника и вычислительная техника в навигационных системах.

Более подробную информацию можно получить по адресу: Россия, 197046, Санкт-Петербург, ул.Малая Посадская, 30, ЦНИИ “Электроприбор”. Тел. (812) 238-82-10; 238-81-57.

ГРНТИ 78.21.41.19

1998 – МЕЖДУНАРОДНЫЙ ГОД ОКЕАНА

Признавая важность океана, морской среды и его ресурсов для жизни на Земле и устойчивого развития, Организация Объединенных Наций объявила 1998 год как Международный год Океана (МГО).

Ключевая цель МГО — сконцентрировать и усилить внимание широкой общественности, правительств и лиц, принимающих решения, к огромной значимости океанов и морской среды как основы устойчивого развития человечества. Объединенные усилия государств в течение 1998 года были направлены на создание атмосферы осознания значимости этой проблемы и получение заверений от правительств принять меры, предоставить достаточные средства и обеспечить приоритет в отношении океанов и прибрежных зон, которые они заслуживают как имеющие не беспредельные экономические ценности.

В 1995 году 18-я сессия Ассамблеи МОК Резолюцией XVIII-3 «ООН Год Океана 1998» приняла решение, что МОК будет участвовать через свои программы в деятельности, организованной в рамках Международного года Океана и в рамках деятельности ЭКСПО 98 (Лиссабон, Португалия). Планировалась следующая программа.

1. Подписание Хартии Океана – первой в истории международной декларации о важности использования Океана. Ее текст звучит следующим образом.

МОЯ ХАРТИЯ ОКЕАНА

Я признаю, что:

Океаны и населяющие их живые существа являются необходимой частью жизни на нашей планете.

Поддержание здоровой океанической среды, сохранение богатых рыбных ресурсов, разумное и безопасное использование всех ценностей океанов должно стать принципом, соблюдаемым всеми правительствами, что позволит будущим поколениям продолжать пользоваться ресурсами океанов.

Понимание морской среды и населяющих эту среду живых организмов необходимо для обеспечения разумного управления ресурсами океанов и морей и принятия решений, касающихся охраны и рационального использования морских ресурсов.

Нам необходимо работать вместе для того, чтобы добиваться успехов. Объединяя усилия, люди в

той или иной стране могут влиять на политику в области океанов, проводимую в данной стране. На международном уровне государства должны оказывать помощь соседним странам, действовать в соответствии с региональной политикой и региональными программами. Государства, обладающие соответствующими знаниями и ресурсами, должны оказывать содействие соседним странам, не располагающим такими знаниями и ресурсами. Нужно обеспечить широкий обмен информацией об океанах и использовать международные и межправительственные организации для разработки глобальных программ и соглашений.

Я обещаю

Помнить о Хартии океана и бережно относиться к океанам и водам, впадающим в океан, и руководствоваться этой Хартией в работе, на отдыхе и в процессе принятия решений.

Подписано в Международный год Океана (1998 г).

2. Обучение в области морских наук.

Основное внимание предлагалось обратить на внедрение программ по мореведению в средней школе: через Клубы ЮНЕСКО, школы, молодежные программы, Интернет и страницы в WWW. ЭКСПО 98 (Лиссабон, Португалия) также была использована для развития обучения по всем аспектам роли океанов в жизни человека через материалы по обучению, видео и телефильмы, компакт-диски. Важная роль в этом направлении отведена Сектору образования ЮНЕСКО.

3. **Проведение ряда международных конференций/семинаров.** В этот перечень уже на первом этапе подготовки мероприятий по линии МГО было включено более 60 научных конференций/семинаров и совещаний, в т.ч. Международная океанология 98-Мировой океан (март 1998 г.); Циркуляция океана и климат (Эксперимент по циркуляции Мирового океана – май 1998 г.); Черное море и Мировой океан (лето 1998); Международная конференция по спутниковой океанографии (август 1998 г.); Симпозиум по морскому загрязнению (октябрь 1998 г.).

4. **Выполнение ряда специализированных научных и учебных рейсов**, в т.ч. 5-й рейс Балтийского плавучего университета (Россия) в Балтийском море с заходом в Лиссабон; «Пути Каравеллы» (Португалия); Международная научно-учебная экспедиция для школьников (Россия); путешествие русского судна 15 века по торговым маршрутам Черного и Средиземного морей (Россия); парусная экспедиция к Антарктике (Россия) и т.д.

5. **Подготовка публикаций**, в т. ч. энциклопедии «Человечество и море» (Россия); электронного атласа океанов ООН (ФАО и другие организации); монографии по истории морских экспедиционных исследований (Россия) и т.д.

В качестве одного из завершающих этапов МГО предложил создать серию премий за достижения в области освоения океана. Страны и организации призваны помочь тому, чтобы политические деятели и общественность осознали важность проблемы и значимость Мирового океана и для этой цели вознаградили тех лиц, которые внесли вклад в понимание, защиту и устойчивое (рациональное) освоение морской среды.

ЗА РУБЕЖОМ

ГРНТИ 78.25.31.35.29.29.31.29

ДИНАМИКА РАЗРАБОТКИ ЗАРУБЕЖНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ АППАРАТУРЫ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В.С.БОЛДЫРЕВ
(ЗАО "ЦНИИМФ"),
В.П.ЗАКОЛОДЯЖНЫЙ
(Гос.НИНГИ МО РФ)

Дан анализ выпуска аппаратуры потребителей спутниковых навигационных систем второго поколения в период 1993–1996 гг. Показана динамика обновления ее номенклатуры ведущими зарубежными фирмами. Рассмотрены проблемы разработки аппаратуры военного назначения с учетом перспектив информационной войны.

Еще в процессе опытной эксплуатации среднеорбитных спутниковых навигационных систем (СНС) непрерывного действия зарубежные приборостроительные фирмы многих стран выпустили на рынок различные образцы навигационной аппаратуры потребителей (НАП) [1]. Динамика ее производства в последние годы показана в табл.1.

Таблица 1

**Сводные данные о количестве зарубежных фирм-производителей
и выпускаемых ими образцов НАП СНС**

Страна	Количество фирм-производителей НАП СНС (в т.ч. военного назначения), ед.						Количество выпускаемых образцов номенклатуры НАП СНС (в т.ч. военного назначения), ед.					
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1993	1994	1995	1996	1997	1998
США	38 (10)	43 (16)	41 (12)	37 (12)	41 (18)	49 (22)	163 (20)	238 (75)	212 (55)	235 (47)	279 (69)	298 (89)
Франция	2(1)	2(1))	2(1))	2(1))	2 (1)	3 (1)	10 (1)	8 (2)	21 (4)	29 (5)	30 (5)	29 (5)
Канада	2	3(1)	2(2)	3(3)	4 (2)	5 (2)	6	31 (2)0	17 (17)	27 (15)	31 (13)	27 (11)
Япония	4	3	3	3	3	2	19	21	10	16	13	14
Швейцария	2	2(1)	2	1	1	2 (1)	3	5(1)	4(1)	4	3	14 (1)
Великобритания	3(1)	2(2)	2(2)	2(2)	3 (3)	3 (2)	10 (4)	8 (6)	4 (3)	10 (5)	13 (10)	10 (5)
ФРГ	–	1(1)	2	–	1	3	–	1(1)	2	–	3	10
Швеция	–	–	1	1	3 (1)	3 (1)	–	–	1	4(1)	10 (1)	10 (1)
Испания	–	–	1(1)	1	1	1	–	–	2(1)	5	6	9
Австрия	–	–	–	–	1	2	–	–	–	–	2	4
Австралия	–	–	–	–	1	1	–	–	–	–	2	2
Итого ...	51 (12)	56 (22)	56 (18)	50 (18)	61 (25)	74 (29)	211 (25)	312 (105)	273 (80)	330 (72)	392 (98)	427 (112)

Примечание: В таблице не показан ряд стран (Израиль, Дания, Норвегия, Китай, Сингапур, Тайвань), в некоторые годы выпускавшие единичные образцы НАП.

Анализ приведенных в ней данных показывает следующее.

1. Численность производящих НАП СНС зарубежных фирм в последние годы увеличивается, однако постоянно приблизительно 70% из них приходится на долю США. Ежегодно в печати исчезает информация, примерно, о двух десятках таких фирм, но

вместо нее появляются данные о не меньшем количестве новых. Наиболее стабильна в этом отношении ситуация в Великобритании, Франции и ФРГ.

2. Общее количество образцов НАП СНС, производимых за рубежом, превышает 400, из них 70% приходится на долю американских фирм.

Наиболее "плодовиты" такие фирмы, как Trimble, Garmin, Ashtech, Rockwell, Allen Osborn (США); Sercel, Sextant (Франция); Premier GPS, Novatel Canada (Канада); Kodan (Япония).

3. Около четверти от общего числа выпускаемой номенклатуры НАП СНС составляют военные образцы, из которых приблизительно три четверти — американские. Ведущие страны (Великобритания, Франция, Канада, ФРГ, Швейцария) стремятся разрабатывать и производить такую аппаратуру самостоятельно, в связи с чем доля американской военной аппаратуры в общем объеме ее выпуска снизилась с 80% в 1993 г. до 70% в 1998 г. Табл.2 и 3 характеризуют объем номенклатуры НАП СНС, выпускаемой наиболее активными американскими фирмами, и скорость ее обновления, соответственно. Анализ приведенных в них данных показывает:

- основные фирмы быстро обновляют номенклатуру выпускаемой аппаратуры и снимают с производства образцы, возраст которых превышает 4–5 лет;

- общее число разновидностей НАП СНС, производимой такими фирмами, превышает 10, причем каждая из них производит военную продукцию.

Частая смена модификаций аппаратуры может быть объяснена двумя причинами:

- появлением новой элементной базы, позволяющей уменьшить массо-габаритные характеристики НАП, повысить ее надежность за счет сокращения модульного состава, (а, следовательно, и числа сопряжений) и уменьшить стоимость производства за счет совершенствования технологии;

- поиском оптимальной конструкции НАП.

По устоявшимся представлениям, в частности, аппаратура американского производства рассчитывалась на 10-летний срок службы. Считалось, что по истечении этого срока она устаревала морально. В связи с постоянным ускорением научно-

Таблица 2
Объем номенклатуры НАП СНС, выпускаемой американскими фирмами

Фирма	Количество выпускаемых образцов номенклатуры (в т.ч. военного назначения), ед.					
	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Trimble	23 (3)	54 (30)	34 (5)	49 (7)	50 (8)	59 (10)
Garmin	10 (3)	14 (5)	20 (10)	22 (10)	31 (10)	27 (10)
Ashtech	10 (7)	11 (3)	11 (2)	16 (1)	22 (8)	32 (10)

Таблица 3
Скорость обновления номенклатуры НАП СНС, выпускаемой американскими фирмами

Фирма	Год разработки	Количество продаваемых образцов номенклатуры, ед.					
		1993	1994	1995	1996	1997	1998
Ashtech	1989	1	1	—	—	—	—
	1990	2	1	—	—	—	—
	1991	4	2	2	—	—	—
	1992	3	4	1	—	—	—
	1993	—	2	2	3	2	1
	1994	—	1	6	1	3	3
	1995	—	—	—	8	5	5
	1996	—	—	—	—	11	9
Trimble	1989	1	1	—	—	—	—
	1990	4	1	—	—	—	—
	1991	2	4	1	1	1	1
	1992	13	15	5	5	5	2
	1993	2	29	19	17	8	6
	1994	—	1	9	13	9	10
	1995	—	—	—	11	10	10
	1996	—	—	—	—	16	11
Garmin	1990	1	1	—	—	—	—
	1991	4	3	4	3	3	1
	1992	5	5	4	3	3	1
	1993	—	4	4	4	3	3
	1994	—	1	8	8	6	6
	1995	—	—	—	4	6	5
	1996	—	—	—	—	9	10

технического прогресса в области радиоэлектроники в настоящее время продолжительность этого периода, по-видимому, пересматривается.

Следует также заметить, что такие фирмы, как Trimble, Magellan, Garmin, Ashtech, активно захватывают зарубежные (в том числе и российский) рынки. Отечественная приборостроительная промышленность практически полностью прекратила выпуск соответствующей продукции. Следует признать, что существовавшая в условиях плановой экономики система разработки и производства навигационной аппаратуры была слишком громоздкой и не давала производителю стимула для непрерывного совершенствования выпускаемых изделий. Как известно, по основным регламентируемым характеристикам наши приборы не уступали зарубежным, но были значительно хуже по массо-габаритным показателям и, главное, по надежности, что требовало развешивания дорогой и неудобной для пользователя системы сервисного обслуживания, которая к тому же действовала только в отечественных портах. Указанные обстоятельства делали наши приборы не конкурентноспособными по сравнению с зарубежными аналогами.

Что касается оснащения аппаратурой потребителей (приемоиндикаторами) СНС гражданских судов, плавающих под российским флагом, то эта проблема сейчас решается только за счет закупок аппаратуры зарубежного производства. Вряд ли можно ожидать, что в условиях общего обвала национального производства приборостроительная промышленность сумеет самостоятельно раньше других выйти из кризиса. Поэтому и в перспективе скорее всего судовладельцы наших транспортного и рыболовного флотов будут ориентироваться на зарубежного изготовителя НАП СНС.

Нужно отметить, что этот рынок в ближайшее время будет расширяться в связи с тем, что в международном плане выдвинуто требование обязательного оснащения всех судов приемоиндикаторами наземных или спутниковых РНС, рабочая зона которых перекрывает акваторию предстоящего плавания.

Как известно, навигационная аппаратура военного назначения отличается от НАП гражданских пользователей повышенными требованиями к надежности, дублированием ряда функций и стойкостью по отношению к внешним воздействиям (ударам, радиационному излучению, помехам и т.п.). Так например, военный приемоиндикатор СНС Транзит фирмы Magnavox имел в своем составе устройства, позволяющие выполнять измерение навигационного параметра не только автоматически, но и ручным способом. Стоимость его первоначально превосходила стоимость обычных приемоиндикаторов в несколько раз. Причем со временем этот разрыв продолжал возрастать.

Успехи, достигнутые в области радиоэлектроники, в настоящее время дают принципиальную возможность универсализации части специфических требований к военной НАП. Так, реально достигнутый уровень надежности радиоэлектронных приборов, характеризующийся средним временем между отказами порядка 30–40 тыс. ч и даже более, по-видимому можно считать достаточным и для военной НАП. Опыт боевых действий в зоне Персидского залива в 1990–1991 гг. показал, что задачи навигационного обеспечения в безориентирной местности успешно решаются с помощью НАП общего назначения. Это дает основание полагать, что при обосновании требований к военной аппаратуре следовало бы заново рассмотреть некоторые положения, уже ставшие привычными и в силу этого не учитывающими реальности сегодняшнего дня.

Стремление ведущих стран выпускать собственную военную НАП порождено, по-видимому, обострением проблемы безопасности компьютерной информационной сферы вообще и оборонных систем – в частности, хотя здесь нельзя исключить и воздействие обычного фактора – обеспечение здорового протекционизма собственного производителя.

Рассмотрим эту проблему несколько подробнее. Под информационной сферой (инфосферой) понимают совокупность общих и специальных программных средств создания, обработки и хранения компьютеризованных данных и собственно эти данные. Безопасность инфосферы разделяют на эксплуатационную и технологическую. С первой из них связывают возможность воздействия в процессе эксплуатации, а со вто-

рой – возможность заблаговременного скрытого воздействия на элементы инфосферы в процессе их разработки.

В военной области эксплуатационное воздействие реализуется в ходе информационной войны, информационного противодействия, борьбы с системами управления путем поражения "несмертельным" (электронным) оружием важнейших элементов инфосферы. Уязвимыми ее звеньями могут оказаться, например, телевизионные и радиовещательные станции, стационарные радионавигационные средства и др. К критически важным уязвимым звеньям относятся также наиболее существенные составные части системы управления (например, спутниковые системы связи, навигации и т.п.).

Что касается технологического воздействия, то наиболее вероятным информационным элементом такого воздействия может оказаться программное обеспечение, а основным средством "враждебного" воздействия возможно будут алгоритмические и программные закладки. Алгоритмическая закладка выражается в преднамеренном, завуалированном искажении какой-либо части алгоритма решения задачи или таком его построении, в результате которого реализация комплекса разрабатываемых программ будет сопровождаться несанкционированными ограничениями на выполнение требуемых функций, отказом от них либо проявлением непредусмотренных действий при определенных условиях протекания процесса обработки данных.

Программная закладка ("логическая бомба", "троянец") – совокупность операндов, преднамеренно включаемых в состав программной компоненты на любом этапе ее разработки, реализующая некоторый несанкционированный алгоритм в целях ограничения (блокирования) выполнения программной компонентой требуемых функций или придания ей непредусмотренных действий при определенных условиях протекания вычислительного процесса. Закладка содержит "механизм активизации" и "исполнительный механизм". В зависимости от способа построения механизма активизации закладки подразделяются на автоматические и управляемые. Механизм первых заранее подготовлен к срабатыванию в условиях боевого применения системы управления. У вторых механизм активизации контролируется каким-либо образом извне ("дистанционный вирус"). Исполнительный механизм закладки может быть заблаговременно реализован одной или несколькими командами выполняемой программной компоненты либо "сгенерирован" динамически во время вычислительного процесса [2]. Считают, что использование закладок в качестве информационного оружия перспективно и реально уже к 2000 г. [3].

В отношении оборудования кораблей ВМФ России НАП СНС следует учитывать ряд дополнительных соображений. Достаточно очевидно, что навигационно-гидрографическое обеспечение деятельности нашего ВМФ не может целиком базироваться на иностранной технике. В то же время, в ряде случаев представляется вполне допустимым использование им зарубежных РНС, поскольку преднамеренный полный вывод их из действия в современных геополитических условиях вряд ли реален. В качестве доказательства правомерности такого предположения можно сослаться на то, что угроза третьей Мировой войны пока не считается актуальной. И в нашей военной доктрине (и как правило в аналогичных доктринах других государств) речь идет о локальных войнах или конфликтах. А в этих обстоятельствах нет смысла прекращать функционирование навигационных систем, особенно с глобальной рабочей зоной.

Что же касается НАП СНС, то здесь действительно имеется принципиальная возможность предварительного встраивания в нее приборных и программных элементов, которые по специальному сигналу могут вывести аппаратуру из строя. При современном уровне развития техники эта идея вполне реализуема. Конечно, практическое осуществление такого замысла представляется весьма сложным, т.к. подавляющее большинство зарубежных приборостроительных фирм является частными коммерческими организациями. Для того, чтобы они пошли на дополнительные затраты, нужен государственный заказ, само существование которого необходимо сохранить в тайне. Кроме того, нужно отслеживать каждый проданный комплект аппаратуры. Предполагаемая организация такого слежения может оказаться очень громоздкой, а результативность ее использования – сомнительной. Однако, если иметь в виду неопределимую

важность навигационного обеспечения сил, решающих стратегические задачи, то никакие трудности не могут быть признаны непреодолимыми и никакие затраты чрезмерными.

После войны в зоне Персидского залива американские военные эксперты подчеркивают, что началу всех боевых операций в условиях мирного времени и в период военных действий должно предшествовать проведение информационной войны. В результате "радиоэлектронного удара" боевое пространство или операционная среда должны стать "прозрачными" для американских войск и войск их союзников и сделаться "туманными" для противника. В ходе самой боевой операции следует добиваться информационного доминирования, подразумевающего осуществление контроля элементов электромагнитного спектра и защиту собственных информационных систем при нарушении аналогичных систем противоборствующей стороны [4].

Применение программных закладок в экспортируемой аппаратуре для ее блокирования в нужный момент в ходе войны – один из новых приемов РЭБ. Поэтому при использовании импортной аппаратуры потребителей необходимо учитывать такую опасность, а ее установка на важных военных объектах, особенно стратегического значения, должно быть исключена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. GPS World. 1993–1998. January.
2. Лукашкин А.Н. Проблемы безопасности компьютерной инфосферы стратегических оборонных систем // "Военная мысль", 1995, №5. С.48–52.
3. Бойцов М. Информационная война // "Морской сборник", 1995, №10. С.69–73.
4. Печуров. Использование сухопутных войск США в условиях мирного времени // "Зарубежное военное обозрение", 1996, №5. С.17–21.



ABSTRACTS OF PUBLISHED ARTICLES

V.I.Peresykin, A.N.Yakovlev. *The Northern Sea Route.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.7-12.

The history of the Northern Sea Route (NSR) development is described in brief. The current state of NSR and possibilities of international shipping development along this route are considered. The economic conditions necessary to provide the stable functioning of NSR are evaluated.

G.I.Smolkov. *Navigation and Space Weather.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.12-17.

Review of space weather factors influencing the satellite and ground navigation systems is presented. Ideology and essence of international program of studying the space weather are set forth. The necessity to take its character and degree of its changes into consideration in practically all kinds of navigation is shown.

O.T.Gudmestad, S.Leset. *Risk assessment procedures for design and operation of ships and offshore structures in ice.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.18-26.

It has been recognised for a long time that the understanding of the risk related to marine operations is essential in order to ensure safe operations and transport. Procedures to assess the risk related to design and operation of structures in areas where there is interaction with ice, should as far as possible, be consistent with and follow procedures to assess structural risk in other areas where ice is not of concern. In the present paper, the specifics of risk analysis related to structural design in areas with ice are being discussed for ships and offshore structures, taking into consideration phases to be covered and possible hazards to be analysed.

N.N.Neronov. *On the issue of the 'brought-in risk' assessment while conducting marine operations.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.27-32.

The risk related to the existence of mine hazard while conducting marine operations is characterized. Schemes of mine-hazardous regions of the Baltic, Barents and Kara Seas where the extraction of marine hydrocarbons or construction of pipelines are planned are given

A.I.Sorokin, B.E.Ivanov. *On the Mean Square Error of Position Fixing and Terms Denoting it.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.33-38.

The strictness of evaluation of position fixing accuracy by means of root mean square ellipse and root mean square error as well as the validity of terms used to designate the latter are analyzed.

B.E.Ivanov. *Modelling the Laplacean Distribution Errors.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.38¹.

The relationship for modelling the random errors which obey the Laplacean distribution has been obtained. As distinct from the formula which had been known before, this relationship enables to compute the random error to be found by one value of computer-modelled uniformly distributed variate. This allows the series length of several variates to be increased and computation time to be reduced. The proposed model has been tested using the K.Pearson fit criterion.

G.I.Yemelyantsev, O.N.Anuchin, V.Z.Gusinsky. *Integrated Attitude Control and Navigation Systems for Ships and Seagoing Vessels.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.42-51.

The prospect of creating the integrated attitude control and navigation systems (IACNS) based on gimballess inertial measuring modules, SNS receiving equipment and electronic chart module is analyzed. The problems being solved, the structure and composition of IACNS for different ships and vessels types are considered. The PC numerical modelling results of IACNS errors in producing navigation parameters are given.

L.A.Zayats, Y.A.Glukhov. *On Further Improvement of Software for Automatic Radar Plotting Facilities.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.51-56.

Sufficiency of existing algorithms of automatic radar plotting facilities is analyzed: ways to enhance their effectiveness are suggested. The requirements of International Regulations for Preventing Collisions at Sea (1972) to passing vessels are formalized.

G.R.Arno, V.I.Reznichenko, S.M.Bublik, V.S.Boldyrev. *Employment of Satellite Navigation Equipment on Ships and Vessels of the Marine.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.57-59.

Ways to implement the information possibilities of satellite navigation systems on sea vehicles and objects are described. Interaction scheme of satellite and self-contained navigational aids is suggested.

B.I.Loboyko, S.M.Bublik. *Errors of Transionospheric Range and Speed Measurements in Satellite Radio Navigation Systems.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.59-64.

Mechanisms of ionosphere influence on phase measurement quality and causes of errors are considered and analyzed. Potentialities of different ways to compensate for ionospheric errors, their advantages and disadvantages are shown.

A.I.Svechnikov. *Generalized Model of Bottom Soil Used When Solving the Hydrographic Problems.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.65-6S.

Geoacoustic model of bottom soil is suggested. It is based on experimental results of density and sound velocity measurements in bottom sediment. The model is built as applied to three possible soil types: highly dissipating media, and highly absorbing (gas-saturated) media. The model enables, by means of remote acoustic measurements, the soil density distribution in cross section to be evaluated. \

E.S.Zoubchenko, A.M.Abrarnov. *On the Advanced Requirements to Bottom Relief Survey by Hydroacoustic Means.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.69-75.

The advanced Navy's requirements and the IHO Hydrographic Survey Quality Standard concerning the accuracy of obtaining the data on bottom relief are considered. Modified technique has been developed. The results of evaluating the accuracy of depths and their position obtained by technical means available to the RF Navy Hydrographic Service are presented.

P.I.Maleev, B.M.Smirnov, I.S.Khasiyev. *Fixing the Position of Movable Object by Magnetic Reference Mark.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.75-80.

The method of establishing the position movable object relative to the magnetic reference mark whose coordinates are known, is considered. The method essentially consists in simultaneous measurement of magnetic induction vectors projections or their difference at three points in space.

A.I.Sorokin. *Evaluation of Hydrographic Information Loss in the Process of its Regularization.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.81-83.

Method of evaluating the information loss on bottom relief and geophysical fields when it's reprocessed for presentation in numerical matrix form or by means of isolines is suggested. An example of calculating the dimensions of lost microforms for real Earth gravitational field is given.

S.I.Mastrykov. *Simulation Modelling the Statistical Characteristics of Weather Windows for Planning Sea Operations.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.84-90.

Simulation model of weather windows (for wind conditions) is described. For this model to be used, it is sufficient to have the usual data given in guides and reference books on meteorology: accepted wind repeatability with speeds higher than threshold values with continuous duration gradations and the number of storms (cases when the wind speed is higher than the set one) of different probability. When the data on the number of storms in a set period with some probability are not available, the method of their calculation, using the data on wind speed gradation repeatability, published in meteorological yearbooks is suggested.

The modelling evaluation has been checked by comparison with data obtained by processing the fixed period (23 years) observations on the Zhizhghin Island. A high agreement of the results obtained has been shown, which allowed the developed model to be recommended for practical application.

S.A.Stepanov. *Diagnosis of Storm Conditions with Limited Hydrometeorological Information.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.90-93.

Algorithm of storm conditions diagnosis in a set area of the World ocean for the case when the hydrometeorological information from the sea is not available, is described. The algorithm is elaborated, taking into account the intercorrelation of typical near-ground baric fields over the land and ocean areas.

A.V.Gaidadym. *Re-establishment of the Air Near-Ground Temperature Field for the Arctic Ocean Region under the Conditions of Limited Supply of Hydrometeorological Information.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.94-100.

Two methods algorithms of air near-ground temperature fields typisation are considered. Reestablishment procedure optimization methodology of air temperature fields is described. The matching analysis of re-establishment results is given. The way to improve the quality of hydrometeorological support for the Navy's operations in the Arctic Ocean region is shown.

V.V.Polozov. *Nontraditional Method of Superlong-Term Forecast of Air Temperature, Precipitation and Other Geophysical Elements.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.100-104.

Superlong-term forecast method of possible weather and climate changes is suggested. The method takes into account the influence of gravitational field of the Solar system planets on the Earth's atmosphere. Several examples are given to demonstrate the effectiveness of such an approach to forecasting the air temperature, precipitation, and ice phases.

V.S.Boldyrev, V.P.Zakolodyazhny. *Dynamics of Users Navigation Equipment Development for Satellite Navigation Systems.* Navigation and Hydrography, 1998, N6, p.109-113

The manufacture analysis of user equipment for second-generation satellite navigation systems in 1993-1998 is given. The navigation equipment updating dynamics of the leading foreign companies is shown. The development problems of such equipment for military aims, with regard to the probable information war prospects, are considered.



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

- АБРАМОВ АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ**, зам.начальника отдела Гос.НИНГИ. капитан II ранга. Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе (1982) и ВМА (1995). Специализация – гидрография.
- АНУЧИН ОЛЕГ НИКОЛАЕВИЧ**, профессор Института точной механики и оптики (ИТМО), д.т.н. Окончил ИТМО (1970). Специализация – инерциальные навигационные системы, гравиметрия. Автор 50 печатных трудов.
- АРНО ГАРРИ РОБЕРТОВИЧ**, ученый секретарь Северо-Западного регионального отделения Российского Общественного института навигации (РОИН), ст. научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан I ранга (в отставке). Специализируется в области разработки программ развития технических средств навигации. Автор около 20 печатных трудов.
- БОЛДЫРЕВ ВЛАДИМИР СЕРГЕЕВИЧ**, ведущий научный сотрудник ЗАО “ЦНИИМФ”, доцент, д.т.н., капитан I ранга (в отставке). Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе (1948) и ВМА. Специализируется в области навигации и гидрографии. Автор более 120 печатных работ.
- БУБЛИК СЕРГЕЙ МАТВЕЕВИЧ**, нач. лаборатории Гос.НИНГИ, капитан II ранга. Окончил ВВМУ подводного плавания (1985). Специализация – навигация. Автор 12 печатных трудов.
- ГАЙДАДЫМ АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ**, адъютант ВВМУ им.М.В.Фрунзе, капитан-лейтенант. Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе (1992). Специализируется в области гидрометеорологии и гидрографии.
- ГЛУХОВ ЮРИЙ АНДРЕЕВИЧ**, начальник лаборатории Гос.НИНГИ, капитан II ранга (в отставке). Окончил ВВМУ подводного плавания (1987) и ВСОК ВМФ (1993). Специализируется в области навигации.
- ГУДМЕСТАД УВЕ Т.**, консультант норвежской компании Статойл по морским технологиям, профессор Ставангерского Университетского колледжа, д.т.н. Окончил Массачусетский технологический институт (США). Области научных интересов: гидродинамические нагрузки на офшорные конструкции, сейсмические нагрузки, анализ риска, освоение шельфа, арктическая и трубопроводная техника.
- ГУСИНСКИЙ ВАЛЕРИЙ ЗАЛМАНОВИЧ**, начальник отдела ЦНИИ “Электроприбор”, профессор, д.т.н. Окончил ИТМО (1963). Специализация – гироскопические приборы. Автор около 60 печатных работ.
- ЕМЕЛЬЯНЦЕВ ГЕННАДИЙ ИВАНОВИЧ**, ведущий научный сотрудник Гос.НИНГИ, профессор, д.т.н., капитан I ранга (в запасе). Окончил ИТМО (1970). Специализация – инерциальные навигационные

INFORMATION ABOUT AUTHORS

- ALEXANDER M. ABRAMOV**, Gos.NINGI. Deputy Chief of section, II-d rank captain. Graduated from the Frunze High Naval School (FHNS, 1982) and Naval Academy (NA, 1995). Specialty – hydrography.
- OLEG N. ANUCHIN**, professor, Institute of Precise Mechanics and Optics (IPMO), ScD. Graduated from IPMO (1970). Specializes in the field of gravimetry and inertial navigation systems. Author 50 publications.
- HARRY R. ARNO**, scientific secretary of the North-West Regional Branch of the Russian Public Institute of Navigation (RPIN), Gos.NINGI senior scientist, I-st rank captain (Ret.) Specialized in the field of working out the programs of technical aids to navigation development. Author about 20 publications.
- VLADIMIR S. BOLDYREV**, leading scientist of JSCo “Central Research Institute of the Merchant Marine”, ScD., I-st rank captain, (Ret.) Graduated from FHNS (1948) and NA. Specializes in the field of navigation and hydrography. Author more 120 publications.
- SERGEI M. BUBLIK**, Gos.NINGI laboratory chief, II-d rank captain. Graduated from High Naval Underwater Voyage School (HNUVS, 1985). Specialty – navigation. Author 12 publications.
- ANDREI V. GAIDADYM**, post-graduate student of FHNS, lieutenant-commander,. Graduated from FHNS (1992). Specializes in the field of hydrometeorology and hydrography.
- YURY A. GLUKHOV**, Gos.NINGI laboratory chief, II-d rank captain (Ret.). Graduated from HNUVS (1987) and the Naval High Officer Courses (1993). Specializes in the field of navigation.
- OVE T. GUDMESTAD**, Statoil Advisor Marine Technology, Professor of Marine Technology Stavanger University College, ScD. Graduated from Massachusetts Institute of Technology (USA). Areas of scientific interest: Hydrodynamic loads on offshore structures, Seismic loading, Risk analysis, Offshore field development, Arctic Engineering, Pipeline engineering.
- VALERY Z. GUSINSKY**, of Central Research Institute “Electropribor” chief section, professor, ScD. Graduated from IPMO (1963). Specializes in the field of gyroscopy. Author about 60 publications.
- GENNADY I. YEMELYANTSEV**, Gos.NINGI leading scientist of, professor, ScD., I-st rank captain (Res). Graduated from IPMO (1970). Specializes in the field of inertial navigation systems. Author about 50 publica-

системы. Автор около 50 печатных работ.

tions.

- ЗАКОЛОДЯЖНЫЙ ВИТАЛИЙ ПАВЛОВИЧ**, ст. научный сотрудник Гос.НИНГИ, к.т.н., капитан I ранга (в отставке). Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе (1948) и ВМА (1957). Специализируется в области спутниковых навигационных систем. Автор около 30 печатных трудов, включая одну монографию.
- ЗАЯЦ ЛЕОНИД АНДРЕЕВИЧ**, ст. научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан II ранга (в отставке). Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе (1955). Специализируется в области штурманского дела. Автор трех печатных трудов.
- ЗУБЧЕНКО ЭДУАРД СЕМЕНОВИЧ**, ст. научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан I ранга (в запасе), к.т.н. Окончил ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1961). Специализация – гидрография, аэрокосмические методы картографирования Мирового океана. Автор 15 печатных трудов.
- ИВАНОВ БОРИС ЕВГЕНЬЕВИЧ**, главный научный сотрудник Гос.НИНГИ, капитан I ранга (в отставке), д.т.н., профессор, лауреат Государственной премии РФ, заслуженный деятель науки и техники. Окончил Балтийское ВВМУ (1957 г.) и ВМА (1969 г.). Специализация – морская геодезия, гравиметрия, гидрография, навигация. Автор более 180 печатных трудов.
- ЛОБОЙКО БОРИС ИВАНОВИЧ**, с.н.с. Гос.НИНГИ, д.т.н., капитан I ранга (в запасе). Окончил ВВМУРЭ им. А.С.Попова (1968). Специализация – радиосвязь, навигация. Автор около 50 печатных трудов.
- ЛОСЕТ СВЕЙНУНГ**, Норвежский Университет науки и техники (НУНиТ), д.т.н. Окончил НУНиТ (по курсу теоретической физики). Специализация – физико-механические процессы в ледовых образованиях, влияние ледовых нагрузок на офшорные конструкции.
- МАЛЕЕВ ПАВЕЛ ИВАНОВИЧ**, с.н.с. Гос.НИНГИ, капитан I ранга (в отставке), к.ф.-м.н. Окончил СПб ГУ (1952). Специализация – технические средства навигации. Автор более 170 печатных трудов.
- МАСТРЮКОВ СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ**, начальник отдела Гос.НИНГИ, полковник, к.т.н. Окончил СПб ГМИ (1978). Специализация – океанология. Автор 10 печатных трудов.
- НЕРОНОВ НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ**, главный научный сотрудник Гос.НИНГИ, президент СПб Гидрографического общества, капитан I ранга (в отставке), д.т.н., профессор. Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе (1950). Специализация – гидрография. Автор более 40 печатных трудов.
- ПЕРЕСЫПКИН ВСЕВОЛОД ИЛЬИЧ**, Генеральный директор ЗАО “ЦНИИМФ”, д.т.н., академик Академии транспорта РФ, лауреат Государственной премии, вице-президент РОИН, зам председателя под-
- VITALY P. ZAKOLODYAZHNY**, Gos.NINGI senior scientist, PhD, I-st rank (Ret.). Graduated from FHNS (1948) and NA (1957). Specializes in the field of satellite navigation systems. Author about 30 publications, including 1 monograph..
- LEONID A. ZAYATS**, Gos.NINGI senior scientist, II-d rank captain (Ret.). Graduated from FHNS (1955). Specializes in the field of navigation. Author 3 publications.
- EDUARD S. ZOUBTCHENKO**, Gos.NINGI senior scientist, PhD., I-st rank captain (Res.). Graduated from FHNS (1961). Specialty – hydrography, methods of World Ocean cartography from satellite. He has 15 publications.
- BORIS E. IVANOV**, Gos.NINGI chief scientist, 1-st rank captain (Ret.), ScD, professor, RF State Prize Winner, RF Honored Science and Technical Worker. Graduated from BHNS (1957) and NA (1969). Specialty – marine geodesy, gravimetry, hydrography, navigation. Author more than 180 publications.
- BORIS I. LOBOIKO**, Gos.NINGI chief scientist, ScD, I-st rank captain (Res.). Graduated from PHRES (1968). Specialty – radiocommunication, navigation. Author about 50 publications.
- SVEINUNG LOSET**, Norwegian University of Science and Technology (NUS&T), ScD. Graduated from NUS&D. Specialty – ice physics and mechanics, estimation of ice loads on offshore structures.
- PAVEL I. MALEYEV**, Gos.NINGI senior scientist, PhD., I-st rank captain (Ret.). Graduated from SPb SU (1952). Specialty – aids of navigation. Author more than 170 publications.
- SERGEI I. MASTRYUKOV**, Gos.NINGI chief of section, colonel, PhD. Graduated from SPb HMI (1978). Specialty – oceanology. Author 10 publications.
- NIKOLAI N. NERONOV**, Gos.NINGI chief scientist, SPb Hydrographic Society President, I-st rank captain (Ret.), ScD, professor. Graduated from FHNS (1950). Specialty – hydrography. Author more than 40 publications.
- VSEVOLOD I. PERESYPKIN**, Joint-Stock Co. “Central Research Institute of the Merchant Marine” General director, ScD, academician of the Transport Worker of RF, prizewinner of State premium, RPIN vice-president, IMO

комитета ИМО по безопасности мореплавания. Автор 70 печатных трудов.

ПОЛОЗОВ ВАСИЛИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, ст. научный сотрудник Гос.НИНГИ, к.г.н., полковник (в отставке). Окончил Военно-инженерный факультет метеослужбы ВВС ВС (1948). Специализируется в области гидрометеорологии. Автор около 50 печатных трудов.

РЕЗНИЧЕНКО ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ, ведущий научный сотрудник Гос.НИНГИ, д.т.н. Окончил ИТМО (1960). Специализация – военная навигация. Автор около 40 печатных трудов, в т.ч. 1 монографии (в соавторстве), и 10 свидетельств на изобретения.

СВЕЧНИКОВ АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ, ст. научный сотрудник Гос.НИНГИ, д.т.н. Окончил Ленинградский электротехнический институт (1965). Специализация – геофизика.

СМИРНОВ БОРИС МИХАЙЛОВИЧ, ст. научный сотрудник АОЗТ “Криомаг”, к.т.н. Окончил Московский электротехнический институт (1967). Специализируется в области электромагнитных измерений. Автор около 60 печатных трудов.

СМОЛЬКОВ ГЕННАДИЙ ЯКОВЛЕВИЧ, директор радиофизической обсерватории Института солнечно-земной физики СО РАН, д.т.н.

СОРОКИН АЛЕКСАНДР ИВАНОВИЧ, Институт Озероведения РАН, советник РАН, член-корреспондент РАН, контр-адмирал (в отставке), д.т.н., заслуженный деятель науки и техники, лауреат Государственной премии СССР. Окончил гидрографический факультет ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1946), ВМА (1955). Специализация – гидрография, картография, навигация. Автор более 250 печатных трудов.

СТЕПАНОВ СЕРГЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ, старший преподаватель ВВМУ им.М.В.Фрунзе, капитан II ранга. Окончил ВВМУ им.М.В.Фрунзе(1983). Специализируется в области гидрометеорологии. Автор около 10 печатных трудов.

ХАСИЕВ ИГОРЬ САВЕЛЬЕВИЧ, ведущий инженер АОЗТ “Криомаг”. Окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения (1974). Специализируется в области магнитных измерений. Автор 20 печатных трудов.

ЯКОВЛЕВ АНАТОЛИЙ НИКОЛАЕВИЧ, старший научный сотрудник ЦНИИ МФ, контр-адмирал (в отставке), к.т.н. Окончил ВВМУ им. М.В.Фрунзе (1948 г.) и ВМА (1958 г.). Служил на штурманских должностях на ТОФ и СФ (последний пост – Главный штурман флота). Автор более 50 печатных трудов.

subcommite on navigation safety vice-chairmain. Author 70 publications.

VASILY V. POLOZOV, Gos.NINGI senior scientist, PhD (Geography), colonel, (Ret.). Graduated from Military engineer faculty of Air Force Weather Service (1948). Specializes in the field of hydrometeorology. Author about 50 publications.

VLADIMIR I. REZNICHENKO, Gos.NINGI leading scientist, ScD. Graduated from IPMO (1960). Specialty – military navigation. Author about 40 publications, including one monograph (as co-author) and 10 inventions.

ANATOLY I. SVECHNIKOV, Gos.NINGI chief scientist, ScD. Graduated from Leningrad’s Electrotechnical Institute (1965). Specialty – geophysics.

BORIS M. SMIRNOV, senior scientist of PSC “Crimomag”, PhD. Graduated from the Moscow Electrotechnical Institute (1967). Specializes in the field of electromagnetic measurements. Author about 60 publications.

GENNADY Y. SMOLKOV, Director of Radiophysical Observatory of the Institute of Solar-Earth Physics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, ScD.

ALEXANDER I. SOROKIN, RAS Institute of Lake-study, Counselor of RAS, Corresponding Member of RAS, rear-admiral (Ret), RF Honored Science and Technical Worker, USSR State Prize Winner. Graduated from FHNS (1946), NA (1955). Specializes in the field of hydrography, cartography, navigation. Author more than 250 publications.

SERGEY A. STEPANOV, FHNS senior teacher, II-d rank captain. Graduated from FHNS (1983). Specializes in the field of hydrometeorology. Author of about 10 publications.

IGOR S. KHASIEV, leading engineer of the PSC “Kriomag”. Graduated from the Leningrad Institute of Aviation Instrument Making (1974). Specializes in the field of magnetic measurements. Author 20 publications.

ANATOLY N. YAKOVLEV, Central Marine Research and Design Institute senior scientist, rear-admiral (Ret.), PhD. Graduated from FHNS (1948) and NA (1958). Served as a naval officer-navigator, Pacific and Northern Fleets (his last post – Chief Navigator of the Soviet Northern Fleet). Author more than 50 publications.

ПАМЯТКА АВТОРУ

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ, НАПРАВЛЯЕМЫХ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ В ЖУРНАЛЕ «НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ»

1. Объем статьи не должен превышать 8 стр., для статьи обзорно-аналитического характера - до 15 стр. Количество рисунков и таблиц - не более 5 (по каждой позиции).
2. Статья должна иметь индекс ГРНТИ, сопровождаться аннотацией (помещается после названия), рефератом, списком использованной литературы и актом экспертизы.
3. К статье следует приложить название статьи, аннотацию и реферат на английском языке, а также основные сведения об авторе(ах) на русском и английском языках.
4. Все рисунки или фотографии должны иметь порядковый номер, размер — не более формата **A4 (297x210 мм)** и черно-белое исполнение. Не рекомендуется использование мелких штриховок и заливок (не читаемых сканером с разрешением 300 точек на дюйм).
5. Все числовые значения в тексте, на рисунках и в таблицах должны соответствовать единицам, принятым в системе СИ.
6. Список использованной литературы должен быть составлен на языке оригинала (исключение - языки с иероглифическим написанием слов, например, японский) в порядке ссылок на источники по тексту.
7. Материалы должны быть подготовлены в формате текстового редактора **MS Word for Windows**, а также других систем, для которых имеются стандартные конвертеры Word. При оформлении использовать только стандартные шрифты, поставляемые с системой Windows.
8. Для диаграмм и графиков предпочтительно использование **векторных форматов**, импортируемых в MS Word for Windows и одновременное представление оригинал-макета. Растровая графика (только черно-белая) может быть представлена в формате **TIFF** или **PCX** с разрешением **300 DPI**.
9. В редакцию представляются дискета 3,5" с текстом статьи, аннотации и рефератом и их распечатки через 2 интервала в 1 экз. (дискета возвращается автору).
10. Материалы, отправляемые посредством электронной почты, направлять на адрес **E-mail: editor@navy.ru** в виде предварительно компрессированных архиваторами **ARJ** или **PKZIP**, присоединенных к письму файлов, закодированных **UUENCODE**.

Адрес редакции: Россия, 199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41.
Телефон: (812) 217-97-60, Факс: (812) 217-19-66 (в рабочее время)
E-mail: editor@navy.ru

**Условия подписки на журнал
"Навигация и гидрография"**

Стоимость годовой подписки на 2 номера журнала – 40 руб.

Наши реквизиты: ИНН 7801020940 ПУ ЦБ РФ Набережное БИК 04408002
р/с 40502810500000000056, в/ч 62728 (Гос.НИНГИ МО РФ), Санкт-Петербург,
указав в квитанции об оплате — "За подписку на журнал".

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ, 1998, №6

Редакторы: А.И.Баранов, С.А.Рудас
Компьютерное оформление: В.И.Скалон

Подписано в печать 1.12.98.

Заказ № 266

Per. №013267 от 26.01.95

Комитет РФ по печати

© Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт

Министерства обороны РФ