

ISSN 2220-0983

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

30/2010

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ



Санкт-Петербург

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

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

ИЗДАЕТСЯ С 1995 ГОДА

**30
2010**

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санкт-Петербург

Главный редактор
д. т. н., проф. С. П. Алексеев

Редакционная коллегия:

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

© Открытое акционерное общество
«Государственный научно-исследовательский
навигационно-гидрографический институт»
2010

**THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC
INSTITUTE**

NAVIGATION AND HYDROGRAPHY

PUBLISHED SINCE 1995

**30
2010**

RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE

Saint-Petersburg

Editor-in-chief
S. P. Alekseyev, DSc, professor

Editorial board

A. Dobrotvorsky (first vice-editor-in-chief), DSc, professor;
P. Brodsky (vice-editor-in-chief), DSc, professor;
S. Kursin (vice-editor-in-chief), CandSc; P. Maleyev, DSc (science editor);
I. Bugrova (editor), CandSc; V. Bakhmutov (the issue manager), CandSc;
A. Ismailov, DSc, professor; V. Katenin, DSc, professor; N. Ledenev, CandSc;
S. Mastryukov, CandSc; A. Mikhaylovsky, DSc, professor;
N. Neronov, DSc, professor; V. Peresypkin, DSc, professor;
V. Peshekhonov, DSc, Acad. RAS; Yu. Rumyantsev, CandSc;
A. Sazonov, CM RAS; A. Sorokin, DSc, CM RAS; K. Stavrov, DSc, professor;
S. Yatsenko, DSc

© Open Joint Stock Company
«The State Research Navigation-Hydrographic Institute»

2010

СОДЕРЖАНИЕ

С. П. Алексеев, А. Ф. Зеньков, С. Б. Курсин, К. Г. Ставров. Батиметрические исследования ОАО «ГНИНГИ» в центральной части Арктики	9
--	---

НАВИГАЦИЯ

Ю. Н. Жуков. Способ определения координат места объекта по трем расстояниям до точек, не лежащих на одной линии	17
А. М. Черненко. Об оценке распределения погрешностей определения координат, измеренных приемником спутниковых навигационных систем	25
П. Г. Бродский, Ю. В. Румянцев, С. Н. Некрасов. К вопросу оценки влияния интенсивности судоходства на аварийность	36
Е. П. Гладских, В. Н. Костин, В. А. Максимов. Компактная солнечная энергетическая установка для средств навигационного оборудования	42
А. Д. Голяков. Методы аналитического оценивания точности системы автономной навигации искусственных спутников Земли	47
А. Д. Голяков. Переход к международной терминологии в области надежности	59

ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

Ю. Н. Жуков, Г. Н. Пивоварова. Особенности географического распределения возраста приливов	66
С. В. Яценко, Н. Н. Шалагин, Е. И. Руденко. Современные подходы к разработке типового плана навигационно-гидрографического обеспечения объектов обустройства и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений арктического шельфа	74
Ю. С. Дубинко, Н. Н. Жильцов. Модель вероятностного описания движущейся волновой поверхности во временном представлении для определения основных статистических характеристик волнения дрейфующими волномерными буями	81
С. И. Мاستрюков. Взгляд специалистов ВМС США на состав и критические значения параметров природной среды, влияющих на боевые действия	91
К. Г. Ставров, А. С. Студенецкий. Использование ГИС-технологий при планировании морских научных исследований в интересах создания автоматизированного банка морских геофизических данных на арктические акватории	100

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

Н. Н. Жильцов, А. М. Шарков, А. С. Платонова. Современное состояние и перспективы развития спутниковых средств дистанционного зондирования Земли в России с учетом потребностей гидрометеорологического обеспечения Вооруженных Сил РФ..... 105

С. И. Матрюков. Виды зарубежных систем гидрометеорологического обеспечения мореплавания..... 111

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ..... 119

РЕФЕРАТЫ..... 123

C O N T E N T S

S. P. Alekseyev, A. F. Zenkov, S. B. Kursin, K. G. Stavrov. Bathymetric explorations by «GNINGI» OJSC in the Central Arctic9

NAVIGATION

Y. N. Zhukov. The Technique of Determining the Co-ordinates of an Object by Three Distances to the Points Not Located on the Same Line 17

A. M. Chernenko. On Evaluation of Error Distribution for the Co-ordinates Measured by the SNS Receiver 25

P. G. Brodsky, Y. V. Rumyantsev, S. N. Nekrasov. On Evaluation of the Influence of Maritime Traffic Intensity on Accident Rate 36

E. P. Gladskikh, V. N. Kostin, V. A. Maksimov. The Compact Solar Powerplant for Aids to Navigation 42

A. D. Golyakov. Methods of Analytical Evaluation of Satellite Autonomous Navigation System Accuracy 47

A. D. Golyakov. Transition to International Terminology in the Sphere of Reliability 59

HYDROGRAPHY AND MARINE CARTOGRAPHY

Y. N. Zhukov, G. N. Pivovarova. The Geographical Distribution Features of the Age of Tides 66

S. V. Yatsenko, N. N. Shalagin, E. I. Rudenko. Modern Approach to Development of the Standard Plan of Navigation-Hydrographic Support for the Objects of Development and Exploitation of the Offshore Oil-Gas Fields on the Arctic Shelf 74

Y. S. Doubinko, N. N. Zhiltsov. Model of Probabilistic Description of the Moving Wave Surface in the Temporal Representation to Determine the Main Statistical Wave Characteristics by the Drifting Wave-Measuring Buoys 81

S. I. Mastryukov. The Views of the US Navy Specialists on the Composition and Critical Values of the Natural Environment Parameters Influencing the Combat Operations 91

K. G. Stavrov, A. S. Studenetskiy. Employment of GIS technologies when planning the research with the aim to create the automated marine geophysical databank for the Arctic water area 100

HYDROMETEOROLOGY

N. N. Zhiltsov, A. M. Sharkov, A. S. Platonova. The Present-Day State and Prospects of Development in Russia of the Satellite Complexes for the Sounding of the Earth, taking the Requirements of the Hydrometeorological Support for the RF Armed Forces into Account.....	105
S. I. Mastryukov. Kinds of Foreign Systems of Hydrometeorological Support for Maritime Navigation.....	111
INFORMATION ABOUT AUTHORS	119
ABSTRACTS	123

**БАТИМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОАО «ГНИНГИ»
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ АРКТИКИ**

**С. П. АЛЕКСЕЕВ,
А. Ф. ЗЕНЬКОВ,
С. Б. КУРСИН,
К. Г. СТАВРОВ
(ОАО «ГНИНГИ»)**

Показаны особенности решения задач по освоению Арктического региона в связи с экстремальными природно-климатическими условиями. Приведены результаты первого этапа экспедиционных работ по съемке рельефа морского дна в этом регионе.

Арктическая зона Российской Федерации (АЗРФ) имеет стратегическое значение для обеспечения национальных интересов страны. С развитием Арктики прямо связано решение долгосрочных задач государства, его конкурентоспособность на глобальных рынках. В настоящее время в этом регионе производится около 20% валового внутреннего продукта России и 22% общероссийского экспорта. В российской части Арктики сосредоточено около четверти мировых ресурсов углеводородов, более 71% ресурсов нефти и свыше 88% газа всех морских акваторий России. Использование АЗРФ в качестве стратегической ресурсной базы, обеспечивающей решение задач социально-экономического развития страны, относится к основным национальным интересам Российской Федерации.

Особенностями АЗРФ, оказывающими влияние на формирование государственной политики в Арктике, являются экстремальные природно-климатические условия, включая постоянный ледовый покров или дрейфующие льды в арктических морях (рис. 1).



Рис. 1. Ледовый покров арктических морей

С риском ледовых воздействий на объекты морской деятельности (обустройства морских нефтегазовых месторождений) Арктического региона связана

проблема обеспечения устойчивости функционирования указанных объектов в условиях ледовых образований и айсберговой опасности.

При разработке морских нефтегазовых месторождений и транспортировке углеводородов на акватории арктического шельфа, а также при обеспечении судоходства ледяной покров оказывает мощное силовое воздействие на объекты морской деятельности (гидротехнические сооружения, суда, и т. п.), что заставляет предусматривать дополнительные меры борьбы с ледовыми нагрузками (усиливать их конструкции и т. д.). Указанные факторы значительно осложняют задачи ледового обеспечения. В настоящее время появляется необходимость не только проводки судов или строительства сооружений во льдах, но и обеспечения их долгосрочного пребывания в одном районе или точке с целью проведения различных видов морской деятельности (изыскательских исследований, добычи углеводородов и т. п.). Решение указанной проблемы состоит в реализации взаимосвязанных организационных и технических мер обеспечения безопасности функционирования объектов морской деятельности (морских объектов разведки, добычи и морской транспортировки углеводородов) от угроз воздействия на них ледовых образований, оно должно быть комплексным и многоплановым, направленным на снижение рисков морской деятельности. Это предполагает разработку и внедрение новых видов техники и технологий, прежде всего – ледовых, необходимых для освоения морских месторождений полезных ископаемых и водных биологических ресурсов в арктических условиях, а также в районах, покрытых льдом. В табл. 1 приведена классификация природных факторов по степени их воздействия.

Таблица 1

Классификация природных факторов по степени их воздействия

Фактор	Строительство	Эксплуатация	Морской транспорт
Опасные гидрометеорологические явления			
Сильные морозы и резкие похолодания	*		
Сильные снегопады, туманы и другие явления	*		*
Штормовой ветер и волнение	*	*	*
Штормовые нагоны и сгоны	*	*	
Обледенение	*		
Опасные ледовые явления			
Экзарация дна дрейфующими ледовыми образованиями		*	
Экзарация дна берегового склона под воздействием припая		*	
Ледовые навалы на берег		*	
Айсберги в районе трубопроводов и на путях движения		**	*
Повторный заток дрейфующих льдов после очищения	*		*
Сжатия дрейфующего льда			*
Возникновение явления «ледовой реки»			*

Фактор	Строительство	Эксплуатация	Морской транспорт
Раннее замерзание акватории	*		*
Брызговое обледенение платформ и судов		*	*
Облипание корпуса судна снежно-ледяной «подушкой»			*
Ледовый шторм	*		*
Опасные литодинамические и геокриологические явления			
Оттаивание и просадка грунтов		*	
Разжижение грунтов над трубопроводом		*	
Термоабразия и отступление берегов		*	
Образование воронок разрыва на дне тальми водами		*	
Размыв грунтов над трубопроводом		*	
Размыв подводного берегового склона		*	
Агрессивное воздействие криопэггов		*	

Существенные ледовые затруднения и возможность появления айсбергов в районах арктического шельфа России обуславливают необходимость разработки комплекса мер по мониторингу ледовой обстановки и борьбы с ледовыми опасностями. В качестве примера на рис. 2 приведены данные, характеризующие ледовый покров как объект мониторинга в интересах обеспечения морской деятельности в Арктике.

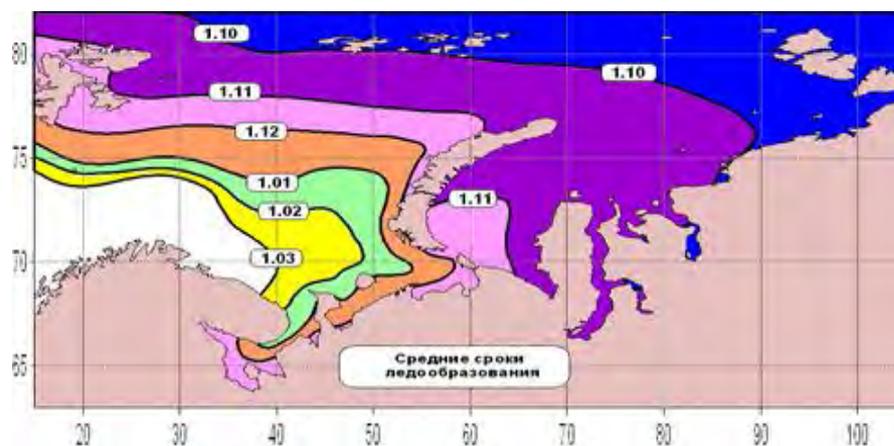


Рис. 2. Пример представления данных о сроках ледаобразования

Для реализации ледового мониторинга используются самые разные методы и технические средства (рис. 3).

Обобщение материалов и публикаций в данной области указывает на возможность решения широкого диапазона задач искусственной модификации ледового покрова – от наращивания льда и создания ледовых переправ до разрушения льда и поддержания полыней в незамерзающем состоянии. В настоящее время имеется не только опыт разработок, но и результаты практических экспериментов по созданию незамерзающих

польней на определенной акватории с использованием теплового воздействия, методов аэрации и т. д. Развивая и совершенствуя имеющиеся технологии, можно рассчитывать на возможность обеспечения морской деятельности в Арктике на совершенно новом качественном уровне.



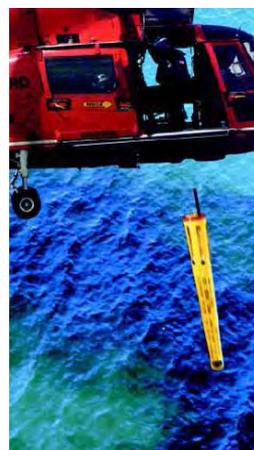
а



б



в



г

**Рис. 3. Образцы технических средств ледового мониторинга:
а – ледовый буй; б – судовой природоохранный комплекс;
в – профилограф; г – буй для отбора проб**

В связи с возрастающим значением Арктики в последние годы усилилось внимание государства к данному региону. Президентом Российской Федерации 18 сентября 2008 г. (Пр-1969) утверждены «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу». В этом документе определены главные цели, основные задачи, стратегические приоритеты и механизмы реализации государственной политики России в этом регионе, а также система мер стратегического планирования социально-экономического развития АЗРФ и обеспечения национальной безопасности России. Главной целью государственной политики Российской Федерации в Арктике в сфере социально-экономического развития является расширение ресурсной базы АЗРФ, способной в значительной степени обеспечить

потребности России в углеводородных ресурсах, водных биологических ресурсах и других видах стратегического сырья. В этом плане представляют интерес результаты выполненных в 2010 г. ОАО «ГНИНГИ» гидрографических, геолого-геофизических, картографических и других работ по подготовке дополнительных материалов для обоснования внешней границы Российской Федерации в Северном Ледовитом океане.

В 2009 г. Государственным научно-исследовательским навигационно-гидрографическим институтом Минобороны России был разработан технический проект на выполнение дополнительных гидрографических работ по определению и обоснованию внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане. Основная задача этих работ состояла в том, чтобы с новыми данными о ключевых параметрах рельефа Северного Ледовитого океана и природе хребтов Ломоносова и Менделеева обеспечить через Комиссию ООН включение в континентальный шельф России в Северном Ледовитом океане дополнительной площади 1,2 млн. кв. км. с ресурсами углеводородов 4,9 млрд. т условного топлива (рис. 4).

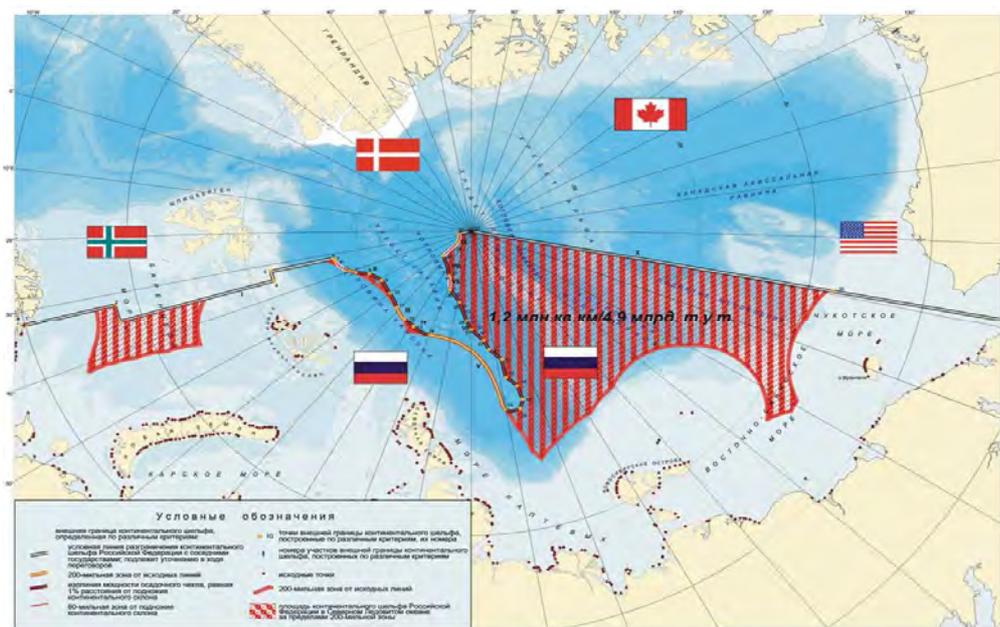


Рис. 4. Обоснование границы ВГКШ России в Северном Ледовитом океане

Как показали результаты исследований, для обоснования внешней границы континентального шельфа в Арктике (в соответствии с требованиями научно-технического руководства Комиссии ООН по границам континентального шельфа) необходимо проведение дополнительных гидрографических работ в объеме не менее 12 тысяч линейных километров. Выполнение такого объема исследований является исключительно сложной задачей, для решения которой была организована экспедиция. После детального рассмотрения проекта и его независимой экспертизы в качестве основного варианта выполнения гидрографических работ на первом этапе был признан вариант с использованием научно-экспедиционного судна (НЭС)

«Академик Федоров» при его проводке атомным ледоколом «Ямал». Для проведения работ институт сформировал консорциум в составе Института Арктики и Антарктики Росгидромета, государственных предприятий «Атомфлот», «ВНИИ Океангеология» и других организаций.

В состав сил обеспечения вошли:

- Научно-экспедиционное судно (НЭС) «Академик Федоров» (ГУ «ААНИИ»);
- Атомный ледокол «Ямал» (ФГУП «Атомфлот»);
- Вертолетный отряд Ми-2 и Ми-8Т (ЗАО «Конверс Авиа», г. Тверь).

На основе анализа имеющейся информации и фактических наблюдений за ледовой обстановкой с атомного ледокола «Россия», выполненных специалистами ГУ «ААНИИ» и ОАО «ГНИНГИ» до начала экспедиции, были выработаны рекомендации и принято решение о последовательности работ экспедиции. Район работ был разбит на западный и восточный секторы. Оценив приоритеты и фактическую ледовую обстановку, на первом этапе выполняли работы вдоль хребта Ломоносова, на втором – в восточном секторе. В июне 2010 г. было проведено дооборудование НЭС «Академик Федоров» современным гидрографическим и спутниковым навигационным комплексами с характеристиками, удовлетворяющими требованиям Комиссии ООН. Плановые гидрографические исследования в районе для проведения съемки на отдельных профилях начаты 4 августа и успешно завершены 16 октября 2010 г.

В процессе работы в море выполнены:

- съемка рельефа дна на основных профилях;
- съемка рельефа дна на межгалсовых переходах и на контрольных галсах;
- наледные сейсмические зондирования;
- гидрологические наблюдения.

Съемка рельефа морского дна на батиметрических профилях выполнялась навигационно-гидрографическим комплексом в составе:

- глубоководного многолучевого эхолота (МЛЭ) EM 122;
- однолучевого эхолота EA600;
- профилографа TOPAS с функцией однолучевого эхолота;
- навигационного комплекса Seapath 330;
- навигационно-гидрографического комплекса QINSy 8.0;
- аппаратно-программного комплекса обработки информации.

Для обеспечения проводки НИС «Академик Федоров» по запланированным профилям на борту атомного ледокола «Ямал» была установлена навигационно-гидрографическая система QINSy 8.0 с тем же набором функций, что и на НЭС «Академик Федоров». Для навигации в систему QINSy 8.0 были загружены электронные карты на Арктические районы. Для оперативного обмена навигационной информацией между судами был организован радиоканал телеметрии, на дисплей системы QINSy выводились одновременно положения НЭС «Академик Федоров» и атомного ледокола «Ямал».

В связи с необходимостью внесения данных о скорости звука в водной среде в систему многолучевого эхолота в ходе гидрографических работ были проведены гидрологические измерения, включающие определение профиля скорости распространения звука в воде. Для этого выполнено 128 океанографических станций, из них 29 – с использованием измерителя профиля скорости распространения звука в воде Valeport Midas и судового CTD-зонда, 99 станций с использованием обрывных

зондов различной модификации. В отечественной практике в Арктике глубоководный МЛЭ ЕМ 122 использовался впервые. Качество данных многолучевой съемки на всех 59 профилях оказалось соответствующим требованиям Комиссии по границам континентального шельфа. Камеральная обработка материалов съемки рельефа дна многолучевым эхолотом осуществлялась с использованием гидрографических пакетов программного обеспечения CARIS HIPS. 100% полученной информации соответствуют требованиям для второй категории съемок стандарта Международной гидрографической организации S-44.

В целом ледовая обстановка благоприятствовала решению поставленной задачи. Преимущественно работы выполнялось в однолетнем льду толщиной 1,5–2,0 м сплоченностью 9–10 баллов. Однако в южной части восточного сектора встречались включения полей старого льда, толщиной до 4 м. Температура воздуха не опускалась ниже -18°C .

Подводя итоги экспедиционных работ, следует отметить:

1. Впервые съемка рельефа морского дна в зоне Северного Ледовитого океана (СЛО) выполнялась по заранее определенным прямолинейным батиметрическим профилям, проложенным в соответствии с рекомендациями Комиссии ООН по определению ВГКШ.

2. За 77 суток:

- пройдено 14436 миль;
- сделано 13304 лин. км съёмки, в том числе 9300 лин. км съемки рельефа дна на батиметрических профилях и 4004 лин. км съемки рельефа дна на межгалсовых переходах;
- сделано 760 км сейсмической съёмки;
- выполнено 128 гидрологических станций;
- выполнено 8 ледовых разведок.

3. Первый этап работы в рамках решения государственной задачи по определению и обоснованию внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в СЛО выполнен в установленные сроки в полном объеме. Полученные данные соответствуют международным стандартам и требованиям Комиссии ООН. При этом гидрографическая экспедиция на НЭС «Академик Фёдоров» позволила не только получить новые батиметрические данные, необходимые для обоснования ВГКШ Российской Федерации, но и существенно расширить научные представления о природе Арктики.

Цели государственной политики по превращению Арктики в ресурсную базу России XXI века, что связано с изучением и освоением ресурсов нефти и газа, будут достигаться за счет решения политических, международно-правовых, ресурсных, нормативно-правовых, информационно-аналитических и технико-технологических задач. ОАО «ГНИНГИ» готово самостоятельно или в кооперации с ведущими научно-техническими организациями разработать и реализовать ледовые технологии, обеспечивающие реализацию стратегии инновационного развития морской деятельности, включая создание целостной системы обеспечения безопасности морских объектов обустройства нефтегазовых месторождений на основе инновационных технологий ледового менеджмента, навигационно-гидрографического обеспечения, аварийно-спасательного обеспечения и другие.

BATHYMETRIC EXPLORATIONS BY «GNINGI» OJSC IN THE CENTRAL ARCTIC

**S. P. Alekseyev,
A. F. Zenkov,
S. B. Kursin,
K. G. Stavrov**
(«GNINGI» OJSC)

The importance of the tasks concerning the development of the Arctic region and specific features of their solution connected with extreme natural-climatic conditions are stated. The results of the first stage of the expeditionary work intended to survey the sea bottom relief in this region are presented.

НАВИГАЦИЯ

УДК 551.508.9

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ МЕСТА ОБЪЕКТА ПО ТРЕМ РАССТОЯНИЯМ ДО ТОЧЕК, НЕ ЛЕЖАЩИХ НА ОДНОЙ ЛИНИИ

Ю. Н. ЖУКОВ
(ОАО «ГНИНГИ»)

В отличие от известных линейных способов приводится нелинейный способ оценки координат места по трем заданным расстояниям величиной до ста километров. Алгоритм основан на теории метрической геометрии.

В навигационной и гидрографической практике в число основных входят задачи, связанные с определением места. Нахождение способов, повышающих точность решения этих задач, имеет большое практическое значение. В настоящее время задача оценки места по трем известным расстояниям решается на основе линейного способа [1]. В основе последнего лежит известная зависимость, справедливая для геометрии на плоскости, искомое место лежит на пересечении окружностей с центрами в опорных точках и радиусами, соответствующими измеренному расстоянию до них. Эта зависимость, справедливая для малых расстояний, требует введения для больших расстояний специальных поправок, учитывающих положение опорных точек в трехмерном пространстве. Кроме того, при линейной постановке решения этой задачи невозможно получить оценку точности определяемых координат.

Ниже излагается общий способ решения данной задачи, который применим как для двумерного, так и для трехмерного пространства, и позволяет оценить ошибки определения местоположения в процессе расчета. Дополнительными данными для предложенного способа в отличие от линейного служат расстояния между опорными пунктами. Способ основан на математической теории «геометрии расстояний» [2] и в настоящее время широко используется в химии и биологии при восстановлении химических и биологических пространственных трехмерных структур [3].

Сделаем несколько необходимых пояснений относительно математических понятий, на которых основан предлагаемый способ. Если в n -мерном пространстве заданы n точек в общем положении, то объем параллелепипеда, построенного на этих точках, в терминах алгебры Клиффорда [4] можно записать в виде:

$$V(\mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_n) = ((\mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1) \wedge \dots \wedge (\mathbf{p}_n - \mathbf{p}_1)), \quad (1)$$

где \mathbf{p}_i – координаты i -ой точки ($i = 1, \dots, n$), \wedge – знак операции внешнего произведения. В рассматриваемой задаче координаты одной точки являются неизвестными, поэтому выражение (1) сложно использовать для оценки

местоположения. В данном случае целесообразно иметь зависимость типа (1), представленную в бескоординатном виде, точнее, в зависимости только от расстояний между точками. Необходимое выражение, получаемое из формулы (1) с использованием законов алгебры Клиффорда, имеет вид [4]:

$$D(\mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_n) = (-1)^n 2^{n-1} ((n-1)!)^2 V^2(\mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_n) = \det M(\mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_n), \quad (2)$$

где

$$M(\mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_n) = \begin{bmatrix} 0 & d^2(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) & \dots & d^2(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_n) & 1 \\ d^2(\mathbf{p}_2, \mathbf{p}_1) & 0 & \dots & d^2(\mathbf{p}_2, \mathbf{p}_n) & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d^2(\mathbf{p}_n, \mathbf{p}_1) & d^2(\mathbf{p}_n, \mathbf{p}_2) & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Здесь D – детерминант Кэли-Менгера, M – матрица Кэли-Менгера, $d(\mathbf{p}_i, \mathbf{p}_j)$ – расстояние в евклидовой метрике между двумя точками i и j .

Общая форма детерминанта (2) была впервые записана А. Кэли в 1841 г. [5], но систематическое применение этого детерминанта началось с 1928 г., когда К. Менгер показал, как детерминант может быть использован при исследовании основных геометрических проблем [6]. В настоящее время этот детерминант играет фундаментальную роль в так называемой «геометрии расстояний», введенной Л. Блюменталем [2], который обратился к аналитическому исследованию евклидовой геометрии в терминах инвариантов без использования каких-либо систем координат.

Важную роль детерминанта (2) поясним следующим образом. Используя детерминант, определим, для какого набора чисел можно построить реальную конфигурацию точек в некотором пространстве так, чтобы взаимные расстояния между точками соответствовали этому набору чисел. Грубо говоря, детерминант является обобщением теоремы Пифагора на произвольные конфигурации точек в многомерном пространстве. Действительно, теорема Пифагора определяет соотношение между длинами сторон прямоугольного треугольника. Например, набор из трех чисел $\{3, 4, 5\}$ удовлетворяет теореме Пифагора, и этому набору соответствует некоторый прямоугольный треугольник, а набор $\{3, 4, 6\}$ не удовлетворяет теореме Пифагора, и этому набору чисел не соответствует ни один прямоугольный треугольник. Следует добавить, что в элементарной геометрии аналогом выражения (1) является формула Герона, связывающая площадь плоского треугольника S с длинами его сторон $\{a, b, c\}$, выражением $S^2 = (a + b + c)(b + c)(a + c)(a + b)$.

В рассматриваемой задаче три измеренные расстояния до опорных пунктов определяются с погрешностями, и поэтому в большинстве случаев они не соответствуют никакой практически реализуемой конфигурации. В этой ситуации детерминант (2) позволяет определить такие три числа, которые минимально (по среднеквадратическому критерию) удалены от измеренных и соответствуют реально

осуществимой конфигурации. Таким образом, решение задачи определения места по трем измеренным расстояниям должно сводиться к следующей последовательности действий:

1. Определить набор из трех чисел, которые могут соответствовать реальным расстояниям от опорных точек и наиболее близки к измеренным расстояниям (по какому-то критерию близости);

2. Определить координаты точки, которые соответствуют найденному набору расстояний.

Это существенно отличается от традиционных способов решения данной задачи, в которых первый этап определения расстояний отсутствует.

Перейдем к изложению предлагаемого способа решения задачи определения места по трем измеренным расстояниям с учетом вышеизложенного.

Основной результат, основанный на детерминанте (2), заключается в следующей теореме [2]. Рассмотрим кортеж из n точек $\mathbf{p}_1, \dots, \mathbf{p}_n$ в m -ом пространстве при $n \geq m + 1$. Тогда ранг матрицы Кэли-Менгера не больше $m + 1$.

В соответствии с этой теоремой для четырех точек на плоскости ($m = 2$, $n = 4$) будем иметь

$$D(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \mathbf{p}_3, \mathbf{p}_4) = 0. \quad (3)$$

Из выражений (3) и (2) следует, что если известны три расстояния, например, $d(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2)$, $d(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_3)$ и $d(\mathbf{p}_3, \mathbf{p}_2)$, то можно найти положение четвертой точки. Таким образом, уравнение (3) является основополагающим для решения поставленной задачи.

Ограничимся представлением способа решения задачи для двумерного случая (для малых расстояний), чтобы не перегружать изложение математическими понятиями. Положим, как условно показано на рис. 1, что точки \mathbf{p}_1 , \mathbf{p}_2 и \mathbf{p}_3 представляют собой опорные пункты с известным положением на плоскости, а точка \mathbf{p}_0 – объект, положение которого неизвестно и должно быть найдено. Положим, что точки опорных пунктов не коллинеарные.

Пусть $d_{ij} = d(\mathbf{p}_i, \mathbf{p}_j)$ – точное расстояние в евклидовой метрике между двумя точками i и j , где $i, j = 0, 1, 2, 3$. Теперь предположим, что данные расстояния \tilde{d}_{0i} , при $i \neq j$ $i = 1, 2, 3$ неточны, вследствие ошибок в измерении, а расстояния d_{ij} между опорными точками $i, j = 1, 2, 3$ точны. Тогда

$$\tilde{d}_{0i}^2 = d_{0i}^2 - \varepsilon_i \quad (4)$$

для некоторой ошибки ε_i .

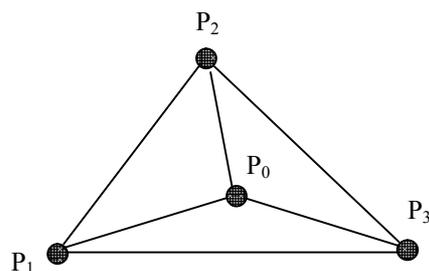


Рис. 1. Объект P_0 и опорные пункты P_1, P_2 и P_3 на плоскости

Подстановка выражения (4) в уравнение (3) приводит к единственному алгебраическому уравнению (5), которое квадратично, не однородно по ε_i , и чьи коэффициенты определяются через \tilde{d}_{0i} для $i = 1, 2, 3$ и d_{ij} для $i, j = 1, 2, 3$ и $i \neq j$ [7]:

$$\varepsilon^T A \varepsilon + \varepsilon^T b + c = 0, \quad (5)$$

где

$$\varepsilon = [\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3]^T, \quad (6)$$

$$A = \begin{bmatrix} 2d_{23}^2 & d_{12}^2 - d_{13}^2 - d_{23}^2 & d_{13}^2 - d_{23}^2 - d_{12}^2 \\ d_{12}^2 - d_{13}^2 - d_{23}^2 & 2d_{13}^2 & d_{23}^2 - d_{12}^2 - d_{13}^2 \\ d_{13}^2 - d_{12}^2 - d_{23}^2 & d_{23}^2 - d_{12}^2 - d_{13}^2 & 2d_{12}^2 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$b_1 = 4d_{23}^2 \tilde{d}_{01}^2 + 2(d_{12}^2 - d_{13}^2 - d_{23}^2) \tilde{d}_{02}^2 + 2(d_{13}^2 - d_{12}^2 - d_{23}^2) \tilde{d}_{03}^2 + 2d_{23}^2 (d_{23}^2 - d_{12}^2 - d_{13}^2); \quad (8)$$

$$b_2 = 4d_{13}^2 \tilde{d}_{02}^2 + 2(d_{12}^2 - d_{13}^2 - d_{23}^2) \tilde{d}_{01}^2 + 2(d_{23}^2 - d_{12}^2 - d_{13}^2) \tilde{d}_{03}^2 + 2d_{13}^2 (d_{13}^2 - d_{12}^2 - d_{23}^2); \quad (9)$$

$$b_3 = 4d_{12}^2 \tilde{d}_{03}^2 + 2(d_{13}^2 - d_{23}^2 - d_{12}^2) \tilde{d}_{01}^2 + 2(d_{23}^2 - d_{12}^2 - d_{13}^2) \tilde{d}_{02}^2 + 2d_{12}^2 (d_{12}^2 - d_{13}^2 - d_{23}^2); \quad (10)$$

$$\begin{aligned} c = & 2d_{12}^2 d_{13}^2 d_{23}^2 + 2d_{23}^2 \tilde{d}_{01}^4 + 2d_{12}^2 \tilde{d}_{02}^4 + 2d_{12}^2 \tilde{d}_{03}^4 + \\ & + 2(d_{12}^2 - d_{13}^2 - d_{23}^2) \tilde{d}_{01}^2 \tilde{d}_{02}^2 + 2(d_{13}^2 - d_{12}^2 - d_{23}^2) \tilde{d}_{01}^2 \tilde{d}_{03}^2 + \\ & + 2(d_{23}^2 - d_{12}^2 - d_{13}^2) \tilde{d}_{02}^2 \tilde{d}_{03}^2 + 2d_{23}^2 (d_{23}^2 - d_{12}^2 - d_{13}^2) \tilde{d}_{01}^2 + \\ & + 2d_{13}^2 (d_{13}^2 - d_{12}^2 - d_{23}^2) \tilde{d}_{02}^2 + 2d_{12}^2 (d_{12}^2 - d_{13}^2 - d_{23}^2) \tilde{d}_{03}^2 \end{aligned} \quad (11)$$

Таким образом, определены все необходимые алгебраические конструкции для решения нашей задачи, которая сводится к нахождению минимума суммы квадратов погрешностей ε_i при ограничениях, накладываемых уравнением (5). Простейший

способ решения состоит в минимизации суммы квадратических ошибок методом множителей Лагранжа.

Приведем численный пример, демонстрирующий шаги решения поставленной задачи. Пусть объект, местоположение которого мы хотим оценить, находится от трех опорных точек на измеренных расстояниях, равных: $\tilde{p}_{01} = 35$, $\tilde{p}_{02} = 42$, $\tilde{p}_{03} = 43$ произвольных единиц длины, а координаты опорных точек равны: $\mathbf{p}_1 = (0,0)$, $\mathbf{p}_2 = (43,7)$, $\mathbf{p}_3 = (47,0)$.

Во-первых, нужно определить детерминант квадратического уравнения (5). Так как расстояния между опорными точками имеют значения:

$$d_{12}^2 = d^2(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2) = 1898;$$

$$d_{13}^2 = d^2(\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_3) = 2209;$$

$$d_{23}^2 = d^2(\mathbf{p}_2, \mathbf{p}_3) = 65;$$

то матрица, определяемая уравнением (7), будет

$$A = \begin{bmatrix} 130 & -376 & 246 \\ -376 & 4418 & -4042 \\ 246 & 4042 & 3796 \end{bmatrix}.$$

Вектор b , определяемый уравнениями (8)–(10), имеет значения

$$b = [b_1, b_2, b_3]' = [-623780, 805016, -1047164]'$$

Скаляр c , определяемый уравнением (10), будет

$$c = -777892702.$$

Тогда квадратическое уравнение (5), связывающее значения погрешностей, имеет вид:

$$\begin{aligned} 0 &= f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3) = \\ &= 130\varepsilon_1^2 + 4418\varepsilon_2^2 + 3796\varepsilon_3^2 - 752\varepsilon_1\varepsilon_2 + \\ &+ 492\varepsilon_1\varepsilon_3 - 8084\varepsilon_2\varepsilon_3 - 623780\varepsilon_1 + \\ &+ 805016\varepsilon_2 - 1047164\varepsilon_3 - 777892702. \end{aligned}$$

Определим оптимальные значения погрешностей ε_1 , ε_2 и ε_3 , решая следующую задачу минимизации:

$$\min \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3,$$

при условии $f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3) = 0$. (12)

Для этого используем метод множителей Лагранжа. Обозначим через λ множитель Лагранжа. В соответствии с этим методом минимизируемая функция для нашего случая имеет вид:

$$H(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \lambda) = \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2 + \lambda f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3).$$

Следуя методу Лагранжа, нужно продифференцировать лагранжиан H по всем переменным ε_i , полученные уравнения приравнять нулю и добавить к полученной системе уравнение связи (4). Выполнив эти операции, получим:

$$\frac{\partial H}{\partial \varepsilon_1} = 2\varepsilon_1 + \lambda(260\varepsilon_1 - 752\varepsilon_2 + 492\varepsilon_3 - 623780) = 0;$$

$$\frac{\partial H}{\partial \varepsilon_2} = 2\varepsilon_2 + \lambda(8836\varepsilon_2 - 752\varepsilon_1 + 8084\varepsilon_3 - 805016) = 0;$$

$$\frac{\partial H}{\partial \varepsilon_3} = 2\varepsilon_3 + \lambda(7592\varepsilon_3 + 492\varepsilon_1 - 8084\varepsilon_2 - 1047164) = 0;$$

$$\frac{\partial H}{\partial \lambda} = f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3) = 0.$$

Решая эту систему из четырех алгебраических уравнений численно [8], получим оценки погрешностей:

$$\varepsilon_1^* = -37,9590, \quad \varepsilon_2^* = 163,7061, \quad \varepsilon_3^* = -164,9748.$$

Теперь можно получить оценку расстояний от объекта до опорных точек:

$$\hat{d}_{01} = \sqrt{\tilde{d}_{01}^2 + \varepsilon_1^*} = 34,4535,$$

$$\hat{d}_{02} = \sqrt{\tilde{d}_{02}^2 + \varepsilon_2^*} = 43,9057, \quad (13)$$

$$\hat{d}_{03} = \sqrt{\tilde{d}_{03}^2 + \varepsilon_3^*} = 41,0369.$$

Полученные в выражении (13) расстояния определяют одну точку на плоскости относительно опорных точек. Поэтому можно получить ее координаты

$$\hat{\mathbf{p}}_0 = (18,2, -29,2). \quad (14)$$

Решим эту же задачу линейным методом. Для $i = 1, 2, 3$ уравнение окружности c_i с центром в i -ой опорной точке с координатами $\mathbf{p}_i = (x_i, y_i)$ и радиусом \tilde{d}_{0i} есть

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = \tilde{d}_{0i}^2. \quad (15)$$

Обозначим искомые координаты объекта через (\bar{x}, \bar{y}) и подставим их в уравнение (15), используя значения для \mathbf{p}_i и \tilde{d}_{0i} будем иметь:

$$\bar{x}^2 + \bar{y}^2 = 35^2; \quad (16)$$

$$(\bar{x} - 43)^2 + (\bar{y} - 7)^2 = 42^2; \quad (17)$$

$$(\bar{x} - 47)^2 + \bar{y}^2 = 43^2. \quad (18)$$

Вычитая выражение (16) из (17) мы получим одно линейное уравнение, а, вычитая (16) из (18), получим другое линейное уравнение. Эти два линейных уравнения могут быть записаны в матричной форме:

$$H \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \end{bmatrix} = h, \quad (19)$$

где

$$H = \begin{bmatrix} 43 & 7 \\ 47 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{и} \quad h = \begin{bmatrix} 679,5 \\ 792,5 \end{bmatrix}.$$

Поскольку решение уравнения (19) методом наименьших квадратов имеет вид

$$\begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{y} \end{bmatrix} = (H^T H)^{-1} H^T h = \begin{bmatrix} 16,9 \\ -6,5 \end{bmatrix}, \quad (20)$$

то оценка местоположения в линейном решении будет

$$\bar{\mathbf{p}}_0 = (16,9 - 6,5). \quad (21)$$

На рис. 2 графически представлены результаты расчетов.

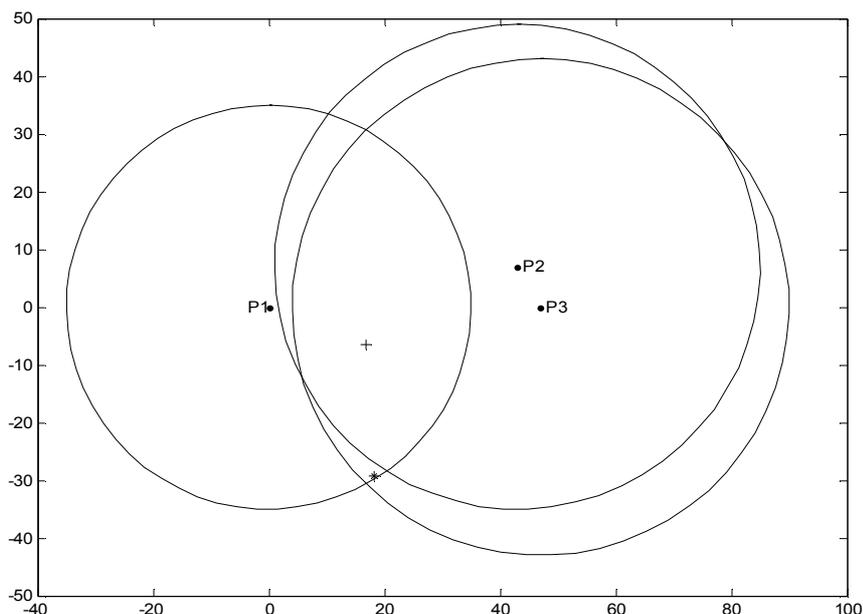


Рис. 2. Положение опорных точек P_1 , P_2 и P_3 и оценки местоположения объекта по предложенному способу (*) и линейному методу (+)

Для оценки эффективности предложенного метода был использован метод численной имитации, состоящий в следующем. Случайным образом выбираются координаты опорных пунктов и положение объекта. Генерируются случайные погрешности измерения расстояний от объекта до опорных пунктов. Эти погрешности суммируются с фактическими расстояниями от объекта до опорных пунктов. На основе этих данных рассчитывались оценки местоположения объекта по предложенному способу и линейным методом. Эффективность методов определялась отношением расстояния между «истинным» положением объекта и оценкой положения по предложенному способу к расстоянию между «истинным» положением объекта и оценкой положения по линейному методу. Для 1000 сгенерированных случаев среднее значение этого отношения составило 62%. Число случаев, когда местоположение объекта, полученное предложенным способом, было ближе истинному расстоянию, чем местоположение, полученное с помощью линейного метода, составляет 87%.

Таким образом, численная имитация показала, что предложенный способ имеет преимущества в оценке местоположения по сравнению с линейным методом. Кроме того, он легко поддается алгоритмизации и может быть включен в автоматизированные системы.

Автор надеется, что специалисты-гидрографы заинтересуются рассмотренным способом и адаптируют его к практическим задачам навигации и гидрографии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коломийчук Н. Д. Гидрография. – Л.: Изд. ГУВМС, 1975. – 470 с.
2. Blumenthal L. M. Theory and Applications of Distance Geometry. – Oxford, Oxford University Press, 1953. – 215 p.
3. Havel T. F. Distance Geometry: Theory, Algorithms, and Chemical Applications // Biopolymers, 1987, 26. – P. 777 – 797.
4. Казанова Г. Векторная алгебра. – М.: Мир, 1979. – 120 с.
5. Cayley A. A Theorem in the Geometry of Position // Cambridge Mathematical Journal, – 1841, Vol. II. P. 267–271.
6. Menger K. New Foundation for Euclidean Geometry // American Journal of Mathematics. – 1931. – No. 53. P. 721–745.
7. Cao M., Anderson B., Morse A. Localization with imprecise distance information in sensor networks // Proc. Joint IEEE Conf on Decision and Control and European Control Conf. – 2005. – P. 2829–2834.
8. Ланцош К. Практические методы прикладного анализа. – М.: ГИФМЛ, 1961. – 524 с.

THE TECHNIQUE OF DETERMINING THE CO-ORDINATES OF AN OBJECT BY THREE DISTANCES TO THE POINTS NOT LOCATED ON THE SAME LINE

Y. N. Zhukov
(«GNINGI» OJSC)

As distinguished from the well known linear techniques, the nonlinear technique of determining the co-ordinates by three given distances not exceeding 100 km, is presented. The algorithm is based on the theory of metric geometry.

УДК 656.6.052

***ОБ ОЦЕНКЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
КООРДИНАТ, ИЗМЕРЕННЫХ ПРИЕМНИКОМ СПУТНИКОВЫХ
НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ***

А. М. ЧЕРНЕНКО
(ОАО «ГНИНГИ»)

В статье рассмотрена процедура оценки распределения погрешностей определения координат, измеренных приемником спутниковой навигационной системы. Показано, что они могут быть представлены независимыми (в вероятностном смысле) случайным процессом, описываемым нормальным законом распределения, и композицией гармонических законов распределения.

Анализ результатов определения места современными приемниками спутниковой навигационной системы (СНС), выполненный различными исследователями, выявил следующие факты, осложняющие правильную трактовку качества определения места объекта:

– погрешности определения координат судна по спутниковым СНС не всегда могут быть описаны нормальным законом распределения [1, 2];

– дисперсия погрешностей определения координат изменяется во времени с цикличностью не менее 8 суток [2, 3].

Имеющиеся в распоряжении исследователей и судоводителей программы, например, Sat Vis или Quick Plan фирмы Trimble Navigation, в части прогноза условий определения места по СНС позволяют оценить [3]:

- число наблюдаемых спутников;
- горизонтальный и вертикальный геометрические факторы (ГГФ и ВГФ);
- дисперсию определения места (или корень квадратный из нее – радиальную среднеквадратическую погрешность определения места).

Фирмы-производители приемников СНС не публикуют сведения о предельной погрешности определения места на уровне доверия 95%, как это рекомендуется резолюциями Международной морской организацией (ИМО), и руководством Международной ассоциации морских средств навигационного оборудования и маячных служб (МАМС) [4]. В технических характеристиках приемников СНС можно найти только оценки радиальной среднеквадратической погрешности (РСКП) определенного места.

На рис. 1. приведены результаты измерения широты места на неподвижном основании туристическим приемником СНС JJ-Connect на базе стандартного чипа СНС GPS Sirf Star III. Точечными линиями показаны уровни отклонения измерений от среднего значения на величины, равные: $\pm\sigma$, $\pm2\sigma$, $\pm3\sigma\dots$, где σ – среднеквадратическое отклонение измерений. Из графика видно, что оценка предельной погрешности широты для нормального закона распределения на уровне доверия 99,73% ($\pm3\sigma \approx \pm 69,9\text{м}$) в 1,4 меньше размаха измерений, наблюдаемого в течение часа.

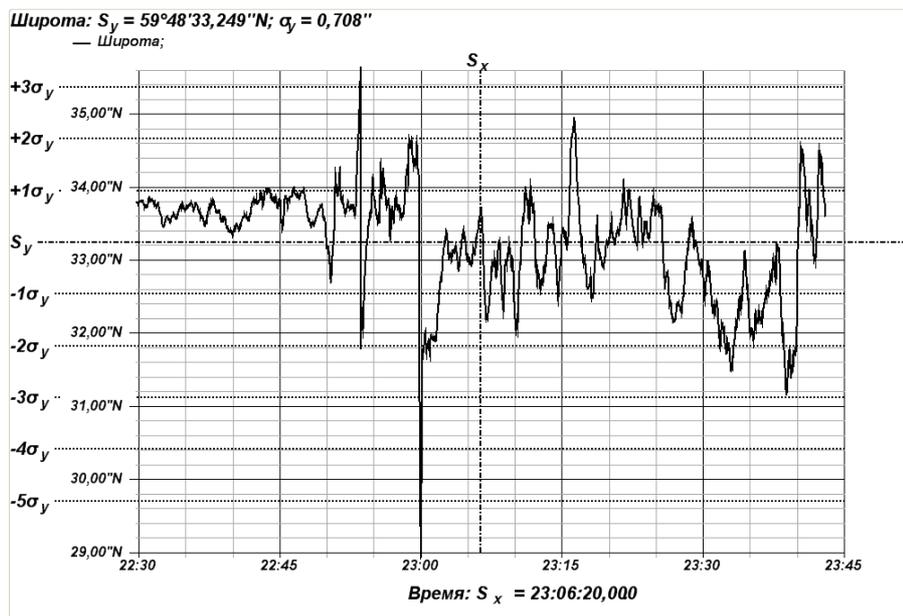


Рис. 1. Измерения широты места приемником СНС на неподвижном основании с 22:30 до 23:43 14 ноября 2009 г.

На рис. 2, 3 приведены гистограммы отклонений измерений широты и критерии согласия с гипотезами возможности описания их нормальным законом распределения или законом распределения Лапласа.

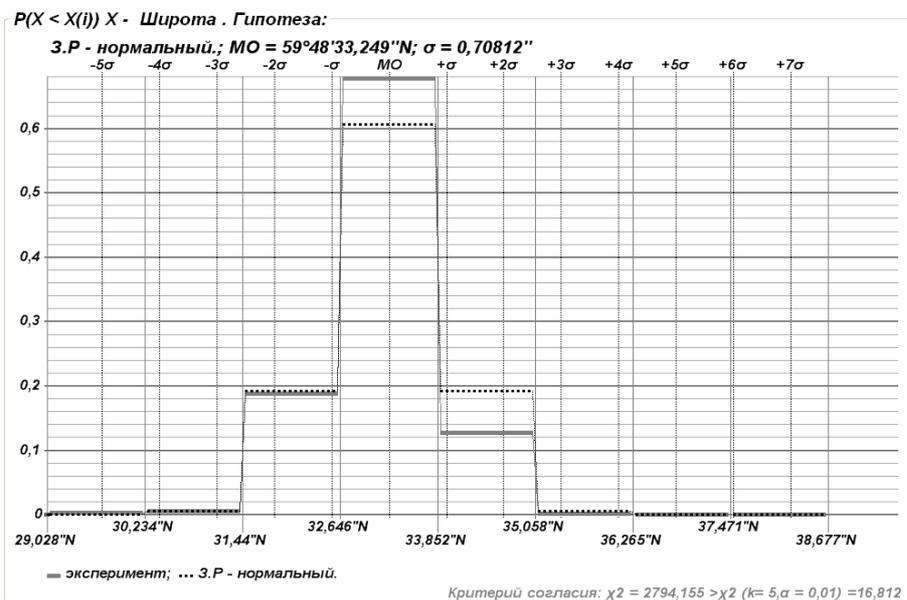


Рис. 2. Экспериментальная повторяемость отклонений измеренной широты и теоретическая по нормальному закону распределения

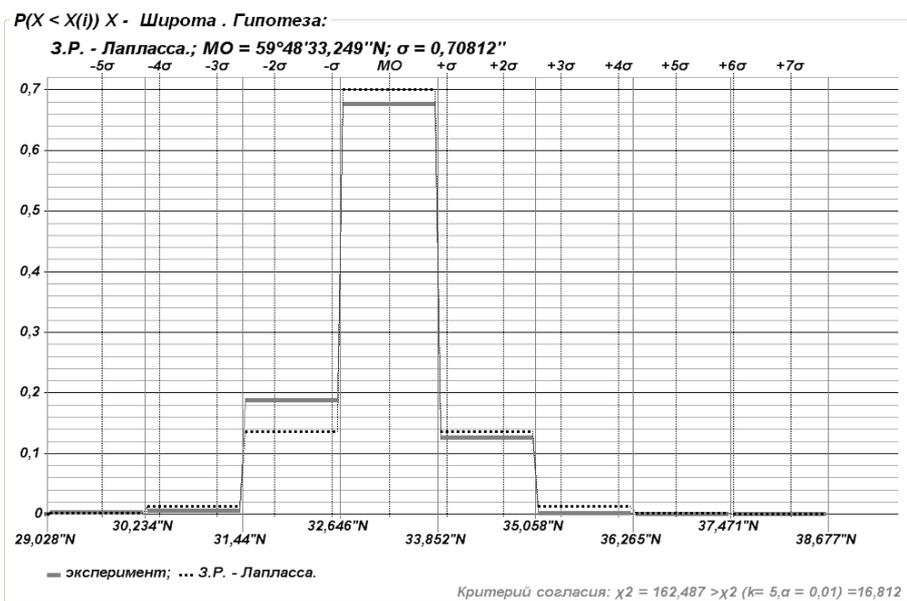


Рис. 3. Экспериментальная повторяемость отклонений измеренной широты и теоретическая по закону распределения Лапласа

Для проверки гипотез в соответствии с рекомендациями [5] использован критерий Хи-квадрат, который позволяет оценить как вид закона распределения случайных величин, так и его параметры.

Рассчитанные значения статистики Хи-квадрат и их допустимые значения с указанием доверительного интервала приведены на гистограммах справа внизу, под подписями горизонтальной шкалы.

На рис. 2, 3 видно, что применение привычных для специалистов в области навигации законов распределения погрешностей плохо согласуется с реальными измерениями, в обоих случаях рассчитанные статистики значительно превышают допустимые уровни, и гипотезы допустимости описания исследуемых погрешностей нормальным законом распределения или законом распределения Лапласа должны быть отвергнуты.

Поэтому для оценки навигационной безопасности мореплавания или успешности выполнения стоящей перед кораблем (судном) задачи необходим поиск новых способов оперативной оценки точности навигационных измерений, соответствующий особенностям современных средств навигации.

В отдельных, частных случаях, например, при оценке текущей навигационной обстановки на локальном участке водного пути, как будет показано ниже, можно получить более достоверные оценки параметров распределения погрешностей в координатах судна (корабля).

Приведенный выше ряд измерений (см. рис. 1–3) будет использован для иллюстрации предлагаемого решения вопроса о распределении погрешностей измерений.

В работах [2, 3] указывается, что суммарная погрешность результата измерений координат по СНС складывается из нескольких составляющих, имеющих различные порождающие их факторы и, соответственно, дисперсии. Поэтому при оценке качества измерений логично использовать не один закон распределения погрешностей, а композицию нескольких законов, в том числе и представление погрешностей в виде суммы ряда.

Возможность представления случайного процесса в виде рядов различных типов была доказана в середине XX века в работах Хинчина, Винера, Пугачева [6–8]. Для решения задачи о текущем распределении погрешностей на локальном участке водного пути целесообразно рассмотреть разложение отклонений измерений приемником СНС от истинного значения в ряд Фурье (теорема Винера – Хинчина) [6]:

$$B(t) = B_{и} + \int_0^{\infty} e^{-i\omega t} \cdot G(\omega) \cdot dt, \quad (1)$$

где $B(t)$ – измеренная величина, в рассматриваемом случае – широта;

$B_{и}$ – истинное значение измеряемой величины;

ω – угловая частота гармоники;

$G(\omega)$ – коэффициенты разложения случайного процесса в ряд Фурье, амплитуды гармоник;

t – время.

На рис. 4 приведена периодограмма разложения отклонений измеренной широты (см. рис. 1). На ней показаны все рассчитанные значения. Серым цветом

отмечены отвергнутые значения, черным цветом отмечены амплитуды гармоник, принимаемых к расчету. Вычисления гармоник выполнялись по алгоритму быстрого преобразования Фурье с последовательным удалением из измерений обнаруженных максимальных гармоник, эти же гармоники принимались для дальнейших расчетов. Расчет проводился от максимальных периодов к минимальным. Операция удаления обнаруженных максимальных гармоник была введена в алгоритм вычислений для того чтобы ослабить явление наложения на гармоники с коротким периодом кратных им гармоник с большим периодом [8].

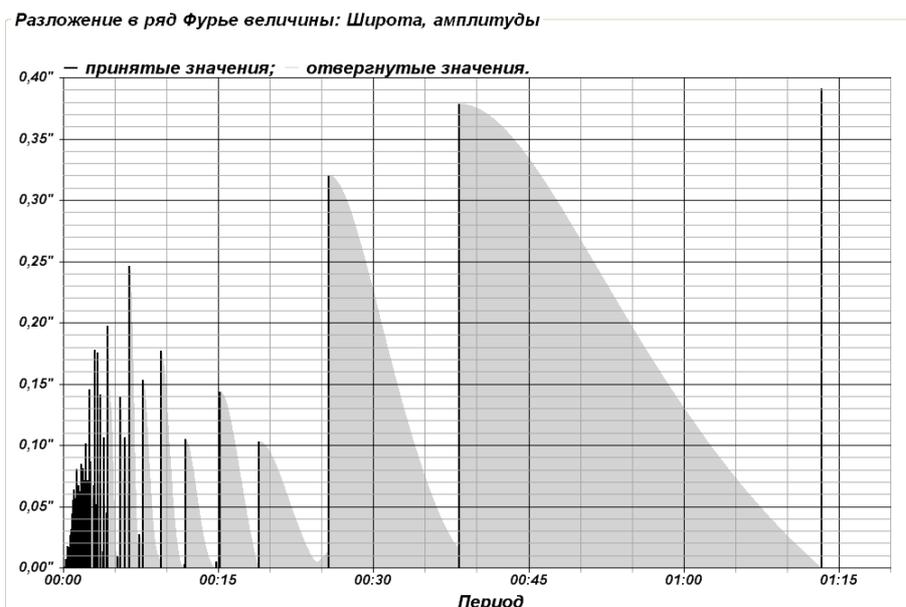


Рис.4. Периодограмма разложения в ряд Фурье измеренной широты

В формуле (1) применяется континуум гармонических составляющих процесса, содержащий в себе бесконечное множество гармоник, а в результате разложения в ряд Фурье получается конечный набор гармоник, который не может быть эквивалентен указанному континууму. Для разрешения этого противоречия рассмотрим свойства рассчитанного набора гармоник.

Каждая из гармоник, принятых к расчету, характеризует случайный процесс, описываемый гармоническим законом (закон арксинуса) [9]:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{1 - \frac{x^2}{H^2}}}, & x \in (-H, H) \\ 0, & x \notin (-H, H) \end{cases}, \quad (2)$$

где x – случайная величина, представляющая отклонение от положения равновесия точки совершающей гармонические колебания;

H – амплитуда колебаний (гармоники);

$f(x)$ – плотность распределения случайной величины x .

Известно, что для суммы независимых случайных процессов справедлив принцип суперпозиции. С другой стороны известно так же, что коэффициенты ряда Фурье – ортонормированный базис, т.е. формально соблюдается условие вероятностной независимости гармонических составляющих случайного процесса, так как свертка (скалярное произведение функций) любых двух гармоник на рассматриваемом интервале по определению равна нулю. Из этого следует, что мы можем удалить часть гармоник (погрешностей) из наблюдений и рассматривать «исправленные» таким образом измерения как некоторый остаточный случайный процесс, независимый от случайного процесса представленного рассчитанными гармониками.

Отметим, что в силу свойств преобразования Фурье оба случайных процесса – и остаточный, и представленный гармониками – имеют одно и то же математическое ожидание, которое можно удалить из рассмотрения. Поэтому далее при оценке математического ожидания суммы процессов оно считается равным 0.

При расчете гармоник выбирались максимальные значения, поэтому из измерений удалены составляющие погрешностей, имеющие наибольшую дисперсию. Тогда на основании центральной предельной теоремы теории вероятности [6, 9] логично допустить, что остаточный случайный процесс должен стремиться к нормальному случайному процессу с неизменными во времени дисперсией и математическим ожиданием, то есть – к стационарному случайному процессу, для которого справедлива формула (1).

Такая трансформация погрешностей будет происходить потому, что в остаточном случайном процессе будут оставаться только составляющие с близкими дисперсиями и, как указано выше, равными математическими ожиданиями.

Поэтому общую погрешность при определении места по СНС можно представить в виде суммы стационарного случайного процесса с нормальным распределением и суммы гармонических случайных процессов, описывающих переменную во времени составляющую погрешностей:

$$\xi_{\text{СНС}} = \eta + \sum_{i=1}^N \alpha_i, \quad (3)$$

где $\xi_{\text{СНС}}$ – погрешность в измерении координаты приемником СНС, в рассматриваемом случае – широты;

η – базовая стационарная часть погрешности, описываемая нормальным законом распределения;

α_i – частная погрешность, выявленная в результате анализа спектра отклонений измеряемого параметра от истинного значения, распределенная по гармоническому закону (арксинуса);

N – число выявленных в результате спектрального анализа частных погрешностей.

Если в результате спектрального анализа отклонений измерений от истинных значений можно представить погрешности измерений координат в виде суммы

независимых случайных величин с известными законами распределения, то можно рассчитать и параметры действительного распределения погрешностей на каждом конкретном участке водного пути за определенный промежуток времени. Это позволит организовать передачу в системы контроля безопасности движения судов или успешности выполнения ими специальных задач реальные характеристики точности работы приемников СНС, а не ожидаемые или, что еще хуже, рекламные.

Выше было показано, что представление погрешностей в измерениях приемников СНС по формуле (3) есть сумма независимых случайных величин.

Плотность распределения случайной величины $y = x_1 + x_2$ (суммы двух независимых случайных величин) рассчитывается по известной в теории вероятностей формуле композиции законов распределения [9, 10]:

$$g(y) = \int_{x_2 \min}^{x_1 \max} f_2(y - x_1) \cdot f_1(x_1) \cdot dx_1 = f_2(x_2) * f_1(x_1), \quad (4)$$

где $g(y)$ – плотность распределения суммы двух независимых случайных величин x_1 и x_2 ;

$f_1(x_1)$ – плотность распределения первой случайной величины x_1 ;

$f_2(x_2)$ – плотность распределения второй случайной величины x_2 ;

$x_{1\min}$ – минимальная граница интервала определения случайной величины x_1 (для показательных законов распределения $x_{1\min} = -\infty$, для гармонического (арксинуса) закона распределения $x_{1\min} = -H$, H – амплитуда гармоники);

$x_{1\max}$ – максимальная граница интервала определения случайной величины x_1 (для показательных законов распределения $x_{1\max} = +\infty$, для гармонического (арксинуса) закона распределения $x_{1\max} = H$, H – амплитуда гармоники);

Погрешности навигационных измерений в формуле (3) представлены не менее чем двумя составляющими. Объединение двух любых из них дает независимую от остальных компонент случайную величину, так как все гармонические составляющие независимы.

Таким образом, расчет общего закона распределения можно выполнить, последовательно объединяя каждую последующую гармонику с предыдущим объединением, по формуле [9, 10]:

$$g(z) = f_{\eta}(x_{\eta}) * f_{\alpha_1}(x_1) * f_{\alpha_2}(x_2) * \dots * f_{\alpha_i}(x_i) * \dots * f_{\alpha_N}(x_N), \quad (5)$$

где $g(z)$ – рассчитываемый закон плотности распределения погрешностей измерения ξ ;

$f_{\eta}(x_{\eta})$ – плотность распределения базовой составляющей погрешностей измерения, описываемая нормальным законом распределения;

$f_{\alpha_i}(x_i)$ – плотность распределения i -ой составляющей погрешностей, описываемой гармоническим законом распределения (арксинуса);

* – символ, означающий интегральную свертку двух функций (см. (4));

N – число гармоник, выделяемых из общего случайного процесса.

Для выполнения расчетов по формуле (5) необходимо знать дисперсию базовой составляющей случайного процесса, от которой зависит плотность распределения.

Так как мы рассматриваем сумму независимых случайных величин, общая дисперсия погрешностей равна сумме дисперсий составляющих. Дисперсия гармонических составляющих D_{ai} , вычисляется по следующей формуле [10]:

$$D_{ai} = 0,5 \cdot H_{ai}^2 \quad (6)$$

Тогда дисперсия базовой составляющей, описываемой нормальным законом, может быть рассчитана по формуле

$$D_{\eta} = D_{\xi} - 0,5 \cdot \sum_1^N H_{ai}^2, \quad (7)$$

где D_{ξ} – суммарная дисперсия измерений, рассчитываемая по ряду измерений.

Число гармоник, выделяемых из общего процесса, предлагается ограничить по амплитуде так, чтобы минимальная амплитуда выделяемых гармоник превышала $0,1 \cdot H_{\max}$, где H_{\max} – максимальная из обнаруженных гармоник.

Выше отмечалось, что реальное распределение отклонений в измерениях широты обладает асимметрией. В то же время все рассмотренные выше законы распределения (нормальный, Лапласа, арксинуса) – симметричны, из чего следует, что симметричной будет и их композиция. Для разрешения этого противоречия допустим, что не все компоненты, входящие в состав формулы (3) имеют математическое ожидание, равное 0. Так как все составляющие случайного процесса, формально выделенные при помощи спектрального анализа, независимы в вероятностном смысле, для соблюдения условий разложения в ряд Фурье достаточно, чтобы сумма математических ожиданий всех гармоник была равна 0, или

$$\sum_1^N MO(\alpha_i) = 0.$$

Строгое решение вопроса о математических ожиданиях гармонических составляющих связано с решением задачи об оптимизации системы, включающей в себя $N \times N = N^2$ состояний (N – число гармоник) по критерию наименьших квадратов, и вряд ли может быть предложено для оперативной оценки обстановки на локальном участке водного пути. Поэтому для уменьшения числа переменных при решении задачи о наилучшем приближении расчетного теоретического закона распределения погрешностей были сделаны следующие допущения о математических ожиданиях гармонических составляющих погрешности:

- из всех гармоник, определенных в результате спектрального анализа, можно выделить не менее одной группы гармоник, периоды которых кратны минимальному периоду в группе;
- группа кратных гармоник описывает часть погрешности, порождаемую одним и тем же, не известным нам фактором (или группой факторов);
- все гармоники группы могут смещаться от общего математического ожидания на одну и ту же величину, не большую чем амплитуда наименьшей гармоники в группе ($MO_{гр} = k \cdot H_{\min}$, $-1 < k < 1$);

- наибольшее воздействие на искомый закон распределения оказывает группа гармоник (далее – основная группа), имеющая наибольшую суммарную дисперсию, или, что одно и то же, – сумму амплитуд;
- остальные группы гармоник или отдельные гармоники компенсируют смещение основной группы;
- смещение гармоник, компенсирующих смещение основной группы, пропорционально минимальной амплитуде в группе;
- наиболее вероятное смещение основной группы гармоник должно соответствовать минимальному значению критерия Хи-квадрат в диапазоне допустимых смещений.

При этих допущениях число переменных в оптимизационной задаче уменьшается с общего гармоник до числа выделенных групп кратных гармоник.

С учетом сказанного выше по формуле (5) был рассчитан теоретический закон распределения погрешностей для приведенного в начале статьи ряда наблюдений.

На рис. 5 показано изменение критерия Хи-квадрат для расчетного закона распределения погрешностей при изменении смещения основной группы гармоник от $-0,9 \cdot H_{\min}$ до $+0,9 \cdot H_{\min}$. Наиболее вероятный коэффициент смещения в рассматриваемом случае равен 0,3.

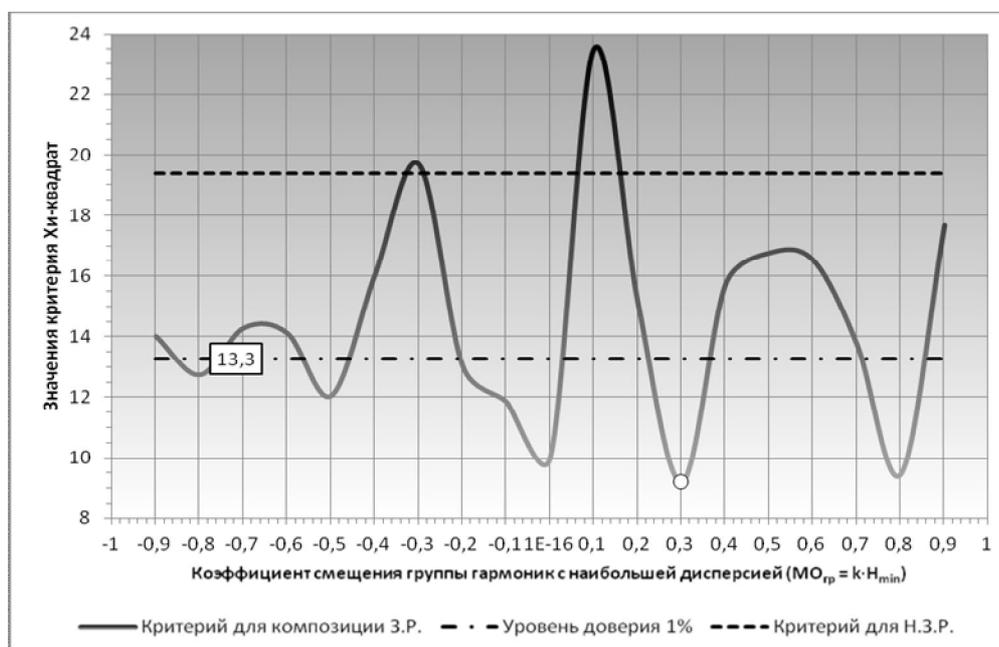


Рис. 5. Изменение критерия Хи-квадрат при поиске оптимальных смещений гармонических составляющих погрешностей. З. Р. – законы распределения; Н. З. Р. – нормальный закон распределения

На рис. 6 показаны повторяемости наблюдаемых отклонений широты – теоретическая повторяемость по нормальному закону распределения и теоретическая повторяемость по композиции законов распределения.

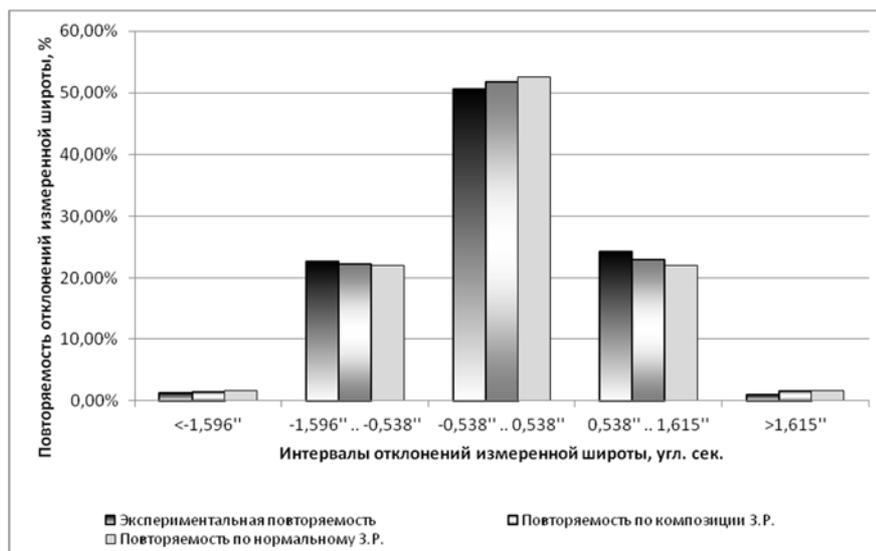


Рис. 6. Экспериментальные и теоретические повторяемости отклонений измерений широты. З. р. – закон (законы) распределения

Рассчитанные критерии согласия Хи-квадрат составили для нормального закона распределения – 19,38, минимальный для композиции законов – 9,21. Вероятности доверия для трех степеней свободы равны $P_{\text{дов}} = 0,02\%$ для нормального закона распределения и $P_{\text{дов}} = 2,65\%$ для композиции законов соответственно. Т. е. рассчитанная композиция законов распределения погрешностей значительно лучше описывает распределение погрешностей в реальных измерениях. Такой результат получен потому, что нестационарная часть составляющих общей погрешности определена по фактическому ряду измерений в результате анализа его Фурье преобразования, наилучшим способом аппроксимирующего любую случайную функцию, имеющую ограниченную дисперсию [6, 8].

В приведенном выше примере в качестве совмещаемого с композицией гармонических законов использован нормальный закон распределения. Однако известны и другие, не менее популярные при решении задачи о предельной погрешности, законы: Лапласа [1], обобщенные законы Гаусса с переменной величиной СКП или величиной степени отличной от квадрата, Грамма – Шарлье, Эджворта [11] и т. д.

Хотя приведенные выше сведения убедительно показывают эффективность представления реального закона распределения в виде композиции группы гармонических законов с нормальным законом распределения, возможно, более достоверные оценки могут быть получены при принятии в качестве базового закона распределения одного из перечисленных выше. В противном случае практические алгоритмы расчета реального закона распределения должны выбирать по критерию наибольшего правдоподобия наилучшую композицию гармонических законов и одного из возможных базовых законов распределения.

Выводы:

1. Анализ измерений приемников СНС показывает, что применение гипотез распределения погрешностей измерений по нормальному закону или любому

другому стандартизированному в настоящее время закону при оценке погрешностей этого вида средств навигации приводит к получению оценок, не соответствующих действительности. Получаемые такими способами оценки погрешностей измерений могут быть занижены в 1,4 раза и более.

2. Разложение в ряд Фурье последовательности измерений позволяет разделить погрешности измерений приемников СНС на две независимые в вероятностном смысле части. Первая из них – стационарный случайный процесс, описываемый нормальным законом распределения. Вторая часть, представляющая нестационарную составляющую погрешностей измерений, – ограниченное число так же независимых случайных процессов, описываемых гармоническими законами распределения (законом арксинуса).

3. Разделение погрешностей на независимые в вероятностном смысле стационарную и нестационарную части позволяет по ряду наблюдений на неподвижном основании рассчитать действительное распределение погрешностей измерений приемника СНС для заданного района в конкретный временной промежуток как композицию стационарной и переменной составляющих.

4. Предлагаемая процедура анализа погрешностей измерений приемников СНС может быть положена в основу специализированного программного обеспечения, работающего в составе систем мониторинга навигационной обстановки на судоходных путях.

5. Дальнейшее исследование вопроса о реальном законе распределения целесообразно проводить в направлении отбора группы базовых законов распределения погрешностей, применяемых для композиции с гармоническими законами, параметры которых могут быть получены в результате спектрального анализа ряда измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михальский В. А., Катенин В. А. Метрология в кораблевождении и решении задач навигации. – СПб.: «Элмор», 2009. – 288 с.
2. Глаголев В. А. Спутниковое навигационно-геодезическое обеспечение геолого-геофизических исследований. – СПб.: ВИРГ. – Рудгеофизика, 2000. – 116 с.
3. Глаголев В. А. Спутниковое навигационно-геодезическое обеспечение геофизических измерений в движении. Методическое пособие. – СПб.: ВИРГ-Рудгеофизика. – 2003. – 103 с.
4. МАМС Руководство по навигационному оборудованию. – Издание Международной ассоциации морских средств навигационного оборудования и маячных служб (МАМС). Интернет: [//www.iala-aism.org](http://www.iala-aism.org) ©МАМС 2006
5. Статистические методы обработки эмпирических данных. Рекомендации. – М.: Государственный комитет стандартов СССР. Всесоюзный научно-исследовательский институт по нормализации в машиностроении (ВНИИНМАШ). – Издательство стандартов, 1978. – 230 с.
6. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1991. – 384 с.
7. Пугачев В. С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. – М.: Гостехиздат, 1957. – 659 с.
8. Хемминг Р. В. Цифровые фильтры. Пер. с англ. / Под ред. А. М. Трахтмана. – М.: Советское радио, 1980. – 224.
9. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1977. – 831 с.
10. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1988. – 480 с.
11. Сорокин А. И. Труды по гидрографии и смежным наукам. – СПб.: ЦКП ВМФ, 2008. – 408.

**ON EVALUATION OF ERROR DISTRIBUTION FOR THE CO-ORDINATES
MEASURED BY THE SNS RECEIVER**

A. M. Chernenko
(«GNINGI» OJSC)

The procedure of evaluating the error distribution in finding the co-ordinates by the SNS receiver is considered. It is shown that the errors can be represented by the independent and random, in the probabilistic sense, process described by the normal distribution law, and by the composition of harmonic distribution laws.

УДК 656.6.08

**К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ СУДОХОДСТВА
НА АВАРИЙНОСТЬ**

**П. Г. БРОДСКИЙ,
Ю. В. РУМЯНЦЕВ**
(ОАО «ГНИНГИ»),
С. Н. НЕКРАСОВ

(Санкт-Петербургский университет водных коммуникаций)

Рассмотрен общий подход к оценке навигационных рисков. Приведена модель предаварийной ситуации, связанной с подходом к точке пересечения путей движения двух судов. Оценен граф состояния предаварийной ситуации, приведены результаты расчетов ожидаемых предаварийных ситуаций для различных значений интенсивности судоходства (судопотока).

Представленная модель дает возможность вероятностной оценки рисков навигационных инцидентов в зависимости от интенсивности судоходства.

Интенсификация морской экономической деятельности характеризуется в последние годы значительно возросшей интенсивностью судопотока на подходах к крупным портам [1]. Это неизбежно вызывает возрастание навигационных рисков, увеличения числа столкновений судов, навигационных аварий и происшествий. Поэтому обеспечение безопасности мореплавания – один из наиболее актуальных вопросов морской деятельности.

В РФ оценка риска как на этапе проектирования, так и на этапе эксплуатации опасных производственных объектов (ОПО), проводится главным образом в рамках процедуры декларирования промышленной безопасности ОПО. Оценка риска рассматривается как структурированный процесс, целью которого является определение вероятности реализации и размеров неблагоприятных последствий исследуемого действия, объекта или системы в случае реализации опасных факторов. В качестве неблагоприятных последствий рассматривается вред, наносимый людям, имуществу или окружающей среде.

Оценка риска может обеспечить качественную и/или количественную информацию для использования её в системе управления безопасностью.

Качественный анализ риска обычно используется на стадии проектирования производственного процесса или в том случае, когда данных недостаточно для проведения количественного анализа. Разработка сценариев для качественной оценки риска может производиться дедуктивно (например, разработка «логического дерева рисков») и/или индуктивно (например, анализ статистических данных и расчетов).

Риск в общепринятом понимании определяется как возникновение инцидента, происходящего в течение некоторого периода времени или при специфических обстоятельствах. Термин «риск» понятие многогранное и включает в себя не только вероятность возникновения самого инцидента, но и последствия и степень ущерба в результате какого-либо инцидента (последствия столкновений судов).

Следовательно, риск может быть определен следующим выражением:

$$R = P_i \times C_i \times P_s ,$$

где R – риск;

P_i – вероятность возникновения инцидента;

C_i – последствия инцидента;

P_s – вероятность отказа системы превентивных мер.

Очевидно, что в представленном виде предполагается наличие систем и комплексов мер, направленных на снижение вероятности реализации опасности (параметр P_s). Функции системы, обеспечивающей снижение уровня риска, выполняет система обеспечения безопасности, функционирующая на всех этапах жизненного цикла ОПО (судна).

В случае отсутствия комплексной системы безопасности можно принять вероятность реализации опасности, равной 1. В этом случае выражение для риска принимает классический вид:

$$R = P_i \times C_i .$$

На практике величину вероятности возникновения инцидента принимают как среднестатистическую по отрасли для данного типа ОПО, что не отражает специфику каждого отдельного ОПО. К тому же из рассмотрения выпадает целый класс причин возникновения аварий, связанных с «человеческим фактором». Соответственно, становится затруднительным рекомендовать индивидуальные меры безопасности, направленные на снижение вероятности возникновения аварии для конкретного ОПО, хотя, как показывает практика, меры по снижению вероятности аварии на 2–3 порядка эффективнее мер, направленных на снижение возможных ущербов по критерию «затраты-результаты».

Последствия инцидента могут иметь как стоимостное выражение, так и быть выражены в неформализуемой форме (например, воздействие на окружающую среду, травматизм или гибель персонала и пр.).

Очевидно, что расчет уровней рисков зависит от характера груза, размерений судов и ряда других факторов и рассчитывается применительно к каждому типу судов и конкретных условий судоходства в районе.

Согласно резолюции А.572(14) Международной морской организации (ИМО) [2] «целью установления путей движения судов является повышение безопасности плавания в районах, где сходятся потоки движения судов, и в районах с большой

интенсивностью движения судов или в районах, где свобода движения судов затруднена ограниченным морским пространством, наличием препятствий, ограниченными глубинами или неблагоприятными метеорологическими условиями».

Сама по себе ситуация маневрирования на пересекающихся курсах не может повлечь навигационную аварию, так как права и обязанности судов регламентированы Международными правилами предупреждения столкновений судов (МППСС-72) [3], если только судам хватает времени и места для выполнения безопасного маневра.

Важное значение при разработке мер обеспечения безопасности мореплавания имеет оценка влияния интенсивности судоходства на аварийность. При оценке влияния последней рассмотрим конкретные типы навигационных рисков, а именно риски столкновения судов. При этом необходимо оценить, во-первых, вероятность реализации опасности, во-вторых, возможные последствия.

Анализ влияния интенсивности судоходства на аварийность предлагается выполнить с использованием представленной ниже модели.

Ситуацию, при которой к точке пересечения путей подходят два судна, и обоим до точки пересечения курса останется пройти $D_a=1000$ м, можно считать предаварийной. Оценим вероятность такой ситуации, воспользовавшись теорией случайных процессов и предположив, что моменты подхода судов к точке пересечения курсов можно описать законом Пуассона. На рис. 1 приведена схема участка пути движения судов. Так как для нас неважно, как будут маневрировать суда, а необходимо лишь оценить частоту появления предаварийной ситуации, примем, что суда движутся по нему в одну сторону.

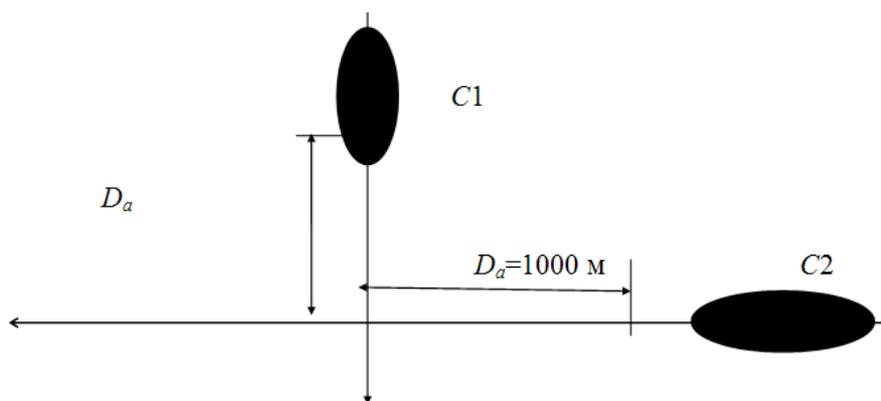


Рис. 1. Предаварийная ситуация, связанная с подходом к точке пересечения путей движения двух судов (C1 и C2). Объяснения в тексте

Ситуацию в месте пересечения путей можно описать марковской системой с непрерывным временем, имеющей следующие состояния:

S_0 – ни одно из судов не пересекает опасную зону;

S_1 – судно, следующее по установленному пути движения, пересекает опасную зону;

S_2 – судно, входящее в установленный путь движения, пересекает опасную зону;

S_3 – два судна пересекают опасную зону.

Граф состояний этой системы приведен на рис. 2.

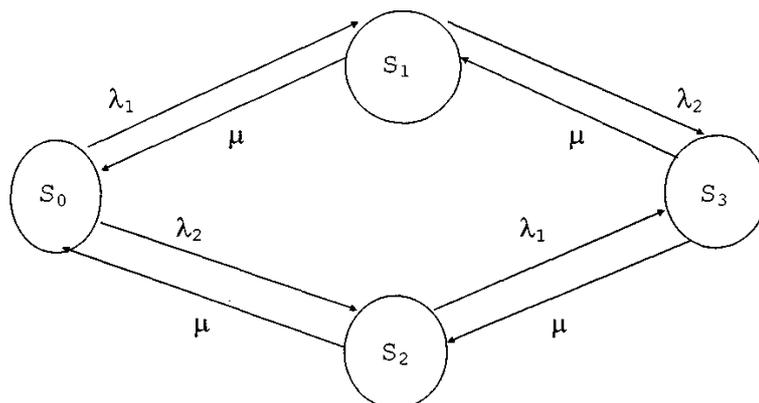


Рис. 2. Граф состояний предаварийной ситуации. Объяснения в тексте

Здесь μ – интенсивность потока событий состоящих в прохождении судами опасного участка, $\mu = V_{сп}/1000 = 0,3704 \text{ мин.}^{-1}$;

λ_1 – интенсивность потока событий состоящих в приближении к точке пересечения судов C1, следующих по установленному пути движения.

$\lambda_1 = (N_{суд} - N_{яс})/T$, или количеству судов, прошедших мимо приемного буя без остановки на якорных стоянках, отнесенному к времени рассматриваемого периода;

λ_2 – интенсивность потока событий, состоящих в приближении к месту пересечения судов C2, входящих в путь движения $\lambda_2 = N_{яс}/T$ или количество стоявших на якорных стоянках и затем входивших на установленный путь судов, отнесенное к времени рассматриваемого периода.

Из графа состояний системы видно, что для него можно вычислить финитные вероятности, решив систему уравнений:

$$\begin{aligned}
 & -(\lambda_1 + \lambda_2) \times P_0 + \mu \times P_1 + \mu \times P_2 = 0; \\
 & \lambda_1 \times P_0 - (\lambda_2 + \mu) \times P_1 + \mu \times P_3 = 0; \\
 & \lambda_2 \times P_0 - (\lambda_1 + \mu) \times P_2 + \mu \times P_3 = 0; \\
 & P_0 + P_1 + P_2 + P_3 = 1.
 \end{aligned}$$

Здесь вероятности P_0, P_1, P_2, P_3 соответствуют состояниям системы S_0, S_1, S_2, S_3 .

Получаемые в результате решения системы уравнений вероятности имеют смысл относительного времени, т.е. показывают, какую долю из всего рассматриваемого периода система будет находиться в каждом из состояний. Тогда математическое ожидание числа предаварийных ситуаций $N_{ав}$ можно определить, умножив вероятность P_3 на время рассматриваемого периода и поделив на время прохождения судном опасного участка $t_{оп}$:

$$N_{ав} = P_3 \times T / t_{оп} = P_3 \times T \times \mu.$$

На рис. 3 приведено математическое ожидание предаварийных ситуаций, рассчитанное по вышеприведенным формулам для реальной судоходной обстановки (для определенности интенсивность судопотока через порт принята равной 2500–3000 судов в год, включая транзитные суда).

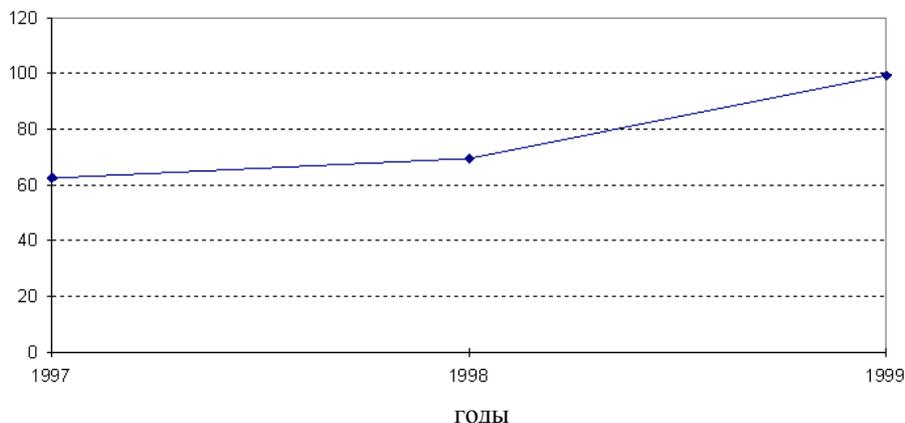


Рис. 3. Математическое ожидание числа предаварийных ситуаций

Для того чтобы можно было сопоставить изменения плотности судопотока (с. п.) и вероятность возникновения предаварийной ситуации, на диаграмму (рис. 4) вынесены относительные приросты числа судов, прошедших через приемный буй за летнюю навигацию, или общий судопоток (с. п.), и относительный прирост вероятности возникновения предаварийной ситуации (п. а. с.).

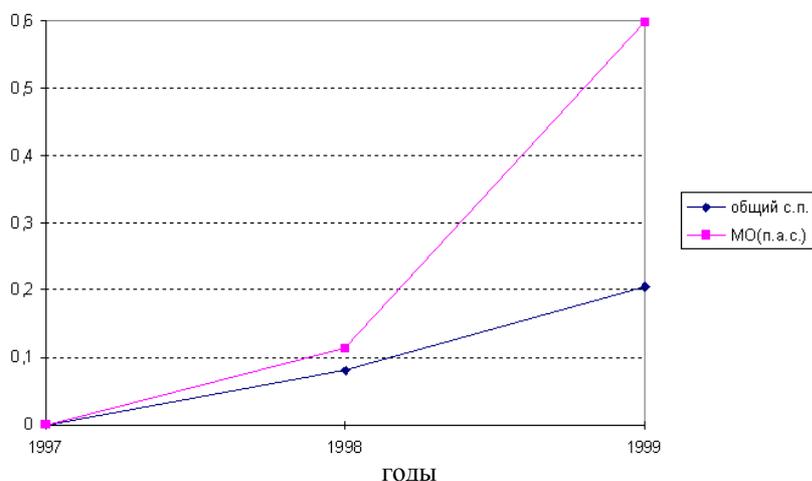


Рис. 4. Вероятность возникновения предаварийных ситуаций. Объяснения в тексте

Сопоставив эти диаграммы, легко заметить, что рост вероятности предаварийных ситуаций значительно изменяется после некоторого значения интенсивности судопотока. Поэтому, приняв, что коэффициент корреляции между общим судопотоком и числом судов, стоящих на якорной стоянке, близок к 0,9, были

проведены расчеты ожидаемых предаварийных ситуаций для различных значений судопотока. Результаты расчета приведены на рис. 5.

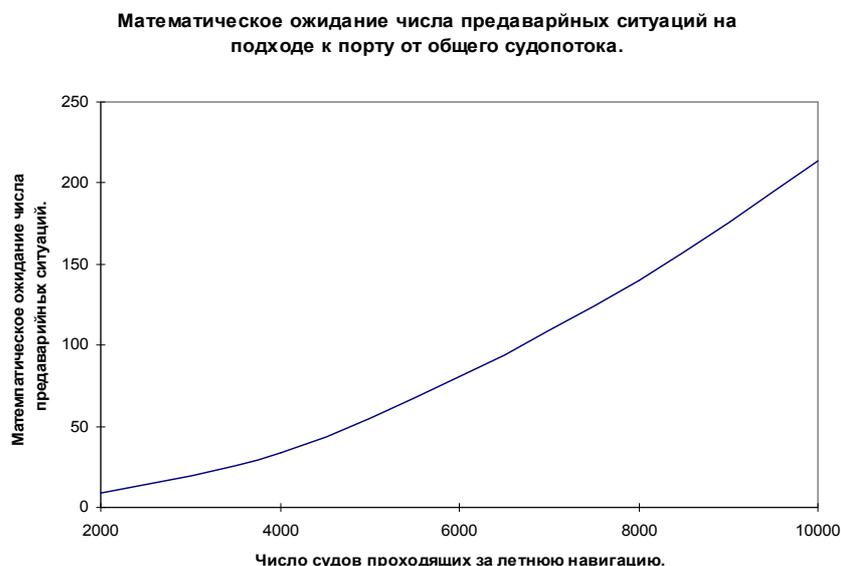


Рис. 5. Влияние интенсивности судоходства на риск навигационных инцидентов

Представленная модель и выполненные расчеты дают возможность оценить влияние интенсивности судоходства на аварийность судов и получить качественную оценку зависимости вероятностной составляющей риска инцидентов с судами от возрастания интенсивности судоходства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Протокол заседания Научно-экспертного совета Морской Коллегии при Правительстве Российской Федерации от 20 июня 2008 г. № (2) 11.
2. Общие положения об установлении движения судов (Резолюция ИМО А.572(14) от 20 ноября 1985 г.). ГУНиО, № 9036, МО СССР. – 1987. – 32 с.
3. Международные правила предупреждения столкновений судов в море, 1972 (МППСС-72) – О.: Феникс, 2007. – 93 с.

ON EVALUATION OF THE INFLUENCE OF MARITIME TRAFFIC INTENSITY ON ACCIDENT RATE

P. G. Brodsky,
Y. V. Rumyantsev
 («GNINGI» OJSC),
S. N. Nekrasov
 (University of Water Communications)

The general approach to evaluation of navigation risks is considered. The model of pre-accident situation connected with approach to the crossing point of routes for two vessels is presented. The graph of pre-accident situation state is evaluated. The calculation results of the expected pre-accident situations for different values of traffic intensity are given. The presented model enables to make the probabilistic estimate of the navigation incident risks depending on the traffic intensity.

**КОМПАКТНАЯ СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СРЕДСТВ
НАВИГАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Е. П. ГЛАДСКИХ,
В. Н. КОСТИН,
В. А. МАКСИМОВ**
(ОАО «ГНИНГИ»)

В статье рассматривается вариант использования солнечной энергии применительно к береговым и плавучим средствам навигационного оборудования.

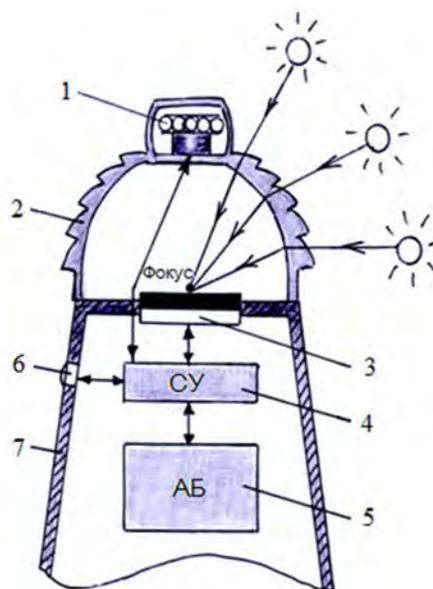
Несмотря на низкий КПД, который в настоящее время не превышает 15–20%, солнечные энергетические установки (СЭУ) в области средств навигационного оборудования (СНО) уверенно лидируют благодаря своей надежности, простоте конструкции и эксплуатации. СЭУ получили наибольшее распространение в мире не только на береговых объектах СНО, но и на плавучих предостерегательных знаках (ППЗ). Однако все известные на сегодня ППЗ, использующие энергию Солнца, имеют в своем составе достаточно габаритные солнечные панели, размещенные на внешних элементах корпуса буя. Для морей России, которые покрываются льдом в зимний период, это вызывает проблемы, связанные с повреждениями солнечных модулей в ледовых условиях.

С целью предотвращения повреждений, а также противостояния вандализму, предлагается вариант миниатюрной компактной СЭУ с термоэлектрическим или фотоэлектрическим преобразователем солнечной энергии для использования на всесезонных ППЗ, а также на автоматических береговых светящихся знаках. Данная установка относится к автономным устройствам энергоснабжения СНО как источник питания накопителей энергии (аккумуляторов) [1].

В типовой базовый состав существующих СЭУ, использующих тепловую энергию Солнца, входят: термоэлектрический генератор (ТЭГ), система концентрации солнечной радиации (гелиоконцентратор) и система слежения за видимым движением Солнца.

Предлагаемое устройство значительно упрощает данную схему, поскольку исключает систему слежения, а функции гелиоконцентратора выполняет линза Френеля с катодиоптрическими элементами. Используемые в СНО линзы Френеля предназначены для преломления светового потока источника света, помещенного в фокусе диоптрической системы, и направления его вдоль оптической оси, то есть создания направленного светового потока. Линза Френеля обладает способностью и обратного действия – направленное солнечное излучение фокусируется за линзой в каустике [2]. В самом узком месте каустики (шейке каустики) находится фокус оптической системы, в котором и должны помещаться термоэлементы ТЭГ или панель фотоэлектрического преобразователя (ФЭП). При использовании линзы Френеля отпадает необходимость слежения за Солнцем по горизонту, а для учета изменяющейся в течение дня высоты Солнца профиль линзы Френеля создается таким образом, чтобы в любой момент времени определенная часть ступеней линзы

фокусировала солнечные лучи в шейку каустики (см. рисунок), в которой помещен преобразователь солнечной энергии.



Компактная СЭУ для ППЗ. Объяснения в тексте

Работа установки осуществляется следующим образом. С восходом Солнца световой датчик 6 подает электрический сигнал в систему управления 4, которая выключает светодиодный излучатель 1. С этого момента начинается процесс накопления энергии в аккумуляторе 5. Направленное солнечное излучение (на рисунке схематично показано положение Солнца в различное время дня) преломляется и фокусируется определенными ступенями линзы Френеля 2 в шейку каустики (фокус), в котором находится центр блока ТЭГ (или ФЭП) 3. Преобразованная энергия подается в систему управления, в состав которой входит контроллер заряда накопителя энергии. Контроллер регулирует процесс заряда накопителя энергии и обеспечивает его защиту от перезаряда. С заходом Солнца световой датчик вновь подает сигнал в систему управления, в составе которой также предусмотрено микропроцессорное реле-проблескатор, осуществляющее включение светодиодного излучателя и обеспечивающее его работу с заданными характеристиками. Электропитание светодиодного излучателя происходит от накопителя энергии (аккумулятора).

Светодиодный излучатель может быть расположен как сверху концентрирующей линзы (см. рисунок), так и ниже нее. Минимизация возможных повреждений линзы и источника света при использовании данной СЭУ на ледовых буях осуществляется традиционным способом с помощью защитной митры (на рисунке не показана).

Чтобы подтвердить реальность построения и эффективности работы предложенной миниатюрной СЭУ проведем простейшие оценочные расчеты. Плотность потока солнечной радиации (энергии) на границе земной атмосферы характеризуется значением $1,4 \text{ кВт/м}^2$ («солнечная постоянная»). Около 30%

светового потока рассеивается в атмосфере или отражается обратно в космос, и на земной поверхности при высоте Солнца $h = 90^\circ$ плотность солнечной энергии составляет около 1 кВт/м^2 . Такое случается на экваторе в дни весеннего и осеннего равноденствия [3]. В других точках Земли величина солнечной энергии S' , приходящейся на 1 м^2 горизонтальной поверхности, зависит от высоты Солнца над горизонтом и может быть определена выражением:

$$S' = S \times \sin h, \quad (1)$$

где $S = 1 \text{ кВт/м}^2$ (плотность солнечной энергии на экваторе при $h = 90^\circ$).
В свою очередь, полуденная высота Солнца вычисляется по формуле:

$$h = (90^\circ - \varphi) \pm \delta, \quad (2)$$

где φ – широта места;
 δ – склонение Солнца (максимальное $+ 23,5^\circ$ летом и $- 23,5^\circ$ зимой).

Широтный диапазон практического применения СНО в России находится примерно в пределах 42° с. ш. (Сочи, Владивосток) – 78° с. ш. (Новая Земля, Таймыр).

Результаты оценочного расчета количества солнечной энергии для 1 м^2 горизонтальной поверхности Земли как функции широты места, полуденной высоты Солнца и его максимального склонения (22 июня и 22 декабря) приведены в таблице.

Величина солнечной энергии, которую можно преобразовать в электрическую с одного квадратного метра горизонтальной поверхности в разных широтах

Широта	Полуденная высота Солнца, град		Кол-во солнечной энергии на 1 м^2 горизонтальной поверхности, кВт	
	22 июня	22 декабря	22 июня	22 декабря
40° с. ш.	73,5	26,5	0,96	0,45
50° с. ш.	63,5	16,5	0,89	0,28
60° с. ш.	53,5	6,5	0,80	0,11
70° с. ш.	43,5	-3,5	0,69	0
80° с. ш.	33,5	-13,5	0,55	0

Предупреждение. Полученные результаты непригодны для практического использования при проектировании конкретных объектов СНО, поскольку не учитывают многих местных составляющих радиационного баланса (отраженного и собственного излучения Земли, встречного излучения атмосферы и пр.), фактической оптической атмосферной характеристики района расположения, его климатических и метеорологических особенностей.

Из таблицы сразу видно, что СЭУ работоспособна во всем широтном диапазоне в летний период и примерно до 60° с. ш. – в зимний. Заметим, что зимой в высоких арктических широтах навигации нет, а летом показатели прихода солнечной радиации соизмеримы с показателями средней полосы и юга за счет длительного светового дня.

Таблица универсальна. Например, высота Солнца $6,5^\circ$ соответствует его кульминации 22 декабря на широте 60° , но может рассматриваться и как высота

Солнца ранним утром 22 июня на широте 40° . С каждого квадратного метра уже может преобразовываться в электрический ток 110 Вт солнечной энергии.

Следующий, и, пожалуй, самый главный момент – использование линзы Френеля в качестве гелиоконцентратора. Из курса физики известно, что линза или параболическое зеркало, фокусирующие солнечные лучи, повышает плотность энергии солнечной радиации в 102–104 раза. Если же нам не нужно увеличивать энергию, то мы можем в 100 раз уменьшить площадь поверхности, с которой собираемся преобразовывать солнечную энергию, т. е. не с 1 м^2 , а с 1 дм^2 (солнечная панелька размером $10 \text{ см} \times 10 \text{ см}$).

Использование термоэлектрического преобразователя в СЭУ подобной конструкции – отдельный вопрос. ТЭГ имеют совсем уж низкий КПД (5–10%), не поддаются предварительным расчетам, состав материала термопары и ее эксплуатационные характеристики определяются опытным путем [4].

В пользу применения ФЭП вместо ТЭГ говорит и тот факт, что в этом случае нет необходимости добиваться точной фокусировки солнечного излучения в каустику (фокус). В зависимости от высоты Солнца только часть ступеней линзы концентрирует излучение в шейку каустики. Остальные ступени могут фокусировать его в любое место подлинзового пространства. При условии полного заполнения солнечным модулем горизонтальной поверхности под линзой вся солнечная энергия будет преобразована. Кроме того, буй редко стоит неподвижно. При волнении моря он качается, но и в этом случае сфокусированные солнечные лучи не пройдут мимо солнечной панели.

Существенно, что солнечная панель под линзой может быть круглой формы (максимальное заполнение пространства). Классический солнечный элемент изготавливается из тонкого слоя, отрезаемого от цельного большого кристалла кремния, производимого в виде стержня именно круглого сечения. Большой плюс данной конструкции и в том, что солнечная панель в этом случае защищена линзой от непосредственного контакта с окружающей средой (пыли, снега, града, обледенения и пр.). Срок службы солнечной батареи значительно увеличивается.

В перспективе тенденция перехода к использованию экологически чистых и при этом неисчерпаемых возобновляемых источников энергии (ВИЭ) не вызывает сомнения. Ранее в настоящем журнале [4] была описана волновая энергетическая установка для ППЗ, и отмечено, что до сих пор единственным источником энергоснабжения буев остаются первичные химические источники тока (ХИТ), требующие периодической замены (один или более раз в год). На каждом буйе их несколько штук. В масштабах страны десятки тысяч отработанных на ППЗ экологически вредных одноразовых ХИТ (гальванических батарей) ежегодно утилизируются, а чаще просто выбрасываются. В сравнении с этим трудно даже представить экономический эффект от использования системы: один буй – один аккумулятор с многолетним сроком эксплуатации и зарядным устройством в виде предложенной компактной СЭУ.

В новейших солнечных элементах повышение КПД достигается путем совершенствования их строения, апробируются различные материалы, которые могли бы заменить кремний или сделать его работу более эффективной. Последнее достижение – солнечный элемент, состоящий из четырех полупроводниковых пленок, каждая из которых последовательно поглощает и преобразует в электрический ток свет определенной длины волны. Благодаря такой конструкции

элемент поглощает чрезвычайно широкий участок спектра. КПД солнечной батареи может быть увеличен в 1,5–2 раза [5].

Таким образом, предложенная компактная солнечная энергетическая установка для всесезонных ППЗ и береговых автоматических светящихся знаков как с технической, так и с экономической точки зрения имеет право на жизнь. Предлагаемый способ построения обладает многими полезными свойствами:

– компактностью (установка позволяет отказаться от традиционных крупногабаритных солнечных панелей);

– возможностью использования на ледовых буях (использование наружных солнечных панелей невозможно из-за повреждений, а защита компактной концентрирующей линзы может быть осуществлена традиционным способом с помощью митры);

– экологичностью (отказ от использования одноразовых гальванических батарей в качестве источников тока);

– высокой экономической эффективностью (один буй – один аккумулятор с многолетним сроком эксплуатации).

Внедрение в состав СНО предложенной системы энергообеспечения приведет к значительному сокращению ряда химических источников тока, используемых в СНО, и многократному сокращению финансовых затрат, связанных с их закупкой, обслуживанием и утилизацией. Для реализации технического решения могут быть использованы состоящие на снабжении гидрографических служб стандартные ППЗ. Единственным условием обеспечения надежной работы предлагаемой СЭУ является оптимальное сочетание радиационного баланса района расположения объекта СНО, энергопотребления источника света, мощности солнечной батареи и емкости накопителя энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент № 2382935 РФ. Солнечная энергетическая установка с термоэлектрическим генератором для средств навигационного оборудования. Авторы: Е. П. Гладских, В. А. Катенин, В. А. Максимов. Приоритет изобретения 18.12.2008 г. – СПб.: ГНИНГИ, 2010.
2. Калинин И. С.. Навигационное оборудование морских театров – Л.: ВВМУ им. М. В. Фрунзе, 1980. – 428 с.
3. Минин В., Дмитриев Г.. Перспективы освоения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии на Кольском полуострове – Мурманск: Беллона, 2007. – 147 с.
4. Богданович М. Л., Гладских Е. П., Глухов Ю. А., Максимов В. А. Плавучий предостерегательный знак с инерционно-поршневой волновой энергетической установкой // Навигация и гидрография. – 2009. – № 28. – С. 30–35.
5. Снегирев А. Энергетика будущего. – СПб.: Беллона, 2008. – 25 с.

THE COMPACT SOLAR POWER PLANT FOR AIDS TO NAVIGATION

**E. G. Gladskikh,
V. N. Kostin,
V. A. Maksimov.**
(«GNINGI» OJSC)

The variant of using the solar energy as applied to coastal and floating aids to navigation is considered

МЕТОДЫ АНАЛИТИЧЕСКОГО ОЦЕНИВАНИЯ ТОЧНОСТИ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОЙ НАВИГАЦИИ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ

А. Д. ГОЛЯКОВ
(ВКА им. А. Ф. Можайского)

Рассмотрены основные методы аналитического оценивания показателей, характеризующих точность функционирования системы автономной навигации искусственных спутников. Приведены примеры оценивания точности.

1. Сущность и классификация методов оценивания точности

Важнейшим функциональным свойством системы автономной навигации искусственных спутников (ИС) является её точность, которая характеризует близость полученных системой параметров движения центра масс ИС к их истинным значениям [1].

Точность систем автономной навигации ИС оценивается аналитическими и численными методами. Сущность аналитических методов заключается в том, чтобы найти аналитические выражения, с помощью которых возможно количественное оценивание показателей точности навигации.

Благодаря аналитическим методам удаётся получить такие оценки, которые характеризуют потенциальную точность решения задачи автономной навигации ИС. Под потенциальной точностью навигации понимается предельно достижимая в смысле выбранного критерия точность оценки параметров движения центра масс ИС [2].

Исследования потенциальной точности позволяют выявить общие закономерности навигационного процесса и установить предельные возможности подвергаемой анализу системы навигации. Полученные при этом количественные оценки показателей точности имеют оптимистический характер. Они могут служить своеобразным эталоном или первым приближением, с которым следует сравнивать результаты решения навигационной задачи, полученные численным методом.

В зависимости от принятой модели измерений первичных навигационных параметров методы аналитического оценивания точности навигации подразделяются на две группы – детерминированные и стохастические методы.

В основе детерминированных методов лежит предположение о том, что погрешности измерений первичных навигационных параметров являются известными величинами, причём значения этих погрешностей либо не зависят от времени и остаются постоянными в течение навигационного сеанса, либо изменяются по известному закону.

Стохастические методы основаны на утверждении о случайном характере погрешностей навигационных измерений. Однако при этом полагается, что закон распределения этих погрешностей, а также параметры этого закона известны.

В зависимости от того, к какому моменту времени относится определяемый вектор параметров движения центра масс ИС (в текущий момент t или начальный

момент t_0), методы аналитического оценивания точности навигации подразделяются на методы текущего и начального оценивания.

При текущем оценивании линеаризованное уравнение измерений первичных навигационных параметров относительно опорной орбиты ИС имеет вид:

$$\Delta \tilde{F}(t) = A(t) \cdot \Delta Q(t), \quad (1)$$

где $\Delta \tilde{F}(t)$ – вектор невязок измерений: $\Delta \tilde{F}(t) = \tilde{F}(t) - F_o(t)$;

$\tilde{F}(t)$ – вектор результатов измерений первичных навигационных параметров;

$F_o(t)$ – вектор опорных измерений первичных навигационных параметров;

$A(t)$ – градиентная матрица, т. е. матрица частных производных от измеряемых первичных навигационных параметров по параметрам движения центра масс ИС;

$\Delta Q(t)$ – вектор отклонений истинных параметров движения ИС относительно опорных значений в момент времени t : $\Delta Q(t) = Q(t) - Q_o(t)$;

$Q(t)$ – вектор истинных параметров движения ИС;

$Q_o(t)$ – вектор опорных параметров движения ИС.

Предположим, что погрешности измерений обладают свойством аддитивности, т. е.

$$\tilde{F}(t) = F_u(t) + \delta(t),$$

где $F_u(t)$ – вектор истинных значений первичных навигационных параметров в момент времени t ;

$\delta(t)$ – вектор погрешностей измерений в момент времени t .

Тогда из уравнения (1) получаем

$$\Delta \tilde{F}(t) = \Delta F_u(t) + \delta(t) = A(t) \cdot \Delta Q_u(t) + A(t) \cdot \Delta q(t),$$

где $\Delta Q_u(t)$ – вектор отклонений параметров движения ИС, находящегося на истинной (фактической) орбите, относительно его опорных параметров движения;

$\Delta q(t)$ – вектор погрешности решения навигационной задачи.

Следовательно, вектор погрешностей измерений

$$\delta(t) = A(t) \cdot \Delta q(t). \quad (2)$$

Очевидно, что решение уравнения (2) возможно в том случае, когда определитель градиентной матрицы $A(t)$ отличен от нуля, т. е. при выполнении условия $\det A(t) \neq 0$ справедливо равенство:

$$\Delta q(t) = [A(t)]^{-1} \delta(t), \quad (3)$$

где $[A(t)]^{-1}$ – матрица, обратная матрице $A(t)$.

Первичные навигационные параметры, измеряемые бортовыми средствами космического аппарата, являются, как правило, позиционными, т. е. зависят только от координат ИС. Поэтому уравнение (3) принимает вид:

$$\Delta r(t) = [A_r(t)]^{-1} \delta_r(t), \quad (4)$$

где $\Delta r(t)$ – вектор погрешностей определения координат ИС;

$A_r(t)$ – матрица производных размера 3×3 :

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial X} & \frac{\partial F_1}{\partial Y} & \frac{\partial F_1}{\partial Z} \\ \frac{\partial F_2}{\partial X} & \frac{\partial F_2}{\partial Y} & \frac{\partial F_2}{\partial Z} \\ \frac{\partial F_3}{\partial X} & \frac{\partial F_3}{\partial Y} & \frac{\partial F_3}{\partial Z} \end{bmatrix}_{\vec{r}=\vec{r}_0};$$

$\delta_r(t)$ – трёхмерный вектор погрешностей позиционных измерений.

2. Детерминированный метод

В случае применения детерминированного метода, как правило, полагают, что погрешности измерений являются постоянными величинами. Тогда на основании соотношения (4) получаем

$$\begin{bmatrix} \Delta X(t) \\ \Delta Y(t) \\ \Delta Z(t) \end{bmatrix} = [A_r(t)]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \Delta_3 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $\Delta X(t)$, $\Delta Y(t)$, $\Delta Z(t)$ – составляющие вектора $\Delta r(t)$;

Δ_i ($i = 1, 2, 3$) – погрешность измерений i -го первичного навигационного параметра.

Пример 1. Предположим, что ИС совершает полёт по околокруговой орбите. Параметры движения центра масс ИС в геоцентрической экваториальной системе отсчёта XYZ в некоторый момент времени t_0 на опорной орбите определяются вектором

$$Q_o(t_0) = [r_o \ 0 \ 0 \ 0 \ V_o \ 0]^T,$$

т. е. опорное движение ИС происходит по круговой экваториальной орбите со скоростью V_o , а его центр масс находится на оси X на расстоянии r_o относительно начала отсчёта.

Для определения координат ИС в момент времени t_0 бортовыми средствами космического аппарата измеряются два угла «звезда-вертикаль» (β_1, β_2) и высота полёта (H). Результаты измерений имеют соответствующие погрешности $\Delta\beta_1$, $\Delta\beta_2$ и ΔH .

Предположим, что орты навигационных звёзд в геоцентрической системе отсчёта XYZ равны $\bar{e}_1 = [0\ 0\ 1]^T$ и $\bar{e}_2 = [0\ 1\ 0]^T$, т. е. направление на первую звезду совпадает с направлением оси Z , а направление на вторую звезду – с направлением оси Y .

Тогда на основании выражения (5) получаем:

$$\begin{bmatrix} \Delta X(t_0) \\ \Delta Y(t_0) \\ \Delta Z(t_0) \end{bmatrix} = [A_r(t_0)]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta\beta_1 \\ \Delta\beta_2 \\ \Delta H \end{bmatrix},$$

где $A_r(t_0)$ – навигационная (градиентная) матрица вида:

$$A_r(t_0) = \begin{bmatrix} \frac{\partial\beta_1}{\partial X} & \frac{\partial\beta_1}{\partial Y} & \frac{\partial\beta_1}{\partial Z} \\ \frac{\partial\beta_2}{\partial X} & \frac{\partial\beta_2}{\partial Y} & \frac{\partial\beta_2}{\partial Z} \\ \frac{\partial H}{\partial X} & \frac{\partial H}{\partial Y} & \frac{\partial H}{\partial Z} \end{bmatrix};$$

$\frac{\partial\beta_i}{\partial X}, \frac{\partial\beta_i}{\partial Y}, \frac{\partial\beta_i}{\partial Z}$ – частные производные от i -го угла «звезда-вертикаль» ($i = 1, 2$)

по соответствующим координатам ИС:

$$\begin{aligned} \frac{\partial\beta_i}{\partial X} &= \frac{1}{r_o \cdot \sin\beta_i} \left(\frac{X}{r_o} \cdot \cos\beta_i - a_i^0 \right), \\ \frac{\partial\beta_i}{\partial Y} &= \frac{1}{r_o \cdot \sin\beta_i} \left(\frac{Y}{r_o} \cdot \cos\beta_i - b_i^0 \right), \\ \frac{\partial\beta_i}{\partial Z} &= \frac{1}{r_o \cdot \sin\beta_i} \left(\frac{Z}{r_o} \cdot \cos\beta_i - c_i^0 \right). \end{aligned}$$

a_i^0, b_i^0, c_i^0 – проекции единичного звездного вектора \bar{s}_i^0 на оси системы отсчёта XYZ :

$$\begin{aligned} a_i^0 &= \cos\alpha_i \cos\delta_i, \\ b_i^0 &= \sin\alpha_i \cos\delta_i, \\ c_i^0 &= \sin\delta_i, \end{aligned}$$

α_i и δ_i – прямое восхождение и склонение i -ой звезды;

$\frac{\partial H}{\partial X}, \frac{\partial H}{\partial Y}, \frac{\partial H}{\partial Z}$ – частные производные от высоты полета ИС по соответствующим координатам ИС:

$$\frac{\partial H}{\partial X} = \frac{X}{r_o}, \quad \frac{\partial H}{\partial Y} = \frac{Y}{r_o}, \quad \frac{\partial H}{\partial Z} = \frac{Z}{r_o}.$$

С учётом исходных данных находим градиентную матрицу

$$A_r(t_0) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{1}{r_o} \\ 0 & -\frac{1}{r_o} & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Обратив матрицу $A_r(t_0)$, получаем

$$[A_r(t_0)]^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & -r_o & 0 \\ -r_o & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, искомый вектор погрешностей навигации принимает вид:

$$\begin{bmatrix} \Delta X(t_0) \\ \Delta Y(t_0) \\ \Delta Z(t_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & -r_o & 0 \\ -r_o & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\beta_1 \\ \Delta\beta_2 \\ \Delta H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta H \\ -r_o \cdot \Delta\beta_2 \\ -r_o \cdot \Delta\beta_1 \end{bmatrix}.$$

Из полученного выражения следует, что при выбранном составе первичных навигационных параметров погрешность навигации по координате X (т. е. $\Delta X(t_0)$) определяется только погрешностью высотомера ΔH .

Погрешности по координатам Y и Z зависят от двух факторов: от погрешностей средств измерений углов β_1 и β_2 и от радиуса орбиты ИС. При этом с ростом радиуса погрешности $\Delta\beta_1$ и $\Delta\beta_2$ увеличиваются по линейному закону.

Заметим, что если центр масс ИС переместить на ось Y , а в качестве второй звезды выбрать точку на небесной сфере, расположенную по направлению оси X , тогда вектор параметров движения ИС и орт второй звезды равны соответственно $Q_o(t_0) = [0 \ r_o \ 0 \ V_o \ 0 \ 0]^T$ и $\bar{e}_2 = [1 \ 0 \ 0]^T$.

Навигационная матрица принимает вид:

$$A_r(t_0) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -\frac{1}{r_o} \\ -\frac{1}{r_o} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}.$$

Вектор погрешностей навигации в этом случае определяется из выражения:

$$\begin{bmatrix} \Delta X(t_0) \\ \Delta Y(t_0) \\ \Delta Z(t_0) \end{bmatrix} = A_r^{-1}(t_0) \cdot \begin{bmatrix} \Delta\beta_1 \\ \Delta\beta_2 \\ \Delta H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -r_o & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -r_o & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta\beta_1 \\ \Delta\beta_2 \\ \Delta H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -r_o \cdot \Delta\beta_2 \\ \Delta H \\ -r_o \cdot \Delta\beta_1 \end{bmatrix}.$$

Анализ полученного выражения показывает, что погрешность высотомера ΔH влияет только на точность определения координаты Y . При этом погрешность $\Delta X(t_0)$ связана линейной зависимостью с радиусом орбиты ИС и погрешностью второго измерителя угла «звезда-вертикаль».

3. Стохастический метод текущего оценивания

При стохастическом методе текущего оценивания точности навигации ИС используется стохастическая модель измерений первичных навигационных параметров. Поэтому вектор погрешностей $\delta(t)$ является случайным.

При аддитивном характере погрешностей уравнение измерений принимает вид:

$$\tilde{F}(t) = F_u(t) + \xi, \tag{6}$$

где ξ – случайный вектор погрешностей измерений первичных навигационных параметров.

Очевидно, случайным является также и вектор $\Delta r(t)$. Поэтому точность навигации ИС характеризуется ковариационной матрицей:

$$K_r(t) = [A_r^T(t) \cdot K_\xi^{-1} \cdot A_r(t)]^{-1} = A_r^{-1}(t) \cdot K_\xi \cdot [A_r^{-1}(t)]^T, \quad (7)$$

где K_ξ – ковариационная матрица погрешностей измерений размера 3×3 .

На практике для проведения исследований точности навигации ИС используют диагональные элементы матрицы $K_r(t)$, которые являются дисперсиями оценок, а также средние квадратические отклонения погрешностей навигации.

В качестве интегральной оценки точности может служить, например, след матрицы $K_r(t)$, т. е.

$$Sp K_r(t) = \sigma_x^2(t) + \sigma_y^2(t) + \sigma_z^2(t),$$

где $\sigma_x^2(t)$, $\sigma_y^2(t)$, $\sigma_z^2(t)$ – дисперсии погрешностей оценок координат ИС в момент проведения навигационной засечки положения ИС.

Пример 2. В условиях примера 1 требуется найти ковариационную матрицу погрешностей навигации $K_r(t)$, полагая, что погрешности измерений первичных навигационных параметров распределены по нормальному закону с нулевыми математическими ожиданиями, т. е. систематические погрешности измерений отсутствуют. Предположим также, что измерения являются независимыми, т. е. ковариационная матрица погрешностей измерений имеет диагональный вид:

$$K_\xi = \begin{bmatrix} \sigma_{\beta_1}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{\beta_2}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_H^2 \end{bmatrix}.$$

Из выражения (7) получаем

$$K_r(t) = A_r^{-1}(t) \cdot K_\xi \cdot [A_r^{-1}(t)]^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & -r_o & 0 \\ -r_o & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_{\beta_1}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{\beta_2}^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_H^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0 & -r_o \\ 0 & -r_o & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

После очевидных преобразований находим искомую матрицу:

$$K_r(t) = \begin{bmatrix} \sigma_X^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_Y^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_Z^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_H^2 & 0 & 0 \\ 0 & r_o^2 \sigma_{\beta_2}^2 & 0 \\ 0 & 0 & r_o^2 \sigma_{\beta_1}^2 \end{bmatrix}.$$

След этой матрицы определяется выражением:

$$Sp K_r(t) = \sigma_X^2(t) + \sigma_Y^2(t) + \sigma_Z^2(t) = \sigma_H^2 + r_o^2(\sigma_{\beta_2}^2 + \sigma_{\beta_1}^2).$$

Можно показать, что если центр масс ИС переместить на ось Y , а в качестве второй звезды выбрать точку на небесной сфере, расположенную по направлению оси X , то ковариационная матрица погрешностей навигации принимает вид:

$$K_r(t) = \begin{bmatrix} \sigma_X^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_Y^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_Z^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_o^2 \sigma_{\beta_2}^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_H^2 & 0 \\ 0 & 0 & r_o^2 \sigma_{\beta_1}^2 \end{bmatrix}.$$

При этом след матрицы $K_r(t)$ не изменяет своего значения.

Сравнительный анализ результатов, полученных в примерах 1 и 2, свидетельствует о полном совпадении основных выводов.

4. Стохастический метод начального оценивания

В случае применения стохастического метода начального оценивания точности системы навигации ИС линеаризованное уравнение измерений первичных навигационных параметров принимает вид:

$$\Delta \tilde{F}(t) = A(t) \cdot \Delta Q(t) = [A(t) \cdot B(t, t_0)] \cdot \Delta Q(t_0) = W(t, t_0) \cdot \Delta Q(t_0),$$

где $B(t, t_0)$ – матрица баллистических производных (переходная матрица):

$$B(t, t_0) = \begin{bmatrix} \frac{\partial x(t)}{\partial x(t_0)} & \frac{\partial x(t)}{\partial y(t_0)} & \dots & \frac{\partial x(t)}{\partial \dot{z}(t_0)} \\ \frac{\partial y(t)}{\partial x(t_0)} & \frac{\partial y(t)}{\partial y(t_0)} & \dots & \frac{\partial y(t)}{\partial \dot{z}(t_0)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \dot{z}(t)}{\partial x(t_0)} & \frac{\partial \dot{z}(t)}{\partial y(t_0)} & \dots & \frac{\partial \dot{z}(t)}{\partial \dot{z}(t_0)} \end{bmatrix}_o,$$

где $\Delta Q(t_0)$ – вектор отклонений истинных параметров движения КА относительно опорных значений в момент времени t_0 : $\Delta Q(t_0) = Q(t_0) - Q_o(t_0)$;

$Q(t_0)$ – вектор истинных параметров движения ИС в момент времени t_0 ;

$Q_o(t_0)$ – вектор опорных параметров движения ИС в момент времени t_0 .

Матрицы $B(t, t_0)$ приведены в работах [1, 2]. При этом наиболее простой и удобный для проведения аналитических исследований вид матрица принимает при условии, что опорное движение ИС происходит по круговой орбите в центральном поле сил.

Введём допущение об аддитивности погрешностей измерений. Тогда можно показать, что вектор погрешностей измерений

$$\delta(t) = W(t, t_0) \cdot \Delta q(t_0).$$

Если матрица $W(t, t_0)$ не является особенной, то вектор погрешности навигации в момент времени t_0 , обусловленный погрешностями измерений первичных навигационных параметров, находится из выражения:

$$\Delta q(t_0) = [W(t, t_0)]^{-1} \delta(t).$$

При необходимости определения ковариационной матрицы $K_q(t, t_0)$ вектора $\Delta q(t_0)$ применяется выражение:

$$K_q(t, t_0) = [W^T(t, t_0) \cdot K_\xi^{-1} \cdot W(t, t_0)]^{-1}.$$

Если погрешности измерений статистически независимы между собой, то точность оценки вектора $\Delta q(t_0)$ характеризуется матрицей

$$K_q(t, t_0) = [W^T(t, t_0) \cdot P \cdot W(t, t_0)]^{-1}, \quad (8)$$

где P – весовая матрица:

$$P_f = \begin{bmatrix} P_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & P_2 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & P_m \end{bmatrix}, \quad P_i = \frac{1}{\sigma_i^2},$$

σ_i^2 – дисперсия погрешности i -го измерителя первичного навигационного параметра;

m – количество первичных навигационных параметров.

Введём матрицу $C_q(t, t_0) = W^T(t, t_0) \cdot P \cdot W(t, t_0)$, которая является обратной матрицы $K_q(t, t_0)$.

Предположим, что измерения первичных навигационных параметров проводятся в моменты времени t_j ($j = \overline{1, N}$) в течение навигационного сеанса продолжительностью $\tau = t_N - t_0$. Тогда элементы матрицы $C_q(t_N, t_0)$ рассчитываются по формуле [2, 3]:

$$C_q(t_N, t_0) = \sum_{i=1}^m P_i \sum_{j=1}^N W_i^T(t_j, t_0) \cdot W_i(t_j, t_0), \quad (9)$$

где $W_i(t_j, t_0)$ – i -ая строка матрицы производных $W(t, t_0)$, соответствующая моменту времени t_j .

При достаточно малом промежутке времени между измерениями $\Delta t = \frac{\tau}{N}$ операцию суммирования в соотношении (9) можно заменить операцией интегрирования:

$$C_q(t_0 + \tau, t_0) = \frac{N}{\tau} \sum_{i=1}^m P_i \int_{t_0}^{t_0 + \tau} W_i^T(t, t_0) \cdot W_i(t, t_0) dt. \quad (10)$$

Как показали исследования, проведенные в работе [3], для решения задач автономной навигации отклонения сумм от интегралов не превышают 1% при количестве измерений $N \geq 50$.

Пример 3. В условиях примера 2 требуется найти ковариационную матрицу погрешностей навигации $K_q(t, t_0)$, полагая при этом, что измерения первичных навигационных параметров проводятся равномерно в течение одного витка ИС, движение которого происходит в центральном поле сил.

В монографиях [2, 3] показано, что с учетом введенных допущений искомую матрицу можно записать следующим образом:

$$K_q(t, t_0) = \begin{bmatrix} K_{q_{пл}}(t, t_0) & 0_{4 \times 2} \\ 0_{2 \times 4} & K_{q_b}(t, t_0) \end{bmatrix},$$

где $K_{q_{пл}}(t, t_0)$ – ковариационная матрица погрешностей параметров движения ИС в плоскости его орбиты размера 4×4 ;

$K_{q_b}(t, t_0)$ – ковариационная матрица погрешностей боковых параметров движения ИС (т.е. в направлении, которое совпадает с нормалью к плоскости его орбиты) размера 2×2 ,

$0_{4 \times 2}$ и $0_{2 \times 4}$ – нулевые прямоугольные матрицы размера 4×2 и 2×4 соответственно.

Ковариационная матрица погрешностей боковых параметров движения ИС имеет диагональный вид:

$$K_{q_i}(t, t_0) = \begin{bmatrix} \sigma_z^2 & 0 \\ 0 & \sigma_{V_z}^2 \end{bmatrix} = \frac{2\sigma_{\beta_1}^2}{N} \begin{bmatrix} r_o^2 & 0 \\ 0 & V_o^2 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Из соотношения (11) следует, что с ростом высоты полета ИС дисперсия погрешности определения координаты z увеличивается, а дисперсия погрешности составляющей скорости V_z уменьшается.

Ввиду громоздкости аналитического выражения ковариационной матрицы погрешностей параметров движения ИС в плоскости его орбиты введем допущение, согласно которому справедливо неравенство: $r_o^2 \sigma_{\beta_2}^2 \gg \sigma_H^2$. Тогда диагональные элементы ковариационной матрицы $K_{q_{iE}}(t, t_0)$ принимают простые аналитические соотношения [3]:

$$\sigma_x^2 = \frac{3\sigma_H^2}{N}, \quad \sigma_y^2 = \frac{r_o^2 \sigma_{\beta_2}^2}{N}, \quad \sigma_{V_x}^2 = \frac{V_o^2 \sigma_{\beta_2}^2}{N}, \quad \sigma_{V_y}^2 = \frac{9V_o^2 \sigma_H^2}{Nr_o^2}.$$

Анализ приведенных соотношений показывает, какой вклад вносят соответствующие погрешности измерений первичных навигационных параметров в точность определения параметров движения центра масс ИС.

Выражение (10) получено с учётом допущений, согласно которым, во-первых, первичные навигационные параметры измеряются с одинаковой и постоянной частотой в течение всего навигационного сеанса (т. е. количество измерений i -го параметра $N_i = N = \text{const}$, где $i = \overline{1, m}$) и, во-вторых, погрешности измерений имеют нормальное распределение с нулевыми математическими ожиданиями и постоянными дисперсиями.

В тех случаях, когда измерения компонент вектора первичных навигационных параметров проводятся с различной частотой, в выражение (10) вводится коэффициент [2]:

$$K_{N_i} = \frac{N_i}{N_{\max}}, \quad \text{где } N_{\max} = \max(N_1, N_2, \dots, N_i, \dots, N_m).$$

В результате выражение для расчёта компонент матрицы $C_q(t_N, t_0)$ принимает вид:

$$C_q(t_0 + \tau, t_0) = \frac{N_{\max}}{\tau} \sum_{i=1}^m K_{N_i} P_i \int_{t_0}^{t_0 + \tau} W_i^T(t, t_0) \cdot W_i(t, t_0) dt.$$

Исследования, проведённые в работе [3], показали, что при анализе точности решения навигационных задач ковариационную матрицу $K_q(t, t_0)$ удобно представлять в виде произведения:

$$K_q(t, t_0) = \overset{\circ}{K}_q(t, t_0) \cdot k^H,$$

где $\overset{\circ}{K}_q(t, t_0)$ – матрица «ошибок навигации»;
 k^H – коэффициент нормирования.

Элементы матрицы $\overset{\circ}{K}_q(t, t_0)$ определяются продолжительностью (τ) сеанса навигационных измерений, координатами навигационных звезд и другими факторами, которые применяются при проведении исследований точности навигации ИС.

Коэффициент нормирования является функцией погрешностей бортовых измерителей, параметров опорной орбиты в начальный момент времени и количества измерений первичных навигационных параметров, т. е.

$$k^H = f(K_\xi, Q_o(t_0), N).$$

В процессе аналитического исследования точности автономной навигации ИС аргументы этой функции полагаются постоянными и не влияют на результаты анализа. Поэтому показатели точности навигации весьма полно определяются безразмерными элементами матрицы $\overset{\circ}{K}_q(t, t_0)$. Кроме того, при заданной продолжительности мерного участка элементы этой матрицы являются постоянными величинами.

Диагональные элементы матрицы $\overset{\circ}{K}_q(t, t_0)$ по своей сущности представляют собой приведённые к некоторым общим условиям ошибки решения навигационной задачи. Поэтому они называются коэффициентами ошибок навигации.

Для оценивания точности навигационных задач используется также метод максимума апостериорной вероятности [1]. Этот метод позволяет учесть априорную информацию, однако приводит к достаточно громоздким выкладкам при определении ковариационных матриц погрешностей навигации.

Сравнительный анализ способов аналитического оценивания точности навигации показывает, что способ оценивания начального вектора $\Delta q(t_0)$ является более трудоёмким по сравнению со способом оценивания текущего вектора $\Delta q(t)$. Однако область применения этого способа не ограничивается необходимостью одновременного измерения шести независимых первичных навигационных параметров, которые имеют функциональные связи не только с координатами ИС, но и с составляющими его вектора скорости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голяков А. Д., Лукашевский А. А., Смирнов В. В. Системы навигации космических аппаратов. – СПб.: МО РФ, 2003. – 267 с.
2. Голяков А. Д. Введение в теорию взаимной астронавигации ИСЗ. – СПб.: ВИКА им. А. Ф. Можайского, 1992. – 142 с.
3. Порфирьев Л. Ф., Смирнов В. В., Кузнецов В. И. Аналитические оценки точности автономных методов определения орбит. – М.: Машиностроение, 1987. – 280 с.

METHODS OF ANALYTICAL EVALUATION OF SATELLITE AUTONOMOUS NAVIGATION SYSTEM ACCURACY

A. D. Golyakov
(Mozhaysky Military Space Academy)

The main methods of analytical evaluation of the indices that characterize the accuracy of operation for the satellite autonomous navigation system are considered. Examples of accuracy evaluation are given.

УДК 006.72

ПЕРЕХОД К МЕЖДУНАРОДНОЙ ТЕРМИНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ НАДЕЖНОСТИ

А. Д. ГОЛЯКОВ
(ВКА им. А. Ф. Можайского)

Рассмотрены основные положения международного стандарта по терминологии в области надежности, который вводится на территории Российской Федерации с января 2011 г.

При решении задач, связанных с функционированием и оценкой технического состояния систем навигационно-гидрографического обеспечения мореплавания, возникает необходимость использования терминологической базы теории надёжности. В течение последних двадцати лет в нашей стране основополагающим нормативным документом, в котором были определены основные понятия надёжности в технике, являлся разработанный под руководством известного ученого чл.-корр. АН СССР В. В. Болотина ГОСТ 27.002-89 [1].

Этот стандарт основан на обобщенных результатах научных исследований. Его отличает четкость и строгость введенных формулировок, отсутствие какого-либо двусмысленного понимания используемых определений. Он родился в ходе многочисленных дискуссий, проходивших в большом коллективе разработчиков, где были собраны представители самых разных отраслей науки и техники [2].

Фундаментальным понятием в ГОСТ 27.002-89 является, безусловно, понятие «надежности» как свойство объекта (изделия) сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования. Надежность раскрывается как

комплексное свойство, которое в зависимости от назначения того или иного изделия и условий его применения может включать в себя свойства безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости.

В стандарте приведены показатели этих свойств, классификации отказов и видов резервирования, рассмотрены вопросы нормирования, определения и контроля надежности, а также виды испытаний на надежность.

Однако концепция, в которой надёжность понимается как совокупность четырех свойств (безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости), не была поддержана международными организациями по стандартизации. В частности, Международная электротехническая комиссия (МЭК) опубликовала в 1990 г. 191 главу электротехнического словаря, который имеет статус стандарта МЭК. В этой главе, которая называется «Надежность и качество услуг», под надежностью понимается собирательный термин, применяемый для описания свойства готовности и влияющих на него свойств безотказности, ремонтпригодности и обеспеченности технического обслуживания и ремонта. В такой формулировке термин надёжность помещен в широко известные в нашей стране стандарты серии ИСО 9000, которые посвящены системе менеджмента качества предприятий [3].

Согласно этому определению с помощью термина «надежность» описывается свойство «готовности». При этом в соответствии с электротехническим словарем МЭК готовностью называется способность изделия выполнять требуемую функцию при заданных условиях, в данный момент времени или в течение определенного интервала времени при условии обеспечения требуемыми внешними ресурсами.

Очевидно, что это определение не имеет принципиальных разногласий с определением понятия «надежность», приведенное в ГОСТ 27.002-89 [1]. Однако понятие «готовность» включает в себя сочетание только двух свойств – безотказности и ремонтпригодности с учетом того, что изделие обеспечено соответствующей системой технического обслуживания и ремонта, т. е. в готовность не входят свойства долговечности и сохраняемости.

Неоднозначность в понимании термина «надежность» сохранялась в течение двух десятилетий. За этот период времени появился целый ряд нормативных документов, в которых рассматриваются вопросы, связанные с надежностью. При этом в документах, разработанных в нашей стране, использована ссылка на ГОСТ 27.002-89 [1], а в документах, разработанных с учетом нормативных положений международных стандартов, используется определение надежности, основанное на свойстве «готовность».

1 января 2011 г. завершается период существования на территории РФ двух терминологий в сфере надежности. Согласно приказу Ростехрегулирования ГОСТ 27.002-89 отменяется. На смену ему вводится в действие новый терминологический стандарт по надежности ГОСТ 53480-2009 [4], который базируется на международном подходе.

Свойства безотказности и ремонтпригодности формулируются теперь следующим образом: *безотказность* – это способность изделия выполнить требуемую функцию в заданном интервале времени при данных условиях, а *ремонтпригодность* – это способность изделия при данных условиях использования и технического обслуживания к поддержанию или восстановлению состояния, в котором оно может выполнять требуемую функцию. При этом под «данными

условиями», по всей видимости, следует понимать условия, которые установлены в соответствующих нормативных или конструкторских документах.

Несмотря на отсутствие в термине «надежность» свойств долговечности и сохраняемости, в новом стандарте приведены определения этих свойств. Под *долговечностью* понимается способность изделия выполнять требуемую функцию до достижения предельного состояния при данных условиях использования и технического обслуживания, а под *сохраняемостью* – способность изделия выполнять требуемую функцию в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Виды технических состояний, в которых может находиться изделие, представлены с достаточно высоким уровнем детализации (рис. 1). Наряду с работоспособным, неработоспособным и предельным состояниями, терминологическая база пополнилась новыми состояниями с соответствующими критериями классификации. В частности, в зависимости от того, выполняет или не выполняет изделие требуемую функцию в данный момент времени, различаются состояния функционирования и нефункционирования. Очевидно, что в состоянии функционирования может находиться только работоспособное изделие, а в состоянии нефункционирования – как работоспособное, так и неработоспособное.

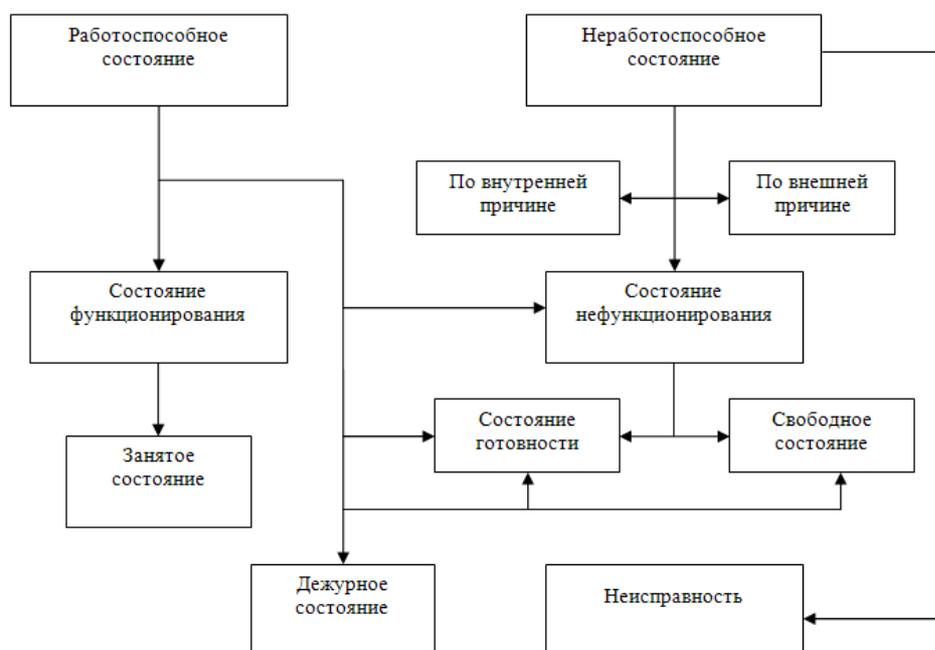


Рис. 1. Виды технических состояний

В связи с тем, что изделие может быть предназначено для выполнения требуемой функции для нескольких потребителей, введено понятие «занятое состояние», т. е. состояние изделия, при котором оно выполняет требуемые функции для потребителя (группы потребителей) и по этой причине недоступно для других потребителей.

Стандартом введено также понятие «дежурное состояние». Находясь в этом состоянии, нефункционирующее работоспособное изделие ожидает запрос на выполнение требуемой функции.

В зависимости от вида причины, по которой изделие является неработоспособным, выделены два неработоспособных состояния – по внутренней причине и внешней причине. При этом под внутренней причиной понимается наличие неисправности в изделии или проведение профилактического технического обслуживания.

Новым признаком классификации состояний является требование работоспособности изделия в течение некоторого интервала времени (так называемого «требуемого интервала времени»). По этому признаку работоспособные состояния изделия делятся на «состояние готовности» и «свободное состояние». Состояние готовности характеризуется тем, что нефункционирующее изделие, находясь в этом состоянии, остается работоспособным в течение установленного заказчиком интервала времени. За пределами этого интервала времени состояние изделия называется свободным.

Понятие «неисправность» принимает принципиально новое значение. Если в существующей до 2011 г. в нашей стране терминологической базе надежности неисправное изделие, не удовлетворяющее, например, эстетическим требованиям, может оставаться работоспособным, то в соответствии с международной терминологией неисправное изделие не способно выполнять требуемые функции, т. е. неисправность является частным случаем неработоспособного состояния. К условиям, при которых неработоспособное изделие не является неисправным, относятся проведение профилактического технического обслуживания или других запланированных действий. Кроме того, если изделие не способно выполнить требуемые функции в связи с недостаточностью внешних ресурсов, то оно не находится в неисправном состоянии.

Неисправность подразделяется на несколько видов:

- стабильная;
- нестабильная;
- перемежающаяся;
- неявная;
- скрытая;
- систематическая;
- конструкционная;
- производственная;
- частичная.

Изменения коснулись также и классификации отказов. По существу сохранился один её признак: зависимость от других отказов (независимые и зависимые отказы). Такие признаки классификации, как ход процесса изменения параметров состояния до отказа (внезапные и постепенные отказы) и происхождение отказов (конструктивные, производственные и эксплуатационные отказы), не остались за рамками терминологического стандарта.

По причине возникновения выделяются отказы вследствие изнашивания, отказы вследствие старения и отказы по общей причине. Кроме того, отказ, однозначно вызванный определенной причиной, которая может быть устранена

только модификацией проекта или производственного процесса, правил эксплуатации и документации, получил название систематического отказа.

Достаточной новизной обладает признак классификации отказов по возможности использования изделия после возникновения события, в результате которого происходит потеря способности изделия выполнять требуемую функцию. По этому признаку отказы разделяются на полные и частичные отказы. При полном отказе изделие перестает выполнять все требуемые функции. В случае частичного отказа изделие способно выполнять не менее одной из нескольких требуемых функций.

Ряд изменений произошел в системе количественных характеристик надёжности. В частности, в группу показателей безотказности добавлены: средняя интенсивность отказов, асимптотический параметр потока отказов, средняя наработка до первого отказа и средняя наработка между отказами. При этом «интенсивность отказов» получает название «мгновенная интенсивность отказов», а «параметр потока отказов» – «мгновенный параметр потока отказов».

Определения введенных показателей понятны из названий, в частности, асимптотический параметр потока отказов – это предел, если он существует, мгновенного параметра потока отказов, когда время стремится к бесконечности. Состав показателей сохраняемости остался без изменений.

Наиболее значительная коррекция терминологической базы произведена в области понятий, относящихся к техническому обслуживанию и ремонту. Если в используемой до настоящего времени терминологии задача технического обслуживания (ТО) состояла в поддержании, а задача ремонта – в восстановлении работоспособности или неисправности изделия, то в современном представлении решение этих задач возлагается на ТО. При этом первая из названных задач решается с помощью профилактического ТО, а вторая – путем проведения корректирующего ТО.

Ремонт перестал быть самостоятельной категорией. Он является теперь составной частью корректирующего технического обслуживания, представляя собой непосредственные действия, выполняемые на изделии. В процессе ремонта проводится локализация, диагностирование и устранение неисправности, а также проверка функционирования изделия с целью подтверждения работоспособного состояния изделия.

Понятие «восстановление» из процесса перевода изделия в работоспособное состояние из неработоспособного состояния переходит в событие, при котором неисправное изделие становится работоспособным. Заметим также, что отказ теперь представляет собой событие, в результате которого изделие переходит из работоспособного состояния в неисправность.

В международную терминологическую базу надежности включена группа временных понятий, которые положены в основу показателей ремонтпригодности. В состав этих понятий входят оперативная продолжительность ТО и три типа задержек выполнения ТО: административная, логистическая и техническая.

Оперативная продолжительность выполнения ТО представляет собой часть продолжительности ТО, включая технические задержки (ТехЗ), но исключая логистические задержки (ЛогЗ). При этом различают оперативную продолжительность профилактического ТО и оперативную продолжительность корректирующего ТО, в которую в качестве слагаемого входит продолжительность ремонта (рис. 2).

Продолжительность корректирующего ТО					Логистическая задержка
Оперативная продолжительность корректирующего ТО					
Техническая задержка	Продолжительность ремонта				
	Время необнаружения неисправности	Время локализации неисправности	Время устранения неисправности	Время проверки функционирования	

Рис. 2. Взаимосвязь между продолжительностями корректирующего технического обслуживания и ремонта

Административная задержка обусловлена административными причинами, логистическая задержка возникает вследствие необеспеченности внешними ресурсами, а техническая задержка – вследствие выполнения вспомогательных технических действий, связанных с соответствующим заданием ТО. Техническая задержка появляется, например, при необходимости выполнения технических действий по обеспечению безопасности людей, природной среды или сопрягаемых объектов, в частности отключение питающего напряжения, заземление оборудования, используемого при проведении ТО и т.п.

К показателям ремонтпригодности относятся:

- вероятность выполнения ТО;
- средняя продолжительность ремонта;
- среднее значение оперативной продолжительности корректирующего ТО;
- средняя административная задержка;
- средняя логистическая задержка;
- полнота обнаружения неисправностей;
- полнота ремонта;
- интенсивность восстановления;
- среднее время до восстановления;
- гамма-процентное время до восстановления.

Из перечисленных показателей ремонтпригодности только три последних показателя до настоящего времени имеют практическое применение. При этом термин «полнота» раскрывается как «доля». В частности, полнота ремонта – это доля обнаруженных неисправностей, которые могут быть успешно устранены.

В современной международной терминологии произведена замена понятия «комплексные показатели надежности» на «показатели готовности». Причем в группу этих показателей, наряду с коэффициентами готовности, оперативной готовности, технического использования и сохранения эффективности, включены такие коэффициенты, как:

- эксплуатационный коэффициент готовности;
- мгновенный коэффициент готовности;
- мгновенный коэффициент неготовности;
- средний коэффициент готовности;
- средний коэффициент неготовности;
- стационарный коэффициент готовности;

– стационарный коэффициент неготовности, а также средняя продолжительность работоспособного состояния и средняя продолжительность неработоспособного состояния.

Введение в действие на территории Российской Федерации нового терминологического стандарта по надежности [4] обуславливает проведение комплекса мероприятий, направленных на его изучение с последующим использованием на практике, а также плановую коррекцию соответствующей нормативной, конструкторской и эксплуатационной документации систем навигационно-гидрографического обеспечения мореплавания, в которой используются нестандартизованные термины.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 36 с.
2. Шпер В. Л. Проблемы надежности продукции в отечественной и зарубежной периодике // Методы менеджмента качества. – 2007. – № 12. – С. 44–47.
3. ГОСТ Р ИСО 9000-2008 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – М.: Стандартинформ, 2008. – 30 с.
4. ГОСТ 53480-2009 Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2010. – 27 с.

TRANSITION TO INTERNATIONAL TERMINOLOGY IN THE SPHERE OF RELIABILITY

A. D. Golyakov
(Mozhaysky Military Space Academy)

The main provisions of the international terminology standard in the sphere of reliability that will be officially used on the territory of the Russian Federation beginning from January 2011, are considered.

ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

УДК 622.276.04

ОСОБЕННОСТИ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗРАСТА ПРИЛИВОВ

**Ю. Н. ЖУКОВ,
Г. Н. ПИВОВАРОВА
(ОАО «ГНИНГИ»)**

Проведен анализ изменчивости во времени и в пространстве возраста прилива. Приведены результаты вычисления на основе гармонических постоянных возраста приливов для береговых пунктов Белого моря. Результаты свидетельствуют о существенной пространственной изменчивости возраста прилива, что требует учета этого обстоятельства при навигационно-гидрографическом обеспечении безопасности мореплавания.

Активизация технологического освоения континентального шельфа и прибрежной полосы морей привела к повышению требований к точности и содержанию информации об уровне моря. Последнее необходимо при планировании и оперативном обеспечении задач по добыче и транспортировке полезных ископаемых в прибрежных водах северных морей, при проектировании и строительстве портов и технических сооружений. Особую значимость уровенные данные приобретают в задачах океанографического обеспечения так называемых морских операций – особо рискованных работ на море, например, буксировки, установки и обеспечения функционирования плавучих буровых вышек.

Буксировку подобных объектов с большой осадкой в морях с приливами планируют на время наступления полной воды прилива с максимальными значениями относительно ближайших по времени. Такие приливы в океанографической практике связываются с явлениями новолуния и полнолуния (сизигиями) и называются сизигийными приливами. Среди серии последовательных сизигийных полных вод встречается вода с максимальной высотой за лунный месяц – период от одного новолуния до непосредственно последующего. Интервал времени от момента наступления новолуния до момента наступления прилива с максимальной полной водой называется возрастом прилива. Этот параметр приливов интересовал мореходов и исследователей со средних веков. Они отмечали, что в различных географических пунктах (портах) океана время наступления максимальной полной воды относительно момента наступления сизигии различно. Это обстоятельство Ньютон объясняет особенностями конкретных географических условий формирования прилива в данном месте [1].

Первоначально, до появления гармонического анализа приливов, понятие возраста прилива относилось к любому типу прилива (полусуточному, суточному и т. д.). С внедрением в практику гармонического анализа приливов единое понятие возраста прилива разделилось. Стали различать возраст прилива или возраст полусуточного прилива, возраст суточного прилива и возраст параллактического прилива. Это деление можно объяснить недостаточной эффективностью используемых методов гармонического анализа приливов в начале XX века [2].

В настоящее время, в отечественной и зарубежной практике [3, 4] возраст прилива (*англ.*: age of tide \equiv age of phase inequality) количественно выражается в часах среднесолнечного времени. Для вычисления возраста прилива используют выражение:

$$\tau_{S_2, M_2} = \frac{\varphi_{S_2} - \varphi_{M_2}}{\omega_{S_2} - \omega_{M_2}}. \quad (1)$$

Возраст суточного прилива (*англ.*: age of diurnal inequality) определяется выражением:

$$\tau_{K_1, O_1} = \frac{\varphi_{K_1} - \varphi_{O_1}}{\omega_{K_1} - \omega_{O_1}}, \quad (2)$$

а возраст параллактического прилива (age of parallax inequality) –

$$\tau_{M_2, N_2} = \frac{\varphi_{M_2} - \varphi_{N_2}}{\omega_{M_2} - \omega_{N_2}}, \quad (3)$$

где $\omega_{S_2}, \omega_{M_2}, \omega_{K_1}, \omega_{O_1}, \omega_{N_2}$ – угловые частоты (в градусах за час), $\varphi_{S_2}, \varphi_{M_2}, \varphi_{K_1}, \varphi_{O_1}, \varphi_{N_2}$ – фазы (в градусах) гармоник S_2, M_2, K_1, O_1, N_2 , соответственно. Отметим, что, во-первых, выражения (1–3) позволяют получить соответствующие возрасты прилива только для тех географических точек, для которых известны гармонические постоянные. Представление о географической (пространственной) изменчивости в морях времени наступления максимальных вод прилива после сизигий (возраста прилива) на основании этих выражений получить сложно. Например, можно предположить, что максимальная вода на акватории Белого моря, наступает в один и тот же приливной цикл. Во-вторых, получаемые по выражениям (1–3) значения являются константами, т. е. интервал времени наступления, например, максимальной полной воды после любой сизигии постоянный и одинаковый для некоторой географической точки. Однако это неверно. Достаточно взять любые таблицы приливов и соответствующий астрономический ежегодник, чтобы выяснить, что максимальные воды после сизигий в одном и том же географическом пункте наступают через различные интервалы времени.

Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время задача океанографического обеспечения морских операций по проводке объектов с большой

осадкой на критических глубинах на акватории с приливами не обеспечена надежной информацией о времени наступления сизигийных приливов.

Для прояснения ситуации с возрастом прилива необходимо исследовать пространственно-временную изменчивость времени наступления максимальной полной воды после сизигий как это понималось первоначально без разделения на типы прилива. Для этого необходимо получить математическое выражение, обобщающее формулы (1–3).

В соответствии с гармоническим анализом приливов приливные колебания $h(t)$ в точке представляются однородным гармоническим полиномом:

$$h(t) = \sum_{i=1}^{i=N} a_i \cos(\omega_i t - \varphi_i), \quad (4)$$

где t – среднесолнечное время, a_i, ω_i, φ_i , – амплитуда, угловая частота и фаза приливной гармоники i ($i = 1, \dots, N$). В выражении (4) опущена астрономическая часть фаз для гармоник, чтобы не загромождать формулы элементами, не существенными для рассматриваемой задачи. Воспользуемся понятием аналитического сигнала [5] и представим выражение (4) как действительную часть комплексной функции вида

$$Z(t) = A(t)e^{i\Phi(t)}, \quad (5)$$

где $A(t)$ – мгновенная амплитуда, а $\Phi(t)$ – мгновенная фаза аналитического сигнала $Z(t)$. Функции $A(t)$ и $\Phi(t)$ называют огибающей и фазой $Z(t)$. Из теории аналитического сигнала следует, что

$$A(t) = \sqrt{h^2(t) + \sigma^2(t)}, \quad (6)$$

$$\Phi(t) = \arctg(\sigma(t)/h(t)), \quad (7)$$

где $\sigma(t)$ называется функцией сопряженной функции $h(t)$, и определяется интегральным преобразованием Гильберта:

$$\sigma(t) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{h(\tau)}{\tau - t} dt. \quad (8)$$

Для исследования возраста прилива достаточно рассмотреть только функцию $A(t)$, так как $\Phi(t)$ имеет значительно большую частоту изменчивости. Именно огибающая $A(t)$ описывает изменения амплитуды прилива со временем. Для получения явного выражения $A(t)$ через параметры a_i, ω_i, φ_i воспользуемся

линейным свойством преобразования Гильберта и тем, что для функции $a \cdot \cos(\omega t - \varphi)$ сопряженной функцией будет $a \cdot \sin(\omega t - \varphi)$.

Принимая во внимание, что при заданном N подкоренные члены в выражении (6) могут быть записаны в виде:

$$h^2(t) = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \dots + x_{N-1}^2 + x_N^2 + 2x_1x_2 + 2x_1x_3 + \dots + 2x_1x_N + 2x_2x_3 + \dots + 2x_2x_N + \dots + 2x_{N-1}x_N, \quad (9)$$

где $x_i = a_i \cos(\omega_i t - \varphi_i)$, и, учитывая, что выражение для $\sigma^2(t)$ будет аналогично (7), с $x_i = a_i \sin(\omega_i t - \varphi_i)$, получим для любого конечного $N \geq 2$:

$$A^2(t) = a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \dots + a_{N-1}^2 + a_N^2 + a_1a_2 \cos(\Omega_{1,2}t + \Delta\varphi_{1,2}) + a_1a_3 \cos(\Omega_{1,3}t + \Delta\varphi_{1,3}) + \dots + a_1a_N \cos(\Omega_{1,N}t + \Delta\varphi_{1,N}) + \dots + a_2a_3 \cos(\Omega_{2,3}t + \Delta\varphi_{2,3}) + \dots + a_2a_N \cos(\Omega_{2,N}t + \Delta\varphi_{2,N}) + \dots + a_{N-1}a_N \cos(\Omega_{N-1,N}t + \Delta\varphi_{N-1,N}), \quad (10)$$

где $\Omega_{i,j} = \omega_i - \omega_j$, $\Delta\varphi_{i,j} = \varphi_j - \varphi_i$, $i = 1, \dots, N-1$, $j = 2, \dots, N$.

Заметим, что для $N = 2$ из формулы (9) следует, что

$$A^2(t) = a_1^2 + a_2^2 + a_1a_2 \cos(\Omega_{1,2}t + \Delta\varphi_{1,2}). \quad (11)$$

В этом случае максимум амплитуды будет наблюдаться при равенстве косинуса единице, то есть при $t = \Delta\varphi_{2,1}/\Omega_{1,2}$. Это в точности равно выражениям (1–3) для соответствующих гармоник.

Из выражения (9) следует, что огибающая имеет постоянную не зависящую от времени составляющую, определяемую амплитудами набора гармоник $a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \dots + a_{N-1}^2 + a_N^2$, и переменную, состоящую из элементов с косинусами. Частоты гармоник различны. Поэтому разности частот, входящие в косинусы (9), не равны между собой, и это приводит к смещению момента наступления максимального значения $A(t)$ в последовательные интервалы между сизигиями.

Рассмотрим скорость этого изменения. Для определенности ограничимся пятью основными гармониками, используемыми в выражениях (1–3): S_2 , M_2 , K_1 , O_1 , N_2 . Частоты этих гармоник выражаются через четыре астрономических элемента (табл. 1) [6]:

$$\omega_{S_2} = 2\gamma - 2\eta. \quad (12)$$

$$\omega_{M_2} = 2\gamma - 2\sigma, \quad (13)$$

$$\omega_{N_2} = 2\gamma - 3\sigma + \omega, \quad (14)$$

$$\omega_{K_1} = \gamma, \quad (15)$$

$$\omega_{O_1} = \gamma - 2\sigma. \quad (16)$$

Таблица 1

Астрономические элементы

Название элемента	Угловая скорость (град./час)	Обозначение
Угловая скорость вращения Земли	15,0410686390	γ
Изменение средней долготы Луны	0,5490165304	σ
Изменение средней долготы Солнца	0,0410686390	η
Изменение средней долготы перигея Луны	0,0046418367	ω

Приведем все возможные частоты косинусов в (9) для этого набора гармоник:

$$\Omega_{S_2M_2} = 2\sigma - 2\eta, \quad \Omega_{S_2N_2} = 3\sigma - 2\eta - \omega, \quad \Omega_{S_2K_1} = \gamma - 2\eta, \quad \Omega_{S_2O_1} = \gamma + 2\sigma - 2\eta, \\ \Omega_{M_2N_2} = \sigma - \omega, \quad \Omega_{M_2K_1} = \gamma - 2\sigma, \quad \Omega_{M_2O_1} = \gamma, \quad \Omega_{N_2K_1} = \gamma - 3\sigma + \omega, \quad \Omega_{N_2O_1} = \gamma - \sigma + \omega, \\ \Omega_{K_1O_1} = 2\sigma.$$

Учитывая, что $\gamma \gg \sigma \gg \eta \gg \omega$, можно утверждать: огибающая имеет основную частоту вблизи значения 2σ . Кроме того, огибающая возмущается колебаниями с высокой частотой, близкой к γ . Для некоторых отношений амплитуд могут дополнительно возникать колебания с частотами, близкими к σ и 3σ . Основная частота изменчивости огибающей лежит вблизи 2σ . Это дает два максимума у огибающей за период в один лунный месяц. Наличие высокой частоты, близкой к γ , приводит к изменению наступления этих максимумов от месяца к месяцу. Это свидетельствует о некорректности выражений (1–3), которые дают постоянные значения возраста прилива.

Изменение возраста прилива по акватории формально описать сложно. Причина этого в сложности распределения фаз гармонических постоянных по акватории и, что не менее важно, в различии их частот, что не дает явного способа «сложить картины» пространственного распределения отдельных гармоник. Для иллюстрации сложности распределения фаз гармонических постоянных на рис. 1 приведены приливные карты составляющих волн M_2 , S_2 , K_1 , O_1 для акватории Белого моря. На этом рисунке отчетливо видны области схождения изофаз – области амфидромических точек. В этих точках понятие фазы гармоник неопределенно, и выражения (1–3) теряют смысл, в то время как в выражении (9) для этих точек можно формально приравнять нулю члены с соответствующей амфидромией гармоникой. Единственное, что можно с уверенностью утверждать, что эта изменчивость относительно велика. Действительно, период, соответствующий 2σ , приблизительно равен 327,9 среднесолнечных часов, а, следовательно, изменение $\Delta\phi$ на один градус в соответствующем члене выражения (9) приводит к смещению максимума почти на один час.

Изменчивость по пространству можно оценить путем прямого вычисления возраста прилива для конкретных пунктов по гармоническим постоянным. Такие вычисления были сделаны для десяти береговых пунктов Белого моря по наборам гармонических постоянных из базы ИЮ. Положение береговых пунктов приведено на рис. 2. В табл. 2 представлены расчеты возрастов приливов для этих пунктов, а на рис. 3 даны графики возраста прилива для пунктов «Три острова» и «Сосновец» на период с 2010 по 2018 гг.

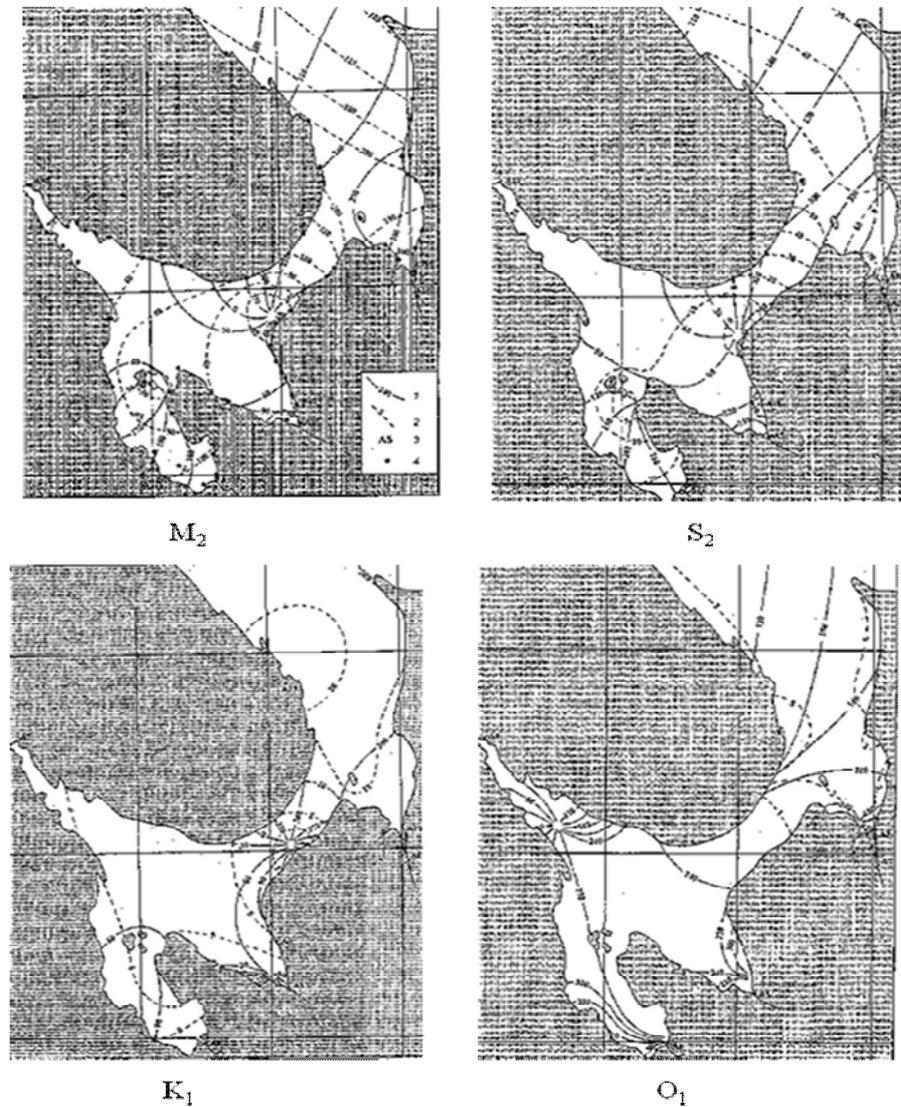


Рис. 1. Приливные карты составляющих волн M_2 , S_2 , K_1 , O_1 [7].
Сплошные линии – изофазы, пунктирные – изоамплитуды

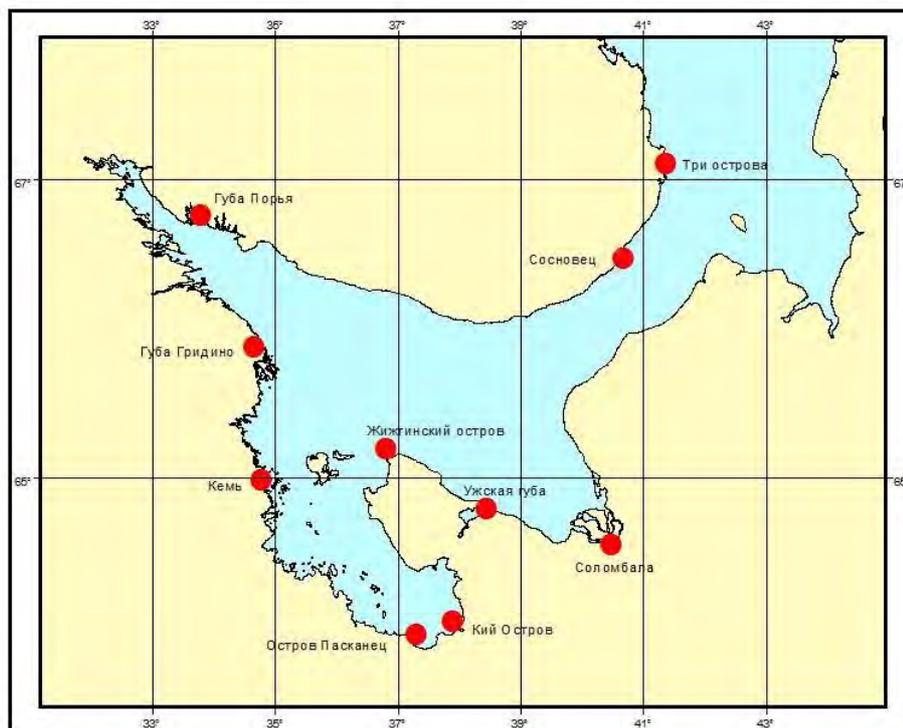


Рис. 2. Расположение на акватории Белого моря береговых пунктов, для которых проводились расчеты

Таблица 2

Значения возраста прилива для десяти пунктов Белого моря

Пункт	τ_{S_2, M_2}	τ_{K_1, O_1}	τ_{M_2, N_2}	Момент максимальной воды после сизигии (новая Луна) 15.01.10 07:13	Момент максимальной воды после сизигии (полная Луна) 30.01.10 06:19
Три острова	02 ч 15 мин	06 ч 16 мин	-03 ч 03 мин	17.01.10 21:47	01.02.10 21:54
Сосновец	02 ч 20 мин	05 ч 05 мин	3 ч 05 мин	29.01.10 20:10	01.02.10 22:34
Губа Порья	01 ч 22 мин	-05 ч 12 мин	-24 ч 10 мин	20.01.10 03:46	02.02.10 02:48
Губа Гридино	02 ч 05 мин	-08 ч 17 мин	-23 ч 02 мин	19.01.10 03:49	03.02.10 03:36
Кемь	01 ч 24 мин	-10 ч 18 мин	02 ч 13 мин	19.01.10 04:27	03.02.10 04:49
Остров Пасканец	02 ч 04 мин	04 ч 24 мин	03 ч 07 мин	30.01.10 05:57	02.02.10 08:17
Кий остров	02 ч 19 мин	01 ч 08 мин	04 ч 08 мин	20.01.10 09:34	05.02.10 10:24
Жижгинский остров	02 ч 02 мин	-08 ч 17 мин	02 ч 21 мин	30.01.10 01:11	03.02.10 04:14
Унская губа	02 ч 16 мин	-09 ч 00 мин	03 ч 20 мин	16.01.10 03:36	01.02.10 03:52
Соломбала	02 ч 12 мин	-09 ч 18 мин	02 ч 04 мин	30.01.10 04:32	02.02.10 06:48

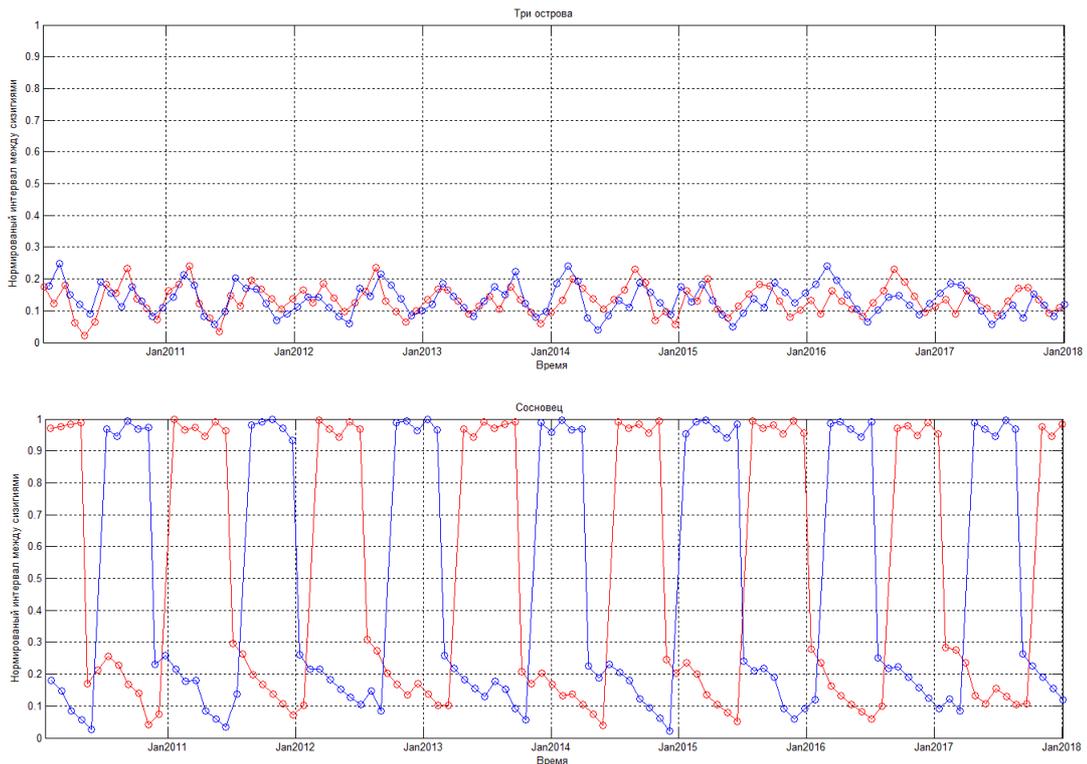


Рис. 3. Графики возраста прилива для пунктов «Три острова» и «Сосновец» на период с 2010 по 2018 гг.

Таким образом, результаты вычислений свидетельствуют о том, что наступление максимальных полных вод после сизигий в Белом море происходит в различные приливные циклы, а не в один. Возраст прилива по пространству изменяется сложным нерегулярным образом. Выявленные особенности временной и пространственной изменчивости возраста прилива диктуют необходимость разработки специальных методов океанографического обеспечения проводки на мелководье плавучих объектов с большой осадкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. – М.: Издательство ЛКИ, 2008. – 704 с.
2. Никитин М. В. Гармонический анализ приливов. – Л.: Гидрографическое Управление СССР, Гидрометеорологический отдел, 1925. – 168 с.
3. Правила Гидрографической службы №35. Приведение глубин к уровню (ПГС №35). –Л.: УНГС ВМФ, 1956. – 193 с.
4. Tide and Current Glossary. – NOAA, National Ocean Service, 2000. – 34 p.
5. Вакман Д. Е., Вайнштейн Л. А. Амплитуда, фаза, частота – основные понятия теории колебаний // Успехи физических наук. – 1977. –Т. 123. – Вып. 4. – С. 657–682.
6. Руководство по обработке и предсказанию приливов. – Л.: Издание Гидрографического управления ВМФ СССР, 1941. – 347 с.
7. Богданов К. Т., Васильев А. С., Федорова Е. В. Распространение приливных волн и приливные колебания уровня на акватории Белого моря // Труды ГОИН. – 2001. – Вып. 207. – С. 122–130.

THE GEOGRAPHICAL DISTRIBUTION FEATURES OF THE AGE OF TIDES

**Y. N. Zhukov,
G. N. Pivovarova**
(«GNINGI» OJSC)

The temporal and spatial changeability of the age of tide is analysed. The results of calculations, based on the harmonic constituents, of the age of tides for the coastal points of the White Sea are presented. The results indicate the considerable spatial changeability of the age of tide, which is to be taken into consideration when providing the navigation-hydrographic support for the maritime safety.

УДК 622.276.04

**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ТИПОВОГО ПЛАНА
НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЪЕКТОВ
ОБУСТРОЙСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА**

**С. В. ЯЦЕНКО,
Н. Н. ШАЛАГИН,
Е. И. РУДЕНКО**
(ОАО «ГНИНГИ»)

Рассмотрены основные положения, касающиеся обоснования требований к составу, структуре и содержанию типового плана навигационно-гидрографического обеспечения объектов обустройства и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений арктического шельфа. Предложен вариант исполнения карты навигационно-гидрографической обстановки района обеспечения

Учитывая особую значимость Арктического региона для разработки и реализации крупных проектов по освоению морских нефтегазовых месторождений, Основами государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу [1] определена необходимость выработки нового подхода к проблеме освоения региона в целом и разработки мер по реализации государственной политики РФ в Арктике.

Основными мерами по реализации государственной политики в области научных исследований и научного обеспечения деятельности в Арктической зоне Российской Федерации являются:

- обоснование долгосрочных перспектив и основных направлений развития различных видов деятельности в Арктике;
- изучение опасных и кризисных природных явлений, разработка и внедрение современных технологий и методов их прогнозирования в условиях меняющегося климата;
- прогноз и оценка последствий глобальных климатических изменений, происходящих в Арктической зоне Российской Федерации под влиянием

естественных и антропогенных факторов, в среднесрочной и долгосрочной перспективе, включая повышение устойчивости объектов инфраструктуры;

- проведение исследований в области истории, культуры и экономики региона, а также правового регулирования деятельности в Арктике;

- изучение влияния на здоровье населения вредных факторов окружающей среды, выработка требований по охране здоровья населения и полярников, обоснование комплекса мероприятий, направленных на оздоровление среды обитания населения и профилактику заболеваний.

Выполнение указанных мер предполагает проведение существенного по объему комплекса работ, соответствующих стратегическим приоритетам государственной политики, основным национальным интересам Российской Федерации в Арктике [2].

Важная роль в реализации положений, изложенных в Основах государственной политики Российской Федерации в Арктике – Морской доктрине – отводится навигационно-гидрографическому обеспечению (НГО) объектов обустройства и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений арктического шельфа.

Значение НГО указанных объектов морских нефтегазовых месторождений обусловлено:

- международными обязательствами России по выполнению требований международных документов;

- возрастанием транспортных потоков на морских коммуникациях;

- увеличением объёмов грузовых перевозок по океанским и морским водным путям;

- активным освоением минерально-сырьевых ресурсов арктического шельфа.

Применительно к функциональному направлению национальной морской политики по освоению и сохранению ресурсов Мирового океана от обеспечения гарантированной безопасности мореплавания в районе расположения объектов обустройства и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений арктического шельфа зависят безопасность людей, сохранность судов, грузов, гидротехнических сооружений, экологической обстановки [3].

Исходя из концептуальных основ НГО морской деятельности [4] как базовой составляющей единой системы обеспечения безопасности мореплавания, эффективность НГО объектов обустройства и эксплуатации нефтегазовых месторождений во многом определяется качеством планирования, обеспечивающим нормативную основу для принятия необходимых управленческих решений. Поскольку формализованным результатом процесса планирования НГО как детализированной совокупности решений, подлежащих осуществлению, является План, то его разработка в документальном виде является актуальной задачей.

Анализ отечественной практики планирования морских операций позволяет рассматривать План НГО как структурированный документ, раскрывающий комплекс мероприятий, направленных на создание благоприятной в навигационно-гидрографическом отношении обстановки для безопасности строительства и функционирования объектов обустройства и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений.

Проведенные в ОАО «ГНИНГИ» исследования показали, что с учетом классификационных признаков План НГО должен представляться:

- долгосрочным (определяется продолжительностью этапа эксплуатации морского нефтегазового месторождения);
- гибким (определяется необходимостью учета изменения исходных данных);
- агрегированным (определяется глубиной планирования НГО конкретных объектов с учетом всех этапов жизненного цикла, что предполагает возможность разработки частных планов) [5].

При разработке в План НГО целесообразно включение следующих основных разделов:

1. Цель разработки Плана НГО.
2. Границы района обеспечения и обеспечиваемые объекты.
3. Выводы из оценки физико-географических, гидрометеорологических и навигационно-гидрографических условий района обеспечения.
4. Перечень основных мероприятий Плана.
5. Основные этапы и сроки выполнения мероприятий по НГО в рассматриваемом районе.
6. Ресурсное обеспечение Плана НГО.
7. Организация управления и связи в районе обеспечения.
8. Особые условия при выполнении мероприятий по НГО в рассматриваемом районе.

Для графического отображения основных положений Плана НГО целесообразна разработка приложения к нему в виде карты навигационно-гидрографической обстановки района обеспечения.

Обоснование требований к содержанию основных разделов опирается на учет следующих критериев (для каждого раздела).

Цель разработки Плана НГО

При определении цели следует учитывать, что План НГО разрабатывается для определения состава работ, объема и требований к мероприятиям по НГО объектов обустройства и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений с учетом этапов их жизненного цикла.

Границы района обеспечения и обеспечиваемые объекты

При определении границ района обеспечения целесообразно учитывать следующие факторы:

- географическое положение морского нефтегазового месторождения;
- географическое положение экономической инфраструктуры, используемой при обустройстве и эксплуатации месторождения (порты, судостроение, судоремонт, транспортная система и др.);
- расположение маршрута буксировки морского нефтегазопромыслового инженерного сооружения к месту установки на месторождении;
- расположение маршрутов транспортировки углеводородов применительно к транспортно-технологической схеме и др.

К обеспечиваемым объектам относят:

- морские нефтегазопромысловые инженерные сооружения, а также средства их транспортировки и установки (буксиры, суда подводно-технических работ и т. п.);
- средства транспортировки углеводородов (челночные танкеры ледового класса, танкеры-накопители, линейные танкеры и т. п.);
- средства снабжения морских нефтегазопромысловых инженерных сооружений и обеспечения транспортировки углеводородов (суда снабжения, ледоколы и т.п.).

Выводы из оценки физико-географических, гидрометеорологических и навигационно-гидрографических условий района обеспечения

Содержанием оценки физико-географических условий района обеспечения является результат анализа следующих основных элементов:

- размеры и характер района обеспечения;
- характер побережья;
- международно-правовой режим района обеспечения;
- приморские экономические районы, их производственные возможности для строительства, ремонта, снабжения и эксплуатации обеспечиваемых объектов.

Содержанием оценки гидрометеорологических условий района обеспечения является результат анализа следующих основных элементов:

- температура и влажность воздуха;
- ветер, облачность, осадки, видимость;
- температура и соленость воды;
- волнение;
- течения;
- ледовый режим.

Содержанием оценки навигационно-гидрографических условий района обеспечения является результат анализа следующих основных элементов:

- глубина моря;
- рельеф и грунт морского дна;
- средства навигационного оборудования;
- изученность района обеспечения, его обеспеченность картографическими материалами;
- режим плавания;
- система обеспечения оперативной навигационной и гидрометеорологической информацией.

Результаты последовательной оценки отдельных элементов обстановки в районе позволяют сделать как частные, так и общие выводы об их комплексном влиянии на возможности эксплуатации объектов обеспечения, а также выработать рекомендации по учету и использованию физико-географических, гидрометеорологических и навигационно-гидрографических условий района для принятия управленческих решений проектного или эксплуатационного характера.

Перечень основных мероприятий Плана

Планирование основных мероприятий НГО осуществляется на основе уяснения цели разработки Плана, а также выводов из оценки физико-географических, гидрометеорологических и навигационно-гидрографических условий района обеспечения.

При этом перечнем основных мероприятий целесообразно предусмотреть:

- организацию функционирования средств навигационного оборудования района обеспечения;
- организацию функционирования служб управления движением судов и береговой системы наблюдения района обеспечения;
- лоцманское обеспечение;
- обеспечение объектов оперативной навигационной и гидрометеорологической информацией, картографическими и корректурными материалами;

– обеспечение объектов морскими средствами навигации, средствами навигационного и гидрометеорологического оборудования.

В случае необходимости перечнем должны быть предусмотрены мероприятия по проектированию путей движения судов, развертыванию дополнительных средств навигационного оборудования и т. д.

Основные этапы и сроки выполнения мероприятий по НГО в рассматриваемом районе

Основные этапы и сроки выполнения мероприятий по НГО тесно связаны с этапами жизненного цикла морского нефтегазового месторождения и их продолжительностью.

При разработке Плана НГО целесообразно ориентироваться на этап эксплуатации морского нефтегазового месторождения как наиболее долговременного, а План НГО этапа обустройства в силу своей специфики и объема работ – выделить в частный План.

Каждый из этапов должен включать в себя выполнение соответствующих мероприятий НГО.

Ресурсное обеспечение Плана

Как правило, в качестве ресурсного обеспечения рассматриваются государственные организации и (или) их подразделения, располагающие соответствующими материальными и техническими средствами (гидрографические суда, средства навигационного оборудования, морские средства навигации, картографические материалы и т.д.) для выполнения мероприятий навигационно-гидрографического обеспечения.

При определении ресурсного обеспечения Плана следует учитывать, что в настоящее время в Арктическом регионе РФ этим требованиям удовлетворяют следующие федеральные органы исполнительной власти и их подразделения:

1. Министерство обороны РФ;
2. Министерство транспорта РФ;
3. Министерство природных ресурсов и экологии РФ.

При этом общие мероприятия по НГО выполняются подразделениями федеральных органов исполнительной власти на бюджетной основе, а специализированные – на договорной.

Организация управления и связи в районе обеспечения

Выполнение организационных и координационных мероприятий по НГО объектов обустройства и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений целесообразно возложить на оператора проекта (организацию, создаваемую для реализации проекта освоения нефтегазового месторождения и осуществляющую текущую хозяйственную деятельность).

При этом предусматривается выполнение оператором проекта следующих основных задач:

1. Взаимодействие с подразделениями федеральных органов исполнительной власти и координация их деятельности с целью:
 - организации функционирования и использования средств навигационного оборудования;
 - организации функционирования и использования служб управления движением судов (СУДС) и береговой системы наблюдения (БСН);

- изменения режима плавания в связи с разработкой путей движения судов и морских районов;
- лоцманского обеспечения;
- обеспечения объектов картографическими и корректурными материалами;
- обеспечения объектов техническими средствами навигации, гидрометеорологии и их ремонта;
- организации обеспечения объектов оперативной навигационной и общей (специализированной) гидрометеорологической информацией.

2. Анализ навигационно-гидрографической обстановки в районе обеспечения, прогнозирование и планирование использования судов, диспетчерское управление движением судов.

Организацией связи рационально предусмотреть:

- поддержание двусторонней связи объектов с береговым пунктом управления (диспетчерским пунктом);
- поддержание двусторонней связи объектов с постами технического наблюдения БСН и СУДС портов в зоне их действия;
- поддержание двусторонней связи с объектами других ведомств;
- прием оперативной навигационной и гидрометеорологической информации.

Особые условия при выполнении мероприятий по НГО в рассматриваемом районе

Особыми условиями при выполнении мероприятий по НГО в арктических морях целесообразно считать наличие ледового покрова на протяжении большей части времени года, недостаточно развитую инфраструктуру НГО и т. п.

Наличие ледового покрова определяет сезонность судоходства, ограничивает и затрудняет надводное плавание, что, в свою очередь, оказывает влияние на навигационную безопасность плавания.

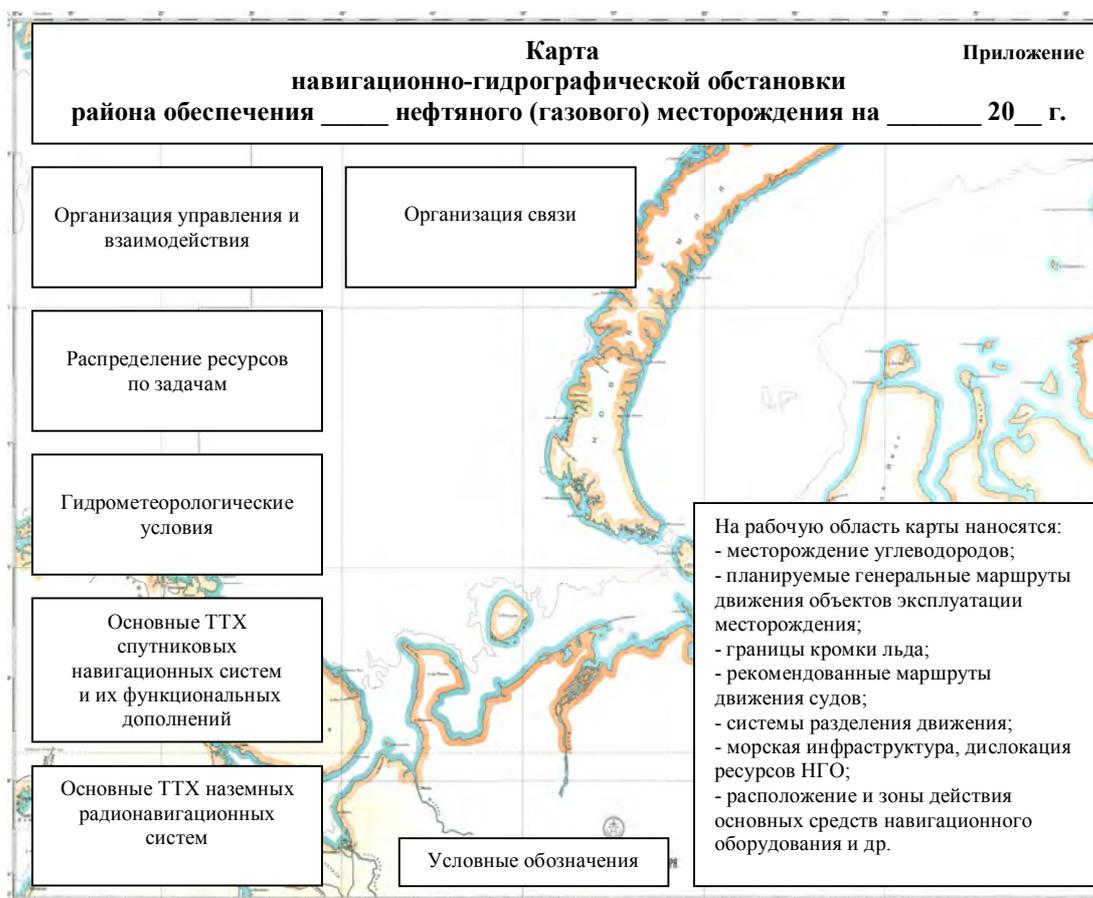
В этих условиях очевидна необходимость и целесообразность использования ледокольного обеспечения плавания судов.

При планировании мероприятий ледокольного обеспечения следует учитывать, что в настоящее время необходимыми ресурсами для их выполнения располагают следующие федеральные органы исполнительной власти и их подразделения:

1. Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом»;
2. Министерство транспорта РФ.

Карта навигационно-гидрографической обстановки (приложение к Плану НГО)

Объём, характер и содержание информации, наносимой на карту навигационно-гидрографической обстановки, зависят от задач обеспечения и условий конкретных районов. Вариант исполнения карты навигационно-гидрографической обстановки представлен на рисунке.



Карта навигационно-гидрографической обстановки (вариант)

Эта информация должна позволять произвести оценку влияния навигационно-гидрографической обстановки на использование и безопасность объектов обустройства и эксплуатации нефтегазовых месторождений.

Таким образом, увеличение потенциальных рисков возникновения морских аварий, связанное с повышением интенсивности судоходства, активизацией разведки и добычи нефти на континентальном шельфе, строительством нефтяных терминалов и увеличением транспорта газа и перевозок нефти морем приводит к необходимости совершенствования системы НГО как важнейшей составляющей общей системы безопасности эксплуатации морских нефтегазовых месторождений.

Планирование НГО жизненного цикла нефтегазовых месторождений обеспечивает своевременность и эффективность принятия управленческих решений, устанавливает четкую цель и ясный способ ее реализации. При этом единый подход к разработке структуры и содержания Плана НГО как результата процесса планирования позволяет устранить неоднозначность трактовки состава работ, объема и требований к мероприятиям по НГО жизненного цикла нефтегазовых месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу (утверждены Указом Президента Российской Федерации от 18.09.2008 г., № Пр-1969) // Российская газета. – 30.03.2009.
2. Морская доктрина Российской Федерации на период до 2020 года // Красная звезда. – 23.08.2001.
3. Алексеев С. П., Герасимов В. М., Добротворский А. Н., Дерцакян А. К. Пути решения проблемы навигационного обеспечения освоения и эксплуатации нефтегазовых месторождений на арктическом шельфе // Навигация и гидрография. – 1997. – № 4. – С. 9–28.
4. Морозова Т. Г., Пулькин А. В. Прогнозирование и планирование в условиях рынка. – М.: ЮНИТИ-ДИАНА, 2001. – 318 с.
5. Черныш Е. А., Молчанова Н. П. Прогнозирование и планирование. – М.: Наука, 1999. – 172 с.

MODERN APPROACH TO DEVELOPMENT OF THE STANDARD PLAN OF NAVIGATION-HYDROGRAPHIC SUPPORT FOR THE OBJECTS OF DEVELOPMENT AND EXPLOITATION OF THE OFFSHORE OIL-GAS FIELDS ON THE ARCTIC SHELF

**S. V. Yatsenko,
N. N. Shalagin,
E. I. Rudenko**
(«GNINGI» OJSC)

The main provisions concerning the substantiation of requirements to composition, structure and content of a standard plan of navigation-hydrographic support for the objects of construction and exploitation of the offshore oil-gas fields on the Arctic shelf, are considered. The variant of the navigation-hydrographic situation chart for the required area is suggested.

УДК 551.5

МОДЕЛЬ ВЕРОЯТНОСТНОГО ОПИСАНИЯ ДВИЖУЩЕЙСЯ ВОЛНОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВО ВРЕМЕННОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛНЕНИЯ ДРЕЙФУЮЩИМИ ВОЛНОМЕРНЫМИ БУЯМИ

**Ю. С. ДУБИНКО,
Н. Н. ЖИЛЬЦОВ**
(ОАО «ГНИНГИ»)

В статье предложена модель движущейся волновой поверхности во временном представлении для определения основных статистических характеристик в зависимости от ширины спектра волнового процесса. Описанная модель в сравнении с применяемыми в практике моделями волновых измерений позволяет существенно расширить полноту и повысить достоверность описания волнового процесса, что значительно увеличивает возможности ее практического применения при решении прикладных задач.

Используемая в настоящее время в практике волновых измерений дрейфующими волномерными буйами модель вероятностного описания вертикальных колебаний волнового процесса основана на нормальном законе распределения

ординат волнового процесса и определении средней высоты волн в соответствии с распределением Релея. Она описывает лишь одну из стадий развития волнового процесса – регулярное развитое волнение и не позволяет обеспечить в полной мере решение широкого круга прикладных задач. В связи с этим возникает необходимость создания модели описания волнового процесса на всех стадиях его развития, что позволило бы, с одной стороны, обеспечить решение прикладных задач, а с другой – разрабатывать и создавать новые методы и средства измерений волномерными дрейфующими буями.

Исходным положением модельного представления процесса вертикальных колебаний движущейся волновой поверхности во времени для определения основных статистических характеристик волнения дрейфующими волномерными буями является совместное распределение значений (ординат) стационарного гауссова случайного процесса $Z(t)$ с нулевым средним значением $\overline{Z(t)} = 0$, первой $Z'(t)$ и второй $Z''(t)$ его производных, характеризующих динамику развития процесса, выражаемое [1, 2, 3] в виде:

$$f(z, z', z'') = \frac{1}{(2\pi)^{3/2} \sigma_z \sigma_{z'} \sigma_{z''} \sqrt{1-r^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-r^2)} \left[\frac{z^2}{\sigma_z^2} + \frac{2rzz''}{\sigma_z \sigma_{z''}} + \frac{z''^2}{\sigma_{z''}^2} \right] - \frac{z'^2}{2\sigma_{z'}^2} \right\}, \quad (1)$$

где σ_z^2 – дисперсия функции $Z(t)$;
 $\sigma_{z'}^2$ и $\sigma_{z''}^2$ – дисперсии первой $Z'(t)$ и второй $Z''(t)$ производных функции $Z(t)$;
 $0 \leq r \leq 1$ – коэффициент взаимной корреляции значений функций $Z(t)$ и $Z''(t)$.

Отсутствие взаимной корреляционной связи между функцией $Z(t)$ и ее первой производной $Z'(t)$, а также между первой $Z'(t)$ и второй $Z''(t)$ производными позволяет рассматривать их как статистически независимые случайные функции [4, 5]. В связи с этим совместное распределение (1) выражается в виде:

$$f(z, z', z'') = f(z') \cdot f(z, z''),$$

где $f(z') = \frac{1}{\sigma_{z'} \sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{z'^2}{2\sigma_{z'}^2} \right)$ – плотность нормального распределения $Z'(t)$,

$$f(z, z'') = \frac{1}{2\pi \sigma_z \sigma_{z'} \sigma_{z''} \sqrt{1-r^2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-r^2)} \left[\frac{z^2}{\sigma_z^2} + \frac{2rzz''}{\sigma_z \sigma_{z''}} + \frac{z''^2}{\sigma_{z''}^2} \right] \right\} \quad - \quad \text{плотность}$$

двумерного нормального распределения $Z(t)$ и $Z''(t)$.

Основными характеристиками, определяющими вероятностный процесс вертикальных колебаний движущейся волновой поверхности во времени, являются:

- средний период $\overline{T_0}$ – прохождения функцией $Z(t)$ среднего нулевого уровня $\overline{Z(t)}=0$;
- средний период $\overline{T_1}$ – прохождения функцией $Z'(t)$ среднего нулевого уровня $\overline{Z'(t)}=0$;
- средняя высота волн \overline{H} движущейся волновой поверхности.

Процесс вертикальных колебаний движущейся волновой поверхности во времени, описываемый стационарной случайной функцией $Z(t)$, характеризуется последовательностью моментов времени $t_i, i=0, 1, 2, 3, \dots$ прохождения функций $Z(t)$ среднего нулевого уровня $\overline{Z(t)}=0$, определяющей текущий временной интервал $\tau_i = t_{i+1} - t_i$ между значениями функции $Z(t)=0$.

Статистической характеристикой случайной временной последовательности моментов времени $\{t_i\}$ является средняя текущая частота следования моментов времени $\overline{N_0(t_i)} = N_0$, определяемая средним числом нулевых значений функции $Z(t) = 0$ в единицу времени.

Соответствующее среднее значение случайного параметра τ_i определяется как $\bar{\tau} = \frac{1}{N_0}$, а средний период волнового колебательного процесса как $\bar{T}_0 = 2\bar{\tau} = \frac{2}{N_0}$.

Основу для определения параметра N_0 – среднего числа значений функции $Z(t)=0$ в единицу времени – составляет модель вероятностного описания процесса вертикальных колебаний взволнованной поверхности, выражаемая в виде:

$$P(z = 0, t) = \int_0^T dt \int_{-\infty}^{\infty} f(Z = 0, Z') Z' dZ', \quad (2)$$

где $P(z=0,t)$ – вероятность события $Z(t)=0$ в момент времени $t \in (t, t + dt)$ при изменении первой производной $Z'(t)$ в интервале $(-\infty, \infty)$;

$f(z, z')$ – двумерная функция нормального распределения значений случайной функции $Z(t)$ и ее первой производной $Z'(t)$;

T – временной интервал определения стационарного случайного процесса $Z(t)$.

В силу отсутствия взаимной корреляции между значениями функции $Z(t)$ и ее первой производной $Z'(t)$, [3, 4] двумерная функция распределения представляется в виде:

$$f(z, z') = f(z)f(z'),$$

где $f(z)$ и $f(z')$ – соответственно одномерные функции нормального распределения значений $Z(t)$ и $Z'(t)$, определяющими статистическими характеристиками которых являются средние значения $\overline{Z(t)}=0, \overline{Z'(t)}=0$ и дисперсии $\sigma_z^2, \sigma_{z'}^2$.

В результате в соответствии с выражением (2) среднее число значений функции $Z(t)=0$ в единицу времени определяется как

$$N_0 = \frac{1}{T} P(z = 0, t) = \frac{1}{\pi \sigma_z \sigma_{z'}} \int_0^{\infty} z' \cdot \exp\left(-\frac{z'^2}{2\sigma_{z'}^2}\right) dz'$$

и составляет величину, равную $N_0 = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\sigma_{z'}}{\sigma_z}$, а соответствующее среднее значение периода $Z(x, y, t)$ волнового колебательного процесса –

$$\bar{T}_0 = \frac{2}{N_0} = 2\pi \frac{\sigma_z}{\sigma_{z'}}. \quad (3)$$

Динамика процесса вертикальных колебаний движущейся волновой поверхности во времени, который описывается стационарной случайной функцией $Z'(t)$, характеризуется последовательностью моментов времени $t_k, k=0, 1, 2, 3, \dots$ прохождения функцией $Z'(t)$ среднего нулевого уровня $\overline{Z'(t)}=0$, определяющей временной интервал $\tau_k = t_{k+1} - t_k$ между последовательными значениями $Z'(t)=0$.

При этом случайная функция $Z'(t)$ сдвинута по фазе на $\pi/2$ относительно исходной функции $Z(t)$ и сохраняет ее периодичность, а нулевые значения $Z'(t)=0$ соответствуют экстремальным значениям (максимумам, минимумам) функции $Z(t)$.

Определяющей статистической характеристикой $Z'(t)$ является среднее нулевых значений функции $Z'(t)=0$ в единицу времени $-N_1$, определяющее соответствующее среднее значение максимумов и минимумов функции $Z(t)$.

Параметром, определяющим динамику процесса $Z'(t)$ и, соответственно, величину параметра N_1 , является ускорение, характеризуемое второй производной $Z''(t)$.

Случайная функция $Z''(t)$ находится в противофазе относительно исходной функции $Z(t)$, сохраняя ее периодичность. При этом нулевые значения функции $Z''(t)=0$ совпадают во времени с нулевыми значениями функции $Z(t)=0$, а экстремальные значения (максимумы, минимумы) функции $Z''(t)$ находятся в противофазе относительно экстремальных значений (максимумов, минимумов) функции $Z(t)$. Основу для определения параметра N_1 – среднего числа значений функции $Z'(t)$ в единицу времени – составляет модель вероятностного описания процесса динамики вертикальных колебаний взволнованной поверхности, выражаемая в виде:

$$P(z' = 0, t) = \int_0^T dt \int_{-\infty}^{\infty} f(z' = 0, z'') z'' dz''; \quad (4)$$

где $P(z'=0, t)$ – вероятность события $Z'(t)=0$ в момент времени $t \in (t, t + dt)$ при изменении $Z''(t)$ в интервале $(-\infty, \infty)$;

$f(z', z'')$ – двумерная функция нормального распределения значений функции $Z'(t)$ и $Z''(t)$.

В силу отсутствия взаимной корреляции между значениями функций $Z'(t)$ и $Z''(t)$ двумерная функция распределения выражается в виде:

$$f(z', z'') = f(z') f(z''),$$

где $f(z')$ и $f(z'')$ – одномерные функции нормального распределения значений $Z'(t)$ и $Z''(t)$, определяющими статистическими характеристиками которых являются средние значения $\overline{Z'(t)}=0$, $\overline{Z''(t)}=0$ и дисперсии $\sigma_{z'}^2$, $\sigma_{z''}^2$.

Таким образом, в соответствии с выражением (4) моделью для определения среднего числа нулевых значений $Z'(t)$ и соответствующего среднего числа максимумов функции $Z(t)$ является выражение вида:

$$N_1 = \frac{1}{T} P(z' = 0, z'') = \frac{1}{\pi \sigma_{z'} \sigma_{z''}} \int_0^{\infty} z'' \cdot \exp\left(-\frac{z''^2}{2\sigma_{z''}^2}\right) dz'',$$

которое составляет величину, равную $N_1 = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{\sigma_{z''}}{\sigma_{z'}}$, а соответствующее значение среднего периода волнового колебательного процесса будет иметь вид:

$$\bar{T}_1 = \frac{2}{N_1} = 2\pi \cdot \frac{\sigma_{z'}}{\sigma_{z''}}. \quad (5)$$

Определение высоты волн движущейся волновой поверхности связано с функцией плотности вероятности распределения экстремальных значений (максимумов, минимумов) функции $Z(t)$.

Условиями, определяющими экстремальные значения функции $Z(t)$ на временной оси, являются:

- Максимумы – $Z_{max}(t_i)$, $i=0, 1, 2, 3 \dots$
- $Z'(t_i)=0$; $Z''(t_i)<0$;
- Минимумы – $Z_{min}(t_i)$, $i=0, 1, 2, 3 \dots$
- $Z'(t_i')=0$; $Z''(t_i')>0$,

где $Z'(t)$ и $Z''(t)$ – соответственно первая и вторая производные функции $Z(t)$;

t_i, t_i' – моменты времени, соответствующие положению максимумов и минимумов функции $Z(t)$ на временной оси.

Моделью вероятностного описания максимальных значений амплитуд процесса $Z(t)$ относительно нулевого среднего уровня $\overline{Z(t)}=0$ является выражение вида:

$$P(Z_{max}, t) = \int_0^{\infty} Z'' f(Z = Z_{max}, Z' = 0, Z'') dz'', \quad (6)$$

где $P(Z = Z_{max}, Z' = 0, Z'')$ – вероятность события $Z(t)=Z_{max}(t)$, отвечающего условию $Z'(t)=0; Z''(t)<0$;

$f(Z, Z', Z'')$ – совместное распределение значений функций $Z(t); Z'(t), Z''(t)$ при изменении $Z''(t)$ в интервале $(0, \infty)$.

В соответствии с выражением (1) формула (6) преобразуется к виду:

$$P(Z_{max}, t) = \frac{\sqrt{1-r^2}}{(2\pi)^{\frac{3}{2}}} \frac{\sigma_{z''}}{\sigma_z \sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{1-r^2} \frac{Z_m^2}{2\sigma_z^2}\right) + \frac{r}{2\pi} \frac{\sigma_{z''}}{\sigma_z \sigma_z} \frac{Z_m}{\sigma_z} \cdot \exp\left(-\frac{Z_m^2}{2\sigma_z^2}\right) \Phi\left(\frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \frac{Z_m}{\sigma_z \sqrt{2}}\right), \quad (7)$$

где r – коэффициент взаимной корреляции значений функции $Z(t)$ и $Z''(t)$,

определяемый как $r = \frac{\bar{T}_1}{\bar{T}_0} = \frac{\sigma_{z'}^2}{\sigma_z \sigma_{z''}}$; $0 \leq r \leq 1$;

\bar{T}_1 – средний период следования максимумов функции $Z(t)$;

\bar{T}_0 – средний период следования нулевых значений функции $Z(t)$;

$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$ – функция Лапласа, где $x = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \frac{Z_m}{\sigma_z \sqrt{2}}$.

Выражение (7), отнесенное к периоду \bar{T}_1 , определяющему верхнюю граничную частоту спектра волнового процесса, преобразуется в функцию плотности вероятности распределения максимумов функции $Z(t)$:

$$f(Z_m) = \frac{1}{\bar{T}_1} \Phi(Z_{max}, t) = \frac{\sqrt{1-r^2}}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{1-r^2} \frac{Z_m^2}{2\sigma_z^2}\right) + r \frac{Z_m}{\sigma_z^2} \exp\left(-\frac{Z_m^2}{2\sigma_z^2}\right) \Phi\left(\frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \frac{Z_m}{\sigma_z \sqrt{2}}\right). \quad (8)$$

Соответствующее выражение функции плотности вероятности распределения максимумов $Z(t)$ в зависимости от параметра ε – относительной среднеквадратической ширины спектра волнового процесса – имеет вид:

$$f(Z_m) = \frac{\sqrt{\varepsilon}}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left(-\frac{1}{\varepsilon} \frac{Z_m^2}{2\sigma_z^2}\right) + \sqrt{1-\varepsilon} \frac{Z_m}{\sigma_z^2} \exp\left(-\frac{Z_m^2}{2\sigma_z^2}\right) \Phi\left(\frac{\sqrt{1-\varepsilon}}{\varepsilon} \frac{Z_m}{\sigma_z \sqrt{2}}\right), \quad (9)$$

где $\varepsilon = 1 - r^2 = \frac{\sigma_z^2 \sigma_{z''}^2 - \sigma_{z'}^4}{\sigma_z^2 \sigma_{z''}^2}, 0 \leq \varepsilon \leq 1;$

$$\sigma_z^2 \sigma_{z''}^2 - \sigma_{z'}^4 = \frac{1}{8\pi^2} \iint_{-\infty}^{\infty} (\omega_{z''}^2 - \omega_{z'}^2)^2 S(\omega_{z'}) S(\omega_{z''}) d\omega_{z'} d\omega_{z''} -$$

среднеквадратическая ширина спектра $Z(t)$;

$S(\omega_{z'}) S(\omega_{z''})$ – соответственно спектр процесса $Z'(t)$ и $Z''(t)$.

В зависимости от коэффициента взаимной корреляции r и, соответственно, параметра ε выделяются два предельных случая.

1-й случай

$r=0; \varepsilon=1$ – широкий спектр волнового процесса, формируемый первичными и вторичными волнами.

В этом случае $\bar{T}_1 \ll \bar{T}_0$, т. е. определяющим является \bar{T}_1 – средний период следования нулевых значений функции $Z(t)=0$, соответствующий локальным максимумам $Z(t)$, образованным в результате нелинейного взаимодействия первичных волн.

Распределение максимумов $Z(t)$ подчиняется нормальному закону, выражаемому в виде:

$$f(Z_m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_z} \exp\left(-\frac{Z_m^2}{2\sigma_z^2}\right). \quad (10)$$

Основные характеристики распределения определяются как:

$\bar{Z}_m = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sigma_z$ – среднее значение максимальных амплитуд волнового процесса;

$\sigma_{z_m} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sigma_z$ – среднеквадратическое отклонение максимальных амплитуд волнового процесса.

Соответствующие характеристики, определяющие высоту волн, выражаются в виде:

$\bar{H} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \sigma_z$ – среднее значение высоты волн;

$\sigma_{H_m} = 2\sigma_{z_m} = \sqrt{2} \sigma_z$ – среднеквадратическое отклонение высоты волны.

2-й случай.

$r=1; \varepsilon=0$ – узкий спектр, формируемый основными энергонесущими частотами первичных волн.

В этом случае $\bar{T}_1 = \bar{T}_0$, т. е. определяющим является \bar{T}_0 – средний период следования нулевых значений функции $Z(t)$.

Функция плотности вероятности распределения максимальных амплитуд $Z(t)$ подчиняется закону Рэлея и выражается в виде:

$$f(Z_m) = \frac{z_m}{\sigma_z^2} \exp\left(-\frac{z_m^2}{2\sigma_z^2}\right), Z_m > 0. \quad (11)$$

Основные характеристики распределения определяются как:

$\bar{z}_m = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma_z$ – среднее значение максимальной амплитуды волн;

$\sigma_{z_m} = \sqrt{2 - \frac{\pi}{2}} \sigma_z$ – среднеквадратическое отклонение максимальной амплитуды волн.

Вероятность появления амплитуд Z_m , превышающих заданную величину Z_3 , – $\tilde{P}(Z_3) = \tilde{P}(Z_m > Z_3)$ – обеспеченность, определяется в виде интегрального распределения Рэлея:

$$\tilde{P}(Z_3) = \exp\left\{-\frac{\pi}{4}\left(\frac{Z_3}{\bar{Z}_3}\right)^2\right\} = \exp\left(-\frac{Z_3^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (12)$$

где $\bar{Z}_3 = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \sigma_z$ – среднее значение максимальной амплитуды волн.

Амплитуда волн заданной обеспеченности \tilde{P} определяется как

$$Z_3 = k \sigma_z,$$

где σ_z – среднеквадратическое отклонение ординат волн, а коэффициент $k = \sqrt{-2 \ln \tilde{P}(Z_3)}$.

Значения коэффициента k для различной обеспеченности \tilde{P} приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициента k для различной обеспеченности \tilde{P}

$\tilde{P}, \%$	0,1	0,5	1	3	5	10	13,5
k	3,7	3,25	3,04	2,64	2,44	2,15	2,0
$\tilde{P}, \%$	20	30	45,6	50	70	90	
k	1,79	1,45	1,25	1,18	1,085	0,45	

Соответственно, высота волн заданной обеспеченности – $\tilde{P}(H_3)$ при принятом согласно данным [2] определении $H_3=2Z_3$ выражается интегральным распределением Рэлея в виде:

$$\tilde{P}(H_3) = \exp\left\{-\frac{\pi}{4}\left(\frac{H_3}{\bar{H}_3}\right)^2\right\} = \exp\left(\frac{-H_3^2}{8\sigma_z^2}\right), \quad (13)$$

где $\bar{H}_3 = \sigma_z \sqrt{2\pi}$ – средняя высота волны.

Высота волн определенной обеспеченности является удобной характеристикой интенсивности морского волнения. В частности, шкала степени волнения в баллах, принятая в 1953 г. Главным управлением гидрометслужбы (ГУГМС), составлена по градациям высот волн 3%-ной обеспеченности.

В общем случае, когда $0 < r < 1$, $0 \leq \varepsilon \leq 1$ – ширина спектра процесса $Z(t)$ формируется как основными первичными, так и вторичными волнами. При этом доля участия в формировании максимумов функции $Z(t)$ определяется величиной отношения $\frac{T_1}{T_0}$, где $0 < \frac{T_1}{T_0} < 1$.

Распределение максимальных значений функции $Z(t)$ описывается выражением (8), в соответствии с которым среднее значение максимальных амплитуд волнового процесса в зависимости от параметра r определяется как

$$\overline{Z_{m\Sigma}} = \overline{Z_{m1}} + \overline{Z_{m2}},$$

где $\overline{Z_{m1}} = \sqrt{\frac{2}{\pi}} r \operatorname{arctg} \frac{r\sqrt{2}}{\sqrt{1-r^2}} \sigma_z$, $\overline{Z_{m2}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} (1-r^2)^{3/2} \sigma_z$.

Зависимость $\overline{Z_{m1}}$, $\overline{Z_{m2}}$ и $\overline{Z_{m\Sigma}}$ от параметра r представлена на рис. 1, а доля относительного вклада составляющих в $\overline{Z_{m\Sigma}}$ – на рис. 2.

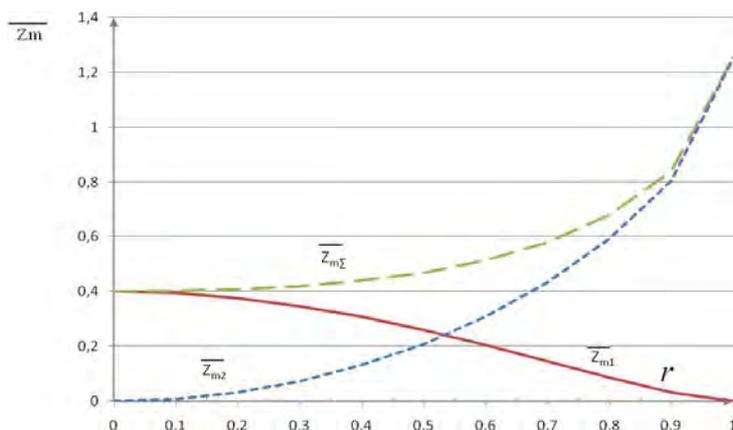


Рис. 1. Зависимость $\overline{Z_{m1}}$, $\overline{Z_{m2}}$ и $\overline{Z_{m\Sigma}}$ от параметра r

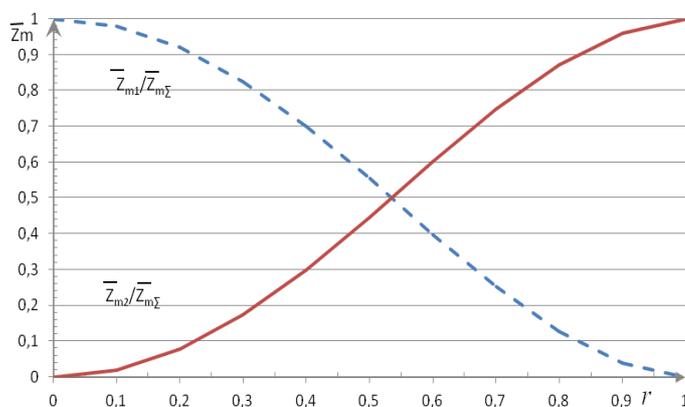


Рис. 2. Относительный вклад составляющих $\overline{Z_{m1}}$ и $\overline{Z_{m2}}$ в $\overline{Z_{m\Sigma}}$ в зависимости от параметра r

Соответствующее определение среднего значения максимальных амплитуд волнового процесса в зависимости от параметра ε выражается в виде:

$$\overline{Z_{m\Sigma}} = \overline{Z_{m1}} + \overline{Z_{m2}},$$

где $\overline{Z_{m1}} = \sqrt{\frac{2(1-\varepsilon)}{\pi}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{2(1-\varepsilon)}{\varepsilon}} \sigma_z$; $\overline{Z_{m2}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \varepsilon^{3/2} \sigma_z$.

Зависимость $\overline{Z_{m1}}$, $\overline{Z_{m2}}$ и $\overline{Z_{m\Sigma}}$ от параметра ε представлена на рис. 3, а доля относительного вклада составляющих $\overline{Z_{m1}}$ и $\overline{Z_{m2}}$ в $\overline{Z_{m\Sigma}}$ – на рис. 4.

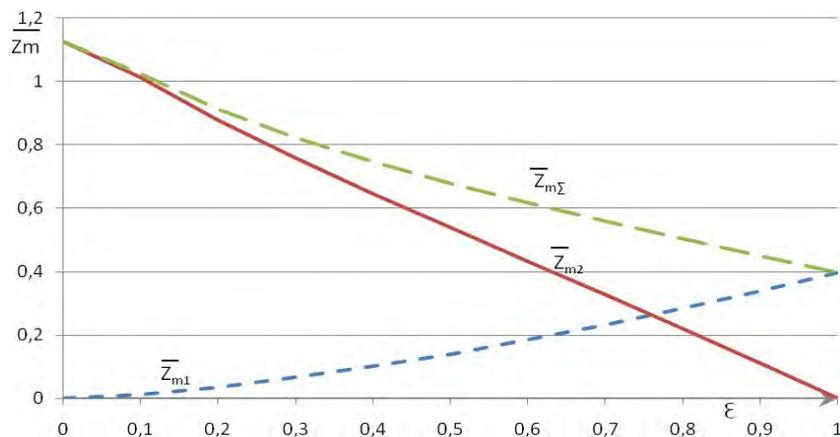


Рис. 3. Зависимость $\overline{Z_{m1}}$, $\overline{Z_{m2}}$ и $\overline{Z_{m\Sigma}}$ от параметра ε

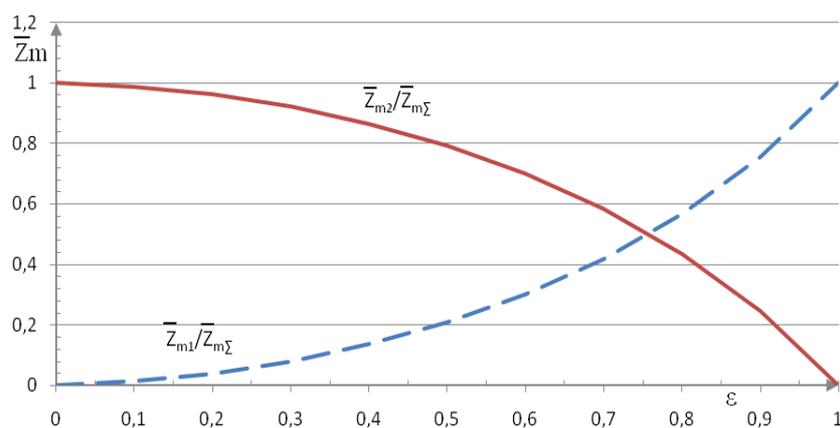


Рис. 4. Относительный вклад составляющих $\overline{Z_{m1}}$ и $\overline{Z_{m2}}$ в $\overline{Z_{m\Sigma}}$ в зависимости от параметра ε

Аналогичные зависимости от параметра r и ε справедливы для средней высоты волн, определяемой согласно работе [6] как $\overline{H} = 2\overline{Z_{m\Sigma}}$.

В результате из представленной модели вероятностного описания движущейся волновой поверхности во временном представлении следует, что:

1. Полнота и достоверность определения основных статистических характеристик (период, высота волн) вертикальных колебаний волнового процесса в существенной степени зависят от относительной среднеквадратической ширины спектра волнового процесса, определяемой коэффициентом взаимной корреляции между значениями (ординатами) и ускорениями вертикальных колебаний волнового процесса.

2. Модель вероятностного описания вертикальных колебаний волнового процесса, используемая в настоящее время в практике волновых измерений дрейфующими волномерными буями, охватывает лишь часть волнового процесса – регулярное развитое волнение, что соответствует предельному случаю представленной модели, когда относительная среднеквадратическая ширина спектра процесса $\varepsilon \rightarrow 0$, т. е. узкий спектр, формируемый основными энергонесущими частотами первичных волн без учета вторичных волн.

3. Требуемая для широкого круга прикладных задач полнота и достоверность описания вертикальных колебаний волнового процесса обеспечивается в рамках предлагаемой модели путем определения основных статистических характеристик \bar{T}_0 , \bar{T}_1 , \bar{H} на основе исходной информации, получаемой путем измерений дрейфующими волномерными буями ординат, скоростей и ускорений вертикальных колебаний волнового процесса с определением их среднеквадратических отклонений, где \bar{T}_0 – средний период первичных колебаний, формирующих основной спектр процесса;

\bar{T}_1 – средний период максимальных значений амплитуд, характеризующий верхнюю граничную частоту спектра вертикальных колебаний волнового процесса;

\bar{H} – средняя высота волн, определяемая в зависимости от параметра ε – относительной среднеквадратической ширины спектра волнового процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рожков В. А. Теория вероятностей случайных событий, величин и функций с гидрометеорологическими примерами. Книга II. – СПб.: Прогресс-Погода, 1996. – 557с.
2. Лонге-Хиггенс М. С. Статистический анализ случайной движущейся поверхности. Ветровые волны. Сб. ст. под ред. Ю. М Крылова. – М.: Изд-во ИЛ, 1962. С. 129–146.
3. Крылов Ю. М. Спектральный метод исследования морского волнения. – Л.: Гидрометиздат, 1966. – 231 с.
4. Казакевич Д. И. Основы теории случайных функций и ее применение в гидрометеорологии. – Л.: Гидрометиздат, 1971. – 261 с.
5. Крылов Ю. М. Спектральные методы исследования и расчета ветровых волн. Л.: Гидрометиздат, 1966. – 46 с.
6. Грязин Д. Г. Расчет и проектирование буюв для измерения морского волнения. СПб: ИТМО, 2000. – 133 с.

MODEL OF PROBABILISTIC DESCRIPTION OF THE MOVING WAVE SURFACE IN THE TEMPORAL REPRESENTATION TO DETERMINE THE MAIN STATISTICAL WAVE CHARACTERISTICS BY THE DRIFTING WAVE-MEASURING BUOYS

**Y. S. Doubinko,
N. N. Zhiltsov**
(«GNINGI» OJSC)

The model of the moving wave surface in the temporal representation in order to determine the main statistical characteristics, depending on the spectrum width of the wave process is presented. The suggested model, as compared with the wave measurement models used in practice, allows to extend the completeness and increase the authenticity of the wave process description, which considerably extends, the possibility of its application when solving the applied problems.

**ВЗГЛЯД СПЕЦИАЛИСТОВ ВМС США НА СОСТАВ И КРИТИЧЕСКИЕ
ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ, ВЛИЯЮЩИХ НА БОЕВЫЕ
ДЕЙСТВИЯ****С. И. МАСТРЮКОВ**
(ОАО «ГНИНГИ»)

Приведены результаты обобщения представлений, сложившихся в ВМС США, о составе и критических значениях параметров природной среды, влияющих на боевые действия. Методическая основа учета состояния природной среды на боевые действия базируется на глубоком анализе механизмов влияния среды на действия ВМС США. Наличие хорошо формализованной системы критических значений параметров среды облегчает организацию гидрометеорологического обеспечения и учет влияния среды на боевые действия.

Один из подходов к обоснованию требований к составу параметров природной среды, необходимых для гидрометеорологического обеспечения (ГМО) ВМФ, основан на анализе зарубежного опыта.

В состав проанализированных источников информации вошли результаты работ, выполненных под эгидой Национального Совета США по исследованиям (National Research Council), опубликованные в издании National Academy Press [1]. Другим важным источником информации послужили доступные в сети Интернет нормативно-методические документы учреждений и служб Министерства обороны США [2–8].

Национальный Совет США по исследованиям организован Национальной Академией наук США и Национальной академией инженеров (National Academy of Engineering) для оперативного взаимодействия с правительством, научным и инженерным сообществом и населением. По существу публикации этого Совета имеют статус официальных изданий. Особый интерес представляет опубликованная в 2003 г. работа «Environmental Information for Naval Warfare» [1]. Эта работа поддержана грантами Службы Военно-морских исследований и Океанографической службы ВМС США. В число участников проекта по подготовке этой книги вошли 13 действующих офицеров ВМС США. Перевод книги на русский язык, несомненно, способствовал бы совершенствованию ГМО ВМФ РФ.

В ВМС США создана развитая система гидрометеорологического обеспечения (в терминологии ВМС – Navy METOC Support System). Эта система заслуживает самостоятельного исследования вне рамок настоящей работы. Основной целью этой системы является подготовка информационной продукции и поддержка действующих сил Флота и сил Объединенного военного командования. К основным видам информационной продукции относятся аналитическая и прогностическая информация о состоянии океана и атмосферы для обеспечения операций, применения оружия, сенсорных систем наблюдения на этапе принятия тактических решений, а также – климатическая информация для заблаговременного планирования операций.

При принятии решений и заблаговременном планировании операций, наряду с информацией о среде, при оценке влияния среды на действия сил используется ряд моделей. При оценке влияния среды и использовании соответствующих моделей требуется знать состав влияющих параметров, их значения и механизмы влияния среды на характеристики сил и средств. Модели оценки риска действий сил ВМС требуют задания так называемых критериев (пороговых значений) неблагоприятных/сложных гидрометеорологических условий. Ниже приведены результаты обобщения принятых в практике ВМС США состава и критических значений влияющих параметров среды.

В соответствии с военно-морской доктриной США (2000 г.) морские операции ВМС делятся на пять основных направлений:

- морское доминирование (в том числе минная война, противолодочная война, поверхностная война – действия против морских надводных целей);
- воздушное доминирование (противовоздушная оборона, противоракетная оборона кораблей, подавление сил ПВО противника);
- пресечение использования противником обычного оружия и оружия массового поражения;
- демонстрация (проецирование) военной силы (использование авиации и ракет по наземным целям, специальные морские операции, десантные операции и т. п.);
- обеспечение наблюдательного и информационного превосходства (т. е. разведка, наблюдение, гидрометеорологическое обеспечение).

Последний (пятый) вид действий – «Naval METOC» нацелен на информационную поддержку первых четырех традиционных видов боевых действий.

По своим особенностям боевые действия разделены на 12 типов. Их названия на русском и английском языках и условные сокращения приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные типы действий ВМС США

№	Mission Area	Вид действий (перевод)	Acronym (сокращение)
1	Anti-Air Warfare	Противовоздушная война	AAW
2	Amphibious Warfare	Амфибийная война (десантные операции)	AMW
3	Anti-Surface Warfare/Over-the-Horizon Targeting	Противоповерхностная война, загоризонтное наведение	ASW/OTHT
4	Command/Control/Communications/Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance	Управление/Контроль/Связь/компьютеры, разведка, наблюдение, идентификация	C4ISR
5	Logistics and Sealift/Joint Logistics Over the Shore	Логистика, морская транспортировка/переброска по суше	LOG/JLOTS
6	Mine Counter Measures/Mine Warfare	Противоминные действия/ минная война	MCM/MIW
7	Operations Other Than War	Небоевые операции	OOTW
8	Naval Special Warfare	Специальные военно-морские операции	NSW
9	Strategic Deterrence and Weapons of Mass Destruction	Предотвращение применения стратегического вооружения и оружия массового уничтожения	STRAT/WMD
10	Strike Warfare	Авиационные и ракетные удары по наземным целям	STRIKE
11	Undersea Warfare	Подводная война	USW
12	War games and Training Issues	Военные игры (учения) и тренажеры	WGT

Приведенный в работе [6] состав параметров природной среды, которые влияют на перечисленные в табл. 1 виды боевых действий, с оценкой суммарного количества выделенных видов боевых действий (БД), на которые они влияют, представлен в табл. 2.

Таблица 2

Состав параметров природной среды и суммарное количество выделенных в табл. 1 действий ВМС США, на которые эти параметры влияют

Параметр состояния среды	Количество видов БД	Параметр состояния среды	Количество видов БД
Blowing sand (песчаная буря)	12	Refraction (optical and acoustic) (рефракция)	9
Ceiling layers (облачные слои)	12	Topography (топография)	9
Cloud cover, type, etc. (характеристики облачности)	12	Twilight time (время сумерек)	9
Dew point (температура точки росы)	12	Bioluminescence (биолюминисценция)	8
Dusting (условия распространения радиосигналов и ЭМИ)	12	Breaker interval (зона разрушения волн)	8
Aerosols, haze, smoke (аэрозоли, газы, смог)	12	Salinity (соленость)	8
Humidity (влажность)	12	Temperature (water column profile) (профиль температуры)	8
Icing (aircraft) (обледенение авиации)	12	Tides (phases, heights, times, currents) (характеристики приливов)	8
Lightning (грозы)	12	Waterclarity (прозрачность воды)	8
Moisture profile (профиль влажности)	12	Breaker direction	7
Precipitation (type, rate, total) (осадки – тип, интенсивность, количество)	12	Breaker height (высота разрушающихся волн)	7
Sunrise/sunset (восход/заход солнца)	12	Ice edge (кромка льда)	7
Temperature (air, sea, land) (температура воздуха, воды, суши)	12	Marine mammals (морские млекопитающие)	7
Temperature (vertical profile) (профиль темп.)	12	Moon angle (азимут Луны)	7
Wave height, period, direction, etc. (высота, период, направление волнения)	12	Moon illumination (лунная освещенность)	7
Surface wind (direction and speed) (скорость и направление ветра)	12	Moon phase (фаза Луны)	7
Barometric pressure (атмосферное давление)	11	Noise precipitation (шум от осадков)	7
Fog (туманы)	11	Reverberation effects (реверберация)	7
Icebergs (айсберги)	11	Sound speed profile (профиль скорости звука)	7
Icing (sea surface) (морское обледенение)	11	Sun angle (азимут Солнца)	7
Magnetic anomalies (аномалии магнитного поля)	11	Time interval synchronization (интервал синхронизации)	7
Moon rise/set (восход и заход луны)	11	Transmission loss (потери на распространение сигналов)	7

Параметр состояния среды	Количество видов БД	Параметр состояния среды	Количество видов БД
Sea ice (морской лед)	11	Astronomical time (астрономическое время)	7
Sea spray (морские брызги)	11	Beach slope (угол наклона пляжа)	6
Water depth (глубина)	11	Bottom gradient (наклон дна)	6
Wind aloft (direction and speed) (ветер на высотах – направление и скорость)	11	Bottom loss (донные потери на распространение звука)	6
Wind shear (i.e., vertical wind profile) (сдвиг ветра – вертикальный профиль)	11	Bottom roughness (неровности дна)	6
Air turbulence (атмосферная турбулентность)	10	Breaker type (тип разрушения волн)	6
Currents (surface) (течения на поверхности)	10	Clutter density (радиопомехи)	6
Inversion rate (степень инверсии)	10	Currents (bottom) (течения у дна)	6
Ionospheric scintillation (возмущения ионосферы)	10	Frequency stability (стабильность частот)	6
Precise time (точное время)	10	Noise (shipping) (шум от судов)	6
Solar flares (вспышки на Солнце)	10	Noise (waves) (шум от волнения)	6
Solar flux (интенсивность потока солнечной энергии)	10	Shipping traffic (интенсивность мореплавания)	6
Temperature (horizontal variation) (горизонтальное распространение температуры)	10	Convergence zone (зоны конвергенции)	5
Anchorage (места постановки на якорь)	9	Noise (sea ice) (шум от морского льда)	5
Sea floor composition (состав морских грунтов)	9	Beach trafficability (проходимость пляжей)	5
Reefs (риффы и подводные опасности)	9	Noise (biological) (шумы биологические)	4
Currents (water column) (течения в толще)	9	Surf zone length (длина зоны прибоя)	4
Precipitation (type) (осадки – тип)	9	Surf zone width (ширина зоны прибоя)	4

Методическая основа определения состава влияющих на боевые действия параметров состояния природной среды, базируется на глубоком анализе механизмов влияния среды на действия ВМС США [1].

Таким образом, в ВМС США выделено более 80 параметров состояния среды, влияющих на боевые действия. Отметим, что ранжирование параметров по суммарному количеству видов действий ВМС США, на которые влияют природные параметры, не означает приоритетность тех или иных элементов состояния природной среды.

В дополнение к результатам оценки состава параметров природной среды, влияющих на боевые действия ВМС США, в настоящей работе изложены результаты обобщения сведений о критических (пороговых) значениях параметров природной среды (METOC thresholds) влияющих на отдельные виды боевых действий ВМС США.

Наиболее простым, но не единственным способом учета влияния среды на использование сил и средств в море является подход, основанный на задании критических значений. Априори ясно, что ввиду большого количества видов сил, средств и видов морских операций количество таких критических значений может быть весьма велико. В рамках настоящей работы сделана попытка обобщить доступные сведения о критических значениях параметров состояния природной среды, установленных в ВМС США. Выполненный обзор не претендует на полноту, поскольку автор отдает себе отчет в том, что часть сведений в силу ряда причин может носить закрытый характер.

В табл. 3 приведены сводные сведения о критических значениях параметров состояния среды, влияющих на боевые операции морских и амфибийных сил. Источником информации является справочное руководство [3], изданное Объединенным командованием сил США (US Joint Force Command).

Приведенные в этом документе критические значения соответствуют требованиям, изложенным в публикации [2].

Таблица 3

Критические значения параметров состояния среды для морских и амфибийных сил ВМС США

OPERATIONS (операции)	Параметр	FAVORABLE (благоприятные)	MARGINAL (сложные)	UNFAVORABLE (неблагоприятные)
NAVAL REFUEL (морская дозаправка)	Высота волнения	< 5 футов	5–9 футов	Более 9 футов
	Скорость ветра	Менее 20 уз	20–30 уз	Более 30 уз
FLT OPS CARRIER (морские транспортные операции)	Высота волнения	< 7 футов	7–12 футов	Более 12 футов
	Скорость ветра	Менее 25 уз	25–35 уз	Более 35 уз
	МДВ	>3 миль	0,5–3 мили	<0,5 миль
	CLG (ВНГО)	>1500 футов	200–1500 футов	< 200 футов
	Интенсивность осадков	<0,01 дюйм/час	0,01–0,5 дюйм/час	>0,5 дюйм/час
	Температура			>89,6°F, <32°F
	Грозы (удаление)	Более 5 миль	1,2–5 миль	Менее 1,2 мили
MISSILE OPS (применение ракетного оружия)	Высота волнения	< 6 футов	6–10 футов	Более 10 футов
ASW (противолодочные действия)	Высота волнения	< 6 футов	6–10 футов	Более 10 футов
SPODS - SEAPORTS (места десантирования, порты)	Скорость ветра у поверхности		20–35 уз	Более 35 уз
	Интенсивность осадков		0,1–2,0 дюйм/12 час	>2,0 дюйм/12 час
AIR TO AIR AFTER VISUAL (применение оружия после визуального обнаружения цели)	Облачность	Отсутствие облаков в слое +/- 5000 футов от уровня полета	отсутствие облаков в слое +/- 3000 футов от уровня полета	Наличие облаков в слое +/- 3000 футов от уровня полета
	Видимость на высоте полета	> 5 миль	3–5 миль	< 3 миль

OPERATIONS (операции)	Параметр	FAVORABLE (благоприятные)	MARGINAL (сложные)	UNFAVORABLE (неблагоприятные)
PATROL BOAT OPS (действия с патрульными катерами и судами)	Высота волнения	< 8 футов	8–12футов	Более 12 футов
	Скорость ветра	Менее 25 уз	25–40 уз	Более 40 уз
PERSONNEL OPS (использование пловцов)	Температура воды			Менее 32°F (0°C)
AMPHIB OPS General (десантные операции – общие ограничения)	Высота волнения	< 6 футов	6–8футов	Более 8 футов
	Скорость ветра	Менее 20 уз	20–30 уз	Более 30 уз
	Индекс msi			>6
	Прибрежное Течение			>3уз
	Температура			> 89,6°F или <32°F
	CLG (ВНГО?)	>3000 футов	1000–3000футов	< 1000 футов
	Гроза	Отсутствие		Удаление < 3 миль
NVG'S (приборы ночного видения)	Освещенность	>0,0022 люкс	0,0011–0.0022 люкс	<0,0011люкс
AIR ASSAULT (H-53/CH-46/COBRA) (авиаудары по пехоте противника)		VFR (визуальное ориентирование)	SVFR (специальное визуальное ориентирование)	IFR (инструментальное ориентирование)
	ВНГО, день	> 1000 футов	500–1000 футов	<1000 футов
	МДВ, день	>3 миль	1–3 миль	<1 миль
	ВНГО, ночь	> 1000 футов	500–1000 футов	<1000 футов
	МДВ, ночь	>3 миль	<3 миль	<3 миль
	Скорость ветра	Менее 25 уз	20–45 уз	Более 45 уз
WATERBORNE ASSAULT (GENERAL) (морские удары – общие ограничения для платформ)				
Combat rubber econnnaissance craft (CRRC) (резиновый разведочный. катер)	Высота волнения, футы	1	2	>2
	Максимальная высота прибора, футы	<2	2–3	>3
Landing Craft, Mechanized -LCM- 8 (десантный корабль механизированный)	Высота волнения, футы	2	3	>3
	Максимальная высота прибора, футы	<6	6–7	>7
	Индекс прибора MSI	<7	7–8	>8
Landing Craft, Utility – LCU (десантный корабль, обычный)	Высота волнения, футы	2	3	>3
	Максимальная высота прибора, футы	<6	6–7	>7
	Индекс прибора MSI	<7	7–8	>8
	Прибрежное течение, уз	<1	1–2	>2

Гидрография и морская картография

OPERATIONS (операции)	Параметр	FAVORABLE (благоприятные)	MARGINAL (сложные)	UNFAVORABLE (неблагоприятные)
Landing Craft Air Cushion (LCAC) – десантные корабли на воздушной подушке	Высота волнения, футы	3	4	>4
	Скорость ветра, уз	<25	25–30	>30
	Тип разрушения волн	Spilling (обычно при слабом уклоне дна 1/15–1/30)	Surging (накат волн обычно при очень большом уклоне дна)	Plunging (при большом уклоне дна, большая крутизна)
	Максимальная высота прибоя, футы	<7	7–8	>8
	Значение высоты прибоя, футы	0–4	4–8	8–12
	Допустимая нагрузка	75 т	60 т	45 т
Landing Craft, Vehicle, Personnel (LCVP) (десантный катер)	Индекс прибоя MSI	<4	4–5	>5
AMPHIB MARINE WARFARE/ HELO (десантирование с помощью авиации)	ВНГО, футы	>5000	300–5000	<300
	Видимость, метры	>4800	1000–4800	<1000
AMPHIB MARINE WARFARE/ LND CRAFT (десантирование с судов)	Высота волнения, футы	<1	1–5	>5
	Индекс MSI	<8	8–10	>10
	Высота разрушения волн, футы	<5	5–8	>8
	Период волн, сек	>8	6–7	<6
ANTI-SFC WARFARE / OVER THE HORIZON (борьба с надводными целями/загоризонтная)	Высота волнения, футы	<1	1–5	>5
	Осадки	Слабые	Средние	Сильные
	Температура воздуха, °F			>103
	Скорость ветра, уз			>60
COMBAT SFC SUPPORT (поддержка наземных сил)	Высота волнения, футы	<12	12–19	>19
	Видимость, м	>400 м		
MINESWEEPER WARFARE (MIW)/ AVIATION (траление/авиация)	ВНГО, футы			<300
	Видимость, м			<1000
	Скорость ветра, уз	>25	25–35	>35
MIW EOD DIVERS (поиск мин пловцами)	Скорость течения, узлы	<1	1–2	>2
	Высота волнения, футы	<3	3–5	>5
MIW/ HUNT Траление мин	Высота волнения, футы	<3	3–5	>5
	Скорость ветра, уз	>20	20–30	>30

Содержащийся в табл. 3 «Модифицированный индекс приобья» MSI представляет собой некий интегральный показатель, введенный для оценки степени сложности природных условий в зоне приобья для десантных операций. Методика его расчета содержится в Инструкции Командования надводных сил 3840.1 «Joint Surf Manual». При его расчете в качестве исходных данных используются: значительная высота волн приобья (разрушающихся волн), максимальная высота волн приобья, период волн приобья, тип разрушающихся волн (один из трех), угол подхода волн к пляжу, скорость вдольберегового течения, дополнительная информация – скорость и направление ветра, видимость, опасные препятствия в приобьей зоне, наличие вторичной системы волн и т. п.).

Критические значения для специальных операций (антитеррористических, диверсионных, противодиверсионных, разведывательных и др.), проводимых силами ВМС США, представленные в табл. 4, приведены на основании Руководства Сил Специальных операций США № 525-6 [5].

Таблица 4

Критические значения параметров состояния среды для сил специальных операций ВМС США

Платформы	Параметр	Неблагоприятные условия
MKIV Patrol Boat (PB) патрульный катер	Высота волнения, футы	>10
	Скорость ветра, узлы	>35
Mini-Armored Troop Carrier (MATC) малые бронированные катера	Высота волнения, футы	>6
	Скорость ветра, узлы	>35
Patrol Boat, Light (PBL) малый патрульный катер	Высота волнения, футы	>6
	Скорость ветра, узлы	>35
Patrol Boat, Riverine (PBR) речной патрульный катер	Высота волнения, футы	>6
	Скорость ветра, узлы	>35
Rigid Inflatable Boats (RIBS) жесткие надувные моторные катера		
24 ft RIB	Высота волнения, футы	>10
	Скорость ветра, узлы	>35
30 ft RIB	Высота волнения, футы	>10
	Скорость ветра, узлы	>35
10 m RIB	Высота волнения, футы	>6
	Скорость ветра, узлы	>35
High Speed Boat (HSB) – скоростные катера	Высота волнения, футы	>10
	Скорость ветра, узлы	>35
Patrol Coastal (PC) (прибрежное патрулирование)	Высота волнения, футы	12, при дозаправке 8
	Скорость ветра, узлы	>35
MKV Special Operations Craft (MKVSOC) скоростные катера для диверсантов и спецопераций	Высота волнения, футы	>10
	Скорость ветра, узлы	>35
Combat Rubber Raiding Craft (CRRC) малый резиновый катер для спец. и диверсионных операций	Высота волнения, футы	>8
	Температура, °F	>90 или < 50
SEAL Delivery Vehicle (SDV)/ divers боевые пловцы и средства их передвижения	Течения, уз	>2.5
	Высота волнения, футы	>3
	Приливы	Глубина при малой воде <8 футов, величина прилива > 2 футов
	Прозр. воды, футы	>10

Платформы	Параметр	Неблагоприятные условия
SEAL Delivery Vehicle (SDV)/ divers боевые пловцы и средства их передвижения	Температура воды, °F	50-60 – мокрый костюм, <50 – сухой костюм
	Освещенность, ночь	Полная Луна, чистое небо
	БиOLUMИНИСЦЕНЦИЯ	Позволяющая обнаружить SDV на глубине 10 футов

Как видим, в ВМС США развита методическая основа учета состояния природной среды на боевые действия. Состав влияющих параметров среды достаточно широк – их количество достигает 80. Для отдельных видов боевых действий в ВМС США разработана простая система оценки влияния среды, основанная на применении критических значений гидrometeorологических элементов или интегральных показателей состояния природной среды. Наличие хорошо формализованной системы критических значений облегчает организацию гидrometeorологического обеспечения и учет влияния среды на боевые действия.

ЛИТЕРАТУРА

1. National Research Council. Environmental Information for Naval Warfare. – Washington, D.C. – National Academy Press. – 2003. – 203 p.
2. Marine Corps War fighting Publication (MCWP) 3-35.7, MAGTF Meteorological and Oceanographic Support. <http://www.emilitarymanuals.com/mariencorpswarfightpubs.html>.
3. Joint Meteorology and Oceanography (METOC) Handbook (JMH), 3rd ed., 2000. <http://www.everyspec.com>.
4. Joint Publication 3-59 (JP 3-59) Meteorological and Oceanographic Operations, 2008, revision edition 1999. http://www.fas.org/irp/doddir/dod/jp3_59.pdf.
5. US Special Operations Command (USSOCOM) Manual 525-6, Critical METOC Thresholds for SOF Operations (http://www.specialoperations.com/Navy/Boat_Ops.htm).
6. COMNAVMETOC Instruction 3140.1 Series, «US Navy Oceanographic and Meteorological Support System Manual». <http://www.dtic.mil>.
7. Hydraulic design of deep-draft navigation projects - EM1110-2-1613, U.S. Army corps of engineers, 2006. <http://www.usace.army.mil/inet/usacedocs/>.
8. Coastal Engineering Manual (CEM) - EM 1110-2-1100, U.S. Army corps of engineers, 2006. <http://chl.erdc.usace.army.mil/cemtoc>.

THE VIEWS OF THE US NAVY SPECIALISTS ON THE COMPOSITION AND CRITICAL VALUES OF THE NATURAL ENVIRONMENT PARAMETERS INFLUENCING THE COMBAT OPERATIONS

S. I. Mastryukov
(«GNINGI» OJSC)

The results of generalized view formed in the US Navy on the composition and critical values of the natural environment parameters influencing the combat operations are presented. The methodical basis for taking the influence of the natural environment state on the combat operations into account is based on the thorough analysis of the mechanisms of the environment influence on the US Navy combat operations. The availability of the well formalized system of the critical values of the environment parameters facilitates the organization of the hydrometeorological support and account of the environment influence on the combat operations.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ
МОРСКИХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИНТЕРЕСАХ СОЗДАНИЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО БАНКА МОРСКИХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
ДАННЫХ НА АРКТИЧЕСКИЕ АКВАТОРИИ**

К. Г. СТАВРОВ
(ОАО «ГНИНГИ»),
А. С. СТУДЕНЕЦКИЙ
(Минобрнауки)

Разработана автоматизированная система мониторинга морских научных исследований на акваториях морей России на основе современных СУБД и ГИС-технологий, предусматривающая использование высокопроизводительных компьютерных средств

В последние годы актуальность создания автоматизированного банка морских геофизических данных на Арктические акватории значительно возросла в связи с широкомасштабным развертыванием работ по проблеме обоснования внешних границ континентального шельфа (ВГКШ) за пределами 200-мильной исключительной экономической зоны [1]. В соответствии с положениями статьи 76 Конвенции ООН по морскому праву 1982 года [2, 3] для определения положения внешней границы континентального шельфа является обязательным использование, наряду с гидрографическими, также геофизических данных, необходимых для определения толщины осадочного слоя.

В соответствии с рекомендациями Комиссии ООН по границам континентального шельфа [4] для определения ВГКШ необходима комплексная обработка всей, имеющейся в отечественных базах и банках данных ретроспективной информации на значимые районы Северного Ледовитого океана (СЛО), а также получение дополнительных гидрографических и геофизических данных, необходимых для подготовки заявки Российской Федерации в Комиссию ООН. Известно [5], что банки данных о морской природной среде являются основой для выработки требований по планированию систематических морских научных исследований.

В целях оптимизации процессов планирования и контроля (мониторинга) экспедиционных работ в соответствии с требованиями [6] разработана технология формирования автоматизированной информационно-справочной системы (АИСС) по морским научным исследованиям в водных районах, находящихся под юрисдикцией России. АИСС создается на основе высокопроизводительных компьютерных средств, современных систем управления базами данных (СУБД) и ГИС-технологий.

Макетный образец автоматизированной системы мониторинга морских научных исследований для обеспечения планирования морской деятельности в СЛО представляет собой ГИС-проект, выполненный средствами геоинформационной системы ArcView, который:

– отвечает всем основным свойствам и особенностям ГИС-проектов, так как содержит необходимые типовые элементы (виды, таблицы, диаграммы, диалоговые и

управляющие окна), обеспечивающие формирование, отображение и управление картографической, справочной и тематической информацией;

– обеспечивает представление информации на районы названных морей по разделам «Общие сведения», «Геофизика», «Гидрометеорология» и др.;

– позволяет осуществлять формирование запроса, выборку данных и их отображение в требуемой форме с помощью диалоговых окон, что обеспечивает организацию решения связанных задач в едином технологическом цикле.

Макет автоматизированной базы данных, являющейся ядром АИСС, реализован на основе высокопроизводительных компьютерных средств с использованием операционной системы Windows и СУБД Access, управление базой осуществляется через специально разработанное программное приложение, написанное на языке Borland C++. В базах данных помещена информация двух основных типов: справочная (база метаданных) и фактографическая. Структура и технология создания баз данных предусматривает перевод геофизической информации из известных в настоящее время форматов данных в разработанные специализированные форматы. Работа с базами данных организована путем ведения диалога в интерактивном режиме многооконной среды.

Режим пользователя позволяет производить выборку нужной информации, получить справочную информацию по выборке и графически отобразить ее результаты в виде схем заснятости и цифровых карт. Для формирования запроса пользователю необходимо определить вид информации (например, гравиметрия, сейсмометрия и т. д.), а в диалоговом окне определить (сформировать) критерий выбора информации из базы данных. При этом возможны следующие варианты (критерии) выбора:

- по номеру съемки (съемок);
- по идентификатору рейса (рейсов);
- по названию организации (организаций);
- по названию платформы (платформ) (ОИС/НИС);
- по названию района (районов);
- по номеру Марсденовского квадрата (квадратов);
- по срокам выполнения работ;
- по прямоугольным координатам.

Возможен многокритериальный выбор, например, по координатам и году исследования и т. д. По окончании процесса выборки формируются две таблицы: справочная и фактографических данных. Пользователю предоставляется возможность просмотра справочной таблицы выборки в виде формы с параметрами (рис. 1) и получение краткой справки (название страны, организации, платформа, год исследований, объем выбранной информации в точках и линейных километрах и др.).

Справочник рейса

Идентификатор рейса: АКУ15

Навигация и гидрография		ГПЗ		ГМП	
Общие сведения о рейсе		География региона		Метрологические параметры	
Номер рейса	32	Измеряемые параметры		ГП	ГПЗ
Руководитель	GRAVITY CHIEF KOGAN M.G.	5	5	0	0
Страна	USSR	Код страны		RF	
Министерство/ведомство	АН СССР	Код		007	
Организация	ИФЗ	Код		029	
Проект		Код проекта			
Название платформы	"Ак Курчатов"	Код платформы		006_02	
Номер рейса	15	Тип носителя		SHIP	
Код носителя		1			
дата выезда			дата прихода		
Год	73	Месяц	6	День	20
Год	73	Месяц	9	День	15
Порт			Порт		
KALININGRAD.USSR			KALININGRAD.USSR		

SPRGEO

Заккрыть

Рис. 1. Справочная таблица банка геофизических данных

В качестве примера использования АИСС с целью планирования и контроля морских научных исследований на рис.2 приведена схема маршрута движения научно-экспедиционного судна (НЭС), проектируемого с учетом положения исключительной экономической зоны (ИЭЗ) Российской Федерации, а на рис. 3 приведена схема, на которой изображены границы района работ, маршрут движения НЭС, показаны точки судовых и вертолетных станций, места высадки на лед и др.

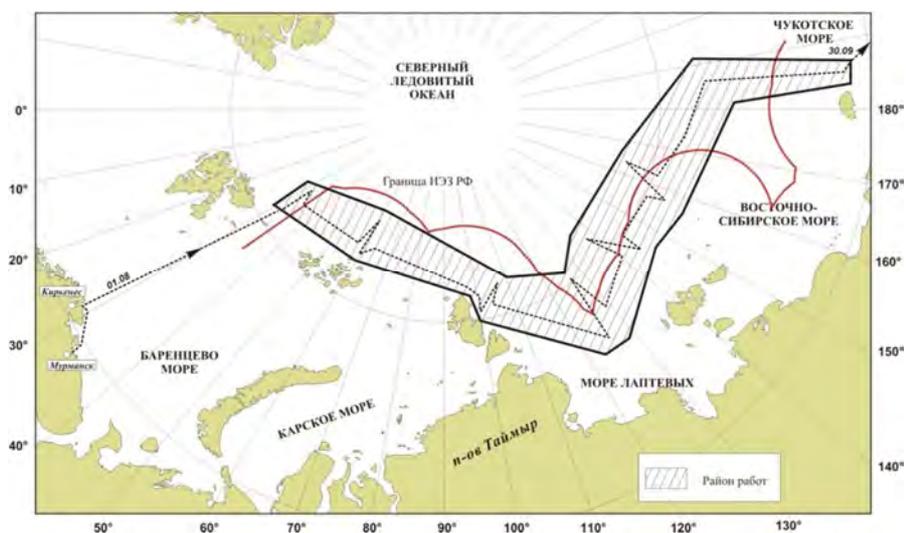


Рис. 2. Маршрут движения судна (сплошная линия – положение ИЭЗ РФ)

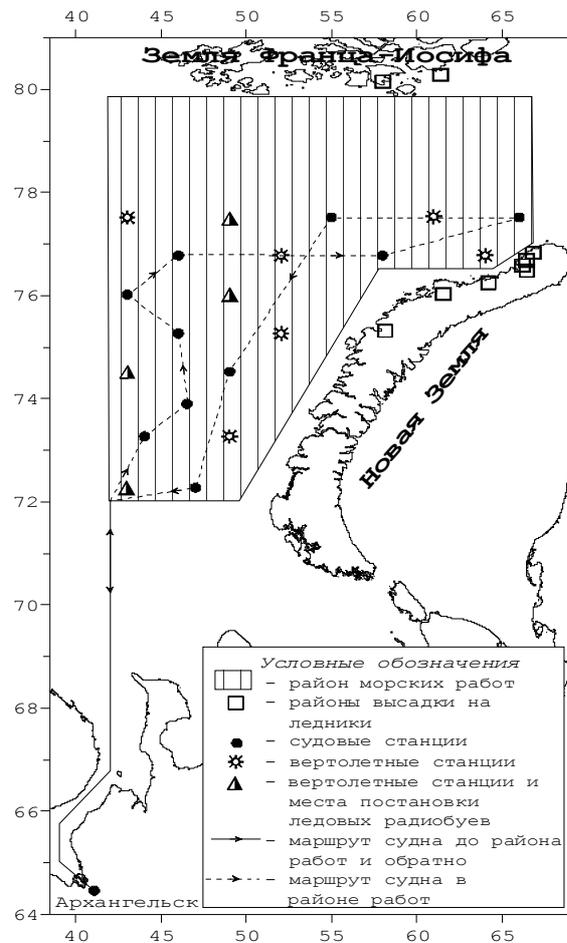


Рис. 3. Схема района работ НЭС

Работоспособность и эффективность АИСС проверены в ходе апробации созданного макетного образца на материалах исследований, ранее выполненных в Арктическом бассейне. Они показали соответствие разработанных методов и технологии формирования интегрированных и специализированных баз данных, а также методов расчета характеристик и построения моделей параметров среды на отдельные районы СЛЮ задачам и принципам построения системы, обеспечивающим соблюдение режимов работы при различных вариантах формирования запросов и выдачи данных в интересах как планирования научных исследований, так и обеспечения других задач морской деятельности.

Таким образом, можно ожидать, что создание и ввод в строй полномасштабной автоматизированной системы планирования и контроля результатов (мониторинга) морских научных исследований позволит не только оптимизировать процессы планирования и мониторинга морских научных исследований и сократить затраты на проведение экспедиционных работ, создание и пополнение баз и банков данных на заданные районы за счет рационального планирования исследований и исключения их дублирования, но и автоматизировать в дальнейшем процесс информационной поддержки управленческих решений в области морской деятельности в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев С. П., Глумов И. Ф., Ледовских А. А., Ставров К. Г. и др. Гидрографические исследования в Центральном Арктическом бассейне на надводном судне в интересах обоснования внешней границы континентального шельфа России // Труды Научной конференции XIV Съезда Российского географического общества, 11-14 декабря 2010 г. Санкт-Петербург. – СПб.: Изд. РГО, 2010. – С. 101–110.
2. Федеральный закон от 26 февраля 1997 г. N 30-ФЗ «О ратификации конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву и соглашения об осуществлении части XI конвенции Организации Объединенных Наций по морскому праву» / Российская газета, 1997, N 43–44 от 04.03.97 г.
3. Международная Конвенция ООН по морскому праву 1982 г. Министерство Обороны СССР, М.; Военное издательство, 1985. – 224 с.
4. Конвенция ООН по морскому праву. Научно-техническое руководство Комиссии по границам континентального шельфа (CLCS/11) / Принято Комиссией 13 мая 1999 г. на Пятой сессии. Нью-Йорк, 3–14 мая 1999 г. – 90 с.
5. Опарин А. Б., Ставров К. Г. Банк данных о морской природной среде, как основа для выработки требований к измерительным средствам и планированию систематических исследований Мирового океана / Материалы VII Международной научно-технической конференции «Современные методы и средства океанологических исследований», Москва, 21–23 ноября 2001 г. ИО РАН им. П. П. Ширшова. – М., 2001. – С. 22–23.
6. «Правила проведения морских научных исследований во внутренних морских водах, в территориальном море, в исключительной экономической зоне и на континентальном шельфе Российской Федерации». (По состоянию на 18 октября 2006 года). – Собрание законодательства Российской Федерации, N32, 09.08.2004. – С. 2004.

EMPLOYMENT OF GIS TECHNOLOGIES WHEN PLANNING THE RESEARCH WITH THE AIM TO CREATE THE AUTOMATED MARINE GEOPHYSICAL DATABANK FOR THE ARCTIC WATER AREA

K. G. Stavrov

(«GNINGI» OJSC)

A. S. Studenetskiy

(Ministry of education and science)

The automated system for monitoring the marine research in the water areas of the Russia's seas has been developed. It is based on the current DBMS and GIS technologies and provides for the employment of high-throughput computer hardware.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 551.5

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
СПУТНИКОВЫХ СРЕДСТВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В
РОССИИ С УЧЕТОМ ПОТРЕБНОСТЕЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ РФ**

**Н. Н. ЖИЛЬЦОВ,
А. М. ШАРКОВ
(ОАО «ГНИНГИ»),
А. С. ПЛАТОНОВА
(РГГМУ)**

Проведен анализ нынешнего состояния и ближайших перспектив развития дистанционного зондирования Земли в России, а также необходимый состав спутниковых метеорологических систем и виды получаемой гидрометеорологической информации, необходимые Вооруженным Силам РФ и, в частности, Военно-морскому флоту.

Создание и развитие спутниковых средств и технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является в настоящее время одним из важнейших направлений применения космической техники для прикладных, социально-экономических и научных целей. В мире успешно эксплуатируются десятки спутниковых систем (СС) ДЗЗ. В различных стадиях разработки находятся от 200 до 300 новых проектов по реализации перспективных возможностей наблюдения и съемки Земли из космоса. Наблюдается быстрый прогресс в области повышения технического уровня спутниковых аппаратов и сокращения затрат на их создание и эксплуатацию. Это обеспечивается за счет применения новых конструкционных материалов и методов проектирования, минимизации массогабаритных характеристик, разработки унифицированных орбитальных платформ, «интеллектуализации» бортовых функций на основе современных компьютерных средств и технологий, перспективных возможностей формирования многоспутниковых «кластерных» систем из разнотипных СС ДЗЗ.

Ведущие космические державы – США, страны Европы, Китай, Япония и Индия реализуют планы развития и обновления спутниковых группировок ДЗЗ и, в частности, метеорологических спутников.

США и Европейский союз приступили к созданию совместной полярно-орбитальной системы метеорологических спутников. Аппаратура современных оперативных метеоспутников обеспечивает измерение короткопериодных вариаций погоды в нижних слоях атмосферы. В результате обработки спутниковой информации рассчитывается прогноз погоды на ближайшие 3–5 дней с оправдываемостью не хуже 80%. В течение ближайших лет заблаговременность

прогноза возрастет до 7–10 суток при той же оправдываемости. Важнейшей задачей спутниковых метеорологических систем остается обнаружение на раннем этапе и слежение за развитием опасных метеорологических явлений (ураганов, цунами, штормов и др.), которые наносят огромный ущерб мировой экономике [1].

Современная система метеорологических спутников, осуществляющих оперативные наблюдения за состоянием атмосферы, океанов и суши представлена на рис. 1. Она предполагает восемь геостационарных спутников (США, России, Индии, Японии, Китая и Европейского космического агентства), а также ряд полярных спутников США и России. Однако за последние годы вклад России в спутниковую группировку ослабел, пустует российское место на геостационарной орбите, а на полярной орбите находится всего один спутник.



Рис. 1. Система метеорологических спутников Земли

Поэтому в настоящее время в России принята и активно выполняется Федеральная космическая программа (ФКП) на 2006–2015 гг. [2], включающая подраздел 2 «Дистанционное зондирование Земли, гидрометеорологическое наблюдение, экологический мониторинг и контроль чрезвычайных ситуаций».

ФКП предполагает создание шести спутниковых систем ДЗЗ и соответствующих наземных средств. Основными целями ДЗЗ являются, в частности, получение фундаментальных знаний о Земле и мониторинг природных ресурсов. В число основных задач ФКП ДЗЗ входят восстановление и развитие орбитальной группировки ДЗЗ, создание инфраструктуры для доступа пользователей ДЗЗ. Основными пользователями ДЗЗ являются МО РФ, МЧС РФ, Роскосмос, Минсельхоз РФ, Минтранс РФ, Росгидромет, Минприроды РФ, РАН.

Согласно ФКП предусматривается проведение мероприятий по созданию следующих СС ДЗЗ:

- СС гидрометеорологического наблюдения;
- СС мониторинга Земли;
- СС радиолокационного наблюдения.

К первой группе СС относятся, в частности, спутники «Метеор 3М». К 2012 г. планируется сформировать на орбите и в дальнейшем поддерживать непрерывно действующую группировку полярно-орбитальных спутников серии «Метеор». Первый из них – «Метеор-М» №1 запущен 17 сентября 2009 г. В настоящее время

проводятся его летные испытания. Получены и анализируются первые данные целевых бортовых приборов. В состав бортового информационного комплекса этого спутника входят:

- многозональное сканирующее устройство малого разрешения (МСУ-МР);
- комплекс многозональной спутниковой съемки среднего разрешения (КМСС);
- модуль температурно-влажностного зондирования атмосферы (микроволновый сканер/зондировщик МТВЗА-ГЯ);
- бортовой радиолокационный комплекс («Северянин-М»);
- бортовой радиокomплекс системы сбора и передачи данных;
- гелиогеофизический аппаратный комплекс (ГГАК-М).

На втором спутнике этой серии дополнительно предполагается установить инфракрасный Фурье-спектрометр. Третий спутник серии «Метеор-М» – океанографический. Состав его бортовой аппаратуры:

- многорежимный радиолокационный комплекс *X*-диапазона на базе активной фазированной антенной решётке (АФАР);
- скаттерометр;
- сканер цветности океана;
- сканер береговой зоны;
- аппаратура радиопросвечивания атмосферы;
- бортовой радиокomплекс системы сбора и передачи данных.

Постоянно действующая группировка в составе двух геостационарных спутников серии «Электро» с точками стояния 76° в. д. и $14,5^\circ$ з. д. (рис. 1) должна быть введена в эксплуатацию в 2011 г. Запуск первого из этих спутников запланирован на 2010 г. Основная полезная нагрузка – многозональное сканирующее устройство МСУ-ГС (по характеристикам близкое к прибору SEVIRI европейских спутников METEOSAT).

К СС мониторинга Земли относятся спутники ДЗЗ «Канопус В1» и «Канопус В2» для мониторинга чрезвычайных ситуаций, океана, водных и земельных ресурсов, планируемых к запуску в 2010 и 2011 гг. соответственно.

Кроме того, к этой СС относятся спутники «Ресурс П-1» и «Ресурс П-2», предназначенные для мониторинга природных ресурсов, экологической обстановки, картографирования. «Ресурс П-1» запущен в 2010 г., а «Ресурс П-2» будет запущен в 2011–2015 гг.

Проблемой для России является отсутствие аппаратов радиолокационного наблюдения: Преодолеть её планируется с помощью программы по созданию СС радиолокационного наблюдения «Аркон». Запуск первого спутника «Аркон 2-М» запланирован на 2013 г., а второго «Аркон 2-1» – на 2015 г. Особое внимание уделяется зондированию арктических регионов Земли. Для России ценность группировки радиолокационных СС определяется тем, что на значительной части территории страны облака – скорее, правило, чем исключение.

В таблице отражены планы создания Российской группировки СС.

По инициативе Росгидромета и Роскосмоса дополнительно развернуты работы по созданию спутниковой системы «Арктика», предназначенной для непрерывных наблюдений за арктическим регионом, недоступным для наблюдений с геостационарных орбит. Орбитальная группировка СС «Арктика» должна состоять из двух одинаковых спутников на высокоэллиптических орбитах, а также двух спутников радиолокационного наблюдения на приполярных орбитах.

Федеральная космическая программа также предусматривает проведение мероприятий по созданию перспективного многофункционального комплекса и центров наземных средств приема, регистрации и обработки спутниковой информации дистанционного зондирования Земли.

Планы создания Российской группировки СС

Вид СС		Год запуска	
Гидрометеорологическое наблюдение	геостационарные		«Электро» (2010-2011)
	полярно-орбитальные	«Метеор 3М» (2009)	«Метеор 3М» (2010, 2012)
Мониторинг Земли		«Ресурс П-1» (2010)	«Ресурс П-2» (2011-2015)
		«Канопус В1» (2010)	«Канопус В2» (2011)
Радиолокационное наблюдение		«Аркон 2-М» (2013)	«Аркон 2-1» (2015)

Наземные средства приема спутниковой информации нашли широкое применение на кораблях военно-морского флота (ВМФ).

Одним из важнейших источников освещения гидрометеорологической обстановки в дальней зоне обеспечения корабля является автономный пункт приема информации (АППИ), предназначенный для получения, анализа, обработки, документирования снимков подстилающей поверхности (ледовые характеристики, зоны опасных метеорологических явлений и т. д.), а также барических образований и связанных с ними облачных систем и вихрей.

В настоящее время отечественной промышленностью для ВМФ разработаны комплексы приема и обработки спутниковой гидрометеорологической информации «Сюжет-М», «Сюжет-МЦ» и корабельного базирования «Сюжет-КМ». Образец выбора спутникового снимка с учетом его зоны освещения на АППИ «Сюжет-МЦ» показан на рис. 2.

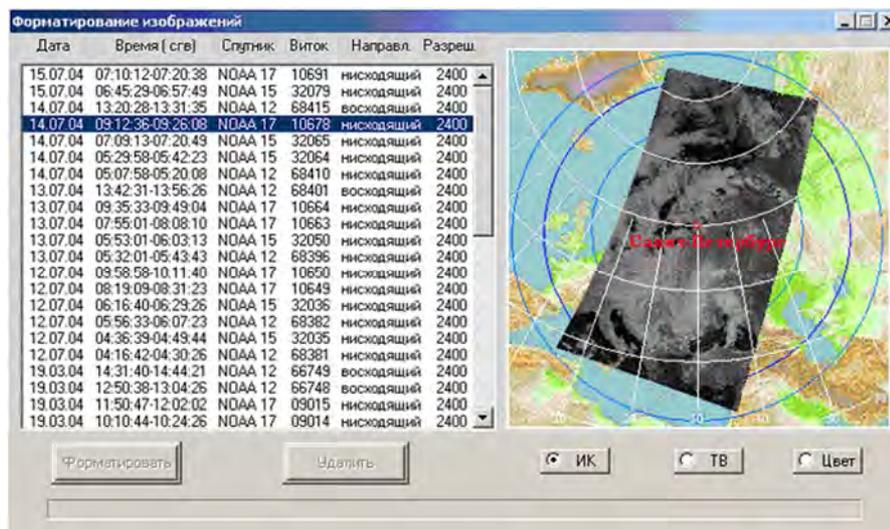


Рис. 2. Выбор спутникового снимка с учетом его зоны освещения на АППИ «Сюжет-МЦ»

Развитие спутников ДЗЗ позволяет получать все новые и новые данные, необходимые для анализа гидрометеорологической информации, разработки прогнозов различной заблаговременности и выдачи рекомендаций по применению сил и использованию оружия и технических средств.

Рассмотрим перспективы развития СС с учетом потребностей гидрометеорологического обеспечения Вооруженных Сил РФ (ГМО ВС РФ).

Для наиболее полного решения всей совокупности задач ГМО ВС РФ перспективный состав российской спутниковой системы (РСС) ДЗЗ должен включать:

1. СС из двух геостационарных метеоспутников для непрерывного наблюдения за крупномасштабными атмосферными процессами в тропической зоне Земли, служащей ее основной «кухней погоды», а также за прилегающими более высокоширотными районами, включая южную часть России;

2. СС из двух средневысотных полярно-орбитальных метеоспутников для комплексного оперативного и регулярного наблюдения в глобальном масштабе за обширной совокупностью гидрометеорологических параметров атмосферы, подстилающей поверхности и околоземного пространства;

3. Один спутник радиофизического наблюдения (в СВЧ-области спектра) для ледовой разведки в высокоширотных районах и для океанологических исследований на всей поверхности Мирового океана;

4. Один спутник радиолокационного наблюдения с высоким и средним разрешением (1–50 м) для всепогодного наблюдения для решения ряда задач обеспечения ВМФ;

5. Многоспутниковая СС из малых спутников для высокооперативного мониторинга землетрясений, техногенных и природных чрезвычайных ситуаций;

6. Многоспутниковая СС из микроспутников для обнаружения очагов возгорания лесных пожаров, стихийных гидрометеорологических явлений и других задач, требующих предельно высокой периодичности обзора.

Учитывая нынешнее состояние орбитальной группировки ДЗЗ, достижение вышеперечисленного состава российской спутниковой системы ДЗЗ потребует многих лет и может быть окончательно реализовано к 2020–2025 гг.

Для решения основных задач гидрометобеспечения ВС РФ, российская спутниковая метеорологическая система должна представлять следующие виды информации:

– многоспектральные снимки облачного, снежно-ледового и растительного покровов Земли с разрешением 0,5–1 км в ряде диапазонов видимой и инфракрасной областей спектра;

– многоспектральные снимки земной поверхности в видимой и инфракрасной областях спектра с пространственным разрешением до 10–50 м для решения задач экологии, гидрологии, метеорологии и других специфических задач гидрометеорологического обеспечения ВС РФ;

– результаты радиолокационных наблюдений с разрешением 200–400 м для ледовой разведки по трассам Северного морского пути и других высокоширотных районов Мирового океана.

– результаты зондирования в микроволновой области для оценки температуры поверхности океана и скорости приводного ветра независимо от облачности, выявления зон и интенсивности осадков [3];

– результаты спектрометрических измерений уходящего излучения Земли в специально подобранных участках ИК и микроволновой областей спектра с целью определения вертикальных профилей температуры и влажности нижней атмосферы, а также полного ее влагосодержания;

– результаты радиометрических измерений в ИК и микроволновой областях спектра для определения температуры земной поверхности и верхней границы облаков;

– результаты сбора данных с наземной сети платформ сбора данных [3].

В целом требования к основному набору видов спутниковой метеоинформации составляют: по пространственному разрешению - 0,2–1 км, а по периодичности глобального обзора – 2–4 раза в сутки.

В перспективе при получении вышеперечисленных видов гидрометеорологической информации от отечественных СС эффективность гидрометеорологического обеспечения ВМФ должна значительно повыситься, что позволит устранить зависимость в приеме спутниковой информации от иностранных СС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чернявский Г. М. Перспективы российской системы ДЗЗ в рамках Российской космической программы 2006–2015 гг., Центр космических наблюдений Роскосмоса. – Материалы Третьей всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». – Москва, ИКИ РАН, 14–17 ноября 2005 г. – С 49–54.
2. Федеральная космическая программа (ФКП) на 2006–2015 гг. Утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 22 октября 2005 г. № 635.
3. Митник Л. М., Голик А. В., Дубина В. А. и др. Применение океанографической ГИС ДВО РАН для исследования алгоритмов оценки температуры поверхности океана и скорости приводного ветра по данным AMSR-E. – Материалы Второй открытой всероссийской научной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва ИКИ РАН, 16–18 ноября 2004 г. – С 118–123.

THE PRESENT-DAY STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT IN RUSSIA OF THE SATELLITE COMPLEXES FOR THE SOUNDING OF THE EARTH, TAKING THE REQUIREMENTS OF THE HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT FOR THE RF ARMED FORCES INTO ACCOUNT

N. N. Zhiltsov,

A. M. Sharkov

(«GNINGI» OJSC),

A. S. Platonova

(The Russian State Hydrometeorological University)

The present-day state and the near-term development prospects for the sounding of the Earth in Russia are analysed. The necessary composition of the space meteorological systems and kinds of the obtained hydrometeorological information required for the RF Armed Forces and, in particular, for the Navy are considered.

**ВИДЫ ЗАРУБЕЖНЫХ СИСТЕМ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОРЕПЛАВАНИЯ****С. И. МАСТРЮКОВ**
(ОАО «ГНИНГИ»)

Проанализирован зарубежный опыт создания систем оперативного гидрометеорологического обеспечения мореплавания, выполнена их классификация, а также обобщены их возможности и характеристики.

За рубежом интенсивно развиваются системы информационной поддержки мореплавания сведениями о состоянии природной среды. Можно выделить системы для обеспечения мореплавания на океанских и морских акваториях, в прибрежной зоне и в районе портов. По месту размещения эти системы можно разделить на береговые и бортовые. Большая часть систем для обеспечения мореплавания на морских акваториях носит некоммерческий характер и развивается на средства государственной поддержки. Значительная часть систем гидрометеорологического обеспечения мореплавания в портах и на подходах к ним разрабатывается частными компаниями и устанавливается на договорной основе.

Гидрометеорологическая информация используется:

- в портах и гаванях для управления судами и расчета динамического подводного клиренса (проходной осадки);
- при строительстве и эксплуатации портов для проектирования и выбора конструкторских решений, планирования работ по очистке морских каналов;
- при проектировании портовых и гидротехнических сооружений для оценки волновых нагрузок, проектирования, прокладки кабелей, оценки стабильности морского дна, управления прибрежной зоной;
- в нефте- и газодобыче для обеспечения бурения, буксировки, прокладки трубопроводов и эксплуатации объектов нефтегазодобычи;
- в мореплавании для планирования расписания движения, обхода зон с неблагоприятными условиями погоды.

По степени интеграции с региональными системами безопасности мореплавания (РСБМ) и системами управления движением судов (СУДС) гидрометеорологические подсистемы существенно различаются. Наряду с простой визуализацией сведений о состоянии природной среды, развиваются специализированные системы расчета необходимых для мореплавания параметров и режимов, зависящих от ее состояния. Среди последних наибольшее развитие получили системы выбора оптимального пути движения судна на океанских и морских трассах и системы динамического расчета проходной осадки судна. Конечной целью всех разрабатываемых систем является обеспечение безопасности мореплавания, достижение экономического эффекта и минимизация рисков, вызванных опасными природными условиями.

Ниже на основе анализа зарубежного опыта представлены примеры реализации различных подходов к построению систем гидрометеорологического обеспечения мореплавания.

Региональные системы обеспечения безопасности мореплавания.

В 2009 г. принята в эксплуатацию гидрометеорологическая подсистемы РСБМ Исландии [1]. В развитии системы принимают участие Великобритания, Ирландия, Дания, Норвегия. Информация размещается на портале морской администрации Исландии [2]. В качестве источников информации для исландских вод используются одиннадцать волномерных буев в открытом море и 30 автоматических станций погоды, из которых одиннадцать станций с измерением метеорологических параметров, волнения и уровня установлены в портах и гаванях. Кроме того, посредством информационного взаимодействия с Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды используются все источники информации Всемирной метеорологической организации (ВМО).

Диагностическая информация обновляется каждый час и включает сведения о погоде и приливах в портах и гаванях, о высоте волнения в гаванях и на подходах к ним. Измерения, передача и усвоение данных производятся ежечасно. В состав прогностической информации входят прогнозы поля ветра и атмосферного давления, поля волнения, колебаний уровня, течений. Прогноз поля ветра выдается с заблаговременностью пять суток, прогноз волнения – с заблаговременностью семь суток и обновляется дважды в день. Пространственное разрешение этих прогнозов составляет $0,5^\circ$ по широте. Прогноз течений и колебаний уровня составляется на трое суток вперед с дискретностью один час и обновляется два раза в сутки. В дальнейшем планируется расширить возможности системы прогнозами риска судового обледенения, дрейфа льда, разливов нефти и дрейфа свободно плавающих предметов.

До внедрения описанной системы в Исландии ежегодно происходило две-четыре катастрофы с рыболовными судами. По мнению Морской администрации Исландии [2] то обстоятельство, что в последние шесть лет не произошло ни одного аварийного случая с рыболовными судами Исландии является следствием создания информационной системы метеорологического обеспечения мореплавания.

Системы управления движением судов (СУДС).

В США совершенствование СУДС (англ. Vessel Traffic Service – VTS) связывают с развитием следующих систем [3]:

- Ports and Waterways Safety System (Система безопасности портов и водных путей), в состав которой входит модуль сбора метеорологических и гидрографических данных;
- Ports and Waterways Safety Assessment (Система оценки рисков безопасности портов и водных путей – PAWSA).

В модели рисков системы PAWSA в состав опасных факторов природной среды включены: ветер, движения воды (волнение, течения), видимость, препятствия (ледяной покров, айсберги). Риски делятся на две категории – прямые и опосредованные – и включают в себя риски для здоровья и безопасности людей, риски для окружающей среды и биоресурсов, риски, связанные с экономическими потерями (потери, порча грузов, разливы нефти, ликвидация последствий аварий и эвакуация людей).

Ответственность за обеспечение мореплавателей океанографическими данными в реальном масштабе времени в территориальных водах США возложена на Национальную океанографическую службу (National Ocean Service – NOS), входящую в состав NOAA.

Для информационной поддержки создаваемых в США систем обеспечения безопасности мореплавания под руководством NOAA совместно с Гидрографической службой США и Корпусом инженеров армии США уже более десяти лет развивается океанографическая система освещения обстановки реального масштаба времени – Physical Oceanographic Real-Time System (PORTS) [4]. PORTS позволяет повышать безопасность и эффективность управления морскими и прибрежными ресурсами путем интеграции наблюдений за состоянием среды, прогностических данных, другой геопространственной информации. Эта информация распространяется как необходимая для поддержки решений лоцманов, судоводителей посредством VHF/UHF (радиосвязи), VTS (СУДС) AIS (АИС) или альтернативных средств, таких как Интернет, телефон, радиотелефон. Текущая информация в системе PORTS обновляется каждые 6 минут.

Первые система PORTS была развернута в 1991 г. в заливе Тампа бэй. Сейчас она функционирует в 19 портах США и является важным элементом национальной системы гидрометеорологического обеспечения безопасности мореплавания в США. В заливе Сан-Франциско развернута самая большая сеть измерителей PORTS, состоящая из 30 отдельных гидрометеорологических комплексов. Вместе с тем в отчете Комитета по развитию морских информационных систем (Committee on Maritime Advanced Information Systems) Национального Совета по научным исследованиям США (National Research Council) [5] отмечается, что администрации портов не стараются сами наращивать системы типа PORTS в своих регионах, NOAA ограничивается созданием скромных наблюдательных систем.

Администрирование системой PORTS осуществляется специально созданной службой (Center for Operational Oceanographic Products and Services – COOPS). Данные системы используются для расчета подкильного клиренса, осуществления доковых операций, расчета перемещения разливов нефти. Экономическая эффективность системы для каждого отдельного порта оценивается десятками миллионов долларов в год [4].

Для целей обеспечения безопасности мореплавания в США также может использоваться прогностическая продукция Центра численной метеорологии и океанографии (ЦЧМО) ВМС США [6]. Значительная часть информационной продукции, включая прогноз течений ЦЧМО ВМС США, закрыта для свободного доступа.

Доступ к информационной продукции рассмотренных выше систем ГМО мореплавания предполагает использование возможностей сети Интернет. Непосредственное использование этой информации на судах может быть ограничено. Поэтому за рубежом разработан ряд коммерческих бортовых систем для доступа к гидрометеорологической информации и решения особенно важных прикладных задач мореплавания. Некоторые из таких систем рассмотрены ниже.

Бортовые специализированные системы ГМО мореплавания.

Одним из мировых лидеров в области гидрометеорологического обеспечения морской деятельности является компания *Oceanweather Incorporated* (США) [7]. В состав прогностических продуктов компании входят такие коммерческие продукты, как:

– VOSS (Vessel Optimization and Safety System) – бортовая система планирования маршрута и режима плавания;

- ODS (Ocean weather Display System) – бортовая информационная система для разархивирования и визуализации получаемых гидрометеорологических данных;
- CYCLOPS (Tropical Cyclone Operational Prediction System) – бортовая система для слежения и предотвращения встречи с тропическими циклонами.

Система VOSS разработана совместно с компанией *Ocean Systems Inc* (США) и включает модуль приема метеорологической информации, модуль выбора оптимального маршрута перехода с интерфейсом для систем навигации и ЭКНИС и модуль выбора оптимального режима плавания.

По данным клиентов VOSS [8] задержки в пути по причине погодных условий уменьшаются на 80%, рекламации на перевозку грузов уменьшились на 73%, число случаев ущерба грузу – на 87%.

В основе планирования маршрута лежит прогноз на 10 суток ветра, ветрового волнения, зыби, течений, тропических циклонов. Прогноз готовится дважды в сутки на сетке с шагом 1,25°. Доступ к информации осуществляется через модем. Все это попадает в модели движения судна. Задаются допустимые критерии качки, близости к тропическим циклонам, кромке льда. Алгоритмы основаны на минимизации времени перехода при допустимых критических значениях внешних условий. Если продолжительность рейса составляет более десяти суток, используется климатическая информация о ветре и волнении.

Система CYCLOPS поставляется вместе с системой ODS и позволяет воспользоваться информационными ресурсами мировых центров слежения за тропическими циклонами.

Новозеландская компания *MetOcean Solution Ltd* [9], наряду с развитием прогностических моделей, пытается разрабатывать комплексные решения для всех видов морской деятельности, дополнительно развивая локальные подсистемы мониторинга природных условий. Прогнозирование условий природной среды основано на современных численных моделях океана и атмосферы. Результаты прогнозирования доступны в графическом, картированном и текстовом виде с дискретностью 1 час и заблаговременностью до 7 суток. В качестве средств измерения волнения компания использует пять типов измерителей, включая радиолокационные, буйковые. Для измерения течений используются три типа приборов, включая ADCP, ADP. Интегрированная технология подготовки информационной продукции компании *MetOcean Solution Ltd* приведена на рис. 1.

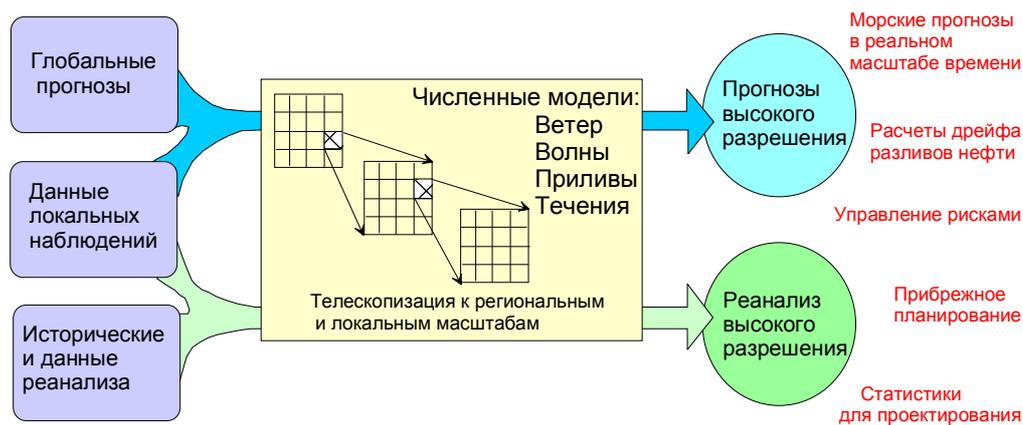


Рис. 1. Технология подготовки информационной продукции *MetOcean Solution Ltd*

Для прогнозирования волнения используются модели разного типа – отдельно для открытых районов океана, прибрежных зон и портовых акваторий. Используемые модели волнения относятся к моделям третьего и четвертого поколения (SWAN, WW3, FUNWAVE) и охватывают весь процесс развития, распространения и трансформации волнения. Для прогнозирования колебаний уровня и течений используется модель Принстонского университета.

При обеспечении мореплавания по морским путям движения информация передается на e-mail и включает общий обзор погоды, прогноз и предупреждения об опасных явлениях погоды, представляемые в виде карт, графиков и таблиц.

Автоматизированные системы выбора оптимальных путей плавания

Существует ряд систем расчета оптимальных (наивыгоднейших) путей плавания. Простейший способ реализован в Гидрометцентре России [10]. За рубежом разработаны бортовые системы выбора оптимального пути, например, упомянутая выше система VOSS компании Oceanweather Inc. Мы ограничимся описанием европейской системы выбора оптимального пути плавания SEAROUTES.

В Европе в рамках проекта SEAROUTES, участниками которого являются двенадцать европейских организаций [11], включая Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ECMFW), разработана береговая система поддержки принятия решения по выбору маршрута движения судна. Система позволяет обеспечить безопасность судна, пассажиров и команды, качество жизни в рейсе, экономить топливо, снижать выбросы отработанных газов, обеспечивать безопасность груза. Оптимальный путь в системе SEAROUTES определяется путем использования моделей поведения судна на волнении и потерь скорости движения в совокупности с диагностическими и прогностическими данными о состоянии среды в реальном масштабе времени. Общая схема информационной технологии SEAROUTES приведена на рис. 2.

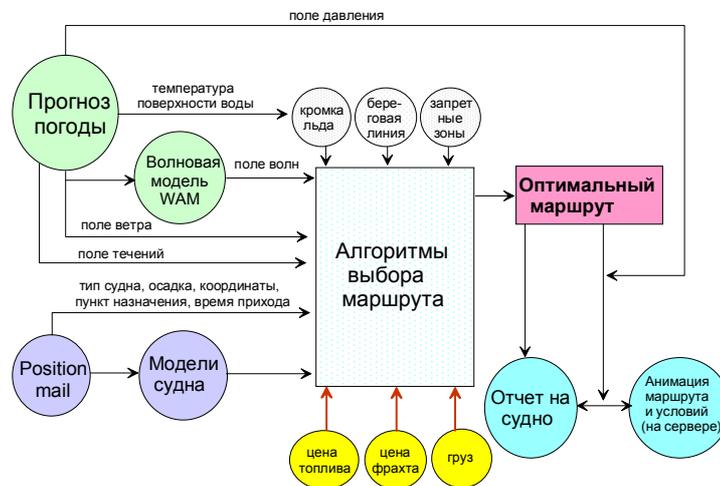


Рис. 2. Общая схема информационной технологии SEAROUTES

SEAROUTES вычисляет оптимальный курс судна, используя информацию из двух отдельных источников информации. Первый источник информации – само судно, отправляющее один раз в сутки на сервер системы так называемый «Position

mail». В состав этого сообщения входят сведения о текущем положении и курсе судна. Также сообщается порт (точка) назначения и максимально допустимое время прибытия и информация о типе судна и его осадке. Второй источник исходной информации – прогностическая информация о погоде из глобального центра прогнозов.

При выборе маршрута дополнительно учитывается положение кромки льда, береговой черты и положение зон, запрещенных к плаванию.

Выходная информация в виде отчета с оптимальным путем движения автоматически отправляется с сервера системы на сервер судна в ответ на «Position mail». Другая информация, включающая графическое представление сведений о погоде и анимацию рекомендованного пути, доступна на WEB-сайте SEAROUTES.

По полям скорости ветра в глобальном масштабе рассчитывается поле волнения. В каждой точке расчетной сетки рассчитывается спектр и другие необходимые характеристики волнения. Для каждой точки пути для соответствующего момента времени в зависимости от высоты, периода и направления ветровых волн и волн зыби рассчитывается реакция заданного типа судна с заданной осадкой на нерегулярное волнение. Система расчетных частных показателей мореходности включает бортовую, килевую и вертикальную качки, заливаемость, линейные ускорения, остойчивость на волнении, общую прочность корпуса судна на волнении, местную прочность корпуса при воздействии волн (слеминг) и прочность фундаментов главных и вспомогательных механизмов. Учет влияния течений пока не реализован.

Системы динамического контроля подкильного клиренса

Рост водоизмещения современных судов, увеличение их осадки в совокупности с требованиями повышения безопасности мореплавания и экономической эффективности портов привел к необходимости развития систем планирования и контроля движения крупных судов по морским каналам и на мелководье.

За рубежом используется около десятка бортовых и береговых информационных систем для расчета подкильного клиренса и возвышения судна над поверхностью (при проходе под мостами). Все эти системы основаны на интеграции текущих и прогностических данных о состоянии среды в реальном масштабе времени с моделями отклика судна на нерегулярное волнение. Системы определения подкильного клиренса могут быть эффективны только при наличии известного набора исходных данных о состоянии природной среды, характеристик судна и подходного канала. Часть из созданных систем пригодны для планирования прохождения морских каналов, а часть – для прохождения каналов в реальном масштабе времени.

В качестве примера рассмотрим широко распространенную систему планирования прохождения морских каналов фирмы *OMC International* [12], основанную на расчете проходной осадки судна – Dynamic Under Keel Clearance (DUKC). Система особенно эффективна в приливных морях при проводке крупнотоннажных судов. Система развернута в 19 портах Европы, Австралии и США [13]. Цель этой и других подобных систем – максимизировать безопасность и эффективность мореплавания на мелководье и в морских каналах.

Система поставляется в различных вариантах:

– берегового базирования для краткосрочного планирования прохода по каналу (Short Term Sailing Planning DUKC) на срок 24–36 часов по данным краткосрочного

прогноза, основанного на результатах измерений, поступающих в реальном масштабе времени для определения окон прохода и осадки;

– бортовая система для планирования ожидания прохода по каналу (Transit Planning DUKC – DUKC Navigator), интегрированная с системами позиционирования GPS для оценки времени ожидания окна и режима прохождения по морскому каналу.

Береговая система используется для выработки рекомендаций капитанам судов и управления движением, бортовая – позволяет капитанам и лоцманам принимать осознанные решения по выбору режимов плавания по морским каналам.

В качестве исходных данных используются поступающие в реальном масштабе времени текущие и прогностические сведения о высоте, периоде и направлении распространения волн зыби и ветровых волн, приливах, направлении и скорости ветра. Для оценки отклика судна на внешние воздействия для системы DUKC требуются специфические сведения, в том числе о размерениях судна, его осадке, возвышении центра тяжести над килем, метацентрической высоте.

Проводка 50 000 крупнотоннажных судов за период эксплуатации системы начиная с 1993 г. по мнению разработчиков принесла экономический эффект, оцениваемый в 10 млрд американских долларов [12].

Системы ледового обеспечения безопасности мореплавания.

Обеспечение мореплавания ледовой информацией в зарубежных территориальных водах выполняется международными и национальными ледовыми службами. Всего в мире существует 19 национальных ледовых служб [14]. Основное отличие зарубежных систем ледового обеспечения от отечественных заключается в широком использовании спутниковой информации высокого разрешения. Так, Канадская ледовая служба (*Canadian Ice Service – CIS*) широко использует спутниковые данные высокого разрешения, например, данные КА Radarsat 2. В результате доступная мореплавателям информация отличается от отечественной информации более высоким пространственным разрешением [15]. В состав информационной продукции CIS входят свыше 14 наименований информационной продукции, включая рекомендованные пути движения в отдельных районах, карты анализа ледовых условий, карты анализа айсбергов и т. д. Период обновления диагностической и прогностической информации – 1 сутки. Заблаговременность прогноза ледовых условий – до 1 месяца, течений и дрейфа льда – до 48 часов.

Выводы

1. За рубежом интенсивно развиваются системы информационной поддержки мореплавания оперативной гидрометеорологической информацией.

2. Развитие осуществляется параллельно по двум основным направлениям:

– путем создания мощных централизованных систем гидрометеорологического обеспечения глобального и регионального масштаба берегового базирования;

– путем создания региональных, локальных и бортовых систем гидрометеорологического обеспечения интегрированных в РСБМ, СУДС, ЭКНИС и специальных систем для расчета оптимального маршрута и режима плавания, а также систем расчета проходной осадки при плавании на мелководье и по морским каналам.

3. Особое внимание при обеспечении плавания в прибрежных водах, в морских каналах и на акваториях портов уделяется развитию сети мониторинга состояния океана и организации доведения этой информации до потребителя в реальном масштабе времени.

4. При обеспечении мореплавания в открытых районах океанов и морей широко используется спутниковая информация.

5. В состав информации, поступающей в реальном масштабе времени для прибрежных районов и портов, входит широкий спектр фактических и прогностических сведений о погоде, волнении, течениях, колебаниях уровня, ледовых условиях.

В лучших образцах систем гидрометеорологического обеспечения мореплавания в прибрежных районах и портах период обновления фактической информации лежит в пределах от 6 минут до 1 часа. Обновление ледовой информации осуществляется ежедневно. Обновление прогностической информации осуществляется обычно два раза в сутки, заблаговременность прогноза лежит в пределах от 1 до 7 суток.

6. В состав информации поступающей в реальном масштабе времени для морских и океанских районов, входят карты анализа и прогноза погоды, тропических циклонов, ледовых условий, айсберговой опасности, волнения, течений.

В тех образцах систем гидрометеорологического обеспечения мореплавания в открытых океанских и морских районах, где учитываются приливные явления, период обновления информации составляет 1 час. В других системах период обновления информации увеличивается до 3 и более часов. Обновление ледовой информации осуществляется ежедневно. Обновление прогностической информации осуществляется обычно два раза в сутки, заблаговременность прогноза лежит в пределах от 1 до 7 суток.

ЛИТЕРАТУРА

1. Viggooson G. The Icelandic Information System on Weather and Sea State. http://www.ingenierosnavales.com/documentos/Information%20System_World_Fishing%20Exhibition_2009_11.09.09.ppt.
2. Портал морской администрации Исландии. <http://vs.en.sigling.is>.
3. Сайт береговой охраны США. <http://www.navcen.uscg.gov/>.
4. Сайт COOPS NOAA. <http://tidesandcurrents.noaa.gov/ports.html>.
5. Applying advanced information Systems to Ports and waterways management. Commission on Engineering and Technical System. http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=6451.
6. Сайт ЦЧМО ВМС США. <https://www.fnmoc.navy.mil>
7. Сайт компании Ocean weather Inc. www.oceanweather.com.
8. Сайт компании OCEAN SYSTEMS Inc. www.ocean-systems.com.
9. Сайт компании MetOcean Solution Ltd. <http://www.metocean.co.nz/cms/>.
10. Оперативный модуль ЕСИМО. <http://hmc.hydromet.ru/sea/index.html>.
11. Сайт проекта SEAROUTES. <http://www.searoutes.sg/project.php>.
12. DUKC_Booklet. http://www.porttaranaki.co.nz/Port/DUKC_Booklet.pdf.
13. Сайт компании OMC International. <http://www.omc-international.com/>.
14. Sea-Ice Information Services in the World // WMO No. 574, 2004, Geneva, Switzerland, 56 p.
15. Сайт Канадской ледовой службы. <http://ice-glaces.ec.gc.ca/>.

KINDS OF FOREIGN SYSTEMS OF HYDROMETEOROLOGICAL SUPPORT FOR MARITIME NAVIGATION

S. I. Mastryukov
(«GNINGI» OJSC)

The foreign experience of creating the systems of operational hydrometeorological support for maritime navigation is analysed. These systems are classified; their possibilities and characteristics are generalized.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

АЛЕКСЕЕВ Сергей Петрович, генеральный директор ОАО «ГНИНГИ», контр-адмирал, докт. техн. н., профессор, заслуженный военный специалист РФ, председатель Санкт-Петербургского регионального отделения Российского общественного института навигации. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – штурман. Автор более 200 печатных трудов.

БРОДСКИЙ Павел Григорьевич, директор центра инновационных исследований ОАО «ГНИНГИ», капитан 1 ранга в запасе, докт. воен. н., профессор. Окончил Каспийское ВВМУ, Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация: штурман. Автор более 100 печатных трудов.

ГЛАДСКИХ Евгений Петрович, начальник лаборатории ОАО «ГНИНГИ», капитан 2 ранга в отставке. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Специализация – гидрография. Автор более 10 печатных трудов и ряда патентов.

ГОЛЯКОВ Алексей Дмитриевич, профессор Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского, докт. техн. н. Окончил Военно-космическую академию им. А. Ф. Можайского. Специализация – навигация и безопасность. Автор более 120 печатных работ.

ДУБИНКО Юрий Сергеевич, ведущий специалист КБ «Навис», капитан 1 ранга (в отставке), докт. техн. н., доцент. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – спутниковая радионавигация. Автор более 50 печатных трудов, в том числе двух монографий

Sergey P. ALEKSEYEV, Director General, «GNINGI» OJSC, Rear-Admiral, DSc, professor. Honoured Military Specialist, chairman of St. Petersburg regional branch of the Russian Public Institute of Navigation. Graduated from Frunze Naval College and Kuznetsov Naval Academy. Speciality: navigation. Author of more than 200 publications.

Pavel G. BRODSKY, Director of Centre of Innovation Research, «GNINGI» OJSC, Captain 1-st rank (Ret.), DSc, professor. Graduated from Caspian Naval College and Kuznetsov Naval Academy. Speciality: navigation. Author of more than 100 publications.

Evgeny P. GLADSKIKH, chief of laboratory, «GNINGI» OJSC, Captain 2-nd rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College. Specialty: hydrography. Author of more than 10 publications and a number of patents.

Aleksey D. GOLYAKOV, professor Mozhaisky Military Space Academy, DSc. Graduated from Mozhaisky Military Space Academy. Speciality – navigation and safety. Author of more than 120 publications.

Yuri S. DOUBINKO, leading specialist of «Navis» Design Bureau, Captain 1st rank (Ret.), DSc, senior researcher. Graduated from Frunze Naval College and Kuznetsov Naval Academy. Speciality: satellite radionavigation. Author of more than 50 publications, including two monographs.

ЖИЛЬЦОВ Николай Николаевич, начальник отдела ОАО «ГНИНГИ». Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – гидрометеорология. Автор 11 печатных работ.

ЖУКОВ Юрий Николаевич, ведущий научный сотрудник ОАО «ГНИНГИ», докт. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт. Специализация – гидрометеорология. Автор более 50 печатных трудов.

ЗЕНЬКОВ Андрей Федорович, директор управления ОАО «ГНИНГИ», капитан 1 ранга в запасе. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Область научных интересов – гидрография, НГО.

КОСТИН Виктор Николаевич, начальник лаборатории ОАО «ГНИНГИ», канд. техн. н., доцент. Окончил Ленинградский государственный университет. Область научных интересов – навигация. Автор более 80 печатных трудов.

КУРСИН Сергей Борисович, заместитель генерального директора ОАО «ГНИНГИ», канд. техн. н., капитан 1 ранга в запасе. Окончил Каспийское высшее военно-морское училище им. С. М. Кирова, Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Область научных интересов – навигация. Автор 25 печатных трудов.

МАКСИМОВ Владимир Анатольевич, старший научный сотрудник ОАО «ГНИНГИ». Окончил Ленинградское высшее инженерное морское училище им. адм. С. О. Макарова. Специализация – инженер-судоводитель. Автор трех печатных работ и ряда патентов.

МАСТРЮКОВ Сергей Иванович, начальник отдела ГНИНГИ МО РФ, полковник в запасе, канд. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт. Специализация – океанология. Автор около 100 печатных трудов.

Nicolai N. ZHILTSOV, chief of division, «GNINGI» OJSC. Captain 1-st rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College and Kuznetsov Naval Academy. Sphere of scientific interests: hydrometeorology. Author of 11 publications.

Yuri N. ZHUKOV, leading researcher, «GNINGI» OJSC, DSc. Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute. Speciality: hydrometeorology. Author of more than 50 publications.

Andrey F. ZENKOV, chief of department, «GNINGI» OJSC, captain 1-st rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College. Sphere of scientific interests: hydrography and navigation-hydrographic support for maritime safety.

Victor N. KOSTIN, chief of laboratory, «GNINGI» OJSC, Cand Sc, reader. Graduated from Leningrad State University. Sphere of scientific interests: navigation. Author of more than 80 publications.

Sergei B. KURSIN, deputy Director-General, «GNINGI» OJSC, CandSc, capitain 1-st rank (Ret.). Graduated from Kirov Caspian Naval College, Kuznetsov Naval Academy. Sphere of scientific interes: navigation. Author of 25 publications.

Vladimir A. Maximov, senior researcher, «GNINGI» OJSC. Graduated from Makarov State Maritime Academy. Speciality: engineer-navigator. Author of three publications and a number of patents.

Sergei I. MASTRYUKOV, chief of division, «GNINGI» OJSC, Colonel (Ret.), CandSc. Graduated from St. Petersburg Hydrometeorological Institute. Speciality: oceanology. Author of about 100 publications.

НЕКРАСОВ Сергей Николаевич, заведующий кафедрой управления судном Санкт-Петербургского университета водных коммуникаций, докт. техн. н., профессор. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – навигация. Автор более 60 печатных трудов.

ПИВОВАРОВА Галина Николаевна, начальник лаборатории ОАО «ГНИНГИ». Окончила Ленинградский гидrometeorологический институт. Область научных интересов – гидrometeorология, изучение приливов. Автор пяти печатных работ.

ПЛАТОНОВА Анастасия Сергеевна, аспирант кафедры экспериментальной физики атмосферы метеорологического факультета Российского государственного гидrometeorологического университета.

РУДЕНКО Евгений Иванович, старший научный сотрудник ОАО «ГНИНГИ», капитан 2 ранга в запасе. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Специальность – навигация, НГО. Автор двух печатных работ.

РУМЯНЦЕВ Юрий Владимирович, заместитель директора ЦИИ ОАО «ГНИНГИ», капитан 1 ранга в запасе, канд. воен. н. Окончил Высшее военно-морское училище им. С. М. Кирова. Специализация – навигация. Автор более 50 научных работ.

СТАВРОВ Константин Георгиевич, начальник научно-исследовательского центра ОАО «ГНИНГИ», докт. техн. н. Окончил Ленинградский государственный университет. Область научных интересов - геофизические исследования, экологический мониторинг. Автор более 100 печатных трудов.

Sergei N. NEKRASOV, head of Vessel Control Department, St. Petersburg Water Communications University, DSc, professor. Graduated from Frunze Naval College and Kuznetsov Naval Academy. Speciality: navigation. Author of more than 60 publications.

Galina N. PIVOVAROVA, chief of laboratory, «GNINGI» OJSC. Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute. Sphere of scientific interests: hydrometeorology, studying of tides. Author of five publications.

Anastasiya S. PLATONOVA, postgraduate student of the chair for experimental physics of atmosphere, Meteorological faculty, the Russian State Hydrometeorological University.

Evgeny I. RUDENKO, senior researcher, «GNINGI» OJSC. Captain 2-nd rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College. Speciality: navigation, navigation-hydrographic support. Author of two publications.

Yuri V. RUMYANTSEV, deputy Director, Center of Innovation Research, «GNINGI» OJSC. Captain 1-st rank (Ret.), CandSc. Graduated from Kirov High Naval College. Speciality: navigation. Author of more than 50 publications.

Konstantin G. STAVROV, chief of Research Centre, «GNINGI» OJSC. Graduated from Leningrad State University. Sphere of scientific interests: geophysical investigations, ecology monitoring. Author of more than 100 publications.

СТУДЕНЕЦКИЙ Александр Сергеевич, советник отдела Минобрнауки, капитан 1 ранга в запасе. Окончил МГУ им. М. В. Ломоносова. Специализация – океанография. Автор 18 печатных трудов.

ЧЕРНЕНКО Аркадий Михайлович, старший научный сотрудник ОАО «ГНИНГИ», капитан 2 ранга в запасе. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Область научных интересов – навигация. Автор более 35 печатных трудов.

ШАЛАГИН Николай Николаевич, заместитель начальника отделения центра инновационных исследований ОАО «ГНИНГИ». Окончил Высшее военно-морское училище подводного плавания и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация: НГО объектов морской деятельности. Автор трех печатных работ.

ШАРКОВ Андрей Михайлович, начальник отдела ОАО «ГНИНГИ», капитан 1 ранга в запасе, канд. техн. н. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – гидрография. Автор 25 печатных трудов.

ЯКУШЕВ Артем Анатольевич, начальник лаборатории ОАО «ГНИНГИ», капитан-лейтенант (в запасе). Окончил Санкт-Петербургский Военно-Морской Институт, ВСОК ВМФ. Специализация – штурман. Автор трех печатных работ.

ЯЦЕНКО Сергей Владимирович, заместитель директора центра инновационных исследований ОАО «ГНИНГИ», капитан 1 ранга в запасе, докт. техн. н., доцент. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Область научных интересов: НГО и ГМО безопасности морской деятельности. Автор более 150 печатных трудов

Alexander S. STUDENETSKIY, counsellor of division, the Ministry of Education and Science, Captain 1-st Rank (Ret.). Graduated from Moscow State University. Speciality: oceanography. Author of 18 publications.

Arkady M. CHERNENKO, senior researcher, «GNINGI» OJSC, Captain 2-nd rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College. Sphere of scientific interests: navigation. Author of more than 35 publications.

Nicolai N. SHALAGIN, deputy chief of division, the Center of Innovation Research, «GNINGI» OJSC. Graduated from the College of Submarine Sailing and Kuznetsov Naval Academy. Speciality: navigation-hydrographic support for the maritime activities. Author of three publications.

Andrey M. SHARKOV, chief of division, «GNINGI» OJSC. Captain 1-st rank (Ret.). CandSc. Graduated from Frunze Naval College and Kuznetsov Naval Academy. Speciality: hydrography. Author of 25 publications.

Artem A. YAKUSHEV, chief of laboratory, «GNINGI» OJSC. Lieutenant-commander (Ret.). Graduated from St. Petersburg Naval Institute, Higher Officers Classes. Speciality: navigator. Author of three publications.

Sergei V. YATSENKO, deputy Director, Center of Innovation Research, «GNINGI» OJSC. Captain 1st rank (Ret.). DSc, reader. Graduated from Frunze Naval College. Sphere of scientific interests: navigation-hydrographic and hydrometeorological support for maritime activities. Author of more than 150 publications.

РЕФЕРАТЫ

УДК 551.462

Ключевые слова: батиметрические исследования, Арктика, нефтегазовые месторождения, ледовый покров, экстремальные условия, рельеф морского дна.

Батиметрические исследования ОАО «ГНИНГИ» в центральной части Арктики. С. П. Алексеев, А. Ф. Зеньков, С. Б. Курсин, К. Г. Ставров. – Навигация и гидрография. – 2010. – №30. – С. 9-16

Показаны особенности решения задач по освоению Арктического региона, связанных с экстремальными природно-климатическими условиями. Приведены результаты первого этапа экспедиционных работ по съемке рельефа морского дна в этом регионе.

УДК 551.508.9

Ключевые слова: координаты, способ определения координат, метод Лагранжа

Способ определения координат места объекта по трем расстояниям до точек, не лежащих на одной линии. Ю. Н. Жуков. – Навигация и гидрография. – 2010. – №30. – С. 17-25

В отличие от известных линейных способов приводится нелинейный способ оценки координат места по трем заданным расстояниям величиной до ста километров. Алгоритм основан на теории метрической геометрии.

УДК 656.6.052

Ключевые слова: погрешность, приемник спутниковой навигационной системы, координаты судна, ряд Фурье, гармоники

Об оценке распределения погрешностей определения координат, измеренных приемником спутниковых навигационных систем. А. М. Черненко. – Навигация и гидрография. – 2010. – №30. – С. 25-36

В статье рассмотрена процедура оценки распределения погрешностей определения координат, измеренных приемником спутниковой навигационной системы. Показано, что они могут быть представлены независимыми (в вероятностном смысле) случайным процессом, описываемым нормальным законом распределения, и композицией гармонических законов распределения.

УДК 656.6.08

Ключевые слова: интенсивность судоходства, аварийность, риск, математическое ожидание, модель

К вопросу оценки влияния интенсивности судоходства на аварийность. П. Г. Бродский, Ю. В. Румянцев, С. Н. Некрасов. – Навигация и гидрография. – 2010. – №30. – С. 36-41

Рассмотрен общий подход к оценке навигационных рисков. Приведена модель предаварийной ситуации, связанной с подходом к точке пересечения путей движения двух судов. Оценен граф состояния предаварийной ситуации, приведены результаты расчетов ожидаемых предаварийных ситуаций для различных значений интенсивности судоходства (судопотока). Представленная модель дает возможность вероятностной оценки рисков навигационных инцидентов в зависимости от интенсивности судоходства.

УДК 629.12

Ключевые слова: средства навигационного оборудования, солнечная энергетическая установка, линза Френеля, аккумулятор

Компактная солнечная энергетическая установка для средств навигационного оборудования. Е. П. Гладских, В. Н. Костин, В. А. Максимов. – Навигация и гидрография. – 2010. – №30. – С. 42-46

В статье рассматривается вариант использования солнечной энергии применительно к береговым и плавучим средствам навигационного оборудования.

УДК 621.396.946

Ключевые слова: метод, точность системы, космический аппарат, оценка погрешностей

Методы аналитического оценивания точности системы автономной навигации космических аппаратов. А. Д. Голяков. – Навигация и гидрография. – 2010. – №30. – С. 47-59

Рассмотрены основные методы аналитического оценивания показателей, характеризующих точность функционирования системы автономной навигации искусственных спутников. Приведены примеры оценивания точности.

УДК 006.72

Ключевые слова: надежность, терминология, стандарт, ГОСТ

Переход к международной терминологии в области надежности. А. Д. Голяков. – Навигация и гидрография. – 2010. – №30. – С. 59-65

Рассмотрены основные положения международного стандарта по терминологии в области надежности, который вводится на территории Российской Федерации с января 2011 г.

УДК 622.276.04

Ключевые слова: прилив, возраст, изменчивость приливов, приливные карты

Особенности географического распределения возраста приливов. Ю. Н. Жуков, Г. Н. Пивоварова. – Навигация и гидрография. – 2010. – №30. – С. 66-74

Проведен анализ изменчивости во времени и в пространстве возраста прилива. Приведены результаты вычисления на основе гармонических постоянных возраста приливов для береговых пунктов Белого моря. Результаты свидетельствуют о существенной пространственной изменчивости возраста прилива, что требует учета этого обстоятельства при навигационно-гидрографическом обеспечении безопасности мореплавания

УДК 622.276.04

Ключевые слова: типовой план, навигационно-гидрографическое обеспечение, арктический шельф, морские нефтегазовые месторождения

Современные подходы к разработке типового плана навигационно-гидрографического обеспечения объектов обустройства и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений арктического шельфа. С. В. Яценко, Н. Н. Шалагин, Е. И. Руденко. – Навигация и гидрография. – 2010. – №30. – С. 74-81

Рассмотрены основные положения по обоснованию требований к составу, структуре и содержанию типового плана навигационно-гидрографического обеспечения объектов обустройства и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений арктического шельфа. Предложен вариант исполнения карты навигационно-гидрографической обстановки района обеспечения

УДК 551.5

Ключевые слова: дрейфующий буй, параметры волновой поверхности, волновые процессы

Модель вероятностного описания движущейся волновой поверхности во временном представлении для определения основных статистических характеристик волнения дрейфующими волномерными буйами. Ю. С. Дубинко, Н. Н. Жильцов. – Навигация и гидрография. – 2010. – №30. – С. 81-90

В статье представлена модель движущейся волновой поверхности во временном представлении для определения основных статистических характеристик в зависимости от ширины спектра волнового процесса. Предложенная модель в сравнении с применяемыми в практике моделями волновых измерений позволяет существенно расширить полноту и повысить достоверность описания волнового процесса, что значительно увеличивает возможности ее практического применения при решении прикладных задач.

УДК 656.6.08

Ключевые слова: Военно-морские силы США, параметры природной среды, обеспечение операций и боевых действий, критические значения гидрометеорологических параметров

Взгляд специалистов ВМС США на состав и критические значения параметров природной среды, влияющих на боевые действия. С. И. Матрюков. – Навигация и гидрография. – 2010. – №30. – С. 91-99

Приведены результаты обобщения представлений, сложившихся в ВМС США, о составе и критических значениях параметров природной среды, влияющих на боевые действия. Методическая основа учета состояния природной среды на боевые действия базируется на глубоком анализе механизмов влияния среды на действия ВМС США. Наличие хорошо формализованной системы критических значений параметров среды облегчает организацию гидрометеорологического обеспечения и учет влияния среды на боевые действия.

УДК 551.46 + 681.3:681.51

Ключевые слова: геоинформационные системы, арктические моря, банк геофизических данных, геофизические исследования

Использование ГИС-технологий при планировании морских научных исследований в интересах создания автоматизированного банка морских геофизических данных на арктические акватории. К. Г. Ставров, А. С. Студенецкий. – Навигация и гидрография. – 2010. – №30. – С. 100-104

Разработана автоматизированная система мониторинга морских научных исследований на акваториях морей России на основе современных СУБД и ГИС-технологий, предусматривающая использование высокопроизводительных компьютерных средств

УДК 551.5

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, гидрометеорологическое обеспечение, пункт приема метеорологической информации

Современное состояние и перспективы развития спутниковых средств дистанционного зондирования Земли в России с учетом потребностей гидрометеорологического обеспечения Вооруженных Сил РФ. Н. Н. Жильцов, А. М. Шарков, А. С. Платонова. – Навигация и гидрография. – 2010. – №30. – С. 105-110

Проведен анализ нынешнего состояния и ближайших перспектив развития дистанционного зондирования Земли в России, а также необходимый состав спутниковых метеорологических систем и виды получаемой гидрометеорологической информации, необходимые Вооруженным Силам РФ и, в частности, Военно-морскому флоту.

УДК 656.6.08

Ключевые слова: параметры природной среды, гидрометеорологическое обеспечение мореплавания, береговые системы, оборудование портов

Виды зарубежных систем гидрометеорологического обеспечения мореплавания. С. И. Матрюков. – Навигация и гидрография. – 2010. – №30. – С. 111-118

Проанализирован зарубежный опыт создания систем оперативного гидрометеорологического обеспечения мореплавания, выполнена их классификация, а также обобщены их возможности и характеристики.

ABSTRACTS

Bathymetric explorations by «GNINGI» OJSC in the Central Arctic. S. P. Alekseyev, A. F. Zenkov, S. B. Kursin, K. G. Stavrov. – Navigation and hydrography. – 2010. – №30. – P. 9-16.

The importance of the tasks concerning the development of the Arctic region and specific features of their solution connected with extreme natural-climatic conditions are stated. The results of the first stage of the expeditionary work intended to survey the sea bottom relief in this region are presented.

Key words: bathymetric explorations, the Arctic, oil and gas field, ice cover, sea bottom relief, extreme conditions

The Technique of Determining the Co-ordinates of an Object by Three Distances to the Points Not Located on the Same Line. Y. N. Zhukov. – Navigation and hydrography. – 2010. – №30. – P. 17-25.

As distinguished from the well known linear techniques, the nonlinear technique of determining the co-ordinates by three given distances not exceeding 100 km, is presented. The algorithm is based on the theory of metric geometry.

Key words: co-ordinate, method of determining the co-ordinates, Lagrange method

On Evaluation of Error Distribution for the Co-ordinates Measured by the SNS Receiver. A. M. Chernenko. – Navigation and hydrography. – 2010. – №30. – C. 25-36.

The procedure of evaluating the error distribution in finding the co-ordinates by the SNS receiver is considered. It is shown that the errors can be represented by the independent and random, in the probabilistic sense, process described by the normal distribution law, and by the composition of harmonic distribution laws.

Key words: error, satellite navigation system receiver, vessel's co-ordinates, Fourier series, harmonics

On Evaluation of the Influence of Maritime Traffic Intensity on Accident Rate. P. G. Brodsky, Y. V. Rumyantsev, S. N. Nekrasov. – Navigation and hydrography. – 2010. – №30. – P. 36-41.

The general approach to evaluation of navigation risks is considered. The model of pre-accident situation connected with approach to the crossing point of routes for two vessels is presented. The graph of pre-accident situation state is evaluated. The calculation results of the expected pre-accident situations for different values of traffic intensity are given. The presented model enables to make the probabilistic estimate of the navigation incident risks depending on the traffic intensity.

Key words: maritime traffic intensity, accident rate, risk, mathematical expectation, model

The Compact Solar Powerplant for Aids to Navigation. E. P. Gladskikh, V. N. Kostin, V. A. Maksimov. – Navigation and hydrography. – 2010. – №30. – P. 42-46.

The variant of using the solar energy as applied to coastal and floating aids to navigation is considered

Key words: aids to navigation, solar power plant, Fresnel lens, accumulator

Methods of Analytical Evaluation of Satellite Autonomous Navigation System Accuracy. A. D. Golyakov. – 2010. – №30. – P. 47-59.

The main methods of analytical evaluation of the indices that characterize the accuracy of operation for the satellite autonomous navigation system are considered. Examples of accuracy evaluation are given.

Key words: method, accuracy of system, space vehicle, errors evaluation

Transition to International Terminology in the Sphere of Reliability. A. D. Golyakov. – Navigation and hydrography. – 2010. – №30. – P. 59-65.

The main provisions of the international terminology standard in the sphere of reliability that will be officially

used on the territory of the Russian Federation beginning from January 2011, are considered.

Key words: reliability, terminology, standard, the State Standard

The Geographical Distribution Features of the Age of Tides. Y. N. Zhukov, G. N. Pivovarova. – Navigation and hydrography. – 2010. – №30. – P. 66-74.

The temporal and spatial changeability of the age of tide is analysed. The results of calculations, based on the harmonic constituents, of the age of tides for the coastal points of the White Sea are presented. The results indicate the considerable spatial changeability of the age of tide, which is to be taken into consideration when providing the navigation-hydrographic support for the maritime safety.

Key words: tide, age of tide, changeability of tides, tidal charts

Modern Approach to Development of the Standard Plan of Navigation-Hydrographic Support for the Objects of Development and Exploitation of the Offshore Oil-Gas Fields on the Arctic Shelf. S. V. Yatsenko, N. N. Shalagin, E. I. Rudenko. – Navigation and hydrography. – 2010. – №30. – P. 74-81.

The main provisions concerning the substantiation of requirements to composition, structure and content of a standard plan of navigation-hydrographic support for the objects of construction and exploitation of the offshore oil-gas fields on the Arctic shelf, are considered. The variant of the navigation-hydrographic situation chart for the required area is suggested.

Key words: standard plan, navigation-hydrographic support, Arctic shelf, offshore oil and gas field

Model of Probabilistic Description of the Moving Wave Surface in the Temporal Representation to Determine the Main Statistical Wave Characteristics by the Drifting Wave-Measuring Buoys. Y. S. Doubinko, N. N. Zhiltsov. – Navigation and hydrography. – 2010. – №30. – P. 81-90.

The model of the moving wave surface in the temporal representation in order to determine the main statistical characteristics, depending on the spectrum width of the wave process is presented. The suggested model, as compared with the wave measurement models used in practice, allows to extend the completeness and increase the authenticity of the wave process description, which considerably extends, the possibility of its application when solving the applied problems.

Key words: drifting buoy, parameters of moving wave surface, wave process

The Views of the US Navy Specialists on the Composition and Critical Values of the Natural Environment Parameters Influencing the Combat Operations. S. I. Mastryukov. – 2010. – №30. – P. 91-99.

The results of generalized view formed in the US Navy on the composition and critical values of the natural environment parameters influencing the combat operations are presented. The methodical basis for taking the influence of the natural environment state on the combat operations into account is based on the thorough analysis of the mechanisms of the environment influence on the US Navy combat operations. The availability of the well formalized system of the critical values of the environment parameters facilitates the organization of the hydrometeorological support and account of the environment influence on the combat operations.

Key words: the US Navy, environment parameters, support for operations and combat activities, critical values of hydrometeorological parameters

Employment of GIS technologies when planning the research with the aim to create the automated marine geophysical databank for the Arctic water area. K. G. Stavrov, A. S. Studenetskiy. – Navigation and hydrography. – 2010. – №30. – P. 100-104.

The automated system for monitoring the marine research in the water areas of the Russia's seas has been developed. It is based on the current DBMS and GIS technologies and provides for the employment of high-throughput computer hardware.

Key words: geoinformation system, the Arctic seas, geophysical databank, geophysical research and survey

The Present-Day State and Prospects of Development in Russia of the Satellite Complexes for the Sounding of the Earth, taking the Requirements of the Hydrometeorological Support for the RF Armed Forces into Account. N. N. Zhiltsov, A. M. Sharkov, A. S. Platonova. – Navigation and hydrography. –2010. – №30. – P. 105-110.

The present-day state and the near-term development prospects for the sounding of the Earth in Russia are analysed. The necessary composition of the space meteorological systems and kinds of the obtained hydrometeorological information required for the RF Armed Forces and, in particular, for the Navy are considered.

Key words: remote sounding of the Earth, hydrometeorological support, reception point for meteorological information

Kinds of Foreign Systems of Hydrometeorological Support for Maritime Navigation. S. I. Mastryukov. – Navigation and hydrography. –2010. – №30. – P. 111-118.

The foreign experience of creating the systems of operational hydrometeorological support for maritime navigation is analysed. These systems are classified; their possibilities and characteristics are generalized.

Key words: environment parameters, hydrometeorological support for maritime navigation, coastal system, port facilities

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ

Информация о правилах оформления подписки на издания Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института

Юридические и физические лица могут приобрести следующие издания ОАО «ГНИНГИ»: журнал «Навигация и гидрография», материалы Российской научно-технической конференции «Современное состояние и проблемы навигации и океанографии».

Приобрести издания можно, оформив заказ на журнал и/или сборники докладов конференции как за наличный, так и безналичный расчет.

Время оформления подписки или заказа не ограничено.

Цена одного номера (выпуска):

- журнала «Навигация и гидрография» – 200 руб.;
- сборника «Труды конференции "НО-2007"» – 1000 руб.;
- сборника «Труды конференции "НО-2007"» на CD – 500 руб.;

Заполненный бланк-заказ просим высылать:

199106, Россия, Санкт-Петербург, Кожевенная линия, д. 41

Начальнику отдела НТИ ОАО «ГНИНГИ» Бахмутову В. Ю.

Копию платежного поручения можно переслать потел/факсу +7 (812) 327-99-80 или на E-mail mail@gningi.ru; info@gningi.ru

Архив журнала в формате PDF доступен на официальном сайте ОАО «ГНИНГИ» <http://www.gningi.ru>

Глубокоуважаемые коллеги!

Приглашаем Вас к сотрудничеству в журнале «Навигация и гидрография», издаваемом с 1995 г. Государственным научно-исследовательским навигационно-гидрографическим институтом.

В журнале публикуются результаты исследований в области навигации, гидрографии, океанографии, гидрометеорологии, морской картографии, морской геофизики и экологии. Издание освещает концептуальные научные положения и осуществляет оперативную публикацию новейших теоретических исследований. Журнал знакомит с передовыми техническими достижениями, с материалами симпозиумов, конференций и хроникой важнейших событий научной жизни. Статьи журнала рецензируются.

Журнал распространяется по подписке. Кроме того, он рассылается в крупнейшие библиотеки России, центры научно-технической информации, органы военного управления различного уровня, научно-технические библиотеки высших военно-морских учебных заведений и научно-исследовательских организаций.

Информация для авторов

Журнал выходит два раза в год. Статьи, предназначенные для первого номера, принимаются до конца марта, а для второго – до конца сентября текущего года.

Требования к оформлению материалов

Статьи принимаются в формате MS Word с приложением текста на бумаге (шрифт – Times New Roman размером 14, межстрочный интервал 1,5). Все материалы должны быть подписаны автором (авторами).

Объем статьи не должен превышать 0,5 авторского листа (20 000 печатных знаков), включая рисунки, таблицы и список литературы.

Название статьи должно в наиболее краткой форме отражать ее содержание.

В статье указывается *индекс УДК*. К работе *отдельными файлами* прилагаются *аннотация* (объемом не более 150 слов), *ключевые слова* и *сведения об авторах* (ФИО полностью; полное наименование учреждения, где работает автор; должность; ученая степень, звание; воинское звание (если имеется); полное наименование высшего учебного заведения, которое закончил автор; специализация; количество опубликованных научных трудов). Кроме того, авторам необходимо указать контактную информацию: почтовый и электронный адрес, номера телефонов. К рукописи прилагается *сопроводительное письмо* организации, в которой работает автор, и один экземпляр *экспертного заключения* о возможности открытого опубликования представленных материалов.

Для написания формул и символов, входящих в формулы, следует использовать редактор формул MS Equation.

Используемые в статье *величины и единицы измерения* должны соответствовать стандартным обозначениям согласно Международной системе единиц СИ.

Рисунки представляются *отдельными файлами* в форматах .bmp, .jpg или .gif с разрешением 200-300 точек/дюйм. Все рисунки должны иметь порядковые номера и подписи.

Таблицы должны иметь порядковые номера и названия. Допускается только вертикальная ориентация таблиц, ширина не должна превышать 140 мм.

Список использованной литературы составляется на языке оригинала (исключение – языки с иероглифическим написанием слов) в порядке ссылок на источники по тексту. Ссылки в тексте даются в квадратных скобках, где указывается номер работы по списку. В списке литературы указываются: фамилии и инициалы авторов, полное название книги или статьи, название сборника, город, издательство, год, том, номер, страницы.

Адрес редакции: ОАО «ГНИНГИ»,
199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41,
Телефон/факс: (812) 327-99-80
E-mail: mail@gningi.ru; info@gningi.ru



НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ, 2010, №30

Научный редактор П. И. Малеев
Редактор И. Ю. Бугрова
Компьютерная верстка: И. А. Власов
Редактор-переводчик Г. В. Трибуц

Подписано в печать 20.12.2010 г.
Тираж 300 экз.
Заказ № 57/39-10 от 23.12.2010 г.

Журнал зарегистрирован в Федеральном агентстве по печати и массовым коммуникациям.
Свидетельство о регистрации ПИ 013271.

Подписной индекс в каталоге «Издания органов НТИ» Агентства «Роспечать» 60941

**© ОАО «Государственный научно-исследовательский
навигационно-гидрографический институт»**