

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

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

ИЗДАЕТСЯ С 1995 ГОДА

**39
2015**

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санкт-Петербург

**Главный редактор
А. Ф. Зеньков**

Редакционная коллегия:

д. в. н., проф. П. Г. Бродский (заместитель главного редактора),
д. т. н. П. И. Малеев (научный редактор); к. г.-м. н. И. Ю. Бугрова (редактор);
к. в. н. В. Ю. Бахмутов (ответственный за выпуск);
д. т. н., профессор Э. С. Зубченко, д. в. н., проф. А. И. Исмаилов;
д. в. н., проф. В. А. Катенин; к. т. н. Н. И. Леденёв; д. т. н. С. И. Мاستрюков;
д. т. н., проф. Н. Н. Неронов; акад. РАН В. Г. Пешехонов;
к. в. н. Ю. В. Румянцев; чл.-кор. РАН А. И. Сорокин;
д. т. н., профессор К. Г. Ставров; к. т. н. В. А. Титлянов,
к. т. н. А. М. Шарков, д. ф.-м. н., профессор Г. Г. Шукин

Журнал «Навигация и гидрография» включен в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук»

Электронная версия журнала размещена на сайте www.gningi.ru

**© Открытое акционерное общество
«Государственный научно-исследовательский
навигационно-гидрографический институт»
2015**

**THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC
INSTITUTE**

NAVIGATION AND HYDROGRAPHY

PUBLISHED SINCE 1995

**39
2015**

RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE

Saint-Petersburg

Editor-in-chief

A. Zenkov

Editorial board

P. Brodsky, DSc, professor (vice-editor-in-chief);
P. Maleyev, DSc (science editor); I. Bugrova (editor), CandSc;
V. Bakhmutov (the issue manager), CandSc;
E. Zubchenko, DSc, professor; A. Ismailov, DSc, professor;
V. Katenin, DSc, professor; N. Ledenev, CandSc; S. Mastyukov, DSc;
N. Neronov, DSc, professor; V. Peshekhonov, DSc, Acad. RAS;
Yu. Rumyantsev, CandSc; A. Sorokin, DSc, CM RAS; K. Stavrov, DSc, professor;
V. Titlyanov, CandSc; A. Sharkov, CandSc; G. Shchukin, DSc, professor

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

2015

СОДЕРЖАНИЕ

НАВИГАЦИЯ

Проблемы средств навигации автономных необитаемых подводных аппаратов и возможные пути их решения. П. И. Малеев	7
Метод выбора оптимальной по стоимости и качеству системы курсоуказания и стабилизации морских объектов. С. А. Ярошенко	12
Метод обоснования требований высокоточной автономной навигации к цифровой модели гравитационного поля Земли. Э. С. Зубченко	16

ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

Результаты моделирования сценариев взаимодействия айсбергов с морскими нефтегазодобывающими комплексами. О. А. Гасников, К. Г. Ставров, А. С. Большев, К. Н. Шхинек	25
Результаты комплексных морских исследований 2014 года по уточнению параметров внешней границы континентального шельфа (ВГКШ) в Северном Ледовитом Океане. С. М. Зарубин	33
Приливы и сейши. Как различить? Ю. Н. Жуков	42

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

Логические особенности математических моделей в гидрометеорологии. Ю. Н. Жуков	48
Состояние и перспективы развития программно-аппаратных средств подсистемы сбора, обработки, передачи и хранения гидрометеорологической информации в ВМФ. А. Е. Дроздов, Н. Н. Жильцов, В. П. Свиридов	53
Памяти контр-адмирала Сергея Петровича АЛЕКСЕЕВА	59
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	61
РЕФЕРАТЫ	64

C O N T E N T S

NAVIGATION

Problems of Navigational Aids for Autonomous Unmanned Submarine Vehicles and Possible Ways of their Solution. P. I. Maleyev	7
Method of Selection of the Optimum Cost-Effective and Quality System for Heading Indication and the Marine Objects Stabilization. S. A. Yaroshenko.....	12
Substantiation Method for High-accuracy Autonomous Navigation Requirements to Digital Model of the Earth's Gravitational Field. E. S. Zubchenko.....	16

HYDROGRAPHY AND MARINE CARTOGRAPHY

Modelling the Scenarios of Collision of Icebergs with the Offshore Oil and Gas Production Complexes. O. A. Gasnikov, K. G. Stavrov, A. S. Bolshev, K. N. Shkhinek	25
Results of Complex Marine Explorations (in 2014) with the Aim to Define More Exactly the Parameters of the Outer Limits of the Continental Shelf in the Arctic Ocean. S. M. Zarubin.....	33
Tides and Seiches. How to Differentiate between Them?. Y. N. Zhukov.....	42

HYDROMETEOROLOGY

Logical Specific Features of Mathematical Models in Hydrometeorology. Y. N. Zhukov.....	48
Status and Prospects of Development for Software and Hardware of the Subsystem Used to Collect, Process, Transfer and Store the Hydrometeorological Information in the Navy. A. E. Drozdov, N. N. Zhiltsov, V. P. Sviridov	53
In Commemoration of Rear-Admiral Sergei P. Alekseyev	59
INFORMATION ABOUT AUTHORS	61
ABSTRACTS	64

НАВИГАЦИЯ

УДК 629.127.4-52

ПРОБЛЕМЫ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ АВТОНОМНЫХ НЕОБИТАЕМЫХ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

П. И. МАЛЕЕВ
(ОАО «ГНИНГИ»)

Рассмотрены задачи, решаемые автономными необитаемыми подводными аппаратами, необходимые для них средства навигации, а также трудности использования существующих судовых аналогов этих средств и возможные пути их преодоления.

Из значительного числа подводных аппаратов (ПА) различных типов автономные необитаемые подводные аппараты (АНПА) занимают особое место. Их преимущества перед другими подводными аппаратами состоит в:

- отсутствию кабель-тросовой связи с судном-носителем;
- способности функционировать в местах, недоступных для других типов ПА;
- скрытности функционирования;
- высокой мобильности.

АНПА предназначены для:

- проведения океанологических, гидрографических, геофизических и биологических исследований, геомагнитной и гравиметрической съемки;
- проведения поиска и обследования затонувших объектов;
- постановки донных маяков-ответчиков;
- обследования нижней кромки ледяных полей, оценки толщины и характера ледяного покрова;
- обследования и обслуживания подводных нефтегазовых трубопроводов; кабельных линий и других подводных сооружений;
- поиска полезных ископаемых на больших глубинах и предварительного определения их химического состава;
- работы в агрессивных средах;
- выполнения специальных задач в интересах Министерства обороны, в частности разведки, противолодочной и противоминной борьбы, проведения диверсионной деятельности, слежения за объектами противника и др.

По массе АНПА подразделяются на микро-, мини-, малые, средние и большие. Масса микро-АНПА составляет менее 20 кг. Дальность плавания – не более 1–2 морских миль, предельная глубина погружения – 150 м, скорость хода – 1,5–2 узла. Масса мини-АНПА 20–100 кг. Дальность плавания различных их разновидностей колеблется в широких пределах. Малые АНПА обладают массой 100–500 кг. Масса средних АНПА составляет 500–2000 кг, больших – более 2000 кг.

Особое место среди АНПА занимают глайдеры, являющиеся в определенной степени аналогами воздушных планеров. Особенность глайдеров состоит в том, что изменение их плавучести осуществляется за счет изменения объема аппарата. Так, изменение объема на 100 см^3 создает силу плавучести около 1Н. Процесс планирования, связанный с изменением объема аппарата, обеспечивается за счет энергии, затрачиваемой на работу насосов. При этом затрачиваемая мощность незначительна и составляет доли Ватта. Отличие глайдеров от воздушных планеров – в очень малых скоростях перемещения и, соответственно, малом сопротивлении среды, что при минимизации затрат энергии на работу всех систем и механизмов обеспечивает значительную автономность (месяцы) и дальность плавания (тысячи км). Период развития этих подводных аппаратов – менее 15 лет.

Возможности решения перечисленных выше задач с помощью АНПА в значительной степени зависят от используемых в них средств навигации. К основным из этих средств относятся:

- инерциальные навигационные системы (ИНС);
- измерители абсолютной и относительной скорости (лаги);
- эхолоты;
- магнитные компасы;
- приемники спутниковых средств навигации;
- магнитные компасы;
- гидроакустические навигационные системы.

Размещение судовых аналогов этих средств из-за значительных массогабаритных характеристик и энергопотребления (особенно на малогабаритных АНПА) весьма затруднительно. Кроме того, требуется дальнейшее повышение их точностных характеристик. В связи с этим представляется целесообразным рассмотреть возможные пути решения этих проблем.

Рассмотрение следует начать с поиска путей создания инерциальной навигационной системы (ИНС) с минимальными весом и габаритами. Такие ИНС, к сожалению, не обладают требуемой высокой точностью. Их погрешности (в первую очередь, из-за дрейфа гироскопов) со временем значительно растут. Отсюда следует, что из большого числа известных в настоящее время гироскопических чувствительных элементов (ЧЭ) – более 30 типов и более 50 их вариантов [1] – необходимо рассмотреть те, которые обладают малыми массогабаритными параметрами. А для повышения их точности рассмотреть возможные способы снижения их погрешностей за счет дрейфа.

Анализ гироскопических ЧЭ показал, что по массогабаритным параметрам для ИНС АНПА в наибольшей степени подходят микромеханические и ядерные гироскопы.

Начало работ над микромеханическими гироскопами в России относится к концу 1990-х годов. К настоящему времени такие гироскопы получили широкое развитие и применение. Их дрейф находится в пределах единиц и десятых градусов в час. По прогнозам дрейф таких гироскопов в перспективе может достигнуть 0,01 град./ч.

Привлекательной стороной ядерных гироскопов для ИНС АНПА является возможность их миниатюризации, а также исключение трудностей технологического характера по изготовлению, подвесу и обеспечению питанием основной детали обычных гироскопов – вращающейся массы. В последние десятилетия такие гироскопы

скопы в США разрабатываются в рамках программы *Micro-Technology for Positioning, Navigation and Timing (Micro-PNT)* [2, 3]. Предполагается, что эти гироскопы могут обладать уходом менее 0,01 град./час, стабильностью масштабного коэффициента порядка $5 \cdot 10^{-5}$, объемом менее 1 см^3 , потребляемой мощностью менее 5 мВт. По сравнению с микромеханическими гироскопами на базе кремниевой электроники они менее чувствительны к вибрациям, имеют на порядок меньшие габариты и значительно меньшее энергопотребление.

Работы по созданию микроядерных гироскопов в США финансируются Агентством по перспективным оборонным научно-исследовательским разработкам (Defense Advanced Research Projects Agency – DARPA) МО США и выполняются тремя фирмами: Northrop Grumman, Boeing и Archangel Systems.

Для повышения точности малогабаритных гироскопов АНПА можно использовать способы внутренней автокомпенсации их дрейфов. В одном из таких способов вращают корпус гироскопа относительно оси, совпадающей с осью вращения его ротора, в другом – вращают стабилизируемую платформу, на которой установлены гироскопы [4]. Вращение корпуса усредняет возмущающие моменты, связанные с корпусом. Скорость вращения обычно составляет 0,2–1,0 об/мин. Стабилизированную платформу вращают со скоростью 2–10 угловых скоростей Земли.

В дополнение к этим способам повышения точности нами предложены два новых [5, 6]. В одном из них предложено вращать корпус гироскопа вокруг двух перекрещенных осей. Повышение точности в этом способе происходит за счет значительного снижения зависимости выходных параметров гироскопа от гравитационного поля и переносных ускорений.

В другом предлагаемом способе для повышения точности гироскопов ось собственного вращения ротора дополнительно принудительно медленно вращают вокруг оси ей ортогональной, определяют сумму сигналов пропорциональных угловому ускорению ротора и угловой скорости собственного вращения ротора. По измененным углам отклонения оси собственного вращения определяют величину абсолютной угловой скорости.

Для дальнейшего снижения накапливающихся со временем погрешностей гироскопов, особенно при длительной их работе, необходимо использовать внешние методы периодической коррекции ИНС. Рассмотрим эти методы применительно к АНПА.

Для коррекции ИНС можно, вообще говоря, использовать ряд методов.

Одним из них является коррекция с помощью информации, получаемой от доплеровского абсолютного лага. Этот метод, однако, может быть использован лишь при движении аппарата вблизи дна.

Второй метод предусматривает использование спутниковой навигационной системы (СНС). Однако для этого потребуется периодическое всплытие аппарата, при котором затрачивается много энергии. Точность определения местоположения по современным СНС («ГЛОНАСС» и GPS) составляет 7–12 м, а при использовании локальных дифференциальных подсистем – 1–2 м.

Третий метод исключает необходимость всплытия аппарата. Коррекция может быть осуществлена по СНС с помощью сопровождающего надводного судна, способного определять свои координаты по СНС и синхронно передавать эту информацию по гидроакустическому каналу на аппарат. Однако использование этой информации на обеспечивающем судне затруднено тем, что место размещения приемной

антенны СНС может значительно отстоять от места использования принимаемой информации на судне, а линейные размеры судна столь велики, что параметры движения его различных точек в условиях качки и маневрирования существенно отличаются. Возникшие при этом погрешности по координатам в дифференциальном режиме достигают 5–10 м. К тому же добавляются погрешности, связанные с передачей этой информации на аппарат по гидроакустическому каналу.

Четвертый возможный метод коррекции ИНС АНПА требует использования гидроакустических навигационных систем, работающих по заранее размещенным по трассе придонным маякам. Дальность действия таких систем с длинной базой для разных их вариантов достигает 10–20 км, а флуктуационная погрешность определения координат – 2–3 м. Это ведет к необходимости установления по трассе (и их координирования по СНС) целого ряда маяков. Установка и координирование каждого маяка, в особенности в условиях глубокого моря, сопряжено с определенными трудностями и занимает, как правило, более суток.

Пятый метод основан на использовании мобильного маяка, буксируемого обеспечивающим судном. Точность определения местоположения аппарата при использовании этого метода относительно низка.

Необходимо отметить также, что точность определения местонахождения аппарата с помощью гидроакустических маяков требует знания скорости звука в воде, которая зависит от ее солености, температуры и давления. Для их учета в аппарате нужно иметь необходимые датчики.

При наличии соответствующей аппаратуры АНПА могут ориентироваться также по предварительно выявленным топографическим особенностям рельефа и магнитным картам дна.

Не менее важными навигационными системами АНПА являются измерители скорости. Требования к этим средствам, как правило, высоки. Современные судовые лаги имеют значительный вес и габариты, они не могут измерять малые скорости, работать на больших глубинах и не обладают требуемой точностью. Кроме того, лаги АНПА должны измерять скорости в трех плоскостях, поскольку аппарат может перемещаться в горизонтальном направлении и одновременно всплывать или погружаться, а также смещаться под действием течения, вследствие этого вектор его скорости является результирующим трех скоростей – горизонтальной, вертикальной и скорости дрейфа.

Масса электронной аппаратуры известных малогабаритных доплеровских лагов («Кемь», ЛА-51, «Зенит-ГАЛ», «Лагуна», ЛДУ-160) достигает нескольких десятков килограммов. Масса коммерчески доступных зарубежных малогабаритных доплеровских лагов (WHN 300, WHN 600, WHN 1200, EDO Model 3050) также велика (15–18 кг). Значительно для этих лагов и энергопотребление. Так, например, потребляемая мощность ЛДУ-160 составляет около 65 Вт при напряжении электропитания 27 В постоянного тока.

Точность измерения скорости перечисленными выше лагами характеризуется неоднозначно. Для ЛА-51, в частности, в документах указывается точность 0,15 узла при скорости менее 10 узлов, для ЛДУ-160 – среднеквадратическая погрешность 0,06 узла при времени осреднения 64 с. Все перечисленные лаги измеряют продольную и поперечную составляющие абсолютной скорости на глубинах не более 200 м, а относительную (по сигналам от звукорассеивающих слоев и объемной реверберации) – до 100 м.

Значительные массогабаритные характеристики указанных лагов определяются, прежде всего, использованием в них аналоговых преобразователей. Современные серийные большие интегральные схемы (БИС) аналоговых усилителей, аналогоцифровые преобразователи (АЦП) на кристалле, цифроаналоговые преобразователи (ЦАП), логические интегральные схемы позволяют создавать доплеровские лаги со значительно меньшими габаритами и массой с цифровой обработкой сигналов.

Исследования показали [7], что при использовании этих электронных компонент и цифровой обработки сигналов можно создать доплеровский лаг в виде трех печатных плат размером примерно 100×100 мм, массой около 1 кг и энергопотреблением значительно меньшим по сравнению с существующими малогабаритными лагами.

Для измерения скорости аппарата относительно воды используются, как правило, индукционные лаги. Существующие судовые их аналоги имеют также значительные габариты и массу. Массогабаритные характеристики, как и доплеровских лагов, могут быть снижены за счет использования современной электронной базы. Для повышения точности индукционных лагов можно использовать и предложенный нами способ [8].

Рассмотренные возможные пути снижения массогабаритных характеристик лагов в полной мере относятся и к другим гидроакустическим средствам, используемым на АНПА – эхолотам, гидролокаторам, профилографам, каналам гидроакустической связи и др.

Таким образом, для решения значительного числа задач, возлагаемых на АНПА, средства их навигации должны обладать минимальными массогабаритными характеристиками и относительно высокой точностью. Существующие судовые их аналоги не отвечают этим требованиям, что требует создания новых. Основным средством навигации АНПА является ИНС. Для их создания целесообразно использовать микромеханические и микроядерные гироскопы, а также средства внутренней автокомпенсации их дрейфов и средства коррекции по внешним ориентирам. Использование современной электронно-цифровой базы позволяет создавать гидроакустические средства навигации АНПА (лаги, эхолоты, гидролокаторы, профилографы и т. п.) с требуемыми массогабаритными характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малеев П. И. Гироскопические чувствительные элементы: классификация и уровень развития // Навигация и гидрография. – 2014. – №37. – 18–28.
2. DARPA. Broad Agency Announcement. Chip-Skale Combinatorial Atomic Navigator (C-SCAN). Microsystems Technology Office (MTO). DARPA-BAA-12-44. – April 16, 2012.
3. Shkel A. M. Microtechnology Comes of Age // GPS World. – 2011. – No 9. – P. 43–50.
4. Зельдович С. М., Малтинский М. И. и др. Автокомпенсация инструментальных погрешностей гиросистемы // Л.: Судостроение, 1970. – 225 с.
5. Способ определения абсолютной угловой скорости П. И. Малеев, А. А. Голован и др. Авторское свидетельство СССР на изобретение № 157987. Приоритет от 12.12.1980 г.
6. Малеев П. И. Повышение точности гироскопов за счет дополнительного медленного вращения его ротора в ортогональной плоскости // Навигация и гидрография. – 2003. – № 16. – С. 39–43.
7. Львов К. П., Малеев П. И. Возможные пути совершенствования малогабаритных доплеровских лагов // Навигация и гидрография. – 2008. – № 26. – С. 21–29.
8. Индукционный лаг. П. И. Малеев, В. А. Подвойский. Авторское свидетельство СССР на изобретение № 744329, Приоритет от 09.11.1977 г.

PROBLEMS OF NAVIGATIONAL AIDS FOR AUTONOMOUS UNMANNED SUBMARINE VEHICLES AND POSSIBLE WAYS OF THEIR SOLUTION

P. I. Maleyev (OJSC «GNINGI»)

The tasks carried out by the autonomous unmanned submarine vehicles, the navigational aids required for them, the difficulties of employment of the existing ship analogs of these aids and the possible ways of their overcoming are considered.

УДК 389.001

МЕТОД ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ПО СТОИМОСТИ И КАЧЕСТВУ СИСТЕМЫ КУРСУКАЗАНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ

С. А. ЯРОШЕНКО
(ОАО «ГНИНГИ»)

В статье рассмотрен метод выбора оптимальной по стоимости и качеству системы курсоуказания и стабилизации морских объектов и его практическое применение. Было установлено, что наиболее предпочтительной для пользователя системой курсоуказания и стабилизации является система «Бемоль».

Сравнивать технические характеристики и стоимость каких-либо систем имеет смысл, если существует возможность выбора. Наилучшей является система, удовлетворяющая требованиям потребителя, стоимость которой при этом не выходит за пределы отпущенных на неё средств, т. е. потребитель ставит целью выбрать систему, обладающую наибольшим числом удовлетворяющих его технических характеристик за минимальную стоимость.

Может показаться, что решить сформулированную выше задачу выбора возможно на основе простого сравнения технических характеристик и стоимости конкурирующих систем. Однако при значительном числе систем и их технических характеристик сделать это без применения специальных методов становится затруднительно.

Системы курсоуказания и стабилизации, как и любые сложные технические системы, имеют ряд идентичных технических характеристик. Из всего многообразия данных по системам важно выделить так называемые «базовые характеристики», которые будут использованы для сравнения. Выберем оптимальную по стоимости и качеству систему из ряда однотипных систем курсоуказания и стабилизации от разных производителей.

Обозначим через Π_k показатель качества системы. Он указывает, что выбранная нами система курсоуказания и стабилизации имеет технические характеристики не хуже, чем у «эталонной системы». Под эталонной системой будем понимать реально не существующую систему, наделенную лучшими из исследуемых технических характеристик рассматриваемых систем.

Выбор системы будем осуществлять по наибольшему значению показателя качества Π_k ($\max \Pi_k$). Для последующих расчетов выполним следующие действия.

I. С помощью экспертов проранжируем технические характеристики систем в порядке убывания их значимости на качественном уровне по категориям: «Очень важно», «Важно», «Менее важно» и т. д.

II. Сформируем таблицу, содержащую базовые, независимые друг от друга, технические характеристики систем, интересующие потребителя, в порядке убывания их значимости.

III. Из базового состава технических характеристик систем выберем наилучшие характеристики и запишем их в правую колонку таблицы. В результате в правой колонке таблицы появится реально несуществующая эталонная система, наделенная лучшими из исследуемых технических характеристик.

Основные технические характеристики рассматриваемых систем курсоуказания и стабилизации

Категории	Базовые технические характеристики	$j=1-9$	Системы ($i=1-3$)				Вес r_j
			Кама	Бемоль	Ладога-Э	Эталонная система	
	Опк _{ij}		$i=1$	$i=2$	$i=3$		
I. Очень важно	Погрешность выработки курса (угл. мин.)	$j=1$	12	6	6	6	0,125
			Опк ₁₁ =0,5	Опк ₂₁ =1	Опк ₃₁ =1		
	Погрешность выработки углов качки (угл. мин.)	$j=2$	1,5	1	1	1	0,125
			Опк ₁₂ =0,67	Опк ₂₂ =1	Опк ₃₂ =1		
Надежность	$j=3$	0,997	0,95	0,95	0,997	0,125	
		Опк ₁₃ =1	Опк ₂₃ =0,95	Опк ₃₃ =0,95			
Время готовности (часов)	$j=4$	1	1	9	1	0,125	
		Опк ₁₄ =1	Опк ₂₄ =1	Опк ₃₄ =0,11			
II. Важно	Точность выработки (хранения) координат места (км)	$j=5$	5	5	5	5	0,11
			Опк ₁₅ =1	Опк ₂₅ =1	Опк ₃₅ =1		
	Время выработки (хранения) координат (часов)	$j=6$	5	6	6	6	0,11
Опк ₁₆ =0,83			Опк ₂₆ =1	Опк ₃₆ =1			
Потребляемая мощность (Вт)	$j=7$	150	200	4800	150	0,11	
		Опк ₁₇ =1	Опк ₂₇ =0,75	Опк ₃₇ =0,03			
III. Менее важно	Массогабаритные характеристики (кг)	$j=8$	96	88	190	88	0,085
			Опк ₁₈ =0,92	Опк ₂₈ =1	Опк ₃₈ =0,46		
Стоимость (млн. руб.)	$j=9$	15	20	40	15	0,085	
		Опк ₁₉ =1	Опк ₂₉ =0,75	Опк ₃₉ =0,375			
Результат: Пк _i			0,87	0,95	0,68		

IV. Выполним нормирование базовых технических характеристик систем с помощью эталонных характеристик, т. е. переведем их в безразмерный вид и получим отдельные показатели качества – Опк. Для простоты и наглядности нормирование (деление) выполним таким образом, что бы полученные в результате расчетов Опк находились в интервале [0, 1], т. е. $0 \leq \text{Опк} \leq 1$.

V. На основе оценок Фишберна [1] рассчитаем весовые коэффициенты или просто веса сначала каждой категории – r_k , а затем каждой технической характеристики – r_j и запишем в раздел таблицы «Вес».

Если система проранжирована в порядке убывания значимости категорий, то вес каждой категории будем определять с помощью выражения [1]:

$$r_k = \frac{2(m - k + 1)}{m(m + 1)}, \quad (1)$$

где m – количество используемых категорий;

k – номер, соответствующей категории в таблице.

Если технические характеристики в пределах категории не имеют приоритета, то каждой из них присваивается одинаковый вес с учетом того, что вес для категорий уже рассчитан.

VI. Показатель качества для каждой системы курсоуказания и стабилизации $П_{к_i}$ рассчитаем как сумму произведений отдельных показателей качества – $О_{пк_{ij}}$ (где i – количество рассматриваемых систем, j – количество базовых технических характеристик систем) на их веса – r_j [1]:

$$П_{к_i} = \sum_i \sum_j О_{пк_{ij}} r_j \quad (2)$$

Рассчитанный показатель качества ($П_{к_i}$) запишем в нижнюю строку таблицы.

Например, будем осуществлять выбор из трех систем курсоуказания и стабилизации – «Кама», «Бемоль» и «Ладога-Э». Эксперты проранжировали технические характеристики указанных систем по трем категориям: «I. Очень важно», «II. Важно», «III. Менее важно».

Рассчитаем вес каждой категории.

Для категории «I. Очень важно»:

$$r_I = \frac{2(3 - 1 + 1)}{3(3 + 1)} = \frac{6}{12} = 0,5.$$

Для категории «II. Важно»:

$$r_{II} = \frac{2(3 - 2 + 1)}{3(3 + 1)} = \frac{4}{12} = 0,33.$$

Для категории «III. Менее важно»:

$$r_{III} = \frac{2(3 - 3 + 1)}{3(3 + 1)} = \frac{2}{12} = 0,17.$$

К категории «I. Очень важно» эксперты отнесли четыре технические характеристики, к категории «II. Важно» – три, и к категории «III. Менее важно» – две. Определим вес каждой технической характеристики.

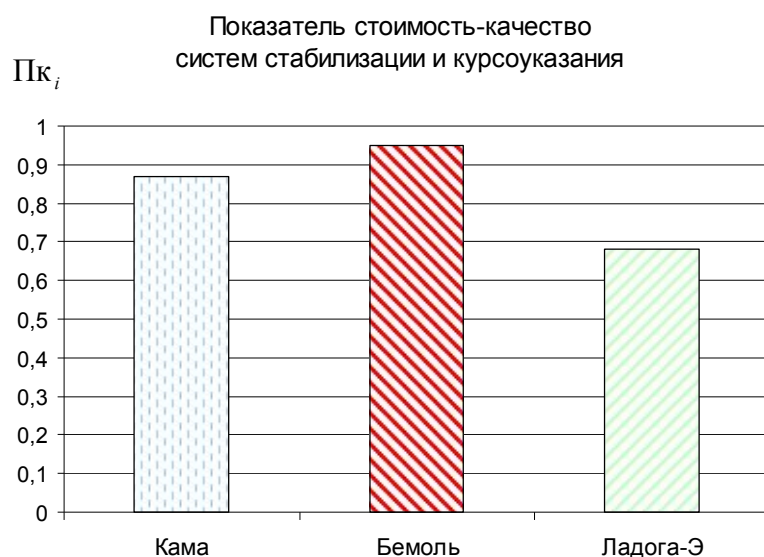
Так, для категории «I. Очень важно» вес каждой технической характеристики будет равен

$$r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = \frac{r_1}{4} = \frac{0,5}{4} = 0,125 .$$

Рассчитаем веса оставшихся технических характеристик и запишем их в графу «Вес» таблицы.

Выполним нормирование (деление) базовых технических характеристик систем с помощью эталонных характеристик. Получим отдельные показатели качества – $Опк_{ij}$, которые запишем в таблицу.

Рассчитаем $Пк_i$ для каждой системы и запишем в нижнюю графу таблицы. Результат расчетов представим на рисунке.



Графическая интерпретация результатов расчетов

Анализ таблицы показывает, что разброс оценок показателя качества оказался значительным. В соответствии с принятым критерием качества наиболее предпочтительной для пользователя системой курсоуказания и стабилизации является «Бемоль». Для этой системы показатель качества имеет наибольшее значение $Пк_2=0,95$. Преимущество системе обеспечили ее цена и точность выработки основных параметров.

Система «Кама» имеет значительную погрешность выработки курса и углов качки при низкой потребляемой мощности и минимальной стоимости.

Система «Ладога-Э» имеет наибольшее время готовности – 9 часов и наихудшие значения по потребляемой мощности, массогабаритным характеристикам и стоимости.

Таким образом, рассмотренный в статье метод позволил выбрать из ряда однотипных систем оптимальную по стоимости и качеству систему курсоуказания и стабилизации морских объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. – М.: Наука, 1978. – 278 с.

METHOD OF SELECTION OF THE OPTIMUM COST-EFFECTIVE AND QUALITY SYSTEM FOR HEADING INDICATION AND THE MARINE OBJECTS STABILIZATION

S. A. Yaroshenko («GNINGI» OJSC)

The method of selection of the optimum cost-effective and quality system for heading indication and the marine objects stabilization and its applications are considered. It was established that «Бемоль» is the preferable heading indication and stabilization system for the users.

УДК 629.5.051.52: 550.312

МЕТОД ОБОСНОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ВЫСОКОТОЧНОЙ АВТОНОМНОЙ НАВИГАЦИИ К ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ

Э. С. ЗУБЧЕНКО

(ВУНЦ ВМФ «ВМА им. Н. Г. Кузнецова»)

Рассматривается метод обоснования требований к цифровой модели гравитационного поля Земли для обеспечения высокоточной автономной навигации. В основе метода – использование спектральных плотностей погрешностей модели и передаточной функции инерциальной навигационной системы для вычисления средней квадратической погрешности выработки навигационным комплексом координат места в зависимости от продолжительности автономной навигации. Приведены результаты моделирования данной погрешности для различных значений параметров модели поля, подтверждающие возможность использования метода на практике.

Точность выработки координат подвижного объекта навигационным комплексом (НК), работающим на основе использования инерциальной навигационной системы (ИНС) определяется, в частности, погрешностями учета составляющих ускорения силы тяжести (УСТ) по осям координат ИНС и погрешностью учета уклонения отвесных линий (УОЛ).

Для обеспечения автономной навигации информация об УСТ и УОЛ может быть получена в виде цифровых моделей этих параметров, построенных по результатам предварительной высокоточной и подробной гравиметрической съемки. Другим путем получения информации об УСТ в условиях автономной навигации является измерение приращений УСТ с помощью гравиметров, включаемых в состав НК объ-

екта. Косвенное измерение УОЛ возможно только с использованием внешней навигационной информации, что в условиях автономной навигации по определению не допускается. Гравиметры, производящие измерение приращений УСТ относительно его значения на береговом опорном гравиметрическом пункте, вследствие непрерывного процесса ухода нуля-пункта гравиметра со временем теряют свою точность и требуют периодического выполнения опорных гравиметрических измерений на береговом опорном гравиметрическом пункте. Поэтому использование для указанных целей непосредственных гравиметрических измерений на борту объекта решает задачу обеспечения необходимой информацией об УСТ только на ограниченный период. По этой причине создание и использование в НК цифровой модели ГПЗ остается актуальной проблемой.

В связи с постоянно растущими требованиями к точности и продолжительности автономной навигации возникает необходимость определять, какие значения точности и разрешающей способности модели ГПЗ необходимы для обеспечения в условиях автономной навигации требуемой точности выработки НК координат объекта.

Будем решать эту задачу путем установления зависимости СКП выработываемых НК координат места объекта в зависимости от погрешности и дискретности цифровой модели ГПЗ. Для определения требуемой дискретности и точности данных о ГПЗ воспользуемся подходом, примененным в работе [1].

В соответствии с этим подходом для оценки изменения во времени погрешности выработки в НК в зависимости от точности и разрешающей способности съемки ГПЗ используется двумерная функция спектральной плотности (ФСП) остаточных аномалий ГПЗ и погрешности модели, а также передаточная функция ИНС НК. Перемножая ФСП и передаточную функцию ИНС НК, а затем интегрируя произведение по всему спектру пространственных частот ГПЗ, получают СКП выработки НК координат места объекта.

Для оценки примем, что реализация остаточной аномалии ГПЗ¹ по любому профилю, пересекающему акваторию, является стационарным процессом. Двумерная ФСП глобальной модели аномалий ГПЗ выражается Марковской моделью² третьего порядка [1]:

$$\Phi_{gg}(\omega) = 10\pi\omega^2 \left[\frac{\sigma_1^2\beta_1^5}{(\beta_1^2 + \omega^2)^{\frac{7}{2}}} \right] + \left[\frac{\sigma_2^2\beta_2^5}{(\beta_2^2 + \omega^2)^{\frac{7}{2}}} \right], \quad (1)$$

¹ Остаточная аномалия ГПЗ δg_P в точке P (на глубине погружения объекта) определяется как $\delta g_P = g_P - \gamma_P$, где g_P есть УСТ, измеренное на данной глубине в точке P , а γ_P – значение нормального УСТ в измеряемой точке, которое определяется применением поправки на аномалию Буге и аномалию в свободном воздухе к значению нормального УСТ на сфероиде γ .

² Марковская модель – математическая система, которая совершает переходы из одного состояния в другое между конечным или счетным числом возможных состояний. Этот случайный процесс обычно характеризуются как процесс «без запоминания», когда следующее состояние зависит только от текущего состояния, а не от последовательности событий, которые ему предшествовали.

где $\omega = 2\pi/\tau$ – круговая частота, соответствующая пространственным длинам волн τ аномалий ГПЗ;

$$\sigma_1 = 16 \frac{\text{м}^2}{\text{сек}^2}; \quad \beta_1 = \frac{1}{27,78} \frac{\text{рад}}{\text{км}}; \quad \sigma_2 = 91,43 \frac{\text{м}^2}{\text{сек}^2}; \quad \beta_2 = \frac{1}{370,4} \frac{\text{рад}}{\text{км}}.$$

Для оценок будем считать, что данные о ГПЗ (УСТ) в НК комплексе представлены в узлах регулярной сетки с шагом, соответствующим разрешающей способности модели. Точность модели оценивается СКП значений УСТ в узлах сетки модели. Для оценки будем использовать приближение ГПЗ на плоскости, что позволяет использовать для анализа преобразование Фурье.

На основании этого подхода в работе [1] показано, что двумерная ФСП погрешностей учета в НК УСТ по данным глобальной и региональной моделей ГПЗ аппроксимируется выражением:

$$\Phi_{gg}^r(\omega) = \frac{1}{\left(\frac{1}{\Phi_{gg}^e} + \frac{1}{\Phi_{gg}} \right)}, \quad (2)$$

где $\Phi_{gg}^r(\omega)$ – ФСП погрешностей учета в НК УСТ по данным региональной модели ГПЗ; Φ_{gg} – ФСП аномалий глобальной модели ГПЗ.

Двумерная ФСП погрешностей учета в НК УСТ по данным региональной цифровой модели ГПЗ может быть представлена как сумма ФСП погрешности значения УСТ в узлах регулярной сетки, ФСП погрешности интерполяции этих значений в заданную точку. ФСП погрешности значений УСТ в узлах регулярной сетки может быть выражена через размеры ячейки сетки по меридиану Δ_ϕ и параллели Δ_λ , а также СКП значений УСТ σ в следующем виде [1]:

$$\Phi_{gM}^B = \sigma^2 \Delta_\phi \Delta_\lambda. \quad (3)$$

Погрешность интерполяции значения УСТ в точку положения объекта выразим как сумму двух составляющих. Первую составляющую определим через структурную функцию ГПЗ в районе плавания объекта [2]:

$$\sigma_1^2 = 2(K(0) - K(\tau)), \quad (4)$$

где $K(0)$, $K(\tau)$ – значения корреляционной функции случайной реализации УСТ по случайному профилю и при значении аргумента τ , соответствующего половине расстояния между узлами квадратной сетки модели.

Вторую составляющую определим, как погрешность учета УСТ, вызванную погрешностью определения места объекта относительно узлов модели, которая,

например, при условии равной вероятности любого направления градиента может быть представлена формулой [3]:

$$\sigma_2^2 = 0,5G^2M^2, \quad (5)$$

где G – градиент ГПЗ, мГал/км; M – радиальная погрешность места объекта, км.

ФСП погрешности интерполяции по аналогии с выражением (3) определим с учетом формул (4), (5) в виде

$$\Phi_{\text{инт}}^e = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)\Delta_\varphi\Delta_\lambda. \quad (6)$$

Тогда итоговая ФСП погрешности учета в НК УСТ по данным региональной модели ГПЗ может быть представлена как

$$\Phi_{\text{gg}}^B = \Phi_{\text{gm}}^B + \Phi_{\text{инт}}^B. \quad (7)$$

Чтобы выполнить ковариационный анализ погрешности ИНС обычно используют передаточную функцию как отклик ИНС на синусоидальное вертикальное ускорение. Мы ограничим анализ ИНС НК, имеющей свободу по горизонтальным каналам и демпфированной по вертикальному каналу. Примем, что погрешности измерения УСТ по вертикальному каналу пренебрежимо малы. Формула для вычисления радиальной погрешности места подвижного объекта имеет вид [1]:

$$\sigma_p^2(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^\infty \omega F_p^2(\omega, t) \Phi_{\text{gg}}^r(\omega) d\omega, \quad (8)$$

где

$$F_p^2(\omega, t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\omega V} \frac{G_p^2(b, t)}{\sqrt{\omega^2 V^2 - b^2}} db. \quad (9)$$

В выражениях (8) – (9) приняты следующие обозначения:

t – продолжительность автономного плавания;

b – пространственная частота аномалий ГПЗ;

V – скорость объекта.

Передаточная функция выработки ИНС НК координат места объекта $G_p(b, t)$ аппроксимируется выражением [1]:

$$G_p(b, t) = A\sqrt{C^2 + S^2}, \quad (10)$$

где A – амплитуда синусоидального возмущающего вертикального ускорения;

$$C(b, t) = \begin{cases} (\cos bt - \cos at)/(a^2 - b^2), & b \neq a \\ (t/2a)\sin at, & b = a \end{cases}, \quad (11)$$

$$S(b, t) = \begin{cases} [(b/a)\sin at - \sin bt]/(a^2 - b^2), & b \neq a \\ (t/2a)\cos at - (1/2a^2)\sin at, & b = a \end{cases}. \quad (12)$$

В приведенных выражениях a – круговая пространственная частота Шулера³, которую найдем по формуле:

$$a = \frac{2\pi}{T_{ш} V}, \quad (13)$$

где $T_{ш}$ – период колебаний Шулера, составляющий 84,4 мин.

Для оценки определим пространственную частоту b УСТ как частоту, соответствующую максимальному значению спектра пространственных частот УСТ для данного района. Его можно оценить, воспользовавшись реализацией измеренных значений УСТ по одному из профилей, проходящему через заданный район плавания объекта.

Спектральная амплитуда для каждой пространственной частоты может быть определена по формуле [4]:

$$Y_k = \Delta l \sum_{n=1}^N y_n e^{-i\omega_k n/N}; \quad \omega_k = \frac{2\pi k}{N\Delta l}, \quad k = 0, \dots, N-1, \quad (14)$$

где Δl – дискрет отсчета централизованного значения УСТ на профиле;
 y_n – текущий отсчет централизованного значения УСТ на профиле;
 k – текущий номер отсчета в частотной области;
 N – количество отсчетов в пространственной и частотной областях;
 i – мнимая единица;
 ω_k – круговая пространственная частота;
 n – текущий номер отсчета в пространственной области.

Для вычисленных таким путем N значений амплитуд Y_k построим график $Y_k = f(\omega_k)$ и найдем значение, соответствующее максимуму амплитуды.

Для полученного значения Y_{\max} найдем на графике соответствующее ему значение ω_k , которое и примем за типовое значение b (формулы (11) – (12)) круговой пространственной частоты аномалии ГПЗ в данном районе.

В зависимости от соотношения вычисленного значения b и значения ω_k , соответствующего разрешающей способности модели ГПЗ, по формулам (10) – (12) и (9) вычисляем значение передаточной функции НК.

Теперь уравнение (8) позволяет вычислить СКП выработки НК координат места объекта в зависимости от двумерной передаточной функции F_p , определенной как СКП, вызываемая вертикальным гравитационным возмущением в 1 мГал. СКП может быть определена численным интегрированием уравнения (8).

³ Частота Шулера – величина обратная периоду колебаний маятника, который, несмотря на ускорение точки его подвеса, не будет отклоняться от вертикали. Для этого достаточно, чтобы период его колебаний составлял $T_{ш} = 84,4$ мин.

Для моделирования СКП выработки НК координат места объекта были сформированы следующие исходные данные. Объект движется со скоростью 5 узлов по смоделированному профилю случайной выборки центрированных значений УСТ через 1 км на профиле длиной 100 км, представленном на рис. 2. Профиль получен с помощью встроенной в программный пакет Mathcad функции случайных чисел, равномерно распределенных на заданном интервале значений УСТ.

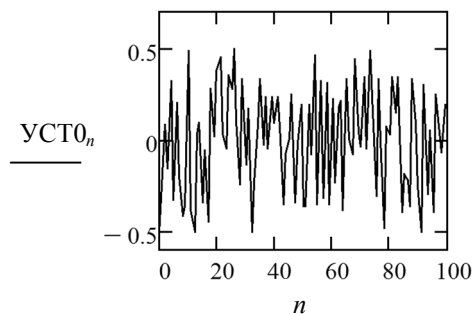


Рис. 1. Смоделированный профиль центрированных значений УСТ по пути следования объекта через заданный район

На рис. 2 приведен спектр амплитуд пространственных частот для профиля центрированных значений УСТ, показанных на рис. 1.

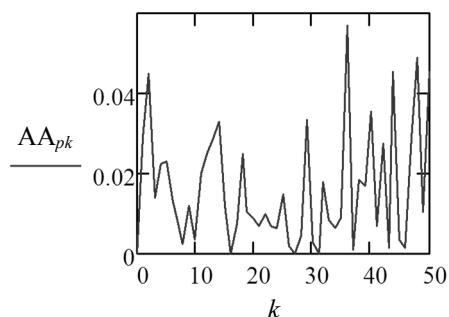


Рис. 2 Спектр амплитуд пространственных частот для смоделированного профиля центрированных значений УСТ, показанных на рис. 1

Размер ячеек моделируемой цифровой модели УСТ и соответствующая ей пространственная частота дискретизации задавались значениями, представленными в табл. 1.

Таблица 1

Размер ячеек моделируемой цифровой модели УСТ и соответствующая ей пространственная частота дискретизации

№ п.п.	Размер ячейки, километр	Пространственная частота, радиан на километр
1	4	1,571
2	6	1,047
3	8	0,785
4	10	0,628
5	12	0,524
6	14	0,449
7	16	0,393
8	18	0,349
9	20	0,314
10	22	0,286

Погрешности цифровой модели УСТ при моделировании последовательно присваивались следующие значения: 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 мГал.

Смоделированная по формулам (1) – (5), (7) ФСП погрешности учета УСТ в НК по региональной модели УСТ для каждой из пространственных частот дискретизации ГПЗ (табл. 1) представлена в табл. 2.

Таблица 2

Суммарная спектральная плотность погрешности учета УСТ в НК УСТ по его региональной модели для каждой из пространственных частот дискретизации ГПЗ

Пространственная частота, радиан на километр	Погрешность модели, мГал				
	0,5	1	1,5	2	2,5
0,286	121,059	484,058	1089	1936	3025
0,314	100,152	400,151	900,147	1600	2500
0,349	81,235	324,233	729,228	1296	2025
0,393	64,42	256,418	576,41	1024	1600
0,449	49,605	196,602	441,59	784,558	1225
0,524	36,876	144,872	324,853	576,803	900,696
0,628	26,144	101,137	226,104	401,017	625,833
0,785	17,448	65,432	145,368	257,198	400,838
1,047	10,76	37,722	82,569	145,162	225,311
1,571	5,832	17,695	37,166	63,809	97,05

Значения передаточной функции НК, вычисленные по формуле (9) на каждый час автономного плавания от 1 до 10 часа для моделируемых пространственных частот дискретизации, представлены в табл. 3 (для иллюстрации приведены данные только для продолжительности плавания 1 до 4 часов).

Таблица 3

Значения передаточной функции НК, вычисленные по формуле (9) на каждый час автономного плавания, час на километр

Пространственная частота, радиан на километр	Продолжительность автономного плавания, час				
	1	2	3	4	...
0,286	0,008	0,107	0,445	1,054	...
0,314	0,007	0,097	0,0402	0,952	...
0,349	0,006	0,087	0,359	0,852	...
0,393	0,005	0,077	0,318	0,753	...
0,449	0,0047	0,067	0,277	0,656	...
0,524	0,004	0,057	0,237	0,561	...
0,628	0,0033	0,047	0,196	0,466	...
0,785	0,003	0,038	0,157	0,372	...
1,047	0,002	0,028	0,117	0,278	...
1,571	0,001	0,019	0,078	0,185	...

На рис. 3 представлен результат моделирования уровня СКП в километрах координат места объекта при продолжительности в часах его автономного плавания со скоростью 5 узлов в зависимости от точности модели ГПЗ.

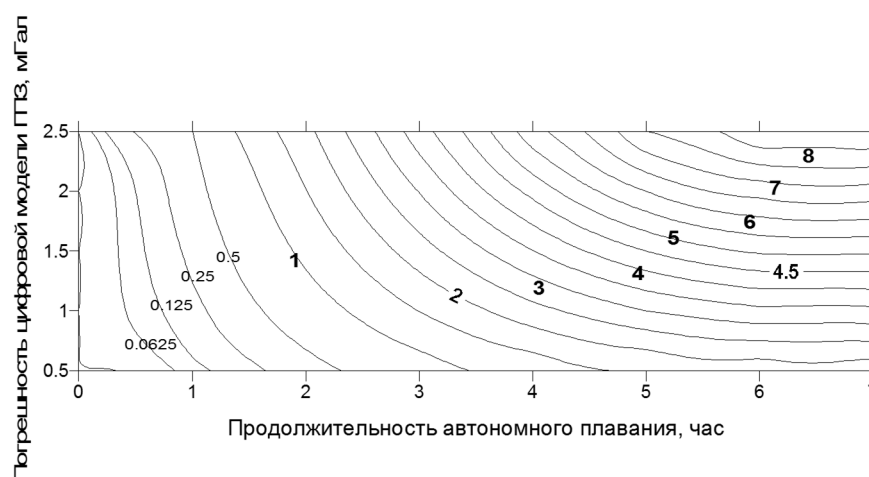


Рис. 3. Изменение СКП координат места объекта в километрах, вырабатываемых инерциальным НК с использованием цифровой модели ГПЗ различной точности

Из рис. 3 следует, например, что при использовании цифровой модели УСТ с СКП 0,5 мГал НК обеспечивает выработку координат места объекта с допустимой погрешностью на уровне менее 60 м только в течение первого часа плавания без коррекции вырабатываемых навигационных параметров по внешним источникам навигационной информации.

Таким образом, представленный в статье метод позволяет производить оценку требований к точности цифровой модели ГПЗ в зависимости от требований к точности и продолжительности автономной навигации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stanley K. Jordan, Julian L. Center, JR. Establishing Requirements for Gravity Surveys for Very Accurate Inertial Navigation // Navigation: Journal of The Institute of Navigation, – 1986. – Vol. 33. – No. 2. – P. 90–108.
2. Сорокин А. И. Гидрографические исследования Мирового океана. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 287 с.
3. Коломийчук Н. Д. Гидрография. – Л.: ГУНиО МО СССР. – 1975. – 470 с.
4. 4. William J. Emery, Richard E. Thomson. Data analysis methods in physical oceanography. – Amsterdam: Elsevier Science B.V. – 2001. – 638 p.

SUBSTANTIATION METHOD FOR HIGH-ACCURACY AUTONOMOUS NAVIGATION REQUIREMENTS TO DIGITAL MODEL OF THE EARTH'S GRAVITATIONAL FIELD

E. S. Zubchenko («GNINGI» OJSC)

The method of requirements substantiation to digital model of the Earth's gravitational field for provision of high-accuracy autonomous navigation is considered. The method is based on the use of spectral densities of model and transfer function of inertial navigation system for calculation of root-mean-square error in determining the position co-ordinates by the navigation complex depending on the duration of autonomous navigation. Results of modelling the error for various values of field model parameters confirming the possibility of obtaining the practical results of evaluation are presented.

ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

УДК 551.467 + 627.034

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЦЕНАРИЕВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ АЙСБЕРГОВ С МОРСКИМИ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩИМИ КОМПЛЕКСАМИ

О. А. ГАСНИКОВ, К. Г. СТАВРОВ (ОАО «ГНИНГИ»),
А. С. БОЛЬШЕВ, К. Н. ШХИНЕК (ФГБОУ ВПО «СПБГПУ»)

Освоение нефтегазовых месторождений арктических морей России является сложнейшей научно-технической и организационно-экономической задачей и относится к опасным видам экономической деятельности. Наличие айсбергов на акваториях морских месторождений ведет к появлению особых рисков, обусловленных возможностью столкновения айсберга с объектами обустройства месторождений. Приводятся результаты компьютерного моделирования сценариев взаимодействия айсбергов с морскими добывающими комплексами. Оценены риски таких взаимодействий. Показано, что предлагаемая технология вероятностного анализа динамических моделей может значительно снизить степень неопределенности в оценке айсберговой опасности при проектировании морских сооружений.

В суровых климатических условиях Арктики при активизации разведки и добычи углеводородных ресурсов, повышении интенсивности судоходства значительно возрастают потенциальные риски возникновения морских аварий, сопровождающихся загрязнением природной среды, и развитием их до уровня экологических катастроф. Освоение нефтегазовых месторождений арктических морей является сложнейшей научно-технической задачей и относится к опасным видам морской деятельности.

Основными причинами возникновения аварий на объектах обустройства морских нефтегазовых месторождений являются [1–3]: проектные и технико-технологические ошибки (50%); опасные явления природы (30%); ошибки операторов (15%).

Освоение месторождений арктических морей России сопряжены с высоким уровнем рисков в связи с уникальностью проектов (большие глубины, значительная удаленность от берега и др.), а также с особенностями природно-климатических условий арктического шельфа, включая опасность выхода в районы работ ледяных образований, в первую очередь, айсбергов.

Одной из актуальных задач для данного региона является реалистическая оценка айсберговой угрозы для морских платформ, что включает в себя определение вероятности столкновения платформы с айсбергом в зависимости от габаритов и

массы последнего [2, 3]. Их присутствие на акваториях морских месторождений порождает особые риски, которые могут проявляться в виде повреждений и утраты дорогостоящего оборудования и сооружений, гибели людей, нанесения значительного экологического ущерба. Важным элементом снижения этих рисков в арктических районах является создание системы управления ледовой обстановки (УЛО) для этих районов, включающей [4]:

- обнаружение айсбергов, других ледовых образований;
- наблюдение за ледовыми образованиями;
- прогноз развития ситуации и оценка опасности;
- физический менеджмент (*активное воздействие; очистка акватории; буксировка айсбергов*);
- оперативные действия по предотвращению угрозы;
- оперативные действия в условиях тревожных оповещений (*остановка добычи, отсоединение сооружения, отвод сооружения с точки, эвакуация персонала*) и др.

Основные зоны функционирования этой системы показаны на рис. 1.

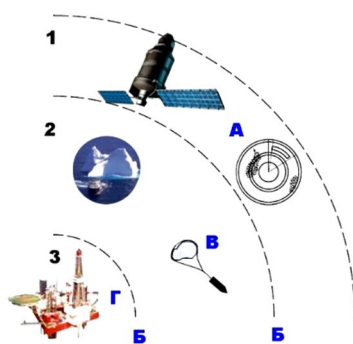


Рис. 1. Зоны функционирования управления ледовой обстановки.

Зоны: 1 – зона наблюдения, 2 – зона контроля, 3 – критическая зона.

Операции: А – обнаружение, Б – оценка угрозы, В – физический менеджмент,

Г – оперативные действия в условиях угрозы морским сооружениям

К основным особенностям айсберговой опасности относятся: относительная редкость и нерегулярность их появления, сложность идентификации дистанционными средствами наблюдения на фоне общего ледового покрова, катастрофичность последствий взаимодействия с объектами обустройства нефтегазовой сферы.

При проектировании плавучих сооружений, при обосновании тех или иных морских операций, связанных с ними, необходимо изучить статику и динамику различных конструктивных вариантов сооружений, проверить те или иные инженерные решения и добиться выполнения ограничений, определяющих условия безопасной эксплуатации объектов. С учетом длительности эксплуатации сооружений необходимо изучить поведение сооружений под воздействием самых разных сочетаний внешних воздействий. Следует иметь в виду, что угроза столкновения айсберга с морской добывающей платформой относится к редким событиям, имеющим катастрофические последствия. Последнее обстоятельство исключает использование экспериментальных работ.

Наиболее универсальным и относительно дешевым способом решения указанных проблем является использование мощного проблемно-ориентированного программного комплекса, позволяющего в короткий срок выполнить математическое моделирование всех необходимых режимов функционирования самых разнообразных конструктивных вариантов объектов обустройства морских месторождений.

Вероятностное моделирование взаимодействия айсбергов с плавучими нефтегазодобывающими комплексами осуществлялось с использованием программного имитационного комплекса «Anchored Structures», являющегося в настоящее время единственным программным средством, сертифицированным Российским Морским регистром Судоходства (сертификат №07.00550.010) и позволяющего комплексно моделировать все аспекты взаимодействия айсбергов с заякоренными сооружениями [5, 6].

Взаимодействие айсберга с плавучим податливым сооружением зависит от множества параметров, характеризующих как айсберг, так и сооружение.

Среди определяющих параметров айсберга следует выделить его массу, линейные размеры, направление и скорость движения. В соответствии с принятой моделью эти параметры являются случайными, причем масса и линейные размеры, как правило, коррелированы между собой. Для описания статистически независимых случайных величин в исходных данных задавались гистограммы их распределения. Использование дискретных гистограмм, с одной стороны, полностью соответствует форме, в которой получается исходная информация при проведении натурных наблюдений, а с другой, – позволяет представить множество значений случайно изменяющихся величин в виде дискретных значений, имеющих известную вероятность реализации.

При таком подходе задача вероятностного анализа может быть сведена к моделированию взаимодействия сооружения с айсбергом при каждом сочетании дискретных значений этих параметров и к анализу последствий этого взаимодействия с учетом вероятности совместной реализации независимых случайных величин.

При проведении тестовых расчетов масса айсбергов описывалась с помощью гистограмм, полученных по результатам отечественных и зарубежных наблюдений [7–11]. Гистограмма укрупнялась до трех интервалов, определяющих наиболее характерные массы айсбергов. Параметры массы модельных айсбергов и вероятность их появления приведены в таблице.

Масса и вероятность появления модельных айсбергов

Характеристики	Модельный айсберг		
	«малый»	«средний»	«большой»
Номер айсберга, i	1	2	3
Масса, т	200000	790000	8667000
Вероятность появления P_i , %	48,1	46,2	5,7

Линейные размеры вычислялись в зависимости от их массы по аппроксимационным зависимостям, опубликованным в печати [12]. Гистограммы скоростей движения айсбергов взяты также из литературных источников и дискретизированы до четырех характерных скоростей [13].

При описании плавучего сооружения рассматривались варианты объектов в виде платформ типа «SPAR» и «FPU». Платформа «SPAR» состоит из большого цилиндра, поддерживающего типичную верхнюю надстройку буровой. Цилиндриче-

ское основание укреплено на плавучесть с помощью кабелей и тросов (связей) и стабилизирует платформу. Платформа «FPU» представляет собой плавучую добывающую установку судового типа, оснащенную якорной системой удержания (рис. 2).

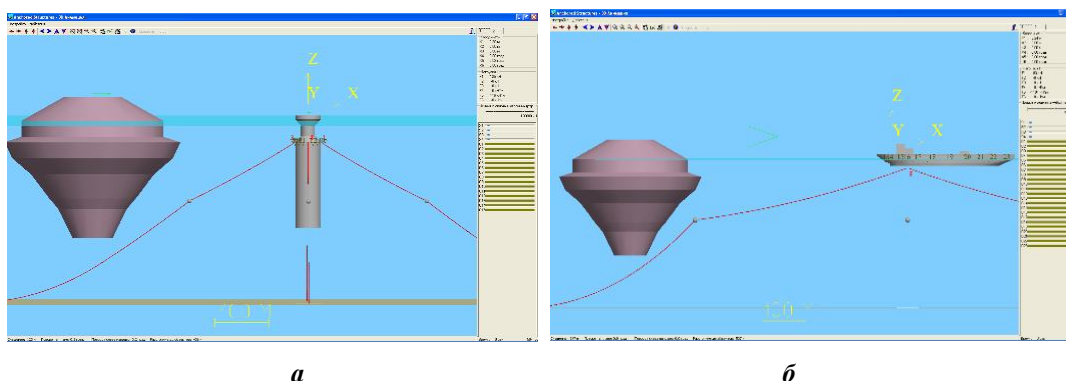


Рис. 2. Положение айсберга и морской добывающей платформы перед началом взаимодействия: а – платформа «SPAR», б – судно «FPU»

Параметры платформы «SPAR» считались полностью детерминированными. Для судна «FPU» учитывалась некоторая неопределенность ориентации его по отношению к вектору движения айсберга на основе эмпирического закона распределения курсового угла судна.

Физико-математическая модель взаимодействия айсбергов с сооружениями включала в себя три блока систем дифференциальных уравнений движения объектов, которые решались совместно в единой пространственно-временной области:

- блок уравнений движения сооружения;
- блок уравнений движения связей, удерживающих сооружение;
- блок уравнений движения айсберга.

Как уже отмечалось выше, основными исходными данными для расчета являлись гистограммы (эмпирические функции) распределения характеристик объектов, использованных в расчетах. Набор различных сочетаний этих значений определял отдельный конкретный расчетный случай, на основе которого осуществлялось моделирование взаимодействия объектов и анализ последствий. Каждый расчетный случай моделировался в программном комплексе «Anchored Structures». Математическое моделирование осуществлялось в соответствии с таблицей расчетных случаев. Для каждого варианта сооружения (заякоренного судна или платформы), находящегося в том или ином расчетном положении, последовательно моделировалось взаимодействие его с тем или иным айсбергом, движущимся из заданного исходного положения с заданными скоростью и направлением.

Общая схема вероятностного моделирования представлена на рис. 3, алгоритм – на рис. 4.

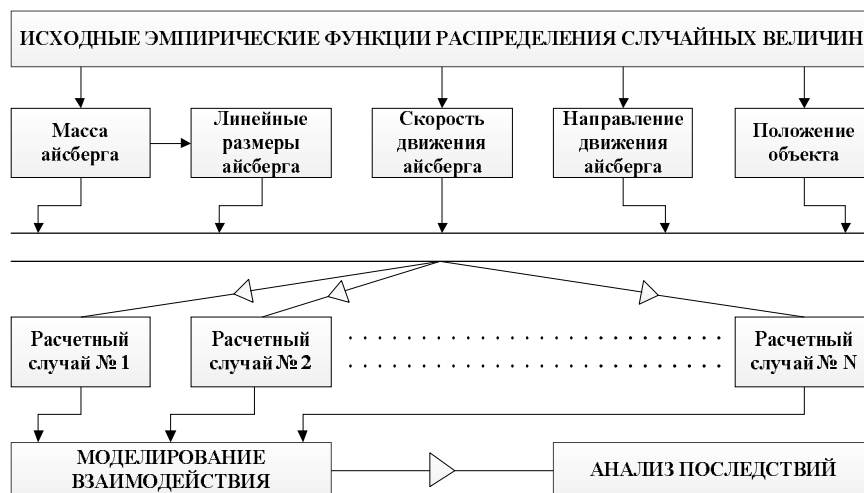


Рис. 3. Схема вероятностного моделирования



Рис. 4. Алгоритм вероятностного моделирования взаимодействия айсбергов с плавучими заякоренными сооружениями

В процессе моделирования фиксировались все контактные взаимодействия айсберга со связями или с корпусом сооружения, оценивались величина силы этих взаимодействий, вычислялись текущие перемещения сооружений, происходившие под действием контактных сил. Моделирование заканчивалось, когда айсберг покидал зону возможного взаимодействия, ограниченную в данной работе окружностью с радиусом 1 км с центром, расположенным в районе исходного положения сооружения.

Суммарная вероятность аварийных исходов (отказов) вычислялась на основе анализа последствий возможных контактов. Сводные результаты моделирования позволили выявить события, которые могут представлять определенную опасность для сооружения. К последним относятся: разрыв связей систем удержания морской добывающей платформы, потеря остойчивости айсбергом, большие глобальные (или местные) нагрузки, большие углы крена айсберга. Для оценки опасности большинства из перечисленных факторов требуется подробная информация (характеристики конкретных, а не типовых добывающих комплексов, морфометрические характеристики айсбергов и т. д.), отсутствие которой ограничивает возможности более детального анализа проблемы. Общие описания опасных событий, которые принимались во внимание, приводятся ниже.

Разрыв связей. Этот отказ следует признать определяющим, поскольку он как минимум приводит к нарушению производственного процесса, а как максимум – к гибели сооружения, персонала и экологической катастрофе.

Потеря остойчивости и переворот айсберга. Это явление может привести к местным разрушениям сооружения. Однако даже приближенные выводы об опасности этого явления можно сделать только после детального рассмотрения процесса движения айсберга при потере им остойчивости и его взаимодействии с сооружением. Значительное влияние на этот процесс оказывают морфометрические характеристики айсберга и особенности сооружений. Подобная задача требует специального теоретического и численного решения, что выходит за рамки выполненного исследования. Так как явление потери остойчивости представляет опасность с точки зрения местных разрушений, то в рамках данной работы оно классифицировалось как отказ.

Потеря местной прочности корпуса. Используемые авторами данные о типовых характеристиках добывающих платформ для расчёта нагрузок и давлений льда являются усредненными. Определенные по ним величины давления на участок борта не должны приводить к возникновению пластических деформаций, особенно в зоне действия льдов. Неровности и местные выступы боковой поверхности айсберга, безусловно, могут привести к возникновению некоторых пластических деформаций. Однако для решения задачи требуется более детальное знание конструкции сооружения, которое может позволить сформулировать однозначный критерий отказа по потере местной прочности.

Глобальные нагрузки. Большие глобальные нагрузки свидетельствуют о большой площади контакта айсберг/сооружение и, если не приводят к разрыву связей или повреждению корпуса, не являются причиной отказа.

Большие углы кренов сооружения. Это явление может привести к местным деформациям борта, верхних строений сооружения, опрокидыванию объекта. В данной работе критические углы крена плавучего сооружения классифицировались как отказ.

Таким образом, к безусловно аварийными ситуациями в данной работе относились: разрыв якорных связей системы удержания, превышение допустимого уровня

запаса натяжения якорных связей, опрокидывание айсберга около плавучего сооружения и экстремальный крен сооружения в результате контактного взаимодействия.

В результате реализации процедуры полноценного моделирования было получено 2160 расчетных случаев, отличающихся сочетанием значений параметров, влияющих на последствия прохождения айсберга через зону моделирования. По итогам анализа прохождения выявлены ситуации, классифицируемые как «авария» (отказ) и вычислена суммарная вероятность аварии при попадании одного айсберга в зону постановки сооружения, которая составила:

- для сооружения в виде заякоренного судна – $1,2 \times 10^{-2}$;
- для заякоренной платформы цилиндрического типа – $0,4 \times 10^{-2}$.

Вероятность аварии за n лет эксплуатации ввиду независимости событий может быть получена произведением вероятности попадания одного айсберга в зону постановки сооружения (зону моделирования) на вероятность аварии.

Различие между вероятностями аварий судна и платформы определяется двумя причинами. Во-первых, система удержания судна имела большую длину и меньшую жесткость. В результате значительная часть связей (по сравнению с якорной системой платформы) была подвержена риску взаимодействия с килем айсберга. Во-вторых, из-за большей протяженности судна и возможности поворота его вокруг вертикальной оси возрастала вероятность касательных контактов судна с айсбергом.

Оценку безопасности сооружения с учетом названных ситуаций авторы считали оптимистической, так как она не учитывала ситуации с критериями местной прочности. Для формирования более жесткой пессимистичной оценки безопасности к названным выше ситуациям добавлялись случаи с относительно большой нагрузкой при соударении айсберга с судном или платформой. Для них, приняв в качестве предельно допустимого уровень глобальной нагрузки 20 МН, получили вероятности аварий:

- для сооружения в виде заякоренного судна – $3,9 \times 10^{-2}$;
- для заякоренной платформы цилиндрического типа – $3,3 \times 10^{-2}$.

Выполненное физико-математическое моделирование соударения типизированных айсбергов с типичными платформами показало, что вероятность контакта составляет всего несколько процентов, если айсберг оказывается на расстоянии около 1 км от платформы. В случае контакта глобальные нагрузки могут достигать значений около 800 МН, но общая вероятность их реализации составляет сотые доли процента. В тоже время нагрузки не являются главным показателем аварийности в случае взаимодействия айсберга с платформой. Существует целый спектр последствий, которые можно трактовать как аварию той или иной степени тяжести.

Следует обратить внимание на необходимость создания адекватной системы обнаружения айсбергов и слежения за ними, которая должна быть включена в состав объектов обустройства и функционировать в процессе их эксплуатации. В рамках этой системы необходимо систематически вести наблюдения за морфометрическими характеристиками айсбергов, т.к. моделирование сценариев взаимодействия айсбергов с объектами обустройства нефтегазовой сферы невозможно без учета этих характеристик. Методы дистанционного зондирования Земли со спутников оказываются малоприменимыми для решения этой задачи.

Проведенные исследования позволили разработать технологию вероятностного анализа динамических моделей различного типа, учитывающую значительную степень неопределенности в исследуемых вопросах моделирования сценария столкно-

вения айсберга с платформой. Эта технология может быть использована как при проектировании объектов обустройства морских добычных комплексов, так и в задачах их страхования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бармин А. Н., Колчин Е. А., Татаринцев С. А. и др. Современные причины и условия аварийности на морских нефтегазодобывающих платформах // Геология, география и глобальная энергетика. – 2012. – №4. – С. 135–141.
2. Barents 2020. Assessment of international standards for safe exploration, production and transportation of oil and gas in the Barents Sea. Phase 3 Final report. – DNV, 2010. – 136 p.
3. Barents 2020. Assessment of international standards for safe exploration, production and transportation of oil and gas in the Barents Sea. Phase 4 Final report. – Oslo, DNV, 2012. – 296 p.
4. ISO/FDIS 19906: Petroleum natural gas industries – Arctic offshore structures, ISO TC 67/SC 7 N. International Organization for Standardization, 2010. – 218 p.
5. Bolshev A. S. Statics and dynamics of anchored floating structures with non-linear characteristics of anchored system. – Gdansk, Gdansk Technical University, Poland, 1993.
6. Большев А. С., Фролов С. А., Кутейников М. А. Математическое моделирование поведения морских плавучих объектов в программном комплексе «Anchored Structures» // Науч.-техн. сб. Российского морского регистра судоходства. – 2013. – № 36. – С. 68–90.
7. Бузин И.В. Мониторинг льдов и айсбергов в приложении к задачам Штокмановского газоконденсатного месторождения / И.В. Бузин // Труды ААНИИ. – 2004. – Т. 449. – С. 172–179.
8. Бузин И. В., Глазовский А. Ф., Гудошников Ю. П., Данилов А. И. и др. Айсберги и ледники Баренцева моря: исследования последних лет Ч. 1. Основные продуцирующие ледники, распространение и морфометрические особенности айсбергов / И. В. Бузин, А. Ф. Глазовский, А. И. Данилов и др., // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2008. – № 1 (78). – С. 66–80.
9. Наумов А. К. Распределение айсбергов в районе Штокмановского газоконденсатного месторождения и оценки столкновения айсберга с платформой / А. К. Наумов // Труды ААНИИ. – 2004. – Т. 449. – С. 140–152.
10. Løset S. Icebergs in the Barents Sea / S. Loset. – Norway: Norwegian University of Science and Technology. – Access condition: http://folk.ntnu.no/sveinulo/at327/at327lectures/loset_icebergs_05.pdf
11. Spring W. Ice Data Acquisition Program (IDAP) Summary Report. File 472-37, MARCH 1994. – Mobil Research and Development Corp., Dallas E&P Engineering, Dallas, Texas. – 125 p.
12. McKenna R. Iceberg Characterization. Report 04-05-01 v2 31, March, 2005
13. Ледяные образования морей Западной Арктики / Под ред. Г. К. Зубакина. – СПб: Типография ААНИИ. – 2006. – 272 с.

MODELLING THE SCENARIOS OF COLLISION OF ICEBERGS WITH THE OFFSHORE OIL AND GAS PRODUCTION COMPLEXES

O. A. Gasnikov, K. G. Stavrov («GNINGI» OJSC)
A. S. Bolshev, K. N. Shkhinek («SPbSPU»)

Development of oil and gas fields of the Arctic seas of the Russian Federation is the most complex scientific, technical and organizational-economic problem; it belongs to dangerous kinds of economic activities. Presence of icebergs in water areas of sea deposits generates the special risks caused by possibility of collision of an iceberg with objects of arrangement. The results of computer simulation scenarios of icebergs interaction with offshore production platforms are presented. Risks of such interactions are estimated. It is shown that the proposed technology for probabilistic analysis of dynamic models can significantly reduce the degree of uncertainty in the assessment of the danger of icebergs in the design of offshore structures.

УДК 528.94

**РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ МОРСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ 2014 ГОДА
ПО УТОЧНЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ВНЕШНЕЙ ГРАНИЦЫ
КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА (ВГКШ) РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
В СЕВЕРНОМ ЛЕДОВИТОМ ОКЕАНЕ**

С. М. ЗАРУБИН
(ОАО «ГНИНГИ»)

Статья посвящена результатам дополнительных батиметрических и гравиметрических исследований, а также навигационного обеспечения сейсморазведки в рамках подготавливаемого Представления РФ на расширенный континентальный шельф в Северном Ледовитом океане.

Проведенные исследования являются продолжением работ 2010, 2011 гг. [1, 2] с целью определения внешней границы континентального шельфа РФ и оценки перспектив нефтегазоносности российского континентального шельфа за пределами 200-мильной зоны. Областью работ по государственному заказу был определен обширный приполярный район до широты 88°37,8'N; профили расположены практически во всем арктическом секторе РФ, в котловинах Нансена, Амундсена, Макарова, Подводников в районе хребтов Ломоносова и Гаккеля.

Главным исполнителем работ являлась ОАО «Морская арктическая геолого-разведочная экспедиция» (МАГЭ), г. Мурманск. Для выполнения работ по навигационному обеспечению сейсморазведки 2D в двухсудовом варианте с атомным ледоколом Ямал, а также по надводной гравиметрии в комплексе с сейсморазведкой МОВ-ОГТ 2D, многолучевой батиметрической съемке и обеспечению навигации был привлечен ОАО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт».

В соответствии с техническим заданием съемка рельефа дна планировалась на семи профилях. Координаты профилей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Координаты профилей съёмки

Наименование профиля	Начало		Точки излома		Излом 2		Излом 3		Конец	
	φ	λ	φ	λ	φ	λ	φ	λ	φ	λ
2014-1	81.59N	159.39E	-	-	-	-	-	-	74.75N	179.48W
2014-2	75.92N	165.08E	-	-	-	-	-	-	80.59N	168.45 E
2014-3	77.03N	158.98E	-	-	-	-	-	-	81.90N	167.02E
2014-4	78.85N	142.62E	-	-	-	-	-	-	80.12N	162.14E
2014-5	81.12N	145.77E	-	-	-	-	-	-	81.68N	121.21E
2014-6	82.34N	170.09E	84.59N	165.50E	85.98N	163.46E	-	-	88.63N	172.03 E
2014-7	81.96N	79.34 E	85.70N	100.11E	86.83N	129.75E	87.67N	155.06E	86.03N	163.11W

Схема профилей съемки представлена на рис. 1.

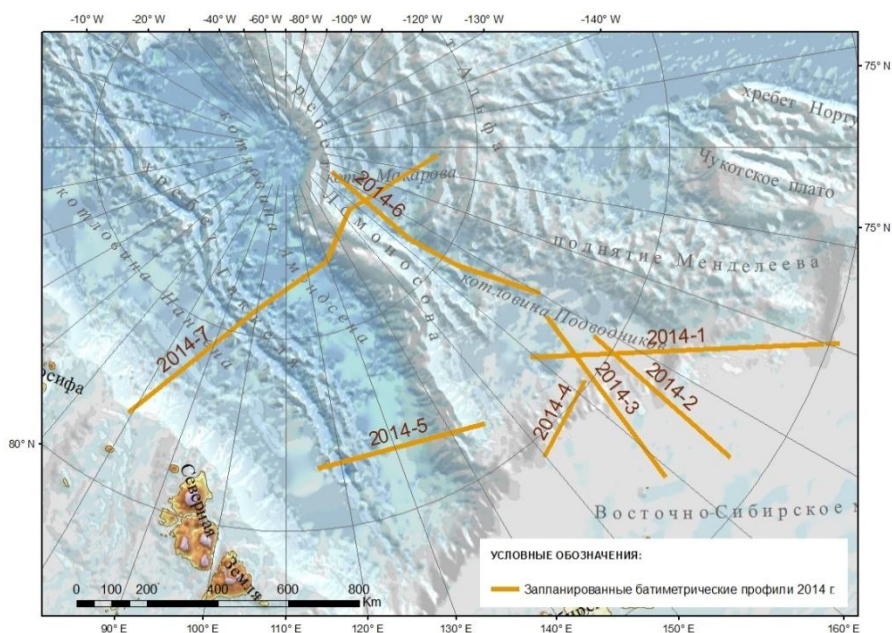


Рис. 1. Схема запланированных профилей съёмки

В короткие сроки навигации 2014 г. предстояло выполнить:

- навигационное обеспечение сейсморазведки 2D в объёме не менее 2000 пог. км в зоне сочленения котловины Подводников с Восточно-Сибирским шельфом;
- навигационное обеспечение сейсморазведки 2D объёмом не менее 2000 пог. км в котловине Амундсена (Нансена, Макарова, Подводников II);
- надводную гравиметрическую съёмку в объёме не менее 4000 пог. км в комплексе с сейсморазведкой МОВ-ОГТ 2D;
- многолучевую батиметрическую съёмку в течение всего рейса (объём съёмки в зависимости от ледовых условий);
- навигационное обеспечение судов экспедиции в двухсудовом варианте (обмен навигационными данными с лидирующим ледоколом);
- предварительную обработку полевых батиметрических и гравиметрических материалов с применением современных программно-аппаратурных средств.

Для выполнения работ в районе с тяжелыми ледовыми условиями было использовано научное экспедиционное судно (НЭС) «Академик Федоров» Государственного научного центра «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (ГНЦ ААНИИ) и атомный ледокол (АЛ) «Ямал» ФГУП «РОСАТОМФЛОТ».

НЭС «Академик Федоров» оборудован многолучевым эхолотом (МЛЭ) Kongsberg EM-122, однолучевым эхолотом (ОЛЭ) Kongsberg EA-600 и профилографом Topas PS18. Излучатели МЛЭ закрыты дополнительной ледовой защитой.

На судовой верфи Turku Repair Yard Ltd. в п. Наантали (Финляндия), где проходил ремонт и производилась установка сейсмического оборудования на НЭС «Академик Федоров», специалистами института были установлены два морских гравиметрических комплекса (МГК) «Чекан-АМ» и «Шельф-Э». При этом МГК «Шельф-Э» с заводским № 1 был использован для работ в приполярных широтах в Арктике впервые.

Для определения координат судна применялись две независимые системы определения места – основная и дополнительная. Основная – спутниковая интегрированная навигационная система SeaPath 330 – работала в режиме приема сигналов спутниковых систем GPS/ГЛОНАСС. Ввиду того что район работ расположен вне зоны приема каких-либо систем, улучшающих точность определения места судна, данные собирались без приема дифференциальных поправок.

В качестве дополнительной системы использовалась C-Nav-3050. В течение всего рейса производилось сравнение этих двух систем. На каждом профиле составлялся отчет сравнения данных систем определения места судна, автоматически записывался файл сравнения показаний, приведенных к одной точке.

Для оперативного наблюдения за ходом работ и отображения необходимой информации при движении по профилям на ходовом мостике судна был установлен отдельный монитор навигационно-гидрографической системы.

В целях эффективной передачи информации на НЭС «Академик Федоров» была создана независимая компьютерная сеть с высокой пропускной способностью. Конечные пользователи могли оперативно получать необходимую информацию. Сетью были связаны все помещения, в которых работали члены экспедиции и представители Заказчика на борту судна. Функциональный состав навигационного комплекса АЛ «Ямал» был аналогичен комплексу на НЭС «Академик Федоров». Для оперативного обмена информацией и данными между судами был организован радиоканал телеметрии, позволявший наблюдать и корректировать на обоих судах взаимное расположение и удержание на профиле. Это технологическое решение позволило в режиме реального времени корректировать путь движения ледокола для обеспечения удержания НЭС «Академик Федоров» в пределах проделанного канала на заданном профиле с учетом влияния ветра и течения. Так как ширина этого канала составляла не более чем 1,5–2 ширины корпуса судна, такое решение было единственно возможным для выполнения поставленной задачи и обеспечения заданной точности удержания судна на профилях.

В процессе подготовки экспедиции на борту НЭС «Академик Федоров» и АЛ «Ямал» были дополнительно установлены навигационно-гидрографические системы сбора и регистрации данных QINSy 8.1. Каждая система состояла из аппаратной и программных частей. К системе были подключены все необходимые датчики и приборы для обеспечения полного функционирования в период выполнения работ. Система позволяла осуществлять:

- планирование галсов съемки;
- планирование выхода судна в заданные точки;
- обеспечение цифровой навигационной информацией пользователей на всем судне;
- предоставление необходимой навигационной информации штурманскому составу судна при непосредственном выполнении работ;
- обеспечение графической и визуальной оперативной навигационной и батиметрической информацией;
- управление сейсмическим комплексом и регистрацию данных.

В период подготовки НЭС «Академик Федоров» к экспедиционным работам также были проведены работы по обеспечению:

- интерфейса между навигационно-гидрографическим и сейсмическим комплексами;

– сопряжения навигационно-гидрографической системы с системой регистрации сейсмических данных Seal, системой позиционирования сейсмокоды Digicourse System 3 и ган-контроллером BigShot;

– синхронизации и управлению сейсмическим оборудованием со стороны навигационно-гидрографического комплекса.

Работы выполнялись в системе координат WGS-84, в прямоугольной проекции UPSN (Универсальная Полярная Стереография Северная зона) с осевым меридианом 110 E. Параметры проекции указаны в табл. 2.

Таблица 2

Параметры проекции выполнения работ

Система координат	WGS-84
Сфероид	WGS-84
Проекция	UPSN
Центральный меридиан	110°E
Искусственный сдвиг Easting (m)	2 000 000,000
Искусственный сдвиг Northing (m)	2 000 000,000
Scale Factor at CM	0,99400
Line mode	Grid
Главная параллель:	90°N

Координаты проектных профилей были представлены Заказчиком перед выполнением работ. Прокладка сейсмических профилей выполнялась в программном обеспечении QINSy 8.1.

Навигационно-гидрографическое сопровождение сейсмических работ включало в себя предоставление навигационной информации и данных о текущей глубине в геофизический комплекс, а также выдачу сигнала возбуждения цифрового контроллера пневмоисточников, системы синхронизации и сбора информации (контроллер DigiShot). После камеральной обработки была сформирована база отчетных навигационных данных.

По результатам обработки собранных данных была определена точность работы основной системы определения места судна с неопределенностью не хуже $\pm 7,5$ м с доверительной вероятностью 95%.

Работы выполнялись на НЭС «Академик Федоров» в ледовых условиях под проводкой атомного ледокола «Ямал» по прямолинейным галсам. Съёмка рельефа дна проводилась МЛЭ EM-122, ОЛЭ EA-600 и профилографом Topas PS 18 фирмы Kongsberg Maritime AS одновременно с проведением сейсмических работ.

Методика выполнения батиметрической съёмки обеспечивала:

- навигацию НЭС «Академик Федоров» и АЛ «Ямал» по проектным галсам съёмки в двухсудовом варианте;
- контроль качества определения планового положения судов;
- контроль полноты и достоверности получаемой батиметрической информации;
- непрерывность регистрации батиметрической информации;
- получение необходимых поправок для исправления глубин.

Тяжелые ледовые условия в приполярных районах, на профилях, удары и трение обломков льда, достигавших 2,5–3-метровой толщины, существенно снижали ка-

чество записи МЛЭ. При застревании во льдах, когда НЭС «Академик Федоров» теряло ход, использовалась функция, появившаяся в версии 4.1.13 программного обеспечения (ПО) МЛЭ EM-122 – Seafloor Information System. Суть функции – возможность сканирования лучом на 10° вперед и назад по ходу судна через $0,5^\circ$ с получением данных по глубинам. Это позволяло дежурному гидрографу за время ожидания обколки атомным ледоколом «Ямал» и во время её проведения отсканировать пропущенные из-за тяжелых ледовых условий пройденные километры до застревания, а также вперед на расстояние до 300–400 м при глубинах 4–5 км. При использовании функции необходимо было учитывать, что осуществление ее возможно только после того, как МЛЭ зафиксирует глубину под корпусом судна, чему мешали попавшие под корпус судна обломки льдин и шуга.

В качестве высотной основы съемки рельефа дна использовался мгновенный уровень моря. Глубины в районе работ находились в основном в пределах 200–4500 м. Учет прилива (амплитудой ~ 1 м) не производился, так как для глубин свыше 200 м Стандартом S-44 (2008) МГО (параграф 3.3) [3] это не требуется.

Попутная батиметрическая съемка рельефа дна выполнялась не только на сейсмических профилях, но и на переходах от профиля к профилю.

Окончательная обработка материалов батиметрической съемки рельефа дна осуществлялась в пакете программ CARIS HIPS/SIPS Professional с использованием технологии CUBE (Combined Uncertainty Bathymetry Estimator) [4, 5]. Пакет CARIS HIPS/SIPS Professional позволяет формировать специальную цифровую модель рельефа дна в виде регулярной сетки глубин, в ячейках которой могут содержаться получаемые на основе статистической обработки атрибуты, характеризующие качество данных. Такая батиметрическая поверхность в пакете CARIS HIPS/SIPS Professional именуется «BASE Surface» (The Bathymetry Associated Statistical Error Surface). Одним из вариантов создания такой батиметрической поверхности является технология CUBE. Ее применение позволяет не только получать регулярную сетку, в узлах которой содержатся модельные значения глубин с набором атрибутов качества, но и выполнять эффективную фильтрацию глубин (выбросов), измеренных с грубой ошибкой, а также глубин, априорные погрешности которых превышают пределы, установленные Стандартом МГО S-44(2008) для заданной категории съемки (фильтр «ИНО»).

При съемке рельефа дна многолучевым эхолотом для вычисления значений исправленных глубин в режиме реального времени в программном обеспечении учитывались поправки, связанные:

- с реальным вертикальным профилем распределения скорости звука в воде;
- с влиянием крена, дифферента и вертикального перемещение антенн, информация о которых поступает от датчика пространственной ориентации «Seatech» (в составе «SeaPath 330») в реальном масштабе времени;
- с получаемыми в результате калибровки установочными углами излучающей и приемной антенн МЛЭ, а также с поправками за углубление антенн МЛЭ.

Данные профиля скорости распространения звука в воде оперативно вводились и учитывались в режиме реального времени. Корректность учета профиля скорости звука в воде регулярно проверялась в ходе предварительной обработки данных на борту судна.

Контроль скорости звука в воде в районе антенн МЛЭ EM-122 и ОЛЭ EA-600 осуществлялся датчиком скорости звука «Valeport miniSVP». Данные о скорости зву-

ка в воде в режиме реального времени вводились в компьютерную систему управления МЛЭ SIS «Seafloor Information System» фирмы Kongsberg Maritime AS.

В ходе экспедиционных работ систематически проводились гидрологические измерения, включающие определение профиля скорости звука в воде как прямым, так и косвенным методами. Измерение вертикального распределения скорости звука различными методами проводилось с целью сравнения данных, полученных от различных приборов для их контроля и повышения качества.

Прямым методом проводились измерения с помощью зонда измерителя скорости звука MIDAS SVP фирмы «Valeport». Достигалась точность измерения скорости звука этим прибором не хуже 0,1 м/с. Всего в процессе проведения съемки рельефа дна выполнено 12 гидрологических станций.

Вследствие невозможности остановки судна из-за буксируемой сейсмокофы дополнительно проводились измерения профиля распространения скорости звука в воде с использованием косвенных методов измерения температуры и солёности воды с помощью отрывных зондов XCTD-2 и T-7 фирмы «Lockheed Martin Sippican Inc». Для выполнения съемки рельефа дна были использованы данные измерений на 110 станциях.

В ходе выполнения этих работ был проведен сравнительный анализ значений скорости звука, получаемых от различных приборов. Расхождение показаний не превысило 0,5 м/с.

Скорость хода судна при проведении сейсмических исследований и съемки рельефа дна составляла 4–5,5 узлов.

Для определения качества данных съемки рельефа дна проводился:

- анализ данных МЛЭ EM-122 и ОЛЭ EA-600 на протяжении всего профиля;
- анализ расхождений глубин в области контрольных пересечений полос покрытия многолучевого эхолота;
- анализ расхождений глубин многолучевого эхолота, полученных в разное время в зонах наложений;
- контроль качества результатов съемки рельефа дна с использованием технологии CUBE.

После прохождения каждого профиля и предварительной камеральной обработки данных МЛЭ EM-122 и ОЛЭ EA-600 (12 кГц) проводился сравнительный анализ полученных результатов. По данным МЛЭ строилась цифровая модель поверхности дна с учетом плотности данных на каждом профиле, формировались отчеты контроля качества сравнения математической поверхности, построенной по обработанным данным МЛЭ и обработанным данным ОЛЭ.

По результатам обработки данных МЛЭ и ОЛЭ среднее значение расхождений между глубинами ОЛЭ и цифровой моделью рельефа дна по данным МЛЭ в зоне наложения на протяжении всего профиля в период работ составило 2,7 м, что при средних значениях глубин около 3000 км составляет менее 0,1% от глубины.

После окончательной обработки был проведен статистический анализ расхождений глубин в ячейках цифровой модели рельефа дна с глубинами на контрольных пересечениях, полученных по данным МЛЭ.

По результатам обработки данных МЛЭ получены следующие результаты:

- среднее значение расхождений между глубинами контрольных пересечений и цифровой моделью – 0,48 м;

– максимальное среднее значение расхождений между глубинами контрольных пересечений и цифровой моделью – 3,4 м.

Получено среднее значение неопределенности на уровне доверительной вероятности 95 % по всем пересечениям – 10,9 м (0,77 % от глубины), что в соответствии со Стандартом МГО S-44 (2008) значительно меньше допустимой неопределенности глубины для второй категории съемок.

Анализ соответствия расхождений в глубинах допустимому интервалу, соответствующему требованиям стандарта МГО S-44(2008), дает основание утверждать, что расхождения в глубинах, измеренных МЛЭ на основных и контрольных галсах, в 100 % случаев для 14 контрольных пересечений попадают в интервал, соответствующий второй категории съемок, и в 95,4–99,9 % случаев – для девяти контрольных пересечений.

Анализ качества батиметрической базы данных, основанный на статистической обработке пересечений, показал, что батиметрические данные по результатам работ 2014 г. соответствуют требованиям МГО для второй категории съемки (глубины более 100 м).

Профили, выполненные в 2014 г. во многих местах проходили через районы работ НЭС «Академик Федоров» 2010 и 2011 гг. Это обстоятельство позволило провести сравнение батиметрических данных трех лет. Статистическая обработка каждого из пересечений галсов 2014, 2011 и 2010 гг. выполнялась в программном комплексе Caris HIPS/SIPS Professional. Наиболее достоверные сведения обеспечиваются при статистической обработке и сравнения данных на пересечениях полос покрытия многолучевого эхолота, которые были получены в разные годы (2014, 2011 и 2010 гг.). Полезной вспомогательной информацией являются результаты сравнения модели полосы обзора МЛЭ и исправленных глубин ОЛЭ EA600. Средние расхождения глубин не превышает 7,5 м.

Проведенный анализ соответствия расхождений глубин допустимому интервалу, соответствующему требованиям стандарта МГО S-44(2008), показывает, что расхождения в глубинах, измеренных МЛЭ в 2014, 2011 и 2010 гг. в зонах наложения (по результатам отчетов CARIS HIPS quality report) попадают в интервал, соответствующий второй категории съемок, в 100 % случаев – для 35 зон и в 93,9 – 99,9 % случаев – для четырех зон.

При этом по результатам обработки данных 2014, 2011 и 2010 гг. получены следующие результаты:

– среднее значение расхождений глубин по всем зонам наложения съемки рельефа дна 2014, 2011 и 2010 гг. составило 1,42 м, что свидетельствует о высоком уровне качества батиметрических и вспомогательных (для определения поправок) измерений и хорошей компенсации систематических ошибок;

– среднее значение неопределенности на уровне доверительной вероятности 95 % по всем пересечениям – 12,15 м (0,41 % глубины), что меньше допустимой неопределенности глубины для второй категории съемок в соответствии со Стандартом МГО S-44 (2008);

– максимальное значение средней разницы в данных разных лет не превышает 5,5 м на глубине 4380 м.

Надводная гравиметрическая съемка являлась сопутствующей и производилась совместно с сейсморазведкой по единой сети профилей. При этом на Северном полюсе она была выполнена впервые в мировой практике.

С целью повышения надежности надводная гравиметрическая съемка проводилась с одновременным использованием двух комплектов гравиметров «Шельф-1Э» и «Чекан-АМ». Среднеквадратическая погрешность съемки (СКП), выполненной гравиметром «Шельф-Э», по результатам измерений на 35 повторных пунктах составила 0,28 мГал. Среднеквадратическая погрешность съемки, выполненной гравиметром «Чекан-АМ», по результатам измерений на 35 повторных пунктах составила 0,72 мГал. Оценка СКП «по внутренней сходимости» измерений, выполненных гравиметром «Шельф-Э» и гравиметром «Чекан-АМ», вычислялась по всем выполненным профилям. Средняя квадратическая случайная погрешность измерений комплектом из двух гравиметров составила 0,61 мГал, среднеквадратическое отклонение межприборной разности составило 0,43 мГал.

Согласно Техническому заданию на проведение работ одним из ожидаемых результатов работ являлось определение параметров ВГКШ по маршрутам съемки. В ходе полевых работ выполнялся расчет положения точек подножия континентального склона с использованием программ «GeoCAP» и «CARIS LOTS».

При всех неблагоприятных факторах исследования были выполнены на 203 % от заданного Техническим заданием объема работ.

Таким образом, в районе работ выполнено:

- батиметрической съемки – 10 524,1 пог. км;
- гравиметрической съемки – 10 136,050 пог. км,
- сейсмической съемки – 8 970,150 пог. км, из них:
 - с сейсмокосой длиной 600 м – 3 373,200 пог. км;
 - с сейсмокосой длиной 4500 м – 5 596,950 пог. км;
- произведены измерения на 12 гидрологических станциях.

Итоговая схема выполненных профилей представлена на рис. 3.

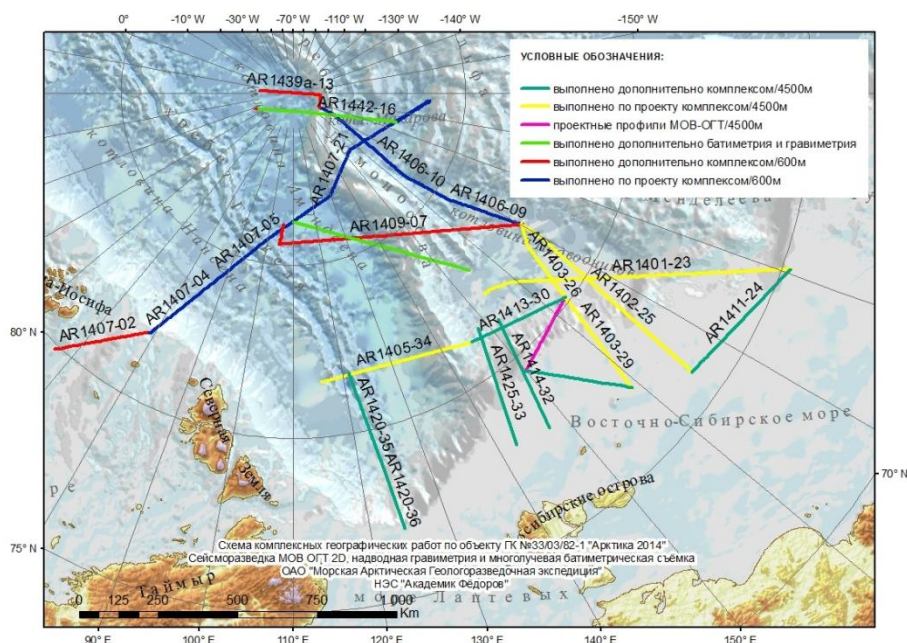


Рис. 3. Схема профилей, выполненных в 2014 г.

Выводы:

По объёму работ, выполненных за один сезон в высоких широтах Северного Ледовитого океана, и количеству полученной информации, отвечающей мировым стандартам качества, результаты экспедиции являются одними из лучших, достигнутых экспедициями других приарктических государств. Во время выполнения работ впервые в мировой практике были выполнены сейсмические исследования в районе географической точки Северного Полюса.

Исследования в рамках решения государственной задачи по проведению комплексных гидрографо-геофизических работ по определению и обоснованию внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в СЛО завершены в установленные сроки, работы проведены в полном объеме и в соответствии с международными требованиями.

Материалы проведенных экспедиционных работ вместе с ранее накопленными данными гидрографических исследований Северного Ледовитого океана планируется использовать в представлении Российской Федерации по внешней границе континентального шельфа в Комиссию ООН в 2015 г. Выполненные в ходе экспедиции работы предполагается использовать для обоснования представления РФ на район Арктики площадью более 1,2 млн. км.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев С. П., Зеньков А. Ф., Курсин С. Б., Ставров К. Г. Батиметрические исследования ОАО «ГНИНГИ» в центральной части Арктики // Навигация и гидрография. – 2010. – №30. – С. 9–16.
2. Алексеев С. П., Зеньков А. Ф., Глазко В. В. Комплексные гидрографо-геофизические исследования второго этапа работ по определению и обоснованию внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в Северном Ледовитом океане // Навигация и гидрография. – 2011. – №32. – С. 31–37.
3. IHO Standards for Hydrographic Surveys, International Hydrographic Organization // Special Publication. – № 44. – 5th Edition, 2008. – Pp. 28.
4. Фирсов Ю. Г., Баландин В. Н., Меньшиков И. В., Мустафин Н. Г. Анализ технологий для обеспечения батиметрических исследований Северного Ледовитого океана в интересах определения внешней границы континентального шельфа и опыт их применения // Геодезия и картография. – 2010. – № 5. – С. 49–55.
5. Фирсов Ю. Г. Анализ методики проектирования и выполнения батиметрической съемки Северного Ледовитого океана с использованием современных технологий. Ежеквартальный сборник статей Государственной морской академии «Эксплуатация морского транспорта». – СПб.: ГМА, 2010. – Вып. 2 (60). – С. 48–54.

RESULTS OF COMPLEX MARINE EXPLORATIONS (IN 2014) WITH THE AIM TO DEFINE MORE EXACTLY THE PARAMETERS OF THE OUTER LIMITS OF THE CONTINENTAL SHELF IN THE ARCTIC OCEAN

S. M. Zarubin («GNINGI» OJSC)

The results of additional bathymetric and gravimetric explorations as well as the navigational support for the seismic reconnaissance in the framework of the RF Application being prepared for increased continental shelf in the Arctic Ocean are presented.

ПРИЛИВЫ И СЕЙШИ. КАК РАЗЛИЧИТЬ?

Ю. Н. ЖУКОВ
(ОАО «ГНИНГИ»)

Приводятся основные свойства пространственного распределения фаз приливов и сейши и на основе этих свойств – определения последних. Даются характеристические свойства приливов и сейши и критерии разделения сейши и приливов.

В океанологии встречается задача отнесения наблюдаемых колебаний уровня моря к некоторому классу пространственных колебаний – к классу приливов или сейш. Существует мнение, что колебания типа сейш можно идентифицировать по наличию противофазных колебаний в двух диаметрально противоположных точках акватории. Эта точка зрения использована, например, в работах [1, 2]. Автор не может согласиться с этим мнением. Для отнесения наблюдаемых колебаний уровня моря к классу сейш требуется больше точек наблюдений и использование других соотношений между колебаниями в них.

Прежде всего, необходимо дать определения приливам и сейшам, так как иначе неизвестно, что искать и что от чего отличать. Обычно утверждают, что приливы – это бегущие волны, а сейши – стоячие волны. Такое толкование основано на видимом распространении волн. Часто в качестве механизма возникновения сейш используют представление о суперпозиции двух бегущих в противоположных направлениях приливных волн. Такие трактовки приливов и сейш по существу указывают на возможные объекты исследований, но не дают каких-либо методов изучения этих объектов. Это скорее метафоры, облегчающие восприятие.

Здесь уместно спросить, а что такое волна? Автор пытался найти определение волны в океанографической литературе. К его удивлению поиски не дали результата! Если следовать К. Трусделлу [3], то волна – это перемещающееся возмущение поверхности, форма которого не изменяется на интервале его длины. В таком случае отнести приливы к волнам нельзя. Действительно, длины приливных волн по оценкам океанологов составляют тысячи километров. Ни у кого не вызывает сомнения, что в Белом море существуют приливы. Длина его акватории значительно меньше длины волн прилива. Форма прилива в Белом море и точно, и по пространству значительно изменяется по площади моря. Например, в районе Горла Белого моря наблюдаются три максимума в сутки, тогда как на остальной акватории – два, но и здесь амплитуда претерпевает значительные изменения.

Утверждают, что приливы – это длинные волны. Но и эта позиция вызывает сомнения. На приливных картах океанов самые большие фазовые скорости прилива расположены у побережья на малых глубинах, а на больших глубинах, в центре океанов, расположены амфидромические области с малыми фазовыми скоростями. Это обстоятельство полностью противоречит следствию из теории длинных волн о том, что скорость фазы длинной волны пропорциональна глубине.

Сейши, скорее всего, являются пространственными колебаниями, чем волнами. Механизм возникновения сейш из суперпозиции приливов представляется сомнительным.

Все это свидетельствует о неприемлемости использования обычных толкований приливов и сейш для их различения. Для практических целей различения необходимо иметь дефиниции приливов и сейш интенционального типа. Другими словами, необходимо дать описание свойств и характеристик объектов, выделяющих определяемое в сравнении с другими объектами. Кроме того, в определениях не следует использовать слово «волна». Действительно, это слово имеет свой смысл, но в нашем случае этому смыслу не соответствует ни один из объектов: ни приливы, ни сейши.

Традиционное определение приливов в виде «периодических колебаний уровня океанов и морей, вызванные воздействием приливообразующих сил» [4] мало информативно для целей различения приливов и сейш. На основе опыта исследований приливов и сейш можно дать следующие определения, содержащие основные кинематические свойства приливов и сейш.

Приливы – это пространственно-временные колебания поверхности акватории, синхронизированные с орбитальными движениями Луны и Солнца, и с гладкой амплитудой и фазой, как по времени, так и по пространству.

Сейши – это пространственно-временные колебания поверхности акватории с гладкой амплитудой по пространству и времени и гладкой фазой во времени и по фаз с разрывами (первого порядка).

Несколько кратких пояснений. С теорией синхронизации можно ознакомиться в работе [5]. Свойство гладкости означает непрерывность и дифференцируемость распределений амплитуды и фазы колебаний уровня моря по пространству и времени.

Понятие фазы прилива и сейш следует понимать в двух аспектах: фаза колебаний в точке и фаза колебаний по пространству. Фаза колебаний в точке представляет собой положение повторяющегося процесса – во времени, во времени его собственного цикла. Со временем фаза в точке меняется в пределах $[0, 2\pi)$. Смысл понятия фазы по пространству состоит в том, что в фиксированный момент времени в каждой точке акватории, за исключением амфидромических, определена фаза в точке. Распределение значений фаз по пространству и определяет фазу по пространству. Очевидно, что с течением времени распределение фазы по пространству меняется.

Кинематические свойства, входящие в данные выше определения приливов и сейш, не содержат практического критерия для разделения этих типов колебаний в явном виде, но эти критерии можно из них вывести.

Из данных выше определений следует, что приливы и сейши не различаются по свойствам амплитуд колебаний. Поэтому поля амплитуд колебаний не информативны для разделения. Информативны поля фаз. Поля фаз различаются по характеру гладкости по пространству. Поэтому искать критерий следует на основе различий в особенностях свойств полей фаз.

Топологические методы анализа свойств полей фаз приводят к следующим результатам [6, 7].

Фаза прилива – это монотонно возрастающая гладкая функция как по пространству, так и по времени. В поле фазы прилива с необходимостью должна присутствовать одна или несколько амфидромических точек. Это изолированные точки сингулярности в поле фазы. Для этих точек неприменимо понятие «фаза прилива». Характеристической особенностью приливных колебаний является то, что разность фаз приливных колебаний между двумя произвольными точками, находящимися на аква-

тории одной амфидромической системы, не равна нулю и постоянна во времени для акватории. В фиксированный момент времени изофазы на акватории с приливами представляют собой веерно расходящиеся из амфидромических точек линии. На окружности, проведенной вблизи каждой амфидромической точки, укладывается целое число полных оборотов фазы, то есть $n2\pi$, где $n = 1, 2, \dots$. Концы изофаз входят либо в другие амфидромические точки, либо под прямым углом выходят к береговой черте. С течением времени изолинии с фиксированными значениями фазы перемещаются по акватории, как бы вращаясь вокруг амфидромических точек, не изменяя направления вращения. Изоамплитуды представляются замкнутыми линиями, окружающими амфидромические точки. Положение изоамплитуд на акватории постоянно во времени. Амплитуда приливных колебаний возрастает в направлении к береговой черте. Значения уровня моря в любой момент времени не могут быть постоянными на любом интервале пространства. Значения амплитуд увеличиваются при удалении от амфидромической точки. В этой точке амплитуда прилива равна нулю.

С учетом сказанного становится ясно, что в толкование прилива как бегущей волны неявно укладывается мысль, что изофазы перемещаются по акватории. Именно это создает иллюзию перемещения волны.

В поле фазы сейш с необходимостью присутствуют множество амфидромических точек, которые организованы в непрерывные линии. В океанологии эти линии принято называть узловыми линиями. В свою очередь, совокупность этих линий образует сеть на акватории. Внутри каждой ячейки колебания уровня происходят синфазно, а колебания в смежных ячейках – в противофазе. Разность колебаний между двумя произвольными точками в области одной ячейки равна нулю. Поэтому линии изофаз изобразить на карте акватории невозможно, они все как бы уложены на узловых линиях. Амплитуда колебаний в сейшах равна нулю на узловых линиях и максимальна в середине ячейки сейши или у береговой черты. Типично изоамплитуды образуют замкнутые линии, формой повторяющие границы ячейки. Положение изоамплитуд и изофаз в сейшах постоянно.

Толкование сейши как стоячей волны неявно учитывает свойства пространственного распределения фаз сейши. Изофазы сейши неподвижны, поэтому сейши и относят к стоячим волнам. Указанные выше свойства полей фаз приливов и сейш представлены на рис. 1–6.

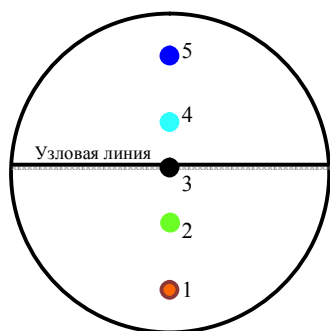


Рис. 1. Схема акватории с сейшевыми колебаниями

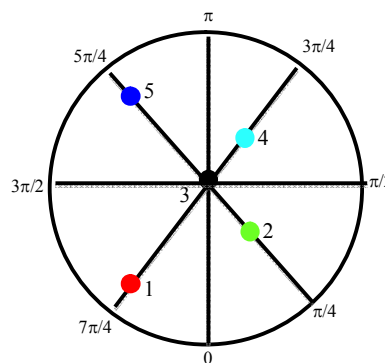


Рис. 2. Схема акватории с приливными колебаниями. Радиальные прямые – изофазы. В центре акватории – амфидромическая точка

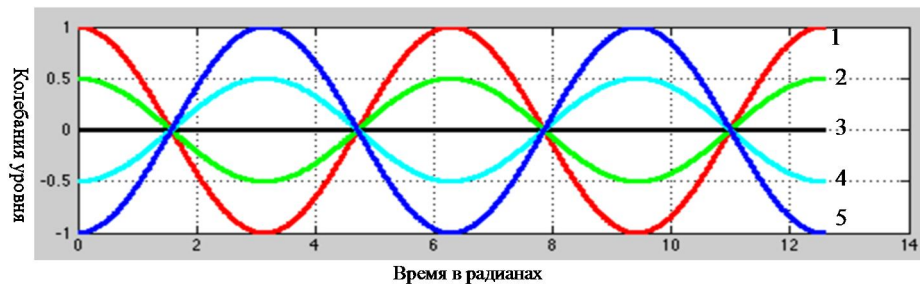


Рис. 3. График временного хода колебаний высоты уровня на экватории рис. 1 в точках 1–5

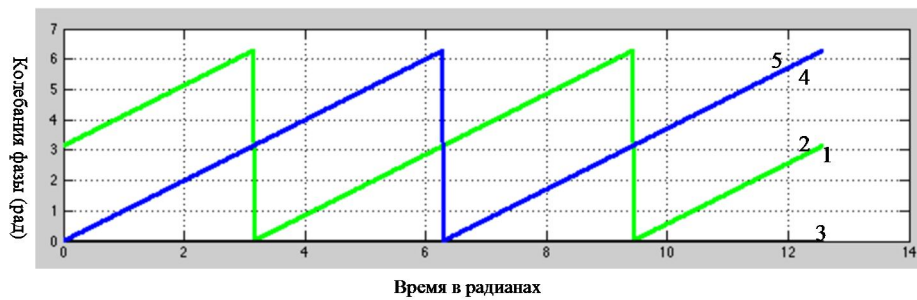


Рис. 4. График временного хода колебаний фаз уровня на экватории рис. 1 в точках 1–5

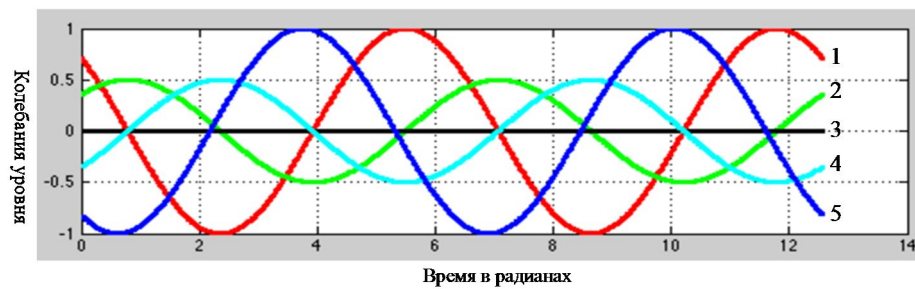


Рис. 5. График временного хода колебаний высоты уровня на экватории рис. 2 в точках 1–5

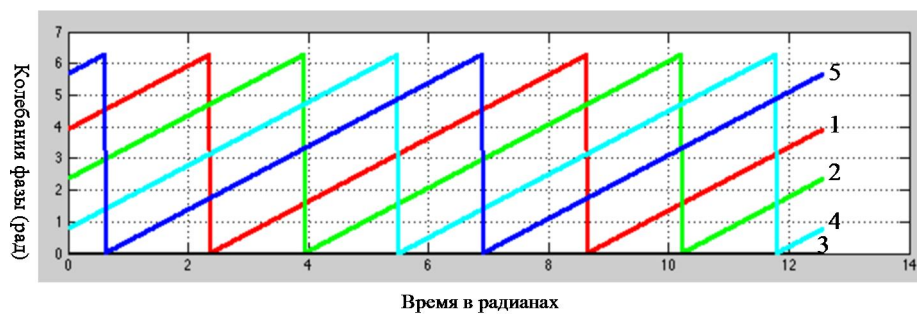


Рис. 6. График временного хода колебаний фаз уровня на экватории рис. 2 в точках 1–5

На рис. 1, 2 изображены круговые акватории с сейшами и приливами. Отметим, что такая форма акватории не ограничивает степени общности рассуждений. Границы любого моря можно отобразить на окружности, используя методы конформного отображения. Точки на акваториях соответствуют воображаемым точкам измерения уровня моря. На рис. 3, 5 представлены схемы колебаний уровня моря в соответствующих точках акваторий. На рис. 4, 6 изображены схемы временного изменения фаз в этих же точках. На рис. 4 изображены только два графика, так как каждый из них соответствует двум точкам. Для рисунков принято, что нулю фазы соответствует момент минимального значения уровня. Графики временного хода фаз представлены для удобства восприятия периодическими, а не монотонно возрастающими функциями.

Следует особо отметить, что если на рис. 2 выбрать положение точек, соответствующее положению точек на рис. 1, то графики временного хода уровня и фаз станут полностью идентичны графикам 3 и 4, и, следовательно, для случая с таким расположением точек наблюдений отличить сейши от приливов невозможно. Более того, отличить сейши от приливов невозможно и по разности фаз только между двумя точками наблюдений. Действительно, для того чтобы в этих точках наблюдался противофазный ход уровня, для акватории с сейшами одна точка должна располагаться в одной ячейке сейши, а другая – в смежной. В то же время для акватории с приливами всегда можно найти две пары точек (и не одну), в которых будет наблюдаться противофазный ход уровня. Это обстоятельство доказывает невозможность традиционно принятой в океанологии стратегии различения сейш и приливов по противофазным колебаниям в двух точках.

Решение задачи различения сейш и приливов требует, безусловно, более двух точек наблюдений. Теоретически, для доказательства того, что колебания на акватории имеют приливной характер, необходимы как минимум три произвольно выбранные точки наблюдений. Разность фаз колебаний между всеми парами точек должна быть постоянной. Но это будет справедливо только, если все три точки окажутся в области действия одной амфидромической системы.

Доказательство наличия сейш на акватории значительно сложнее. В этом случае его процесс определяется уникальными специфическими условиями акватории. Все дело в возможной сложности в расположении сети узловых линий. Необходимо выбрать по две точки наблюдений в каждой ячейке. Если разность фаз в каждой паре точек равна нулю, а в смежных ячейках сети колебания находятся в противофазе, то на акватории действуют сейши. Однако не ясно, как выбрать по две точки наблюдений в каждой ячейке, если положение сети узловых точек неизвестно.

Таким образом, установлено, что выводы о наличии сейш, полученные на основании противофазных колебаний в двух точках акватории, неправомочны. Различение приливов и сейш является уникальной исследовательской задачей, сложность которой зависит от многих факторов, определяющих структуру колебаний акватории. Различить приливы и сейши по точечным измерениям уровня моря практически невозможно. Однако эта задача без проблем решается путем определения пространственного распределения фазы колебаний акватории по измерениям высоты уровня моря с помощью альтиметрических спутников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шулейкин В. В. Физика моря. – М.: Наука, 1968. – 1083 с.
2. Герман В. Х., Левиков С. П. Вероятностный анализ и моделирование колебаний уровня моря. – Л.: ГИМИЗ, 1988. – 231 с.
3. Трусделл К. Первоначальный курс рациональной механики сплошных сред. – М.: Мир, 1975. – 592 с.
4. Справочник гидрографа по терминологии. – Л.: ГУНИО МО, 1984. – 286 с.
5. Пиковский А., Розенблюм М., Куртс Ю. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление. – М.: Техносфера, 2003. – 496 с.
6. Жуков Ю. Н. Кинематический анализ приливов для обеспечения прикладных задач морской деятельности России // Труды ГОИН. – Вып. 213. Исследование океанов и морей. – М.: Росгидромет, 2011. Доклады Первой Всероссийской конференции по прикладной океанографии (26–28 октября 2010 г.). – С. 135–143.
7. Жуков Ю. Н. Анализ сейшевой модели образования амфидромических точек // Навигация и гидрография. – 2004. – №18. – С. 93–99.

TIDES AND SEICHES. HOW TO DIFFERENTIATE BETWEEN THEM?

Y. N. Zhukov (OJSC «GNINGI»)

The main qualities of the spatial distribution of phases for tides and seiches are presented. Based on these qualities the definitions of tides and seiches are given. The characteristic properties of tides and seiches are given. The criteria for differentiating the tides from the seiches are presented.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 528.92

ЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ

Ю. Н. ЖУКОВ
(ОАО «ГНИНГИ»)

Рассмотрены логические особенности, лежащие в основе разработки вероятностных и гидродинамических моделей в гидрометеорологии. Особое внимание уделено процедуре экспликации – логическим основаниям перехода от индуктивных понятий к дедуктивным.

В последние десятилетия достигнут значительный прогресс в науках о Земле благодаря улучшению систем наблюдений и пониманию закономерностей геосистем [1, 2]. Массово разрабатываются математические модели, описывающие разнообразные гидрометеорологические явления и поля. Это можно связать как с широким применением компьютеров в системе гидрометобеспечения, так и с повышением математической подготовки специалистов. Число печатных работ о математических моделях окружающей среды настолько велико, что возникает впечатление, что гидрометеорологам, осуществляющим гидрометобеспечение, нужно только нажать на клавишу ЭВМ, и все возможные прогнозы будут напечатаны и отправлены потребителям автоматически. Однако практика значительно отличается от этого впечатления. Гидрометобеспечение по-прежнему во многом основывается на личном опыте специалистов-гидрометеорологов. Конкретные люди разрабатывают тексты прогнозов, опасных явлений, выписывают штормовые предупреждения и, соответственно, несут всю ответственность за них – административную или даже уголовную. Даже если они использовали в своей работе какую-нибудь модель, разработанную другими специалистами, они по-прежнему несут личную ответственность за результат.

В последнее время все большую роль в управленческом контуре различного уровня играют автоматизированные системы управления (АСУ). Их назначение – оперативный выбор оптимального решения на множестве различных ситуаций и сценариев поведения. В структуре АСУ почти всегда присутствует блок учета влияния окружающей среды. Очевидно, что этот блок должен быть полностью автоматизирован, то есть должен включать программы, основанные на математических моделях окружающей среды. Даже минимальное участие человека в работе этого блока сводит почти к нулю всю эффективность применения ЭВМ – АСУ исчезает и превращается в медлительную интерактивную систему. АСУ с учетом влияния окружающей среды – дело будущего.

Таким образом, несмотря на обилие математических моделей окружающей среды, в практике гидрометобеспечения по-прежнему преобладает человеческий фактор. И здесь возникают естественные вопросы. Почему тормозится практическое

внедрение математических моделей в практику гидрометобеспечения? С чем это связано?

Рассмотрим только научно обоснованные причины. Океан и атмосфера Земли чрезвычайно изменчивы в бесконечном диапазоне частот и обладают потенциально бесконечным набором характеристик, их описывающих. Бесспорно, что сложность этой системы необъятна, и это сказывается на качестве математических моделей. Однако, как представляется автору, следует рассмотреть и другие возможные причины, например, чисто логические. Как будет показано, логические особенности построения математических моделей атмосферы и океана играют важную роль в эффективности их практического применения.

Необходимость наличия логических особенностей в построении модели окружающей среды уже проявляется в отличии места и роли модели в гидрометеорологическом исследовании от общенаучной. В последнем случае модель строится по данным экспериментов, затем результаты моделирования используются для проектирования экспериментов, проверяющих модель. Однако эксперимент с «атмосферой» и «океаном» Земли в целом еще недоступен человеку. Здесь исследователю доступны только наблюдения. В целом модель строится на основании анализа наблюдений, и соответствие модели явлению проверяется тоже по наблюдениям. Методологический принцип исследований в общенаучной области «от живого созерцания к абстрактному мышлению и от него к практике», тогда как в гидрометеорологии «восхождение от абстрактного к конкретному» [4].

Создавая математическое описание полученных результатов наблюдений, ученый-гидрометеоролог некоторым образом формирует в сознании абстрактный аналог процессов и явлений атмосферы или океана. Этот образ используется им для создания математической модели процесса или явления. Концептуальные лексикон гидрометеорологии и математики совершенно разные; даже если им случается пользоваться одними и теми же словами, то понятия, обозначенные одним и тем же словом, формируются в обоих случаях совершенно по-разному. Кроме того, атмосфера и океан являются уникальными единичными сущностями, а, как известно, «для чувственно воспринимаемых единичных сущностей не может быть ни определения, ни доказательства» [5]. Для перехода от гидрометеорологических понятий к математическим необходимо выполнение логической операции – экспликации [6]. Грубо говоря, экспликация – это процедура «перевода» понятий предметной области в математические термины.

Действительно, в гидрометеорологии при описании процессов и явлений используются термины и высказывания, смысл которых считается ясным в некотором привычном словоупотреблении и более или менее однозначным. В тоже время гидрометеорологические термины не соответствуют математическим. Задача экспликации состоит в том, чтобы однозначно определить гидрометеорологический термин терминами математическими. При этом область значения гидрометеорологического термина, выраженного математическими терминами, сужается. Хотя бы поэтому математические модели обладают ограниченным сходством с соответствующими реальными явлениями и процессами. Собственно говоря, операция экспликации есть математическое прочтение динамики окружающей среды. Заметим, что обратная операция – перевод результатов математического моделирования, представленный в математических терминах, обратно в гидрометеорологические термины – называется интерпретацией.

В операции экспликации обязательно применяются допущения, называемые эмпирическими. Эти допущения характеризуются следующими чертами [6]:

1. Они являются внелогическими допущениями. С логической точки зрения они выполнимы, но не являются логически истинными.
2. Они не могут быть подтверждены или опровергнуты эмпирически.
3. Они говорят о возможности или невозможности построить какие-то знания в данной области науки, но не определяют эти знания конкретно, то есть в терминах данной науки. С этой точки зрения они не расширяют дедуктивную базу данной науки, но лишь ориентируют исследование в некотором направлении.
4. Не существует никаких логических критериев предпочтения одних эмпирических допущений другим.
5. Они должны быть построены так, чтобы не возникали логические противоречия по их вине.

Очевидным примером эмпирического допущения при построении математических моделей в гидрометеорологии является выбор типа модели: гидродинамической или вероятностной. Очевидно, что все вышеприведенные первые четыре пункта выполняются для этих типов моделей. Остается только проверить пятый пункт, то есть убедиться в том, что нет логических противоречий в основаниях построения этих моделей. Автор с сожалением констатирует, что при построении этих моделей не удалось избежать досадных логических ошибок, но он надеется, что со временем их можно будет устранить. А пока что перечислим некоторые из них.

Вероятностные модели. В гидрометеорологии практически все вероятностные модели базируются на классической математической теории вероятностей, разработанной на математической теории меры Колмогоровым. Но математических теорий вероятности существует несколько, например, алгоритмическая теория вероятностей Колмогорова [7]. Каковы аргументы в предпочтении классической теории перед остальными, неизвестно. Выбор классической теории вероятности сомнителен хотя бы потому, что в ней необходимо как минимум, чтобы эмпирические значения повторяемости имели устойчивость (незначительно изменялись) со временем. Однако, известно, что оценки среднеквадратического значения температуры в некотором пункте монотонно растут с увеличением интервала наблюдений. Как разрешить эти логические противоречия?

Все вероятностные модели широко используют понятие «случайность». Проблема состоит в том, что понятие «случайность» в математике не определено однозначно. В математике случайной функцией называют и функцию из классической теории вероятности, и функцию, представляющую процесс детерминированного хаоса, и фракталы [8]. Как выбрать наиболее адекватное значение понятия «случайность»?

Классическая теория вероятностей имеет несколько различных реализаций. Эти реализации определяются числовой системой, положенной в основание определения значений случайной величины. Например, в последнее время широкое распространение при описании физических процессов получила классическая теория вероятности на основе p -адических чисел [9]. Это «аналог» действительных чисел. Они, как и действительные числа, образуются из рациональных чисел, но с другим правилом определения величины (нормы) рационального числа. В отличие от обычной теории вероятностей, основанной на действительных числах, в версии теории вероятности, основанной на p -адических числах, значение вероятности может быть и от-

рицательным. Какая из этих двух реализаций лучше описывает изменчивость гидрометеорологических процессов?

Последняя логическая проблема, которую мы рассмотрим для вероятностных моделей, связана с логическим согласованием вероятностной модели с другими областями науки. Для оценок вероятностных параметров моделей необходимы измерения, но в теории измерений включен постулат о том, что случайную величину (функцию и т. п.) измерить нельзя [10]. Как быть с этим?

Гидродинамические модели. Здесь также существует проблема с обоснованием выбора числовой системы. Например, в настоящее время многие разделы физики, в том числе и гидродинамические, переписываются с использованием p -адических чисел [11]. В связи с этим возникает вопрос: использование каких числовых систем в гидрометеорологии более адекватно?

Гидродинамические модели базируются на теории механики сплошных сред. Классическая, используемая в гидрометеорологических моделях, основана на уравнении Навье-Стокса. Однако существует и другая [12], основанная на алгебраической теории динамических винтов, в которой нет места этому уравнению. Какая из этих теорий более соответствует динамике гидрометеорологических полей?

Классическая механика сплошных сред является аксиоматической теорией [13]. В этой теории доказывается, что уравнение Навье-Стокса применимо не ко всяким жидкостям (газам), которые определяются в школьной курсе физике просто как то, «что льется» («занимает весь объем сосуда»). Применимость уравнения Навье-Стокса к некоторому эмпирическому объекту определяется специальными теоремами. Автору неизвестно, осуществлялась ли проверка условий этих теорем для океана (атмосферы). Если нет, то, очевидно, возникают сомнения в справедливости описания динамики океана (атмосферы) на основе уравнения Навье-Стокса. Последние исследования свойств морской воды только усиливают эти сомнения [14].

Еще одна логическая проблема, о которой мы не должны забывать, связана с определением класса функций, среди которых ведется поиск решения гидродинамической модели. Действительно, всегда в качестве такого класса явно, а чаще всего неявно, берется класс гладких функций, то есть поля температуры, ветра, течений и т. п., которые считаются гладкими. Однако уже в 1980-е годы на основе наблюдений полей температуры, свободно дрейфующих буев и так далее показано, что все гидрометеорологические поля, за исключением приливных, более адекватно описываются всюду недифференцируемыми функциями – фракталами [15]. Это принципиально недифференцируемые функции, что справедливо для всех диапазонов частот изменчивости. Как быть с этим? Эта проблема при создании гидрометеорологических моделей не обсуждается.

Здесь приведен далеко не полный список логических проблем, возникающих при создании и использовании математических моделей в гидрометеорологии. Автор надеется, что многие другие логические противоречия могут обнаружить и сами гидрометеорологи при логическом анализе моделей. Например, оценить степень адекватности представления понятий «ветер» и «течение» в виде математического термина «вектор».

На взгляд автора, будущее благополучие гидрометеорологии во многом зависит от решения подобных логических проблем. Действительно, отсутствие в литературе описания операции экспликации не позволяет практику-гидрометеорологу правильно интерпретировать результаты моделирования. Это создает предпосылки для

внесения искажений в оценку гидрометобстановки, что приводит к погрешностям в прогнозах.

Исключение указанных логических противоречий учеными-гидрометеорологами значительно подняло бы эффективность гидрометеорологического обеспечения за счет включения моделей в практическую деятельность гидрометеоролога и позволило бы разработать полностью автоматизированные блоки АСУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. – Л.: ГИМИЗ, 1974. – 303 с.
2. Пененко В. В. Математические модели окружающей среды и их использование для решения практических задач. Научное сообщение // В Президиуме Академии наук СССР. – 1986. – Т. 1. – №7. – С. 59–72.
3. Уемов А. И. Логические основы метода моделирования. – М.: Наука, 1971. – 311 с.
4. Зиновьев А. А. Восхождение от абстрактного к конкретному. – М.: Институт философии РАН, 2002. – 321 с.
5. Аристотель. Метафизика. Переводы. Комментарии. Толкования. – СПб.: Алетея, 2002. – 832 с.
6. Зиновьев А. А. Очерки комплексной логики. – М.: Эдиториал, 2000. – 560 с.
7. Колмогоров А. Н. Комбинаторные основания теории информации и исчисления вероятностей // Успехи математических наук. – 1983. – Т. 38. – №4. – С. 27–36.
8. Чайковский Ю. В. О природе случайности. – М.: Центр системных исследований – Институт истории естествознания и техники РАН, 2004. – 280 с.
9. Хренников А. Ю. Неколмогоровские теории вероятностей и квантовая физика. – М.: Издательство Физико-математической литературы, 2003. – 208 с.
10. Лячев В. В., Сирая Т. Н., Довбета Л. И. Основы теории измерений физических величин. – СПб.: Издательство СПбГЭТН «ЛЭТИ», 2004. – 310 с.
11. Владимиров В. С., Волович И. В., Зеленов В. И. P -адический анализ и математическая физика. – М.: Наука, Физматлит, 1994. – 352 с.
12. Коноплев В. А. Алгебраические методы в механике Галилея. – СПб.: Наука, 1999. – 288 с.
13. Трудделл К. Первоначальный курс рациональной механики сплошных сред. – М.: Мир, 1975. – 592 с.
14. Ингель Л. Х., Калашник М. В. Нетривиальные особенности гидродинамики морской воды и других стратифицированных растворов // Успехи физических наук. Т. 182. – 2012. – С. 379–406.
15. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.

LOGICAL SPECIFIC FEATURES OF MATHEMATICAL MODELS IN HYDROMETEOROLOGY

Y. N. Zhukov (OJSC «GNINGI»)

The logical specific features that are the basis of development of probabilistic and hydrodynamic models in hydrometeorology are considered. Special attention is paid to the procedure of explication – the logical bases of transition from inductive to deductive notions.

УДК 551.501; 551.508

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ ПОДСИСТЕМЫ СБОРА, ОБРАБОТКИ, ПЕРЕДАЧИ И ХРАНЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ВМФ**А. Е. ДРОЗДОВ, Н. Н. ЖИЛЬЦОВ, В. П. СВИРИДОВ**
(ОАО «ГНИНГИ»)

Рассмотрены состояние и перспективы развития подсистемы сбора, обработки, передачи и хранения гидрометеорологической информации. Обосновывается необходимость разработки современного программно-аппаратного комплекса военного назначения.

Современная система гидрометеорологического обеспечения (ГМО) морской деятельности в России построена аналогично подобным системам стран, входящих во Всемирную метеорологическую организацию, и состоит из трех подсистем [1]:

- подсистемы морских гидрометеорологических наблюдений наземного, морского и космического базирования;
- подсистемы сбора, обработки, передачи и хранения гидрометеорологической информации;
- подсистемы интерпретации и доведения гидрометеорологической информации (анализы, прогнозы и т. д.) до потребителя.

Целью данной статьи является оценка состояния и перспектив развития одной из подсистем – сбора, обработки, передачи и хранения гидрометеорологической информации.

В настоящее время эта подсистема, существующая в структуре Росгидромета, предназначена для осуществления интеграции разнородных гидрометеорологических данных, циркулярного распределения больших потоков цифровой и графической информации, обмена массивами данных на всех уровнях государственной системы наблюдений, а также для доведения необходимой информации до потребителей.

Вместе с тем предоставляемая разнородная гидрометеорологическая информация не в полной мере удовлетворяет потребности ВМФ по детализации и информативности в силу специфики его деятельности, осуществляемой (в отличие от других видов Вооружённых Сил) в трёх средах – на море, на суше и в воздушном пространстве. Особенно это касается удалённых и малоисследованных районов океанов и морей, не освещённых или малоосвещённых данными фактических гидрометеорологических наблюдений.

В ВМФ для решения специфических задач в настоящее время используется гидрометеорологическая информация (ГМИ), получаемая из перечисленных ниже источников.

1. Собственная система наблюдений, включающая:

- корабли и суда;
- радиотехнические посты береговой системы наблюдения (РТП БСН ВМФ) и маяки гидрографической службы;
- аэродромы морской авиации;

- аэрологические и метеорологические наблюдательные станции;
- морские гидрометеорологические буи;
- аппаратуру приема спутниковой ГМИ;
- развертываемые десантные метеорологические комплекты.

2. Наблюдательная сеть и оперативно-прогностические подразделения Росгидромета, образующих систему гидрометеорологического обеспечения морской деятельности (МГМО) России.

В последнее время на снабжение ВМФ были приняты:

- «Корабельная автоматизированная информационно-измерительная система обеспечения безопасности полетов корабельной авиации «Касметео-К»» для кораблей с групповым базированием летательных аппаратов (ЛА);
- «Корабельный комплекс гидрометеорологического обеспечения «Сюжет-КМ»» для кораблей с одиночным базированием ЛА;
- гидрометеорологическая автоматическая станция «Характер-К» (корабельного и берегового исполнения) для кораблей и судов ВМФ без базирования ЛА и береговых постов наблюдения;
- «Комплексная автоматизированная информационно-измерительная система гидрометеорологического обеспечения безопасности полётов авиации Военно-морского флота «Касметео-К-Б»» для аэродромов Морской авиации.

Гидрометеорологическая служба (ГМС) имеет свой специализированный центр сбора и распространения гидрометеорологической информации – 373 Центр ВМФ, располагающий современным высокоскоростными оптоволоконными каналами связи с потенциальными возможностями увеличения объемов и видов циркулирующей по ним ГМИ, необходимой для полноценного решения задач ГМО. Вместе с тем технологии сбора и обработки ГМИ, используемые в 373 Центре ВМФ и в гидрометеорологических подразделениях на флотах (флотилиях), разработаны в конце 1990-х годов. Они и не отвечают современному уровню развития, не обеспечивают возможности оперативного использования и оценки «закрытой» ГМИ и не позволяют взаимодействовать в автоматизированном режиме с «открытым» контуром Единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) и системами управления военного назначения [2].

В настоящее время задачи сбора, обработки и доведения ГМИ в ВМФ решает Автоматизированная система гидрометеорологического обеспечения (АС ГМО) ВМФ, созданная в середине 1990-х годов. Последняя модернизация этой системы была проведена в 2006–2008 гг., при этом основные комплексы, используемые в настоящее время в АС ГМО (программный комплекс «ГИС-Метео», телекоммуникационный комплекс «UniMAS», программно-аппаратный комплекс «Митра»), являются продукцией общетехнического назначения и после многолетней непрерывной круглосуточной эксплуатации требуют замены и модернизации.

Поскольку данные системы не приняты на снабжение в МО РФ и не включены в таблицу к штату, их содержание, модернизация и сервисное обслуживание невозможно. По этой же причине не решена и задача информационно-технического взаимодействия вышеуказанных систем с современными военными комплексами передачи данных, системами управления и освещения обстановки ВМФ.

В настоящее время обострились проблемы обеспечения потребителей ВМФ климатическими и справочными данными. Это связано с тем, что:

– значительное сокращение числа специалистов, работающих в Гидрометцентрах на флотах, привело к прекращению работ, связанных с изучением морских и океанских театров военных действий и подготовкой их климатических описаний. В связи с этим необходимая информация, которая ранее разрабатывалась на местах, сейчас часто запрашивается в 373 Центре;

– из-за с расширения деятельности ВМФ на акваториях морей и в океанской зоне заметно увеличилось количество запросов на информацию по разным элементам гидрометеорологической и океанографической обстановки в районах, в которых исследования многие годы не проводились.

В связи с этим используются лоции и пособия в лучшем случае середины прошлого века, а разработка новых пособий, основанных на современных данных, практически не осуществляется.

Для ГМО ВМФ применяется информация климатического характера с использованием возможностей ЕСИМО, в том числе его военной подсистемы, включающей в себя федеральную государственную информационную систему «Банк океанографических данных Минобороны России».

Рассматривая состояние военной подсистемы ЕСИМО, можно отметить, что в соответствии с приказом Министра обороны Российской Федерации от 10 июня 2014 г. № 411 «Порядок деятельности центра единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане Министерства обороны Российской Федерации», центром Министерства обороны ЕСИМО определен 373 Центр (сбора и обработки гидрографической и гидрометеорологической информации) Военно-Морского Флота.

Развернутый на базе 373 Центра ВМФ специализированный информационно-технологический узел военной подсистемы ЕСИМО (далее – СИТУ ВП ЕСИМО) (вычислительное и телекоммуникационное оборудование, каналы связи) находится в работоспособном состоянии, ведется плановое информационно-техническое взаимодействие с общим контуром ЕСИМО, проводится непосредственный обмен информацией о состоянии природной среды Мирового океана.

Продолжается работа по мониторингу информационных ресурсов ЕСИМО, доступных на портале СИТУ ВП ЕСИМО, с использованием специального программного обеспечения портала. Информационные ресурсы, потерявшие актуальность или имеющие ошибки, исключаются из общего каталога информационных ресурсов СРБД ЕСИМО портала СИТУ ВП ЕСИМО. Соответствующие заявки (оповещения) по качеству ресурсов ЕСИМО отправляются в центр по методическому и информационно-технологическому обеспечению функционирования ЕСИМО.

Реализована возможность сбора информационных ресурсов Росгидромета (цифровые данные) средствами СИТУ ВП ЕСИМО в стандартизованных форматах данных, принятых в ЕСИМО, и передача их в «закрытый» контур заинтересованным потребителям военной подсистемы ЕСИМО в ручном режиме с помощью отчуждаемых носителей. После выполнения работ по установке программно-аппаратного комплекса «Алеврит» и сопряжению его с СИТУ военной подсистемы ЕСИМО этот процесс автоматизирован. Но эта информация требует дополнительной обработки с помощью специального программного обеспечения. Данные ресурсы размещаются на сайте 373 Центра ВМФ и доступны в корпоративной сети ГС ВМФ.

В перспективе программно-аппаратные средства ВП ЕСИМО должны:

- принимать и обрабатывать информационные ресурсы в стандартизованных форматах данных, принятых в ЕСИМО, которые были получены установленным порядком от центра ЕСИМО МО, визуализировать их с целью непосредственного использования при принятии решений;

- предоставлять абонентам ВП ЕСИМО соответствующие прикладные услуги (геосервисы, геоанализ, использование автономных расчетно-модельных комплексов, аналитические представления), используя сформированные наборы данных, полученные установленным порядком от центра ЕСИМО МО;

- интегрировать данные в информационные системы органов военного управления.

В результате выполнения опытно-конструкторской работы (ОКР) «Создание комплекса автономных средств гидрометеорологического обеспечения пунктов базирования и районов боевой подготовки ВМФ» (шифр – «Якорь») изготовлен опытный образец, который успешно прошел государственные испытания осенью 2014 г. Комплекс состоит из:

- подсистемы измерительной гидрометеорологической автономной, базирующейся на поверхностном буе (ПИГМА-1);

- подсистемы измерительной гидрологической автономной, базирующейся на притопленном буе (ПИГМА-2);

- подсистемы измерительной метеорологической автономной береговой (ПИГМА-3);

- подсистемы получения информации и контроля работоспособности корабельной (ППИ-1);

- подсистемы получения информации гидрометеорологическими центрами ВМФ (ППИ-2).

Учитывая вышеизложенное, нам представляется целесообразным разработать и создать современный программно-аппаратный комплекс военного назначения по сбору, обработке и представлению оперативной гидрометеорологической информации. В этом комплексе должны быть решены задачи, возложенные на военный контур ЕСИМО, а также расширены возможности получения данных о текущей гидрометеорологической обстановке от существующих и перспективных технических средств военного назначения, предназначенных для измерения гидрометеорологических элементов. Эту работу предлагается выполнить в рамках ОКР Министерства обороны. В процессе ее необходимо:

- разработать и включить в технологический процесс гидрометеообеспечения банки и базы данных, а также пакеты прикладных программ для представления потребителям по установленному регламенту или запросам климатических и справочных данных;

- создать программно-аппаратный комплекс, который обеспечивает различное пространственно-временное обобщение информации (оперативная информация, прогнозы различной заблаговременности, климатическая и другая справочная информация);

- ввести в технологический процесс гидрометеообеспечения разработку или усвоение из внешних источников океанологических (морских гидрологических) прогнозов: течений, положения фронтальных разделов, зон поднятия и опускания водных масс и др., необходимых для оценки условий использования средств обнаружения и условий скрытности подводных объектов и т.д.

В результате комплекс задач по производству наблюдений за гидрометеорологической обстановкой на кораблях, судах, береговых станциях и постах, а также задач гидрометеорологического обеспечения авиации ВМФ и освещения гидрометеорологической обстановки в полигонах и прибрежных районах будет решаться на требуемом качественном уровне, отвечающем мировым стандартам.

Программно-аппаратные средства (ПАС), разрабатываемые в предлагаемом комплексе, функционально могут быть разбиты на две группы:

- группа ПАС, обеспечивающая сбор, предварительную обработку, накопление и отображение текущей ГМИ;
- группа ПАС оперативной обработки, архивации и доведения данных до гидрометеоподразделений и органов управления ВМФ.

Первая группа ПАС должна представлять собой специализированные автоматизированные рабочие места, созданные на базе приборов управления и индикации (ПУИ) и специального программного обеспечения (СПО), работающих в режиме локальной вычислительной сети и состоящих из:

- ПАС «Гидрометеонаблюдатель»;
- ПАС «Метеоспутник»;
- ПАС «Оператор гидрометеосвязи».

Во вторую группу должны входить:

- ПАС «Гидрометеоролог-прогнозист»;
- ПАС «Гидрометеоконсультант»;
- «Сервер», обеспечивающий архивацию и долговременное хранение накопленных данных;
- аппаратура информационного сопряжения.

ПАС «Гидрометеонаблюдатель», входящие в состав первой группы, должен обеспечивать приём, обработку, отображение и архивацию гидрометеорологической информации, поступающей от метеостанций, гидрометеостанций, якорных и дрейфующих буёв, а также формирование сообщений в формате КН-01, МЕТЕОТАБЛО, METAR и подготовку более полной гидрометеорологической информации в формате, ориентированном на дальнейшее использование синоптиком при подготовке диагноза и прогноза погоды. Кроме того, функционирование ПАС должно обеспечивать отображение и передачу гидрометеорологической информации потребителям в формате МЕТЕОТАБЛО.

ПАС «Метеоспутник», входящие в состав аппаратуры приёма метеоинформации от ИСЗ, должны обеспечивать приём, а также полную обработку метеорологической информации, поступающей от метеорологических космических аппаратов типа «Метеор-2.3», «NOAA», «Meteosat» в международных форматах APT, WEFAX и HRPT, по специальной программе. Подготовка форм хранения и представления спутниковой информации должна обеспечиваться в виде, удобном для совмещения с радиолокационной метеорологической информацией и картами погоды.

ПАС «Оператор гидрометеосвязи» должны обеспечивать приём, обработку, документирование, визуализацию и архивирование поступающей гидрометеорологической информации по линиям связи.

При этом источниками первичной информации являются метеорологический центр коммутации сообщений UNIMAS. MTS, TransMet, а также другие существующие и перспективные комплексы.

Кроме того, функционирование ПАС «Оператор гидрометеосвязи» должны обеспечивать возможность выдачи:

- запросов о фактической (METAR) и прогностической (TAF) погоде по аэродромам прилёта и запасным аэродромам;
- готовой вторичной гидрометеорологической продукции в виде факсимильных карт по линиям тональной частоты на амплитудной и амплитудно-частотной модуляции;
- готовой вторичной гидрометеорологической информации по цифровым линиям связи (телеграфные, модемные, выделенные и коммутируемые линии связи – METAR, SPECI, TAF, КН-01, МЕТЕОТАБЛО и пр.).

ПАС «Гидрометеоролог-прогнозист» должны обеспечивать обобщение всей поступающей ГМИ, подготовку и формирование диагностической и прогностической информации, подготовку специализированных форм представления гидрометеорологических данных, необходимых для решения задач ГМО ВМФ.

ПАС «Гидрометеоконсультант» должны обеспечивать доведение гидрометеороинформации до широкого круга конечных потребителей с использованием, в том числе, оптоволоконных каналов связи.

Такая система позволит:

- более полно учитывать гидрометеорологические особенности районов базирования и боевой подготовки;
- повысить полноту и качество ГМО за счет получения гидрометеорологических данных из малоосвещённых в гидрометеорологическом отношении районов;
- повысить оперативность сбора и доведения ГМИ до потребителей за счет использования существующих каналов связи, включая космические.

Будет решена проблема информационно-технического взаимодействия программно-аппаратного комплекса военного назначения по сбору, обработке и представлению оперативной ГМИ с современными военными комплексами передачи данных, системами управления и освещения обстановки ВМФ.

Комплекс должен обеспечивать поступление и обработку разнородной ГМИ, циркулирующей в каналах Росгидромета и АС ГМО.

Как показывают результаты наших исследований, за счёт более полного и оперативного учёта гидрометеорологических факторов в итоге может быть обеспечено повышение оправдываемости прогнозов до 10 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по гидрометеорологическому обеспечению морской деятельности. – Гидрометцентр России, 2009. – С. 172.
2. Федеральная целевая программа «Мировой океан» [Электронный ресурс] / Военный контур «ЕСИМО». – URL: <http://okeyany.com/vk/arch.htm>

STATUS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT FOR SOFTWARE AND HARDWARE OF THE SUBSYSTEM USED TO COLLECT, PROCESS, TRANSFER AND STORE THE HYDROMETEOROLOGICAL INFORMATION IN THE NAVY.

A. E. Drozdov, N. N. Zhiltsov, V. P. Sviridov («GNINGI» OJSC)

Status and prospects of development for software and hardware of the subsystem used to collect, process, transfer and store the hydrometeorological information are considered. The necessity to develop the similar up-to-date military-purpose software-hardware complex is substantiated.

Памяти контр-адмирала Сергея Петровича АЛЕКСЕЕВА

Коллектив нашего института понёс невосполнимую утрату.

8 апреля 2015 г. в результате тяжёлой болезни ушёл из жизни замечательный человек, президент ОАО «ГНИНГИ», доктор технических наук, профессор, Заслуженный военный специалист Российской Федерации, Лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники, контр-адмирал АЛЕКСЕЕВ Сергей Петрович.

После окончания средней школы С. П. Алексеев поступил в ВВМУ им. М. В. Фрунзе, которое окончил с отличием в 1972 году. Затем проходил службу на Северном флоте командиром электро-навигационной группы, командиром штурманской боевой части новейших ракетных подводных крейсеров стратегического назначения (1972–1977 гг.), помощником флагманского штурмана (1977–1981 гг.). С 1981 по 1983 гг. обучался и с отличием окончил ВМА им. А. А. Гречко.

В 1983 г. назначен флагманским штурманом дивизии подводных лодок, а затем флагманским штурманом флотилии подводных лодок Северного флота (1987–1990 гг.). В 1984 г. являлся председателем Государственной комиссии по испытаниям и приемке на вооружение нового навигационного комплекса для ракетных подводных крейсеров стратегического назначения. В 1988 и 1990 гг. руководил штурманами во время трансарктических переходов атомных подводных лодок.

С. П. Алексеев – ветеран подразделений особого риска, участник девяти дальних походов, из которых пять проходили подо льдами Арктики.

С 1990 г. Сергей Петрович – заместитель начальника 9 НИНГИ МО. В 1999 г. назначен начальником Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института Министерства обороны Российской Федерации, в мае 2012 г. стал президентом ОАО «ГНИНГИ». За время руководства коллективом института Сергей Петрович проявил себя как выдающийся учёный, талантливый руководитель. Он являлся ведущим учёным Военно-Морского Флота в области военной навигации, гидрографии, гидрометеорологии и океанографии. Лично возглавлял исследования по формированию системы взглядов на развитие системы навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения оборонной и экономической деятельности на море, отвечал за научное обоснование рационального облика системы НГГМО в современных условиях.

В 2010 г. С. П. Алексеев возглавил важнейшее направление – комплекс морских экспедиционных исследований по определению внешней границы континен-



Сергей Петрович
АЛЕКСЕЕВ
20.08.1950 – 08.04.2015

тального шельфа Российской Федерации в Арктике и добился полного выполнения поставленной государством задачи.

С. П. Алексеев – автор 250-ти печатных трудов, в том числе трех монографий. Более десяти лет он возглавлял редакционную коллегию журнала «Навигация и гидрография», неустанно работая над повышением его научного уровня.

Контр-адмирал С. П. Алексеев Награжден орденами Красной Звезды, «За службу Родине в Вооруженных силах СССР» 3-й степени, медалью «За боевые заслуги», медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени и рядом других наград.

Жизнь Сергея Петровича является примером вдохновенного служения Отечеству. Его смерть – тяжелая утрата для российской науки, Военно-Морского Флота, для всех людей, которым посчастливилось знать этого яркого, умного и талантливое человека.

Руководство и сотрудники Института, сослуживцы, коллеги Сергея Петровича глубоко скорбят о его преждевременной смерти и выражают искренние соболезнования родным и близким по случаю утраты дорогого и любимого человека.

Память о Сергее Петровиче навсегда останется в наших сердцах.

Контр-адмирал С. П. Алексеев похоронен в г. Санкт-Петербурге на Смоленском православном кладбище.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

БОЛЬШЕВ Александр Станиславович,

профессор Инженерно-строительного института, СПбГПУ, докт. техн. н. Окончил факультет Технической кибернетики Ленинградский политехнический институт по специальности «Автоматика и телемеханика». Специализация: разработка теоретических методов и методов математического моделирования внешних воздействий на сооружения континентального шельфа, статики и динамики этих сооружений под действием регулярных и нерегулярных нагрузок; программных комплексов для автоматизации проектирования морских сооружений; разработка научно-методологических основ внедрения проблемно-ориентированных программных комплексов в учебный процесс при подготовке инженеров-строителей. Автор более 100 научных трудов.

E-mail: bolshev@cef.spbstu.ru

ГАСНИКОВ Олег Александрович,

начальник отдела НИОЦ ОАО «ГНИНГИ», канд. техн. н. Окончил Ленинградское высшее инженерное морское училище им. С. О. Макарова, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. Член подкомитетов Технических комитетов по стандартизации ТК 23 «Нефтяная и газовая промышленность» и ИСО ТК 67 «Материалы, оборудование и морские сооружения в нефтяной, нефтехимической и газовой промышленности» Специализация: гидрометеорология, вычислительная техника. Автор более 50 научных трудов.

E-mail: gasole@bk.ru

ДРОЗДОВ Александр Ефимович,

ведущий научный сотрудник гидрометеорологического отдела ОАО «ГНИНГИ», канд. техн. н., капитан 1 ранга в отставке. Окончил Ленинградский электротехнический институт. Специализация – технические средства гидрометеорологии. Автор более 50 печатных работ.

E-mail: akvaley@gmail.com

Aleksandr S. BOLSHEV,

Professor of SPbSPU, DSc. Graduated from Leningrad Polytechnical Institute, faculty of Technical cybernetics, majoring in “Automatics and Telemechanics”. Speciality: development of theoretical methods and methods of mathematical modelling the outer influence on continental shelf structures, statics and dynamics of these structures under the influence of regular and irregular loads; program complexes for automated design of marine structures; development of research methodological bases for implementation of problem-oriented program complexes in educational process for construction engineers. Author of more than 100 scientific works.

E-mail: bolshev@cef.spbstu.ru

Oleg A. GASNIKOV,

Chief of division, Research Oceanographic Center “GNINGI” OJSC, CandSc. Graduated from Leningrad Makarov Engineering Maritime College. St. Petersburg State Polytechnical University. Member of subcommittees of Technical Committees for Standardization, TC 23 “Oil and Gas Industry” and TC 67 “Materials, Equipment and Marine Structures in the Oil, Oil chemical and Gas Industry”. Speciality: hydrometeorology, computer equipment. Author of more than 50 scientific works.

E-mail: gasole@bk.ru

Alexander E. DROZDOV,

Leading researcher of hydrometeorological division «GNINGI» OJSC, CandSc, Captain I Rank (Ret.). Graduated from Leningrad Electrotechnical Institute. Speciality – technical aids to hydrometeorology. Author of more than 50 scientific publications.

E-mail: akvaley@gmail.com

ЖИЛЬЦОВ Николай Николаевич,

заместитель начальника управления гидрографии, геофизики и гидрометеорологии ОАО «ГНИНГИ», капитан 1 ранга в запасе. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – гидрометеорология. Автор 70 печатных работ.

E-mail: 12345nik1@rambler.ru

ЖУКОВ Юрий Николаевич,

ведущий научный сотрудник ОАО «ГНИНГИ», докт. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт. Специализация – гидрометеорология. Автор более 70 печатных трудов.

Тел.: +7(812)322-63-39

ЗАРУБИН Сергей Михайлович,

начальник отдела научных экспериментальных исследований ОАО «ГНИНГИ», капитан 1 ранга в запасе. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Область научных интересов – гидрография, НГО.

E-mail: zarubinsm@mail.ru

ЗУБЧЕНКО Эдуард Семенович,

профессор Военно-морской академии им. Н. Г. Кузнецова, капитан 1 ранга в отставке, докт. техн. н., профессор. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе, Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – навигационно-гидрографическое обеспечение, аэрокосмические методы сбора гидрографической информации, геоинформационные технологии. Автор 57 печатных трудов, в том числе монографии по морским геоинформационным системам.

E-mail: ezyb@mail.ru

МАЛЕЕВ Павел Иванович,

ведущий научный сотрудник ОАО «ГНИНГИ», капитан 1 ранга в отставке, докт. техн. н. Окончил Казахский государственный университет, Специальные курсы при Военно-морской академии им. А. Н. Крылова. Специализация – технические средства навигации. Автор около 290 печатных трудов.

E-mail: info@gningi.ru

Nikolai N. ZHILTSOV,

Deputy chief of geography, geophysics and hydrometeorology department, «GNINGI» OJSC. Captain I Rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College and N. G. Kuznetsov Naval Academy. Speciality – hydrometeorology. Author of 70 publications.

E-mail: 12345nik1@rambler.ru

Yuri N. ZHUKOV,

Leading researcher, «GNINGI» OJSC, DSc. Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute. Speciality: hydrometeorology. Author of more than 70 publications.

Tel.: +7(812)322-63-39

Sergei M. ZARUBIN,

Chief of division for scientific experimental explorations, «GNINGI» OJSC, Captain I Rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College. Sphere of scientific interests: hydrography, navigation-hydrographic support.

E-mail: zarubinsm@mail.ru

Edward S. ZUBCHENKO,

Professor of the N. G. Kuznetsov Naval Academy, DSc, the professor, Captain I Rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College, the Naval Academy. Specialization – navigation and hydrographic support, remote sensing methods of collecting the hydrographic information, geoinformation technologies. Author of 57 publications, including monographs on sea geoinformation systems.

E-mail: ezyb@mail.ru

Pavel I. MALEYEV,

Leading researcher, «GNINGI» OJSC. Captain I Rank (Ret.), DSc. Graduated from Kazakh State University, Specialized Course at Krylov Naval Academy. Speciality: technical means of navigation. Author of about 290 publications.

E-mail: info@gningi.ru

СВИРИДОВ Валерий Петрович,

начальник гидrometeorологического отдела ОАО «ГНИНГИ», заслуженный метеоролог РФ, подполковник в запасе. Окончил Воронежское высшее военное авиационное инженерное училище. Специальность – метеорология. Автор пяти печатных работ.

E-mail: 23otdel@rambler.ru

СТАВРОВ Константин Георгиевич,

начальник научно-исследовательского океанографического центра ОАО «ГНИНГИ», докт. техн. н. , профессор. Окончил Ленинградский государственный университет. Специализация: океанография, морская геофизика. Автор более 200 научных трудов.

E-mail: stavrov@gningi.ru

ШХИНЕК Карл Натанович,

профессор Инженерно-строительного института, СПбГПУ, докт. физ.-мат. н. Окончил Ленинградский кораблестроительный институт по специальности «Гидромеханика и прочность корабля». Специализация: сейсмология, гидромеханика, механика деформируемого твердого тела, механика пористых сред, динамические нагрузки на сооружения, возводимые на шельфе арктических морей. Автор и соавтор более 170 статей, опубликованных в СССР, России и за рубежом. Является соавтором семь монографий, трех учебных пособий и 18 изобретений.

E-mail: karl-1303@mail.ru

ЯРОШЕНКО Сергей Андреевич,

заместитель начальника отдела ОАО «ГНИНГИ». Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе по специальности инженер-штурман и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова по специальности командно-инженерная оперативно-тактическая штурманская ВМФ. Автор 64 научных трудов.

E-mail: serg-tk13@yandex.ru

Valery P. SVIRIDOV,

Chief of hydrometeorological division “GNINGI” OJSC, Distinguished RF meteorologist, lieutenant-colonel (Ret.). Graduated from Voronezh Military Aircraft Engineering College. Speciality – meteorology. Author of 5 publications.

E-mail: 23otdel@rambler.ru

Konstantin G. STAVROV,

Chief of Research Oceanographic Centre, “GNINGI” OJSC, DSc, professor. Graduated from Leningrad State University. Specialization: oceanography, marine geophysics. Author of more than 200 scientific works.

E-mail: stavrov@gningi.ru

Karl N. SHKHINEK,

Professor of SPbSPU, DSc. Graduated from Shipbuilding Institute, majoring in “Hydromechanics and ship strength”. Speciality: seismology, hydro-mechanics, mechanics of deformed solid body, mechanics of porous media, dynamic loads on structures built on the shelf of the Arctic seas. Author and co-author of more than 170 articles published in the USSR, Russia and abroad; the co-author of 7 monographs, 3 textbooks and 18 inventions.

E-mail: karl-1303@mail.ru

Sergei A. YAROSHENKO,

Deputy chief of division “GNINGI” OJSC. Graduate from Frunze Naval College as engineer-navigator and N. G. Kuznetsov Naval Academy majoring as command-engineering and operative-tactical navigator. Author of 64 scientific works.

E-mail: serg-tk13@yandex.ru

РЕФЕРАТЫ

УДК 629.127.4-52

Проблемы средств навигации автономных необитаемых подводных аппаратов и возможные пути их решения. П. И. Малеев. – Навигация и гидрография. – 2015. – № 39. – С. 7–11.

Рассмотрены задачи, решаемые автономными необитаемыми подводными аппаратами, необходимые для них средства навигации, а также трудности использования существующих судовых аналогов этих средств и возможные пути их преодоления.

Ключевые слова: Автономные необитаемые подводные аппараты, инерциальные навигационные системы, лаги, гироскопы, гидроакустические средства навигации, спутниковые навигационные системы.

УДК 389.001

Метод выбора оптимальной по стоимости и качеству системы курсоуказания и стабилизации морских объектов. С. А. Ярошенко. – Навигация и гидрография. – 2015. – № 39. – С. 12–16.

В статье рассмотрен метод выбора оптимальной по стоимости и качеству системы курсоуказания и стабилизации морских объектов и его практическое применение. Было установлено, что наиболее предпочтительной для пользователя системой курсоуказания и стабилизации является система «Бемоль».

Ключевые слова: Технические характеристики, стоимость, потребитель, система курсоуказания и стабилизации, показатель качества, категория, вес, оценка.

УДК 629.5.051.52: 550.312

Метод обоснования требований высокоточной автономной навигации к цифровой модели гравитационного поля Земли. Э. С. Зубченко. – Навигация и гидрография. – 2015. – № 39. – С. 16–24.

Рассматривается метод обоснования требований к цифровой модели гравитационного поля Земли для обеспечения высокоточной автономной навигации. В основе метода – использование спектральных плотностей погрешностей модели и передаточной функции инерциальной навигационной системы для вычисления средней квадратической погрешности выработки навигационным комплексом координат места в зависимости от продолжительности автономной навигации. Приведены результаты моделирования данной погрешности для различных значений параметров модели поля, подтверждающие возможность использования метода на практике.

Ключевые слова: Цифровая модель гравитационного поля Земли, функция спектральной плотности остаточных аномалий гравитационного поля, функция спектральной плотности погрешности модели, инерциальная навигационная система, передаточная функция навигационного комплекса, погрешность выработки координат места.

УДК 551.467 + 627.034

Результаты моделирования сценариев взаимодействия айсбергов с морскими нефтегазодобывающими комплексами. О. А. Гасников, К. Г. Ставров, А. С. Большев, К. Н. Шхинек. – Навигация и гидрография. – 2015. – № 39. – С. 25–32.

Освоение нефтегазовых месторождений арктических морей России является сложнейшей научно-технической и организационно-экономической задачей и относится к опасным видам экономической деятельности. Наличие айсбергов на акваториях морских месторождений ведет к появлению особых рисков, обусловленных возможностью столкновения айсберга с объектами обустройства месторождений. Приводятся результаты компьютерного моделирования сценариев взаимодействия айсбергов с морскими добывающими комплексами. Оценены риски таких взаимодействий. Показано, что предлага-

емая технология вероятностного анализа динамических моделей может значительно снизить степень неопределенности в оценке айсберговой опасности при проектировании морских сооружений.

Ключевые слова: Нефтегазовые месторождения, арктический регион, управление ледовой обстановкой, айсберги, морские добывающие платформы.

УДК – 528.94

Результаты комплексных морских исследований 2014 года по уточнению параметров внешней границы континентального шельфа (ВГКШ) в Северном Ледовитом океане. С. М. Зарубин. – Навигация и гидрография. – 2015. – № 39. – С. 33–41.

Статья посвящена результатам дополнительных батиметрических и гравиметрических исследований, а также навигационного обеспечения сейсморазведки в рамках подготавливаемого Представления РФ на расширенный континентальный шельф в Северном Ледовитом океане.

Ключевые слова: Гидрографо-геофизические работы, Арктика, батиметрическая съемка, гравиметрическая съемка.

УДК 528.92

Приливы и сейши. Как различить? Ю. Н. Жуков. – Навигация и гидрография. – 2015. – № 39. – С. 42–47.

Приводятся основные свойства пространственного распределения фаз приливов и сейш и на основе этих свойств – определения последних. Даются характеристические свойства приливов и сейш и критерии разделения сейш от приливов.

Ключевые слова: Приливы, сейши, определения.

УДК 528.92

Логические особенности математических моделей в гидрометеорологии. Ю. Н. Жуков. – Навигация и гидрография. – 2015. – № 39. – С. 48–52.

Рассмотрены логические особенности, лежащие в основе разработки вероятностных и гидродинамических моделей в гидрометеорологии. Особое внимание уделено процедуре экспликации – логическим основаниям перехода от индуктивных понятий к дедуктивным.

Ключевые слова: Логика, гидрометеорология, экспликация.

УДК 551.501; 551.508

Состояние и перспективы развития программно-аппаратных средств подсистемы сбора, обработки, передачи и хранения гидрометеорологической информации в ВМФ. А. Е. Дроздов, Н. Н. Жильцов, В. П. Свиридов. – Навигация и гидрография. – 2015. – № 39. – С. 53–58.

Рассмотрены состояние и перспективы развития подсистемы сбора, обработки, передачи и хранения гидрометеорологической информации. Обоснована необходимость разработки подобного современного программно-аппаратного комплекса военного назначения.

Ключевые слова: Гидрометеорологическое обеспечение, гидрометеорологическая информация, ЕСИМО, информационно-измерительная система, информационные ресурсы, программно-аппаратные средства.

ABSTRACTS

Problems of Navigational Aids for Autonomous Unmanned Submarine Vehicles and Possible Ways of their Solution. P. I. Maleyev. – Navigation and Hydrography. – 2015. – No. 39. – P. 7–11.

The tasks carried out by the autonomous unmanned submarine vehicles, the navigational aids required for them, the difficulties of employment of the existing ship analogs of these aids and the possible ways of their overcoming are considered.

Key words: Autonomous unmanned submarine vehicles, inertial navigation systems, logs, gyroscopes, hydroacoustic navigational aids, satellite navigation systems.

Method of Selection of the Optimum Cost-Effective and Quality System for Heading Indication and the Marine Objects Stabilization. S. A. Yaroshenko – Navigation and Hydrography. – 2015. – No. 39. – P. 12–16.

The method of selection of the optimum cost-effective and quality system for heading indication and the marine objects stabilization and its applications are considered. It was established that «Бемоль» is the preferable heading indication and stabilization system for the users.

Key words: Technical characteristics (specifications), cost, user, heading indication and stabilization system, quality index, category, weight, evaluation.

Substantiation Method for High-accuracy Autonomous Navigation Requirements to Digital Model of the Earth's Gravitational Field. E. S. Zubchenko. – Navigation and Hydrography. – 2015. – No. 39. – P. 16–24.

The method of requirements substantiation to digital model of the Earth's gravitational field for provision of high-accuracy autonomous navigation is considered. The method is based on the use of spectral densities of model and transfer function of inertial navigation system for calculation of root-mean-square error in determining the position co-ordinates by the navigation complex depending on the duration of autonomous navigation. Results of modelling the error for various values of field model parameters confirming the possibility of obtaining the practical results of evaluation are presented.

Key words: Digital model of the Earth's gravitational field, function of spectral densities of residual anomalies of gravitational field, function of spectral density of model, inertial navigation system, transfer function of navigation complex, error of calculation of position co-ordinates.

Modelling the Scenarios of Collision of Icebergs with the Offshore Oil and Gas Production Complexes. O.A. Gasnikov, K. G. Stavrov, A. S. Bolshev, K. N. Shkhinek. – Navigation and Hydrography. – 2015. – No. 39. – P. 25–32.

Development of oil and gas fields of the Arctic seas of the Russian Federation is the most complex scientific, technical and organizational-economic problem; it belongs to dangerous kinds of economic activities. Presence of icebergs in water areas of sea deposits generates the special risks caused by possibility of collision of an iceberg with objects of arrangement. The results of computer simulation scenarios of icebergs interaction with offshore production platforms are presented. Risks of such interactions are estimated. It is shown that the proposed technology for probabilistic analysis of dynamic models can significantly reduce the degree of uncertainty in the assessment of the danger of icebergs in the design of offshore structures.

Key words: Oil and gas field, the Arctic region, management of ice situation, iceberg, offshore production platforms.

Results of Complex Marine Explorations (in 2014) with the Aim to Define More Exactly the Parameters of the Outer Limits of the Russian Federation Continental Shelf in the Arctic Ocean. S. M. Zarubin. – Navigation and Hydrography. – 2015. – No. 39. – P. 33–41.

The results of additional bathymetric and gravimetric explorations as well as the navigational support for the seismic reconnaissance in the framework of the RF Application being prepared for increased continental shelf in the Arctic Ocean are presented.

Key words: Hydrographic and geophysical explorations, the Arctic, bathymetric survey, gravimetric survey.

Tides and Seiches. How to Differentiate between Them? Y. N. Zhukov. – Navigation and Hydrography. – 2015. – No. 39. – P. 42–47.

The main qualities of the spatial distribution of phases for tides and seiches are presented. Based on these qualities the definitions of tides and seiches are given. The characteristic properties of tides and seiches are given. The criteria for differentiating the tides from the seiches are presented.

Key words: Tides, seiches, definitions.

Logical Specific Features of Mathematical Models in Hydrometeorology. Y. N. Zhukov. – Navigation and Hydrography. – 2015. – No. 39. – P. 48–52.

The logical specific features that are the basis of development of probabilistic and hydrodynamic models in hydrometeorology are considered. Special attention is paid to the procedure of explication – the logical bases of transition from inductive to deductive notions.

Key words: Logic, hydrometeorology, explication.

Status and Prospects of Development for Software and Hardware of the Subsystem Used to Collect, Process, Transfer and Store the Hydrometeorological Information in the Navy. A. E. Drozdov, N. N. Zhiltsov, V. P. Sviridov. – Navigation and Hydrography. – 2015. – No. 39. – P. 53–58.

Status and prospects of development for software and hardware of the subsystem used to collect, process, transfer and store the hydrometeorological information are considered. The necessity to develop the similar up-to-date military-purpose software-hardware complex is substantiated.

Key words: Hydrometeorological support, hydrometeorological information, Unified System of Information on the World Ocean State, information-measurement system, information resources, software and hardware.

ИНФОРМАЦИЯ

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, знакомит с передовыми техническими достижениями, с материалами симпозиумов, конференций и хроникой важнейших событий научной жизни. Статьи журнала рецензируются.

Журнал «Навигация и гидрография» включен в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук».

Журнал выходит четыре раза в год и 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

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 прилагаются *аннотация, ключевые слова и сведения об авторах*.

В аннотации приводятся сведения, которые дополняют название и характеризуют тему статьи, рассмотренную проблему, цель и полученные результаты.

В качестве ключевых приводятся слова или словосочетания из текста статьи, несущие существенную смысловую нагрузку с точки зрения информационного поиска. Выбор ключевых слов должен осуществляться по всему тексту статьи с охватом основных смысловых аспектов её содержания.

В сведениях об авторах указываются: фамилия, имя, отчество; полное наименование учреждения, где работает автор; должность; ученая степень, звание; воинское звание (для военнослужащих); полное наименование высшего учебного заведения, которое окончил автор; специализация; количество опубликованных научных трудов. Кроме того, авторам необходимо указать контактную информацию: почтовый или 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 должны быть вставлены в текст как *графический* файл, 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.

Подписка на журнал «Навигация и гидрография»

Журнал «Навигация и гидрография» включён в каталог «Издания органов научно-технической информации» агентства «Роспечать». Подписной индекс 60941.

Периодичность выхода – четыре номера в год.

Стоимость одного номера 200 руб., включая НДС 18%.

Для заказа издания непосредственно в редакции необходимо направить в адрес редакции заявку в произвольной форме с указанием номера(ов) журнала, контактных данных и реквизитов заказчика.

Архив журнала в формате PDF доступен на сайте ОАО «ГНИНГИ» www.gningi.ru.

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, 2015, №39

Научный редактор П. И. Малеев
Редактор И. Ю. Бугрова
Редактор-переводчик Г. В. Трибуц
Технический редактор В. Ю. Бахмутов

Подписано в печать 24.04.2015 г.
Тираж 300 экз.
Заказ № 03/32 от 27.04.2015 г.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-43932.

Подписной индекс в каталоге «Издания органов НТИ» Агентства «Роспечать» 60941

Журнал «Навигация и гидрография» включен в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук»

Электронная версия журнала размещена на сайте www.gningi.ru

**© ОАО «Государственный научно-исследовательский
навигационно-гидрографический институт»**