

ISSN 2220-0983

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

40/2015

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ



Санкт-Петербург

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

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

ИЗДАЕТСЯ С 1995 ГОДА

**40
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

**40
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. Mastryukov, 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

Обзор современного состояния навигационных эхолотов отечественного производства. Ю. М. Репин, А. В. Майгов.....	7
Взаимозависимость световых и энергетических параметров источников света сно на основе светодиодных излучателей. Е. П. Гладских, В. Н. Костин, В. А. Максимов, Ю. М. Репин	12
К вопросу об определении по спутникам положения и скорости объекта при наличии нарушения синхронизации измеренных псевдодальностей. В. В. Гаврилов, П. И. Малеев.....	19
Многоуровневая модель идентификации опасных ситуаций береговыми системами управления движением судов. В. М. Гриняк, Л. В. Герасименко, А. С. Девятисильный	29

ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

Уточненные зависимости между географическими и квазигеографическими координатами с учетом сфероидичности Земли. А. В. Каврайский	39
К вопросу о переходе к координатным системам ПЗ-90.11 и ГСК-2011 при картографировании морских акваторий в интересах навигационно-гидрографического обеспечения ВМФ. Э. С. Зубченко В. М. Смолин, А. М. Шарков.....	51

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

Интервальное представление скалярных гидрометеорологических характеристик. Ю. Н. Жуков.....	57
Физические законы и климатические пособия. Ю. Н. Жуков.....	63
Современное состояние оперативной океанологии ВМС США и других государств. С. И. Мастрюков, Н. В. Червякова.....	70
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	79
РЕФЕРАТЫ	82

C O N T E N T S

NAVIGATION

Review of the Current Status of the Nationally-Produced Navigation Echosounders. Y. M. Repin, A. G. Maigov	7
Interdependence of Light and Energy Parameters for the Light Sources of the Aids to Navigation Based on the LED Sources. E. P. Gladskikh, V. N. Kostin, V. A. Maksimov, Y. M. Repin	12
On Obtaining the Position and Speed of an Object by Satellites in Case of Synchronization Disruption for Measured Pseudo-ranges. V. V. Gavrilov, P. I. Maleyev	19
Multilevel Model of Ships Collision Risk Assessment. V. M. Grinyak, L. V. Gerasimenko, A. S. Devyatisilny.....	29

HYDROGRAPHY AND MARINE CARTOGRAPHY

Refined Relationships Between Geographic and Quasigeographic coordinates Taking the Earth's Spheroidicity into Account. A. V. Kavraisky	39
On Change to ПЗ-90.11 and ГСК-2011 Co-ordinate Systems When Charting the Marine Water Areas in the Interests of Navigation-Hydrographic Support for the Navy. E. S. Zubchenko, V. M. Smolin, A. M. Sharkov	51

HYDROMETEOROLOGY

Interval Representation of Scalar Hydrometeorological Characteristics. Y. N. Zhukov.....	57
Physical Laws and Climate Aids. Y. N. Zhukov	63
The Present-Day State of the Operational Oceanology of the US Navy and Other Countries. S. I. Mastryukov, N. V. Chervyakova.....	70

INFORMATION ABOUT AUTHORS	79
--	----

ABSTRACTS	82
------------------------	----

НАВИГАЦИЯ

ГРНТИ 629.12

ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ЭХОЛОТОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Ю. М. РЕПИН (ОАО «ГНИНГИ»),
А. В. МАЙГОВ (ОАО НТП «Нави-Далс»)

Приводится краткий обзор современного состояния навигационных эхолотов. Показаны актуальность и направления дальнейшего совершенствования отечественного производства данных средств.

Навигационные эхолоты принадлежали и продолжают принадлежать к основным средствам обеспечения навигационной безопасности плавания кораблей и судов Военно-Морского Флота. В настоящее время в составе морских средств навигации надводных кораблей и подводных лодок, модернизация которых планируется, находятся навигационные эхолоты, принятые на вооружение в 1960–1970-х годах (НЭЛ-М1, НЭЛ-М5, НЭЛ-М2, НЭЛ-МЗБ). Все эти эхолоты выпускались НПО «РИФ» (г. Бельцы, Молдова), которое после распада СССР оказалось за границей. Сегодня эта техника морально и физически устарела (старая элементная база, выработанный ресурс, практически исчерпанные запасы ЗИП и т. п.) Поддержание технической готовности эхолотов с каждым годом вызывает все больше затруднений из-за отсутствия поставок комплектующих изделий и запасных частей.

К отечественным предприятиям, разрабатывающим в настоящее время навигационные эхолоты, относятся НПО «Промэлектроника», ЗАО «Промышленные компьютерные технологии», ОАО «Концерн «Электроприбор», ОАО «Научно-техническое предприятие «Нави-Далс». Как правило, разработки ведутся в инициативном порядке за счет собственных средств предприятий или в рамках заказов по созданию новых навигационных комплексов. Промышленная кооперация в сфере производства морских средств навигации отсутствует.

Еще недавно единственным эхолотом, закупаемым для ВМФ, был навигационный эхолот НЭЛ-20К, разработанный НПО «Промэлектроника» в 1995 г. с диапазоном измеряемых глубин от 0,3 до 400 м.

В последнее десятилетие появилось несколько образцов эхолотов, разработанных вышеперечисленными предприятиями:

– ЗАО «Промышленные компьютерные технологии» (ЗАО «ПКТ») в инициативном порядке разработало навигационный эхолот НЭ-610. После прохождения межведомственных испытаний эхолота (2006 г.) начата его поставка на корабли пограничной службы ФСБ РФ;

– ОАО «Концерн «Электроприбор» разработаны совмещенные лаги серии СВСГ «Амазонка» (СВСГ – «система выработки скорости и глубины»), включающие канал

эхолота. Эти системы устанавливаются на строящиеся корабли пр. 885, 885М, 636, 677;

– ОАО «Концерн «Электроприбор» (в рамках ОКР «Луга-Э») разработал эхолот ЭН-200, который сертифицирован Российским Морским Регистром судоходства, Российским Речным Регистром и Министерством транспорта РФ. На 2014 г. запланированы испытания данного эхолота, результатом которых должно стать присвоение документации на эхолот литеры «О1»;

– ОАО «НТП «Нави-Далс» разработаны навигационные эхолоты НЭЛ-1000 и НЭЛ-1000М. Они одобрены Российским Морским Регистром судоходства и приняты на снабжение ВМФ.

Основные сравнительные характеристики навигационных эхолотов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные характеристики навигационных эхолотов, производимых и находящихся в стадии разработки на отечественных предприятиях

Эхолот	НЭЛ-20К	НЭ-610	НЭЛ-1000	СВСГ «Амазонка»
Разработчик (изготовитель)	НПК «Промэлектроника»	«ПКТ»	НТП «Нави-Далс»	Концерн «Электроприбор»
Диапазон измеряемых глубин, м	0,3–40 0,3–400 8–400	0,5–100 0,5–1000 1–1000	0,5–0 0,5–100 0,5–2000	1–1000
Рабочие частоты, кГц	400 100	200 50	50	-
Предельная инструментальная погрешность	0,5 %	до 20 м – 0,5 м 20–200 м – 5 м > 200 м – 2,5 %	до 20 м – 0,1 м 20–100 м – 0,5 м > 100 м – 0,5 %	до 10 м – 0,1 м > 10 м – 1 %
Область применения	НК	НК	НК и ПЛ	ПЛ
Диагональ экрана, тип дисплея	10,4" монохромный электролюминесцентный (PLANAR, США)	10,4" цветной ЖК-дисплей	10,4" цветной ЖК-дисплей (SHARP, Япония)	-
Питание бортовой сети:				
Напряжение, В	127/220	~ 110/220 или – 11/40	127/220	– 27 или ~ 127
Частота, Гц	50/60	50/60	50/60	50
Потребляемая мощность, Вт	80	-	60 – 100	200/350

Задача разработки и ввода в эксплуатацию эхолотов отечественного производства, создаваемых на современной электронной базе с улучшенными тактико-техническими характеристиками, является важной и актуальной.

Основными требованиями, предъявляемыми к эхолотам в части улучшения технических характеристик, являются:

– снижение инструментальной погрешности измерения для повышения точности определения глубины;

- стойкость к механическим и климатическим воздействиям в процессе эксплуатации;
- повышение уровня автоматизации в условиях эксплуатации;
- расширение потребительских свойств (повышение эргономических показателей, введение дополнительных интерфейсов);
- регистрация результатов измерения глубины;
- перенос полученной информации на внешний носитель и разработка программного обеспечения для визуального анализа накопленных результатов;
- снижение уровня собственных шумов эхолота;
- повышение надежности работы эхолота при высоком уровне акустических шумов.

Наилучших результатов в данном направлении, по нашему мнению, добилось ОАО «НТП «Нави-Далс» при разработке и создании навигационных эхолотов серии НЭЛ-1000.

Навигационный эхолот НЭЛ-1000 был разработан в инициативном порядке ОАО «НТП «Нави-Далс» в период 2005–2007 гг. по тактико-техническому заданию, утвержденному УНиО МО РФ.

В 2008–2010 гг. по решению НГШ ВМФ с целью проверки стабильности основных технических параметров эхолота была проведена его опытная эксплуатация в реальных морских условиях на сторожевом корабле «Ладный» Черноморского флота и на сторожевом корабле «Неустрасимый» Балтийского флота. В период опытной эксплуатации эхолот НЭЛ-1000 подтвердил свои тактико-технические характеристики: надежен и прост в эксплуатации.

Внешний вид и состав эхолота НЭЛ-1000 приведён на рисунке.



Состав эхолота НЭЛ-1000

Прибор 1ГА – гидроакустическая антенна; ППУ – приемопередающее устройство;
ПУИ – прибор управления и индикации

Эхолот НЭЛ-1000 предназначен для измерения глубин от 0,5 до 2000 м под килем надводных кораблей и судов, а также под килем подводных лодок с глубинами погружения до 600 м с целью обеспечения навигационной безопасности плавания и решения специальных задач.

В процессе работы эхолот НЭЛ-1000 обеспечивает:

- непрерывное измерение глубины под килем корабля (судна);
- регистрацию значений измеренных глубин и хранение их в памяти прибора управления и индикации (ПУИ) с привязкой по времени, дате и координатам за последние 24 часа и при снятии питания эхолота в течение шести месяцев;

- отображение измеренных глубин (профиля дна) в виде эхограммы на цветном жидкокристаллическом дисплее;
 - отображение на экране ПУИ измеренных глубин в графическом виде за 15 минут работы;
 - индикацию значений измеренных глубин в цифровом виде на цветном жидкокристаллическом дисплее и на индикаторах репитеров;
 - световую и звуковую сигнализацию о выходе корабля на опасную (заданную) глубину;
 - выдачу информации внешним потребителям об измеренных глубинах в формате NMEA-0183 по интерфейсу RS-422, RS-232 и ГОСТ Р 52070-2003 (MIL STD-1553B);
 - просмотр информации об измеренных глубинах, хранящейся в памяти ПУИ, и перенос ее на жесткий носитель;
 - возможность установки значений скорости распространения звука в воде от 1420 м/с до 1560 м/с с дискретностью 1 м/с и значения заглубления гидроакустической антенны в диапазоне от 0 до 25 м с дискретностью 0,1 м;
 - установку даты и судового времени.
- Основные эксплуатационные характеристики:
- диапазон рабочих температур – от минус 4 °С до плюс 40 °С;
 - диапазон предельных температур – от минус 50 °С до плюс 70 °С;
 - относительная влажность воздуха – до 98 % при температуре + 35 °С;
 - уклон дна – не более 20°;
 - скорость хода – до 40 узлов;
 - скорость циркуляции – до 7 град/с;
 - качка: бортовая – до 5°, килевая – до 2° с периодом качки 10 с.
- Назначенные показатели:
- ресурс эхолота до заводского ремонта – 18000 ч;
 - ресурс до списания – 30000 ч;
 - срок эксплуатации до заводского ремонта – 15 лет;
 - срок службы эхолота – 25 лет.

В целях увеличения диапазона измеряемых глубин ОАО «НТП «Нави-Далс» была разработана модификация НЭЛ-1000М, предназначенная для измерения глубин от 0,5 до 6000 м.

В октябре 2012 г. в районе Курило-Камчатского желоба на «ГС-199» успешно проведены Государственные испытания эхолота НЭЛ-1000М. Акт испытаний утвержден ГК ВМФ и его Решением № 708/2/368 от 22.09.2012 г. предписана установка с 2013 г. эхолота НЭЛ-1000М на проектируемые, строящиеся и ремонтируемые корабли и суда ВМФ.

Приказом Министра обороны РФ № 792 от 01.11.2013 года эхолоты НЭЛ-1000 и НЭЛ-1000М приняты на снабжение ВМФ.

В октябре 2013 г. гидрографическое судно Тихоокеанского флота «Вице-адмирал Воронцов» с помощью навигационного эхолота НЭЛ-1000М произвело съемку профилей участка континентального шельфа в Охотском море. Благодаря проведенным исследованиям и полученным данным 11 марта 2014 г. Комиссия ООН по континентальному шельфу признала 52 тыс. кв. километров Охотского моря частью Российского континентального шельфа.

К настоящему моменту на эхолоты серии НЭЛ-1000 получен «Патент на полезную модель» по применению сложных сигналов и их обработки.

Использование сложных сигналов позволяет обеспечить:

- скрытность работы эхолота за счет использования при излучении шумоподобных сигналов сложной формы малой мощности вместо мощных импульсов;
- дальнейшее увеличение диапазона измеряемых глубин;
- уменьшение мощности излучаемого сигнала и снижение энергопотребление эхолота в 1,5–2 раза;
- снижение инструментальной погрешности измерения больших глубин, сопоставимой с погрешностью измерения малых глубин.

В настоящее время работа по совершенствованию эхолотов серии НЭЛ-1000 ведется в следующих направлениях:

- проводятся работы по модернизации программного обеспечения с целью введения дополнительного диапазона глубин (4000 м) и введение адаптивного времени между зондирующими сигналами для уменьшения дискретности регистрации глубин;
- проводится анализ работы тракта обработки сигнала эхолота на глубинах свыше 1600 м с целью повышения его устойчивой работы в автоматическом режиме при различных условиях эксплуатации;
- реализована синхронизация системных часов эхолота с НАП ГНСС типа «Бриз»;
- прорабатываются варианты установки антенн эхолота на различных типах кораблей (судов);
- разрабатывается блок сбора и отображения данных съемки рельефа дна с целью расширения функций эхолота;
- прорабатываются пути дальнейшей модернизации эхолота с целью увеличения измеряемых глубин до 10 000–12 000 м.

Выводы

В настоящее время эхолоты отечественных производителей позволяют удовлетворить потребности ВМФ РФ в подобных системах.

Основными направлениями совершенствования эхолотов, по нашему мнению, стоит признать повышение надежности и устойчивости работы во всем диапазоне измеряемых глубин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт НПК «Промэлектроника». Навигационный эхолот НЭЛ-20К. URL: www.promelectronica.com/activities/exolots/nl20k.htm.
2. Сайт «Промышленные компьютерные технологии». Навигационный эхолот НЭ-610. URL: www.ictech.ru/products/eholot610/description.
3. Сайт ОАО «Научно-техническое предприятие «Нави-Далс». Навигационные эхолоты НЭЛ-1000, НЭЛ-1000М. URL: www.navi-dals.ru/eholot.html.

REVIEW OF THE CURRENT STATUS OF THE NATIONALLY-PRODUCED NAVIGATION ECHOSOUNDERS

Y. M. Repin («GNINGI» OJSC), **A. G. Maigov** (SEE «Navi-Dals» OJSC)

The short review of the current status of navigation echosounders is presented. The actuality and directions for the further improvement of these nationally-produced aids are shown.

ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЬ СВЕТОВЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА СНО НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДНЫХ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ

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

В статье рассмотрены вопросы, отражающие взаимозависимость световых и энергетических параметров светодиодных источников света, и показана возможность использования этих соотношений для расчетов новых светотехнических систем зрительных СНО.

С момента выхода последней Инструкции по навигационному оборудованию ИНО-2000, определяющей критерии наблюдаемости навигационных огней, прошло 15 лет. За это время источники света СНО в своём развитии претерпели принципиальные изменения и сегодня в качестве базовых светооптических устройств перспективных светотехнических систем зрительных СНО нового поколения должны рассматриваться не традиционные ахроматические источники (лампы накаливания), а монохроматические источники света на основе светодиодов – светодиодные излучатели (СДИ).

ИНО-2000 не содержит сведений по монохроматическим источникам света и нуждается в корректуре. Действующие номограммы ИНО-2000 составлены для ламп накаливания и определяют необходимую силу света для достижения заданной дальности видимости огня в зависимости от коэффициента прозрачности атмосферы [1]. Применительно к монохроматическим источникам света (в нашем случае – СДИ) эти соотношения не удовлетворяют по ряду причин, указанных ниже.

1. Длина волны излучения. У ламп накаливания ширина видимого спектра излучения, воспринимаемого как белый цвет, составляет 400 нанометров (нм) и включает в себя смесь основных цветов: красного, зелёного и синего. Ширина спектра излучения светодиодных источников света в 10–20 раз уже и составляет 15–40 нм в соответствующем цветовом диапазоне спектра. Эффект Гельмгольца-Кольрауша усиливает субъективное восприятие яркости источника пропорционально цветовой насыщенности: чем ближе световое излучение к монохроматическому, тем более ярким оно кажется, даже если освещённость сетчатки глаза при этом остается неизменной. Проведенные исследования и экспериментальные данные позволяют утверждать, что достижение заданной дальности видимости монохроматическими источниками света требует значительно меньшей силы света по сравнению с традиционными источниками [2].

2. Сила света, световой поток и углы излучения. Сила света (канделы) – это угловая плотность светового потока в определённом направлении и измеряется световым потоком (люмены), приходящимся на единицу телесного угла. Для сравнительной оценки произведённого света лампами накаливания величина силы света является вполне адекватной. Лампы являются изотропными источниками, равномерно излучающими световой поток во всех направлениях. Светодиоды в отличие от традиционных источников света не являются изотропными источниками. Светодиод –

это миниатюрная светооптическая система и в сборе обычно представляет собой «микро-прожектор», состоящий из полупроводникового кристалла, помещенного в специальный корпус и, как правило, снабжённого линзой-крышкой, выполняющей функции первичной оптики. Такая характеристика светодиода, как осевая сила света, не может быть объективной характеристикой световой энергии светодиода и для оценки количества произведённого им света является малополезной. Все светодиоды имеют одно общее качество: по мере сужения угла излучения многократно увеличивается осевая сила света. Например, светодиод с углом светового излучения 30° имеет осевую силу света 2 кд. Если у этого же светодиода уменьшить угол излучения до 15° , то осевая сила света увеличится до 8 кд. При этом в обоих случаях будет обеспечен один и тот же световой поток в люменах.

Становится очевидным, что люмен, а не кандела, является наиболее объективной мерой оценки произведённого света при сравнении между различными светодиодными излучателями и другими источниками света.

3. Световая отдача. Основным показателем, характеризующим энергетическую эффективность источника света, является его световая отдача, определяющая, какой вырабатывается световой поток в люменах на 1 Ватт подведённой мощности (единица измерения – лм/Вт). Для номограмм ИНО-2000 этот параметр не актуален, так как световая отдача традиционных ламп, используемых в СНО, примерно одинакова (8–12 лм/Вт). Принципиальное отличие СДИ заключается в том, что в зависимости от качества кристаллов в их конструкциях, значения световой отдачи варьируют в широких пределах. В настоящее время производители выпускают светодиоды со световой отдачей от 40 до 100 лм/Вт. Световые и энергетические характеристики СДИ зависят от показателя световой отдачи в такой же большой степени, как и от угла излучения.

4. Энергетический баланс. При расчетах светотехнических систем зрительных СНО важно знать номинальные мощности энергопотребления СДИ, от которых зависит суммарный расход электроэнергии. Это наиболее актуально для расчета энергетического баланса энергосистем СНО, использующих в своем составе генераторы возобновляемой энергии (ветра, Солнца и т. д.).

Принимая во внимание вышесказанное, можно выстроить сбалансированный ряд СДИ, учитывающий взаимозависимость не только их световых параметров и дальности действия, но и энергетических характеристик светодиодных излучателей различных конструкций. Расчеты произведём поэтапно:

1. Для формирования исходных данных из ИНО-2000 выберем соотношения значений ночной дальности видимости огней СНО и необходимой силы света источника (табл. 1).

Таблица 1

**Взаимозависимость дальности видимости навигационного огня
и необходимой силы света источника света СНО**

Дальность видимости, мили	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Сила света, кд	0,8	4	12	25	50	95	170	250	400	650	1000	1500	2200	3000	4500

Табл. 1 составлена по номограмме ИНО-2000 (Приложение 7) для определения ночной дальности видимости ахроматических (белых) огней при коэффициенте про-

зрачности атмосферы $\tau = 0,8$ на милю (соответствует метеорологической видимости 13,5 миль) и стандартном световом пороге глаза наблюдателя $E_{\Pi} = 2 \times 10^{-7}$ лк [1].

2. Далее определим величину светового потока, создаваемого СДИ для достижения заданной дальности действия. Для этого произведём пересчет кандел из табл. 1 в люмены (табл. 2). Поскольку для СНО требуются СДИ с различной направленностью действия (от узконаправленных створов до секторных и круговых огней), разобьем табл. 2 по углам излучения СДИ.

Пересчет кандел в люмены производится по формуле [3]:

$$F = I \times 2\pi \times (1 - \cos \alpha / 2), \quad (1)$$

где F – световой поток, лм;

I – сила света, кд;

α – плоский угол излучения СДИ, град.

Таблица 2

Взаимозависимость заданной дальности видимости навигационного огня, необходимой силы света и светового потока для различных углов излучения СДИ

Дальность видимости, МИЛИ	Сила света, кд	Угол излучения СДИ						
		$\alpha = 5^\circ$	$\alpha = 10^\circ$	$\alpha = 30^\circ$	$\alpha = 60^\circ$	$\alpha = 120^\circ$	$\alpha = 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$
		Световой поток, лм						
1	0,8	0,001	0,005	0,05	0,15	0,65	1,45	5,0
2	4	0,01	0,025	0,25	0,85	3,35	7,35	25,2
3	12	0,02	0,075	0,65	2,55	10,1	22,1	75,4
4	25	0,04	0,15	1,35	5,35	21,1	46	157
5	50	0,05	0,3	2,7	10,7	42	92	314
6	95	0,15	0,6	5,1	20,5	80	175	600
7	170	0,25	1,0	9,2	36,4	143	313	1070
8	250	0,4	1,5	13,5	53,5	210	460	1570
9	400	0,6	2,4	21,5	85,5	340	735	2515
10	650	1,0	4,0	35	140	545	1120	4085
11	1000	1,5	6,0	54	215	840	1840	6285
12	1500	2,3	9,0	80,5	320	1265	2760	9425
13	2200	3,3	13,2	120	470	1850	4050	13800
14	3000	4,5	18	160	645	2525	5520	18850
15	4500	6,8	27	240	965	3800	8300	28500

3. Теперь расширим содержание разрабатываемого ряда и вычислим энергетическую составляющую – номинальную мощность энергопотребления СДИ в зависимости от их углов излучения и дальности действия (табл. 3).

Номинальная потребляемая мощность СДИ рассчитана по формуле:

$$N_{\text{н}} = \frac{F}{\eta}, \quad (2)$$

где $N_{\text{н}}$ – номинальная потребляемая мощность СДИ, Вт;

F – световой поток, создаваемый СДИ (данные табл. 2), лм;
 η – световая отдача СДИ (паспортные данные производителя или данные фотометрического контроля СДИ), лм/Вт.

Табл. 3 приведена в сокращённом виде, поскольку в полном объёме (с шагом через 1 миллю) для журнального варианта слишком велика.

Таблица 3

Взаимозависимость заданной дальности видимости навигационного огня, силы света, светового потока, углов излучения, световой отдачи и номинальной потребляемой мощности светодиодных излучателей

Заданная дальность видимости, мили	Необходимая сила света, кд	Угол излучения СДИ	Необходимый световой поток, лм	Световая отдача СДИ (η), лм/Вт					
				20	40	60	80	100	120
				Номинальная потребляемая мощность СДИ (N_H), Вт					
5	50	5°	0,05	0,0025	0,0015	0,0008	0,0006	0,0005	0,0004
		10°	0,3	0,015	0,008	0,005	0,004	0,003	0,002
		30°	2,7	0,14	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02
		60°	11	0,54	0,27	0,18	0,14	0,1	0,09
		120°	42	2,1	1,1	0,7	0,55	0,4	0,35
		180°	92	4,6	2,3	1,6	1,2	0,9	0,8
10	650	5°	1	0,05	0,025	0,017	0,012	0,01	0,009
		10°	4	0,2	0,1	0,07	0,05	0,04	0,03
		30°	35	1,8	0,85	0,6	0,45	0,35	0,3
		60°	140	7	3,5	2,4	1,8	1,4	1,2
		120°	545	27	14	9,1	6,8	5,5	4,5
		180°	1120	56	28	19	14	11	9,3
15	4500	5°	6,8	0,338	0,169	0,113	0,084	0,068	0,056
		10°	27	1,4	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2
		30°	240	12	6	4	3	2,5	2
		60°	965	49	24	16	12	10	8
		120°	3800	190	95	63	48	38	32
		180°	8300	415	208	138	104	83	69
		360°	28500	1 425	713	475	356	285	238

Примечание. Полученный светоэнергетический ряд СДИ представлен в «чистом» виде, то есть табличные значения световых и энергетических параметров СДИ даны без учета влияния вторичной оптики СНО (линз Френеля), которая в большинстве СДИ не используется. В случае применения дополнительных линз, обеспечивающих n -кратное увеличение светового потока СДИ, номинальная потребляемая мощность СДИ пропорционально уменьшается. Это позволяет сократить количество светодиодов в СДИ, но в итоге может повысить стоимость конструкции фонаря. Технические и экономические составляющие должны учитываться при практическом конструировании СДИ для СНО.

Полученные в табл. 3 световые и энергетические соотношения для СДИ позволяют легко решать различные задачи по оценочным энергетическим расчетам новых светотехнических систем СНО и контролировать паспортные данные светодиодных фонарей, предлагаемых различными производителями.

Наибольший практический интерес для ГС ВМФ представляет расчет расхода электроэнергии светящими объектами СНО за определённый промежуток времени. Для СДИ расход электроэнергии определяется его номинальной мощностью, умноженной на время фактической наработки (свечения).

Формула для расчета расхода электроэнергии за сутки, месяц или год определяется выражением:

$$W = \frac{N_H \times T_{TBC} \times K_M}{S}, \quad (3)$$

где W – расход электроэнергии источником света зрительного СНО, Вт·ч;

N_H – номинальная мощность СДИ, Вт – выбирается из табл. 3;

T_{TBC} – длительность темного времени суток, час – выбирается для соответствующего климатического региона из табл. 4 или табл. 5, составленных по данным Морского астрономического ежегодника [4];

K_M – коэффициент увеличения длительности работы источника света зрительного СНО по метеорологическим причинам (все навигационные огни автоматически включаются не в момент захода Солнца, а при уменьшении освещенности горизонтальной поверхности до 350 млк) – выбирается для соответствующего климатического региона из табл. 6, составленной по данным Научно-прикладного справочника по климату СССР [5];

S – скважность – безразмерная величина, определяемая отношением периода (характеристики навигационного огня, указанной в навигационных пособиях «Огни и знаки») к длительности проблеска (длительности световых импульсов в этом периоде):

$$S = \frac{T}{t}, \quad (4)$$

где T – период – длительность цикла от начала проблеска (проблесков или затмений в группе) до следующего начала проблеска (проблесков или затмений в группе), с;

t – длительность световых импульсов (длительность включений навигационного огня) в течение одного периода, с.

Таблица 4

Региональные среднемесячные и суммарные среднегодовые значения продолжительности темного времени суток (ТВС)

Регион	Среднемесячная и среднегодовая длительность ТВС, ч												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Мурманск	687	462	387	243	86	0	1	187	318	456	582	744	4153
Архангельск	574	431	379	257	164	102	118	236	324	437	515	623	4160
Петербург	533	408	378	279	203	154	183	254	330	426	493	561	4202
Калининград	502	398	377	296	243	191	220	265	340	411	451	530	4224
Новороссийск	456	377	375	315	285	255	274	310	342	399	429	465	4282
Владивосток	456	377	375	315	285	255	274	310	342	399	429	465	4282
Южно-Сахалинск	467	376	376	308	265	242	264	301	341	403	440	477	4260
Петропавловск	482	395	376	301	252	211	234	285	343	412	459	489	4239

Таблица 5

Региональные значения истинного солнечного времени (час. мин) восхода (В), захода (З) Солнца и среднесуточной продолжительности светлого (СВС) и темного (ТВС) времени суток (на 15 число каждого месяца)

Регион	☀	Месяц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Мурманск	В	11.07	08.18	06.14	04.03	01.25	П.Д.	П.Д.	03.02	05.18	07.21	09.44	П.Н.
	З	12.53	15.42	17.46	19.57	22.35	П.Д.	П.Д.	20.58	18.42	16.39	14.16	П.Н.
	СВС	01.46	07.24	11.32	15.54	21.10	24.00	24.00	17.56	13.24	09.18	04.32	00.00
	ТВС	22.14	16.36	12.28	08.06	02.50	00.00	00.00	06.04	10.36	14.42	19.26	24.00
Архангельск	В	09.26	07.49	06.11	04.28	02.45	01.28	01.55	03.41	05.25	07.04	08.47	10.03
	З	14.34	16.11	17.49	19.32	21.15	22.32	22.05	20.19	18.35	16.56	15.13	13.57
	СВС	05.08	08.22	11.38	15.04	18.30	20.34	20.50	16.38	13.10	09.52	07.26	03.54
	ТВС	18.52	15.38	12.22	08.56	05.30	03.26	03.50	07.22	10.50	14.08	16.34	20.06
Петербург	В	08.40	07.29	06.10	04.45	03.28	02.36	02.56	04.07	05.31	06.52	08.13	09.02
	З	15.20	16.31	17.50	19.15	20.32	21.24	21.01	19.53	18.29	17.08	15.47	14.58
	СВС	06.40	09.02	11.40	14.30	17.04	18.48	18.05	15.46	12.58	10.16	07.34	05.56
	ТВС	17.20	14.58	12.20	09.30	06.56	05.12	05.55	08.14	11.02	13.44	16.26	18.04
Калининград	В	08.10	07.11	06.08	04.57	03.56	03.18	03.32	04.26	05.36	06.43	07.49	08.25
	З	15.50	16.49	17.52	19.03	20.04	20.42	20.28	19.34	18.24	17.17	16.11	15.35
	СВС	07.40	09.38	11.44	14.06	16.03	17.24	16.56	15.10	12.48	11.04	09.22	07.10
	ТВС	16.20	14.22	12.16	09.54	07.52	06.36	07.04	08.50	11.12	12.56	14.38	16.50
Новороссийск	В	07.21	06.45	06.04	05.19	04.40	04.18	04.26	04.59	05.42	06.28	07.09	07.31
	З	16.39	17.15	17.56	18.41	19.20	19.42	19.34	19.01	18.18	17.32	16.51	16.29
	СВС	09.18	10.30	11.52	13.22	14.40	15.24	15.08	14.02	12.36	11.04	09.42	08.58
	ТВС	14.42	13.30	12.08	10.38	09.20	08.36	08.52	09.58	11.24	12.56	14.18	15.02
Владивосток	В	07.20	06.45	06.04	05.18	04.40	04.19	04.27	05.00	05.43	06.27	07.09	07.30
	З	16.40	17.15	17.56	18.42	19.20	19.41	19.33	19.00	18.17	17.33	16.51	16.30
	СВС	09.20	10.30	11.52	13.24	14.40	15.22	15.06	14.00	12.34	11.06	09.42	09.00
	ТВС	14.40	13.30	12.08	10.36	09.20	08.38	08.54	10.00	11.26	12.54	14.18	15.00
Южно-Сахалинск	В	07.33	06.51	06.06	05.13	04.28	04.04	04.14	04.52	05.41	06.31	07.19	07.43
	З	16.27	17.09	17.54	18.47	19.32	19.56	19.46	19.08	18.19	17.29	16.41	16.17
	СВС	08.54	10.18	11.48	13.34	15.04	15.52	15.32	14.16	12.38	10.58	09.22	08.34
	ТВС	15.06	13.42	12.12	10.26	08.56	08.08	08.28	09.44	11.22	13.02	14.38	15.26
Петропавловск	В	08.08	07.21	06.17	05.02	04.03	03.32	03.52	04.40	05.33	06.26	07.24	08.06
	З	16.12	17.09	18.03	18.59	19.51	20.28	20.19	19.28	18.17	17.06	16.06	15.43
	СВС	08.04	09.48	11.46	13.57	15.48	16.56	16.27	14.48	12.44	10.40	08.42	07.37
	ТВС	15.56	14.12	12.14	10.03	08.12	07.04	07.33	09.12	11.16	13.20	15.18	16.23

Примечание: П.Д. – полярный день; П.Н. – полярная ночь.

Таблица 6

Региональные значения коэффициентов увеличения длительности работы источников света зрительных СНО по метеорологическим причинам

Регион	Коэффициент увеличения длительности работы зрительных СНО по метеопричинам, K_M												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Мурманск	1,0	1,17	1,24	1,15	1,08	1,0	1,13	1,17	1,19	1,33	1,12	1,0	1,13
Архангельск	1,23	1,26	1,13	1,08	1,0	1,0	1,1	1,13	1,17	1,24	1,2	1,15	1,14
Петербург	1,36	1,12	1,0	1,01	1,03	1,11	1,08	1,08	1,18	1,21	1,19	1,28	1,14
Калининград	1,58	1,42	1,2	1,15	1,0	1,07	1,08	1,07	1,25	1,42	1,57	1,61	1,28
Новороссийск	1,42	1,31	1,22	1,19	1,12	1,08	1,0	1,0	1,08	1,13	1,28	1,38	1,18
Владивосток	1,13	1,24	1,35	1,52	1,58	1,67	1,68	1,62	1,51	1,35	1,18	1,0	1,40
Южно-Сахалинск	1,15	1,18	1,22	1,28	1,33	1,45	1,45	1,36	1,38	1,27	1,23	1,17	1,30
Петропавловск	1,26	1,29	1,0	1,12	1,27	1,32	1,39	1,3	1,26	1,25	1,31	1,15	1,24

С помощью данных, рассчитанных по формуле (3), можно определить стоимость электропитания объектов СНО при использовании внешних электросетей или необходимые мощности автономных генераторов, ёмкости аккумуляторных блоков или годовое количество первичных химических источников тока (батарей) для обеспечения бесперебойного питания зрительных СНО в различных климатических регионах морского побережья России.

Кроме того, без формулы (3) не обойтись при расчете энергетического баланса потребления и воспроизводства электроэнергии перспективных энергосистем СНО, использующих генераторы возобновляемой энергии.

Выводы

1. Действующая Инструкция по навигационному оборудованию (ИНО-2000) требует корректуры и дополнений в части определения критериев наблюдаемости монохроматических источников света (светодиодных излучателей) для новых светотехнических систем СНО.

2. Полученные результаты можно рассматривать как основу методики для определения не только дальности видимости СДИ различных конструкций, но и их энергетических параметров (номинальной мощности и суммарного энергопотребления в зависимости от характеристик навигационного огня за любой промежуток времени в различных климатических регионах морского побережья РФ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по навигационному оборудованию (ИНО-2000) – СПб.: ГУНиО МО РФ, 2001 г. – № 9106. – 327 с.
2. Дубров А. П. и др. Ряд мобильных и стационарных оптических систем и монохромных (светодиодных) источников света для зрительных СНО. Технический проект. – СПб.: ГУП «Нави-Далс», 2004 г. – 140 с.
3. Сайт фирмы «Светодиодные решения». – URL: www.DecLight.ru/cal_lm-cd.html.
4. Морской астрономический ежегодник (МАЕ) на 2012 г. – СПб.: УНиО МО РФ, 2011 г. – № 9002. – 336 с.;
5. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3 (многолетние данные). Части 1–6. Выпуски 1, 2, 3, 6, 13, 26, 33, 34. – Л.: Гидрометеиздат, 1988–1990 гг.

INTERDEPENDENCE OF LIGHT AND ENERGY PARAMETERS FOR THE LIGHT SOURCES OF THE AIDS TO NAVIGATION BASED ON THE LED SOURCES

E. P. Gladskikh, V. N. Kostin, V. A. Maksimov, Y. M. Repin («GNINGI» OJSC)

The issues showing the interdependence of light and energy parameters of LED sources are considered. The possibility to use these relationships in order to carry out the calculations for the new light-technology systems of visual aids to navigation is shown.

ГРНТИ 733. 34. 39. 09

**К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПО СПУТНИКАМ ПОЛОЖЕНИЯ И
СКОРОСТИ ОБЪЕКТА ПРИ НАЛИЧИИ НАРУШЕНИЯ СИНХРОНИЗАЦИИ
ИЗМЕРЕННЫХ ПСЕВДОДАЛЬНОСТЕЙ**

В. В. ГАВРИЛОВ, П. И. МАЛЕЕВ
(ОАО «ГНИНГИ»)

Измеренные по спутникам псевдодальности, представляющие разность моментов принятых сигналов по шкалам часов спутников и приемной аппаратуры, умноженную на скорость света, искажены влиянием ряда факторов: расхождением шкал времени между приёмником и спутником, влиянием ионосферы и тропосферы, фазовыми шумами несущей и др. Эти помехи каждый разработчик приёмной аппаратуры исключает своими, неизвестными потребителям, методами.

Цель статьи – оценить влияние этих помех и возможную точность определения местоположения и скорости объекта по реально измеренным асинхронным псевдодальностям.

Для определения местоположения и скорости объекта необходимо иметь ряд измеренных по спутникам (как правило, синхронно по шкале времени приёмника) псевдодальностей. Если часы на спутнике показывают несовпадающее с приёмником время, то определённое место объекта будет ошибочно. Чтобы исключить эти ошибки, на спутниках постоянно подстраивают время по наземным стандартным часам. В ГЛОНАСС станции синхронизации расположены на территории РФ, а в GPS – по всему миру. В ГЛОНАСС синхронизация производится не чаще, чем один раз в 10 часов. Кроме того, система ГЛОНАСС имеет частотное разделение сигналов и, как следствие, в приемной аппаратуре потребителя реализовать нулевую литерную задержку затруднительно.

При рассмотрении данного вопроса использовались файл навигационных сообщений и файл наблюдений спутников ГЛОНАСС в формате RINEX [1], снятые приёмником фирмы DJAVAD, и основные положения, изложенные в работах [2, 3].

RINEX – аппаратно-независимый формат обмена навигационными данными, позволяющий обеспечивать постобработку информации ГЛОНАСС. В файле наблюдений взяты необработанные псевдодальности, включающие вышеуказанные погрешности, на 13 моментов времени для семи наблюдаемых спутников ГЛОНАСС: 2, 3, 11, 12, 17, 18, 19.

Измерения производились на моменты времени 22599, 22600, ..., 22611 секунд с неподвижного объекта.

Для решения навигационной задачи по четырем спутникам необходимо выбрать оптимальную комбинацию из семи видимых спутников по четыре, для которой погрешность определяемого места будет минимальной. Поставленная задача решалась следующим образом. На основе файла навигационных сообщений производилось интегрирование методом Рунге-Кутты прямоугольных координат выбранных

спутников на три момента времени измерений псевдодальностей. По этим данным определялось приближённое положение приёмника (объекта) (широта, долгота и высота) на начальный момент времени.

Введём обозначения:

$\rho_i^{\text{изм}}$ – псевдодальности, измеренные до 4 спутников, $i = 1 \div 4$,

$\Delta\rho_i$ – систематические погрешности измеренных дальностей,

x_i, y_i, z_i – координаты спутников на моменты измерений,

R – радиус Земли,

X, Y, Z – измеряемые координаты приёмника (объекта).

В геоцентрической Гринвичской системе координаты спутников и объекта определяются выражениями:

$$\rho_i = \sqrt{(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2 + (z_i - Z)^2}, \quad (1)$$

откуда

$$\rho_i^2 = (x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2 + (z_i - Z)^2, \quad (2)$$

и поскольку

$$\rho_i = \rho_i^{\text{изм}} + \Delta\rho_i, \rho_i^2 = (\rho_i^{\text{изм}})^2 + 2\rho_i^{\text{изм}}\Delta\rho_i + \Delta\rho_i^2,$$

то, пренебрегая $\Delta\rho_i^2$ (потому как $\Delta\rho_i^2 \ll \rho_i^2$), получим:

$$\rho_i^2 - (x_i^2 + y_i^2 + z_i^2) - R^2 = 2\rho_i\Delta\rho_i - 2Xx_i - 2Yy_i - 2Zz_i.$$

Для четырех спутников уравнения (2) принимают вид:

$$\begin{aligned} \rho_1^2 - r_1^2 - R^2 &= 2\rho_1\Delta\rho_1 - 2Xx_1 - 2Yy_1 - 2Zz_1, \\ \rho_2^2 - r_2^2 - R^2 &= 2\rho_2\Delta\rho_2 - 2Xx_2 - 2Yy_2 - 2Zz_2, \\ \rho_3^2 - r_3^2 - R^2 &= 2\rho_3\Delta\rho_3 - 2Xx_3 - 2Yy_3 - 2Zz_3, \\ \rho_4^2 - r_4^2 - R^2 &= 2\rho_4\Delta\rho_4 - 2Xx_4 - 2Yy_4 - 2Zz_4, \end{aligned} \quad (3)$$

где r_i – радиус обращения спутника.

Разделив левые и правые части уравнений (3) на $2\rho_i$, получим систему уравнений:

$$\text{cov}(\bar{X}) = \sigma_p^2 [H_4^T \cdot H_4]^{-1}, \quad (6)$$

где σ_p – СКП измеренных дальностей, I – единичная матрица, H_4^T – транспонированная матрица.

Геометрический фактор для каждого сочетания спутников определяется по выражению:

$$\Gamma\Phi = \sigma_p \sqrt{h_{11}^2 + h_{22}^2 + h_{33}^2}, \quad (7)$$

где h_{11}, h_{22}, h_{33} – диагональные элементы матрицы $[H_4^T \cdot H_4]^{-1}$.

$\Gamma\Phi$ является фактором влияния дисперсий ошибок комбинаций псевдодальностей и дисперсии временной ошибки на определяемое место объекта.

На рис. 1 представлено положение семи спутников в начальный момент измерений.

На рис. 2 – значения $\Gamma\Phi$ для всех возможных комбинаций из семи спутников по четыре (всего 35).

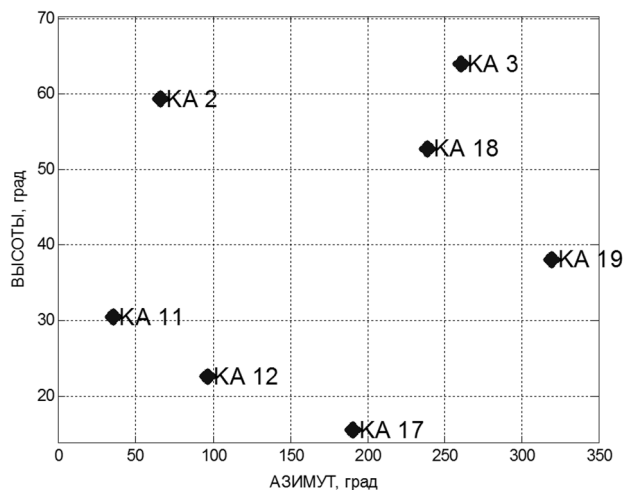


Рис. 1. Расположение видимых спутников в начальный момент измерения

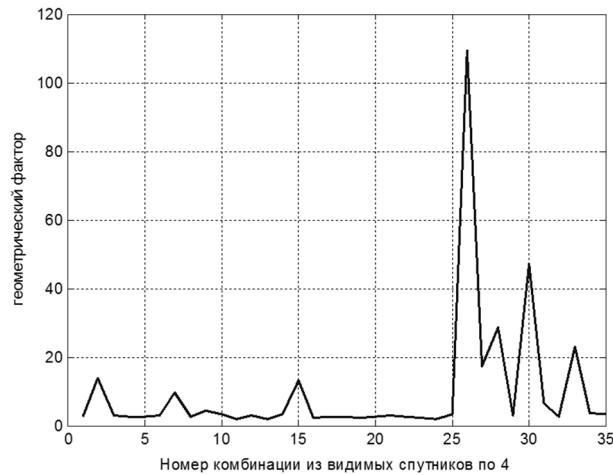


Рис. 2. Зависимость геометрического фактора от комбинаций и семи спутников

После выбора сочетания с минимальным ГФ и определения приближённых значений широты и долготы φ_0, λ_0 приступаем к решению основной системы для определения поправок к положению и скоростям приёмника (объекта).

В соответствии с работами [2, 3] в моменты времени t_1, t, t_2 ($t - t_1 = 1 \text{ сек}$, $t_2 - t = 1 \text{ сек}$) инерциальные декартовы координаты навигационного спутника, которые обозначим $(x_1, y_1, z_1), (x, y, z), (x_2, y_2, z_2)$, и координаты объекта $(X_1, Y_1, Z_1), (X, Y, Z), (X_2, Y_2, Z_2)$, а также измеренные псевдодальности (ρ_1, ρ, ρ_2) удовлетворяют следующим уравнениям для каждого спутника:

$$\begin{aligned} e_{1x}n_1\rho_1 - e_x\rho + e_{2x}n_2\rho_2 &= n_1X_1 - X - n_2X_2, \\ e_{1y}n_1\rho_1 - e_y\rho + e_{2y}n_2\rho_2 &= n_1Y_1 - Y - n_2Y_2, \\ e_{1z}n_1\rho_1 - e_z\rho + e_{2z}n_2\rho_2 &= n_1Z_1 - Z - n_2Z_2, \end{aligned} \quad (8)$$

где e – направляющие косинусы объект – спутник;

ρ_1, ρ, ρ_2 – псевдодальности;

n_1, n_2 – отношения площадей треугольников, заключённых между радиус-векторами спутника в три момента времени:

$$n_1 = \frac{x y_2 - x_2 y}{x_1 y_2 - x_2 y_1}, \quad n_2 = \frac{x_1 y - x y_1}{x_1 y_2 - x_2 y_1}. \quad (9)$$

Для получения системы уравнений, определяющих поправки к местоположению и скорости объекта, система (8) линеаризуется относительно этих поправок. Эта процедура подробно изложена в работе [2]. В результате общая система уравнений нахождения искомым поправок имеет вид:

$$\begin{aligned} & A_{j1} \Delta\varphi_0 + A_{j2} \Delta\dot{\varphi}_0 + A_{j3} \Delta\lambda_0 + A_{j4} \Delta\dot{\lambda}_0 + A_{j5} \Delta h_0 + \\ & A_{j6} \Delta\rho_1 + A_{j7} \Delta\rho_2 + A_{j8} \Delta\rho_3 + A_{j9} \Delta\rho_4 + A_{j10} \Delta\dot{\rho}_0 + A_{j11} \Delta\ddot{\rho}_0 = b_j^1, \end{aligned} \quad (10)$$

где A_{j1}, \dots, A_{j8} и b_j^1 являются функциями координат спутников, расчётных координат объекта, измеренных и расчётных дальностей «объект – спутник». Метод их вычисления также приведён в работе [2];

$\Delta\varphi_0, \Delta\dot{\varphi}_0, \Delta\lambda_0, \Delta\dot{\lambda}_0, \Delta h, \Delta\rho_1, \Delta\rho_2, \Delta\rho_3, \Delta\rho_4, \Delta\dot{\rho}_0, \Delta\ddot{\rho}_0$ – искомые поправки к приближённым значениям $\varphi_0, \dot{\varphi}_0, \lambda_0, \dot{\lambda}_0$;

Δh – поправка к расчетной высоте объекта;

$\Delta\rho_1 \div \Delta\ddot{\rho}_0$ – систематические погрешности к измеренным псевдодальностям.

При этом для четырех спутников $j = 1 \div 12$. Общее число искомых поправок $m=11$.

В системе (10) учитывается систематика $\Delta\rho_{jk}$ для каждой измеренной дальности и общая для всех дальностей, их скорости $\Delta\dot{\rho}_0$ и ускорения $\Delta\ddot{\rho}_0$, что соответствует уходу шкалы времени потребителя.

В случае, когда систематические погрешности $\Delta\rho_{jk}$ различны, что указывает на несинхронность измерений, число неизвестных будет равно 11, а при четырёх наблюдаемых спутниках в три момента времени система уравнений будет иметь размерность (12×11) . При таком соотношении числа уравнений и числа неизвестных искомые параметры определяются с пониженной точностью из-за влияния случайных ошибок в правых частях уравнения (10). Влияние случайных ошибок можно ослабить следующим образом.

Дополним систему (10) путём линеаризации системы (4).

Систему уравнений (4) с учётом приближённых значений X, Y, Z и искомых поправок к ним можно записать в виде:

$$\begin{aligned} & r_{i\text{расч}}^2 + 2(X \cdot e_{xi} + Y \cdot e_{yi} + Z \cdot e_{zi} + \rho_{i\text{изм}}) \cdot \\ & \cdot \left(\Delta\rho_i + \Delta\dot{\rho}_0(t_i - t_0) + \Delta\ddot{\rho}_0 \frac{(t_i - t_0)^2}{2} \right) + 2\rho_{i\text{изм}} \cdot (e_{xi} \cdot \Delta X + e_{yi} \cdot \Delta Y + e_{zi} \cdot \Delta Z) + \\ & + 2\rho_{i\text{изм}} \cdot (X \cdot \Delta e_{xi} + Y \cdot \Delta e_{yi} + Z \cdot \Delta e_{zi}) = r_{i0}^2, \end{aligned} \quad (11)$$

где $r_{i\text{расч}}$ – расчётное значение текущего радиуса спутника;

$\rho_{i\text{изм}}$ – измеренные псевдодальности;

r_{i0} – значение радиуса спутника по данным проинтегрированных на моменты измерений эфемерид;

X, Y, Z – приближенные расчётные значения геоцентрических координат приёмника;

e_{xi}, e_{yi}, e_{zi} – направляющие косинусы спутник – приёмник:

$$e_{xi} = \frac{x_i - X}{\rho}, e_{yi} = \frac{y_i - Y}{\rho}, e_{zi} = \frac{z_i - Z}{\rho}; \quad (12)$$

$\Delta e_{xi}, \Delta e_{yi}, \Delta e_{zi}$ – поправки к расчётным значениям в (12), расчёт которых дан в работе [3].

Линеаризируя, можно привести уравнения (11) к виду:

$$\begin{aligned} & A_{jj1} \cdot \Delta\phi_0 + A_{jj2} \cdot \Delta\dot{\phi}_0 + A_{jj3} \cdot \Delta\lambda_0 + A_{jj4} \cdot \Delta\dot{\lambda}_0 + A_{jj5} \Delta h_0 + \\ & A_{jj6} \Delta\rho_1 + A_{jj7} \Delta\rho_2 + A_{jj8} \Delta\rho_3 + A_{jj9} \Delta\rho_4 + \\ & A_{jj10} \Delta\dot{\rho}_0 + A_{jj11} \Delta\ddot{\rho}_0 = b_{jj}^{(2)}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $jj = 13 \div 24$.

Таким образом, записывая матрицу, состоящую из коэффициентов систем (10) и (13) соответственно, как

$$A_{ji}, A_{jji} \quad \text{как} \quad H(n \times m) = \begin{pmatrix} A_{ji} \\ A_{jji} \end{pmatrix}, \quad (14)$$

получим систему линейных уравнений:

$$H(n \times m) \cdot \bar{V} = \bar{b}, \quad (15)$$

где искомые поправки $\bar{V} = \Delta\phi_0, \Delta\dot{\phi}_0, \Delta\lambda_0, \Delta\dot{\lambda}_0, \Delta h, \Delta\rho_1, \Delta\rho_2, \Delta\rho_3, \Delta\rho_4, \Delta\dot{\rho}_0, \Delta\ddot{\rho}_0$, размерность матрицы $H(n \times m) = (24 \times 11)$, размерность $\bar{b} = (24 \times 1)$.

$$\bar{b} = \begin{pmatrix} b'_j \\ b^2_{jj} \end{pmatrix}.$$

Решение системы (15) методом наименьших квадратов имеет вид:

$$\bar{V} = (H^T \cdot W \cdot H)^{-1} (H^T \cdot W) \cdot \bar{b}, \quad (16)$$

где W – весовая матрица, которая в данном случае полагается единичной.

После решения системы (16) необходимо произвести оценку точности полученных параметров. Для этого подставим полученные значения неизвестных параметров в уравнение (16) и вычислим вектор остаточных разностей \bar{V} между правой

и левой частями. Наиболее вероятное значение среднеквадратической ошибки (СКО) на единицу веса σ_0 определяется из выражения [4]:

$$\sigma_0 = \left(\frac{\overline{V^T W V}}{n - m} \right)^{1/2}. \quad (17)$$

После вычисления σ_0 среднеквадратические ошибки определения \overline{V} определяются по выражению $\sigma_{\Delta \overline{V}} = \sigma_0 \cdot \tilde{D}(\overline{V})$, где $\tilde{D}(\overline{V})$ – корень квадратный из диагональных элементов матрицы $(H^T \cdot W \cdot H)^{-1}$.

Таким образом, можно вычислить вероятности отклонения случайной величины от её математического ожидания не более, чем на среднеквадратическое отклонение с заданной вероятностью:

$$p(|V - \overline{V}|) < k \cdot \sigma_{\Delta \overline{V}}, \quad (18)$$

где k – коэффициент. При $k = 1, p = 0,68$; при $k = 2, p = 0,95$; при $k = 3, p = 0,997$.

По выбранным для минимального ГФ спутникам 11, 17, 19, 3 произведем проверку на наличие выбросов методом интерполяции и сглаживания их полиномом второго порядка. Математическое ожидание и дисперсия составили $m_{\Delta p} = 0,4 \cdot 10^{-8}$ м, $\sigma_{\Delta p} = 0,041$ м, аналогичные результаты получаются и для других спутников, что соответствует достаточно точным измерениям.

Анализ разностей первого порядка для выбранных спутников указывает на отсутствие больших выбросов, что подтверждает пригодность измеренной информации. Решение рассматриваемой навигационной задачи в ранее заявленном предположении, что все систематические погрешности одинаковые (измерения производились синхронно), даёт результат с погрешностью места 60 км. Для точного решения уравнения (16) для каждого спутника будем учитывать свои систематические погрешности в измеренных дальностях. Оценки влияния систематических ошибок измерений псевдодальностей на точность решения уравнения (16) приведены в работе [5].

Исходные приближённые значения геоцентрической широты и долготы, вычисленные по выражениям (4а), составляют:

$$\varphi_p = 59^\circ 24' 36,86'', \quad \lambda_p = 31^\circ 05' 10,21''.$$

В табл. 1 представлены величины поправок к определяемым параметрам (широте, долготе и высоте Δh объекта). При этом на каждой очередной итерации поправки прибавляются к значениям уточнённых параметров на предыдущей итерации. В табл. 2 даны определённые значения дисперсий для оценки точности искомых параметров.

Таблица 1

Поправки $\Delta\varphi$, $\Delta\phi$, $\Delta\lambda$, $\Delta\dot{\lambda}$ к приближённым значениям после двух итераций и определённые значения систематических погрешностей псевдодальностей

№	1	2	3	4	5
	$\Delta\varphi$	$\Delta\phi$	$\Delta\lambda$	$\Delta\dot{\lambda}$	Δh , (м)
1	20'54,6"	0	-50'35,5"	0	40
2	0,1"	0	-1'9,8"	0	40

Продолжение Таблицы 1

№	6	7	8	9	10	11
	$\Delta\rho_1$, км	$\Delta\rho_2$, км	$\Delta\rho_3$, км	$\Delta\rho_4$, км	$\Delta\dot{\rho}_0$, км/сек	$\Delta\ddot{\rho}_0$, км/сек ²
1	-100,903	-75,156	-36,687	-121,362	$9 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$
2	-0,152	0,228	0,329	-0,415	$-6 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-8}$

Таблица 2

Определённые значения дисперсий искомых параметров

№	1	2	3	4	5
	$\sigma_{\Delta\varphi}$	$\sigma_{\Delta\phi}$	$\sigma_{\Delta\lambda}$	$\sigma_{\Delta\dot{\lambda}}$	$\sigma_{\Delta h}$, (м)
1	0,74	$1 \cdot 10^{-7}$	2,2"	$1,6 \cdot 10^{-12}$	$3,5 \cdot 10^{-14}$

Продолжение Таблицы 2

№	6	7	8	9	10	11
	$\sigma_{\Delta\rho_1}$, км	$\sigma_{\Delta\rho_2}$, км	$\sigma_{\Delta\rho_3}$, км	$\sigma_{\Delta\rho_4}$, км	$\sigma_{\Delta\dot{\rho}_0}$, км/сек	$\sigma_{\Delta\ddot{\rho}_0}$, км/сек ²
1	0,019	0,019	0,02	0,022	$2,06 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-9}$

После второй итерации:

$$\Delta\varphi_p = 20'54,56", \quad \Delta\lambda_p = -50'35,48".$$

С учётом вычисленных среднеквадратических погрешностей по выражениям (18) получаем:

$$\Delta\varphi_p = 20'54,5" \pm 1,2", \quad \Delta\lambda_p = -50'35,48" \pm 1,5".$$

Аналогичные оценки можно получить и для остальных параметров. С учётом среднеквадратических погрешностей $\sigma_{\Delta\varphi}$ и $\sigma_{\Delta\lambda}$ среднеквадратическая погрешность местоположения объекта

$$\sigma_{\Delta M} = \sqrt{\sigma_{\Delta\varphi}^2 + (\sigma_{\Delta\lambda} \cdot \cos \varphi)^2} \cdot R = 47,7 \text{ м.}$$

Поскольку объект был неподвижным, поправки к скоростям $\Delta\dot{\varphi}$, $\Delta\dot{\lambda}$ равны нулю.

Таким образом, повышение точности определения местоположения объекта по спутникам (с 60 м до 47,7 м в данном случае) возможно за счет включения систематических погрешностей псевдодальностей в число определяемых параметров.

Рассмотренный подход может быть использован для выявления асинхронности измерений псевдодальностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. RINEX (The Receiver Independent Exchange Format). Аппаратно-независимый формат обмена навигационными данными, версия 2.11, Перевод на русский язык. Чуркин В. В., Кононова Е. А. 27 октября 2008 г. – Российский государственный гидрометеорологический университет. – 42 с.
2. Гаврилов В. В., Данилова Г. К., Лапшина В. И. Решение навигационной задачи по данным измерения радиальной дальности // Навигация и гидрография. – 2008. – №27. – С. 33–40.
3. Гаврилов В. В., Данилова Г. К., Лапшина В. И., Малеев П. И. К вопросу определения скорости и курса подвижного объекта по данным от навигационных спутников // Навигация и гидрография. – 2010. – №29. – С. 36–44.
4. Худсон Д. Статистика для физиков. – М.: Мир, 1970. – 295 с.
5. Жданюк Б. Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. – М.: Сов. радио, 1978. – 384 с.

ON OBTAINING THE POSITION AND SPEED OF AN OBJECT BY SATELLITES IN CASE OF SYNCHRONIZATION DISRUPTION FOR MEASURED PSEUDO-RANGES

V. V. Gavrilov, P. I. Maleyev («GNINGI» OJSC)

The pseudo-ranges obtained by satellites that are the difference of the moments for the signals received by the satellite clock scales and scales of receiving equipment, multiplied by the velocity of light, are distorted due to a number of factors: the discrepancy of the receiver and satellite, influence of ionosphere and troposphere, carrier phase noises etc. Each developer of the receiving equipment excludes the interference by his own methods (unknown to the users).

The aim of the article is to evaluate the influence of this interference and the possible accuracy of finding the position and speed of an object, using the real measured asynchronous pseudo-ranges.

УДК 519.68:15:681.5

**МНОГОУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОПАСНЫХ СИТУАЦИЙ
БЕРЕГОВЫМИ СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДОВ****В. М. ГРИНЯК** (ДФФУ),
Л. В. ГЕРАСИМЕНКО (ВГУЭС),
А. С. ДЕВЯТИСИЛЬНЫЙ (ИАПУ ДВО РАН)

Статья посвящена проблеме навигационной безопасности движения морских судов. Рассматривается подход, позволяющий вырабатывать тревожные сигналы с выделением различных уровней опасности. В основу критерия разделения уровней опасности положены траекторные свойства движения судов. Предложена система правил, апеллирующая к модельным представлениям типа «судно-судно» и позволяющая упорядочить действия диспетчера при управлении коллективным движением судов. Приводятся результаты моделирования и натурного исследования трафика в акватории порта Владивосток, подтверждающие конструктивность предлагаемых идей.

Работа поддержана грантом РФФИ, проект 15-08-00234.

Введение

Навигационная безопасность коллективного движения судов является актуальной проблемой эксплуатации водных транспортных путей [1]. Её обеспечение возложено на береговые системы управления движением судов (СУДС). В соответствии с общепринятой концепцией построения таких систем их задачи реализуются с использованием измерительной информации, доставляемой радарными и спутниковыми средствами траекторных измерений – транспондерами Автоматической идентификационной системы (АИС) [2].

В настоящее время можно выделить пять существующих и перспективных поколений СУДС.

Первое поколение СУДС использует в качестве информационной базы стандартные РЛС кругового обзора и реализует лишь визуализацию первичной измерительной информации – отражённого эхо-сигнала наблюдаемой акватории. Получили распространение в 1950–1960-е годы.

Второе поколение СУДС обладает повышенным уровнем визуализации радиолокационной информации за счет поддержки функций автосопровождения целей и, соответственно, возможности отображения меток судов с их координатами и скоростями. Получили распространение в конце 1960-х годов.

Третье поколение СУДС реализует, кроме функций визуализации навигационной обстановки (отображения первичного РЛС сигнала и меток целей), автоматизацию навигационных функций, что позволяет распознавать опасно сближающиеся суда. СУДС третьего поколения появились в 1970-е годы вместе с первыми универсальными ЭВМ. По настоящее время подавляющее большинство СУДС, обслуживающих порты земного шара, являются системами третьего поколения. В последнее де-

сятилетие эти системы получили дополнительное развитие навигационных и сервисных функций за счет повсеместного внедрения АИС, основанной на использовании на судах транспондеров. Транспондеры АИС передают на берег по запросу береговой СУДС координаты судна, определённые по спутниковой навигационной системе второго поколения, а также его название, регистрационные данные и служебную информацию, что значительно упрощает работу диспетчеров и открывает расширенные возможности по автоматизации. Такие СУДС с поддержкой АИС можно отнести к поколению 3+ («три с плюсом»).

Четвертое поколение СУДС построено на принципах интеллектуальных информационно-систем и, кроме визуализации навигационной информации, способны предоставлять оператору возможные решения по оптимальному и безопасному движению судов. Например, в соответствии с правилом 8b Международной конвенции по предотвращению столкновений судов (МППСС–72) для опасно сближающихся судов такие системы способны предложить рекомендации (экспертные решения) по изменению или курса, или скорости, или курса и скорости одновременно. В настоящее время СУДС четвёртого поколения ещё не получили широкого распространения, а их специфические функции используются скорее как исследовательские прототипы, а не как повседневное промышленное средство автоматизации.

Пятое поколение СУДС характеризуется расширенной функциональностью по диспетчеризации движения. В частности, СУДС пятого поколения способны решать задачи по планированию траектории безопасного движения судна с учетом текущего трафика (коллективного движения) и особенностей конкретной акватории, в том числе – планировать оптимальные схемы движения на акваториях в зависимости, например, от метеоусловий и времени года. В настоящее время СУДС пятого поколения находятся в стадии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, таким образом, пятое поколение СУДС можно считать перспективным.

Определение судов, движение которых является потенциально опасным (ведёт к столкновению), и выработка тревожных сигналов является центральной функцией, реализующей целевое назначение СУДС. Тревожный сигнал служит указанием оператору СУДС, на основании которого он принимает решение о необходимости изменения курса и скорости движения. При этом число объектов, для которых в текущий момент времени может быть выработан тревожный сигнал, увеличивается с ростом интенсивности движения [3]. Это приводит к расширению множества управленческих решений, способных обеспечить безопасное движение, и возрастанию неопределённости при принятии конкретного решения, что является побудительным мотивом дополнительно учитывать тип навигационной ситуации и выделять различные уровни ее опасности (типа «очень опасная», «опасная», «почти безопасная» и т. п.) [4]. Такой подход позволяет оператору СУДС упорядочить свои действия согласно установленному приоритету (например, в случаях, когда одновременно присутствуют несколько тревожных сигналов, принимать решения по наиболее опасным из них).

Движение морского транспорта имеет свою особую отраслевую специфику. Несмотря на развитие технологий автономных движущихся объектов (например, беспилотных летательных аппаратов, наземных роботов и т. п.), методы управления их движением неприменимы для судоводительской практики [5]. Это связано с тем, что каждая ситуация, сложившаяся при движении судов, является по-своему уникальной и зависит от множества факторов: Международных правил предупреждения столкновений судов (МППСС), правил судоходства на конкретной акватории, состо-

яния водной среды (течение, волнение), погодных условий, характера движения других судов, находящихся на акватории и т. д. Кроме того, динамика судна как объекта, движущегося в жидкой среде, также исключительно сложна. Поэтому сложившийся термин СУДС не подразумевает управления судном в классическом понимании (это задача систем автоматической радиолокационной прокладки и авторулевых). Задачей СУДС является общая координация (диспетчеризация) движения путем выдачи оператором СУДС указаний (например, о снижении скорости или изменении полосы движения), а способ выполнения этих указаний выбирает капитан судна. Таким образом, СУДС является системой поддержки принятия решений.

В настоящей работе рассматриваются возможные модели многоуровневой системы идентификации опасных ситуаций при коллективном движении морских судов, ориентированные на применение в СУДС. Предложенные модели используются авторами при создании новых перспективных методов работы СУДС.

Основные модельные представления

При моделировании навигационной безопасности коллективного движения прибегнем к построению модели безопасности «судно-судно» для каждой пары судов, что является обычной практикой [5].

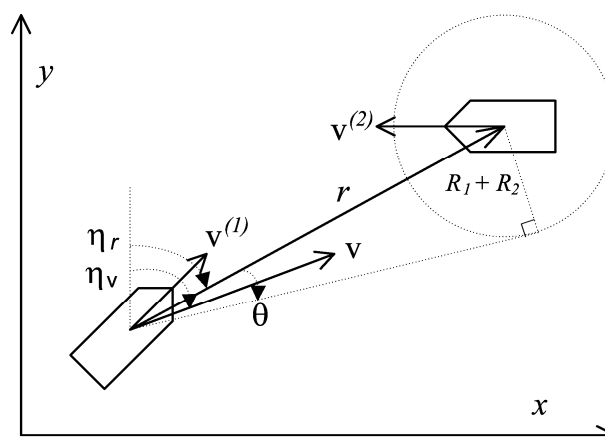


Рис. 1. Модель относительного движения пары «судно-судно»

Рассмотрим два судна с координатами $x^{(1)}, y^{(1)}$ и $x^{(2)}, y^{(2)}$ и скоростями $v_x^{(1)}, v_y^{(1)}$ и $v_x^{(2)}, v_y^{(2)}$. Будем описывать их коллективное движение набором величин $s = (r_x, r_y, v, \eta_v, w_v)$ – вектором состояния коллективного движения двух судов, где, $r_x = x^{(2)} - x^{(1)}, r_y = y^{(2)} - y^{(1)}$ – координаты вектора относительного положения судов; $v = \sqrt{(v_x^{(1)} - v_x^{(2)})^2 + (v_y^{(1)} - v_y^{(2)})^2}$ – скорость относительного движения судов; η_v – направление вектора скорости относительного движения судов; $w_v = d\eta_v/dt$ – скорость изменения угла η_v (рис. 1).

Главным условием безопасного коллективного движения является недопущение опасного сближения судов. Это обеспечивается соблюдением некоей «зоны безопасности» вокруг судна, называемой также «корабельным доменом» [5]. В настоящей работе рассматривается корабельный домен статического типа, жёстко привязанный к судну с номером n и интерпретируемый окружностью заданного радиуса R_n . Введем следующие величины (рис. 1):

$$\eta_r = \arctan\left(\frac{r_x}{r_y}\right) - \text{азимут вектора } \mathbf{r};$$

$$w_r = d\eta_r / dt = \frac{r_y v \sin \eta_v - r_x v \cos \eta_v}{|\mathbf{r}|^2} - \text{скорость изменения азимута вектора } \mathbf{r};$$

$\theta = \arcsin((R_1 + R_2) / |\mathbf{r}|)$ – угол, определяемый расстоянием между судами и размерами доменов (считается, что в безопасном состоянии корабельные домены не должны «вторгаться» друг в друга);

$$\dot{\theta} = d\theta / dt = - \frac{R_1 + R_2}{|\mathbf{r}|^2 \sqrt{1 - (R_1 + R_2)^2 / |\mathbf{r}|^2}} \frac{d|\mathbf{r}|}{dt} - \text{скорость изменения угла } \theta;$$

$$\frac{d|\mathbf{r}|}{dt} = - \frac{r_x v \sin \eta_v + r_y v \cos \eta_v}{|\mathbf{r}|} - \text{скорость изменения расстояния между судами};$$

$$T = - \frac{|\mathbf{r}|^2}{r_x v \sin \eta_v + r_y v \cos \eta_v} - \text{приближенное время, оставшееся до максимального сближения судов};$$

T^* – пороговое значение для времени T .

Потенциально опасное сближение двух судов можно формализовать следующим образом:

$$|\eta_v - \eta_r| < \theta, \tag{1}$$

$$|w_v - w_r| < \dot{\theta}, \tag{2}$$

$$0 < T < T^*. \tag{3}$$

Условие (1) формализует опасную ситуацию при равномерном и прямолинейном движении судов; условие (2) дополняет его в случае, если суда маневрируют; условие (3) отбирает из общего массива те суда, у которых время до сближения меньше порогового.

Определение степени опасности

Вектор \mathbf{s} может быть найден по данным береговой РЛС или по данным GPS различными способами (см. например, работу [7]).

При внешнем наблюдении в качестве информативного признака, определяющего степень опасности конкретной навигационной ситуации, могут выступать кинематические траекторные свойства движения. Практика судовождения показывает,

что маневрирующие и неманеврирующие суда с точки зрения безопасности коллективного движения имеют принципиальные различия. Во-первых, при внешнем наблюдении полностью достоверный прогноз траектории маневрирующего объекта невозможен [8]. Во-вторых, на практике маневрирование судна, как правило, свидетельствует о попытке судоводителя придать движению безопасный характер и о его контроле над ситуацией. Поэтому вербальный уровень опасности для маневрирующего объекта заведомо ниже, чем для неманеврирующего. С учетом сказанного дискретная оценка уровня опасности ситуации в зависимости от истинности условий (1), (2) и (3) (табл. 1) может быть следующей. Уровень опасности 0 (минимальный) соответствует безопасной ситуации; уровень опасности 1 (почти безопасный) – ситуации, когда суда могут сблизиться, если продолжат маневрирование; уровень 2 (средняя степень опасности) – ситуации, когда суда могут сблизиться, если прекратят маневрирование; уровень 3 (максимальный) – ситуации, когда суда сблизятся, если не начнут манёвр уклонения.

Таблица 1

Система правил для дискретной оценки уровня опасности
(основная модель)

№	(1)	(2)	(3)	Уровень
1	-	-	-	0
2	-	-	+	0
3	-	+	-	0
4	-	+	+	1
5	+	-	-	0
6	+	-	+	2
7	+	+	-	0
8	+	+	+	3

Дискретная оценка уровня опасности ситуации типа «очень опасная», «опасная», «почти безопасная» позволяет привлечь внимание диспетчера СУДС в первую очередь к наиболее опасным ситуациям. Возможно также представление уровня опасности непрерывной величиной. Для этого оказываются продуктивными идеи задач систем нечёткой логики. В этом случае правила (1), (2), (3) и уровень опасности представляются лингвистическими переменными с соответствующими термами и функциями принадлежности, а система правил (табл. 1) трансформируется в систему нечётких правил. При этом возможна модельная интерпретация задачи как нечёткой системой типа Мамдани (нечеткие вход и выход) [9], так и нечёткой системой типа Сугено (вход – нечёткий, выход – чёткий) [10]. Использование систем нечёткой логики позволяет гибко адаптировать задачу к особенностям трафика конкретной акватории путем обучения экспертным способом или на обучающей выборке.

Основной проблемой при практической реализации рассмотренной модели является необходимость оценки угловых скоростей, входящих в правило (2). При больших расстояниях между судами эта оценка неустойчива в условиях инструментальных погрешностей измерений [9, 10], что не даёт возможности надёжно распознавать опасно сближающиеся суда заблаговременно. Одним из путей решения этой проблемы является упрощённая интерпретация правила (2) – замена его детектором

маневра. Функция – детектор маневра позволяет оценить степень интенсивности маневрирования судна и может быть построена множеством известных способов (см. например, работу [11]). В этом случае вместо правила (2) будем иметь:

$$D < 0. \quad (4)$$

Если $D > 0$, то наблюдаемое судно маневрирует, если $D < 0$ – судно движется прямолинейно и равномерно.

С учетом сказанного будем иметь следующую систему правил для упрощённой модели в зависимости от истинности условий (1), (3) и (4) (табл. 2).

Таблица 2

Система правил для дискретной оценки уровня опасности (упрощённая модель)

№	(1)	(4)	(3)	Уровень
1	-	-	-	0
2	-	-	+	0
3	-	+	-	0
4	-	+	+	0
5	+	-	-	0
6	+	-	+	1
7	+	+	-	0
8	+	+	+	2

Уровень опасности 0 (минимальный) соответствует безопасной ситуации; уровень опасности 1 (средняя степень опасности) – ситуации, когда суда могут сблизиться, но при этом они маневрируют, то есть судоводитель, скорее всего, контролирует ситуацию; уровень 2 (максимальный) – ситуации, когда суда сблизятся, если не начнут манёвр уклонения. Как и для предыдущей, для упрощённой модели также возможна интерпретация системой нечеткой логики и представление уровня опасности непрерывной величиной. Как показывают проведённые исследования [12], упрощённая система более устойчива при больших расстояниях между судами, что позволяет распознавать их опасное сближение заблаговременно.

Результаты численного моделирования и натуральных исследований

Для демонстрации особенностей предложенной модели многоуровневой системы оценки рассмотрим модельный пример движения трёх судов (рис. 2). Пусть два судна, I и II, движутся прямолинейно и равномерно со скоростью 5 м/с, а судно III маневрирует. Моделирование проводилось при значениях $R_1 = R_2 = R_3 = 200$ м и $T^* = 300$ с.

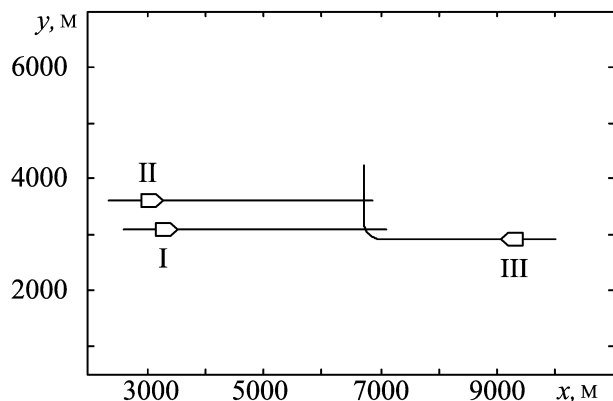


Рис. 2. Моделируемые траектории движения судов

Рис. 3 иллюстрирует определение уровня опасности навигационной ситуации непрерывной величиной u по мере движения судов с течением времени: «судно I – судно III» (левая колонка) и «судно II – судно III» (правая колонка).

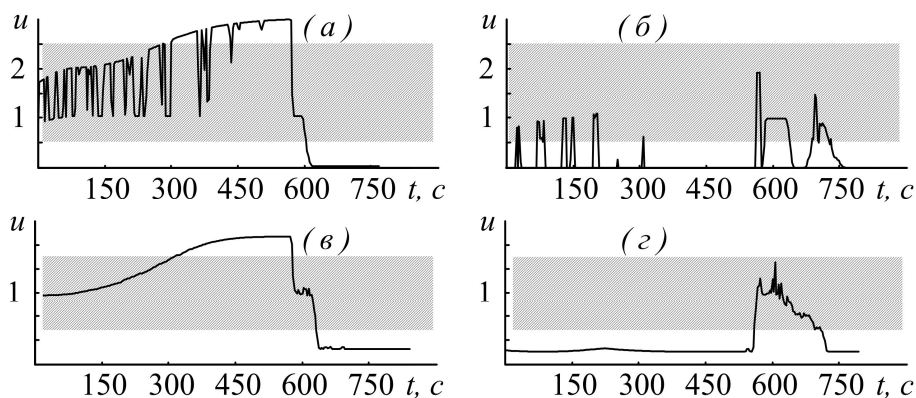


Рис. 3. Определение уровня опасности навигационной ситуации.
Объяснение в тексте

На рис. 3а, б показана оценка уровня опасности ситуации нечеткой системой, построенной на основе системы правил табл. 1. Видно (рис. 3а), что уровень опасности для судов I и III повышается по мере их сближения, достигая максимума при $t = 450$ с. При $t = 550$ с судно III начинает маневр поворотом вправо, после чего уровень опасности «судно I – судно III» быстро снижается. На рис. 3б видно, что суда II и III вначале движутся безопасно. После начала судном III манёвра уровень опасности «судно II – судно III» скачкообразно увеличивается до $u \approx 2$, а затем, по мере продолжения поворота судна III, снижается до уровня $u \approx 1$ и далее – до 0. Видно, что из-за влияния инструментальных погрешностей при больших расстояниях между судами оценки величины u носят нерегулярный характер, хотя в целом и позволяют решить задачу.

На рис. 3в, г показана оценка уровня опасности ситуации нечеткой системой, построенной на основе системы правил табл. 2. Видно (рис. 3в), что уровень опасно-

сти для пары судов I – III устойчив и постоянно повышается по мере их сближения. После начала судном III маневра уровень опасности быстро снижается. На рис. 3 видно, что суда II и III вначале движутся безопасно. После начала судном III манёвра уровень опасности для пары судов II – III скачкообразно увеличивается, а затем, по мере продолжения поворота судна III, снижается до безопасного уровня.

Следует сказать несколько слов о «заштрихованной» зоне уровня опасности рис. 3. Значения u , попадающие выше заштрихованной зоны, соответствуют однозначно опасной ситуации, на которую диспетчеру СУДС нужно немедленно обратить внимание (так называемая «красная тревога»). Значения u , попадающие ниже заштрихованной зоны, соответствуют однозначно безопасной ситуации, на которую диспетчеру СУДС не нужно отвлекаться. Значения u , лежащие внутри заштрихованной зоны – это случай, когда определённая степень опасности имеет место, о ней нужно поставить в известность диспетчера СУДС, но решение о необходимости выдачи рекомендаций судоводителю диспетчер принимает самостоятельно, исходя из неформальной, интуитивной экспертной оценки конкретной ситуации (так называемая «жёлтая тревога»). Это ситуация, в которую диспетчеру, скорее всего, вмешиваться немедленно не следует, а стоит подождать её дальнейшего развития.

Для рассмотренных моделей были проведены натурные эксперименты на реальных данных о движении судов по акватории, прилегающей к порту Владивосток [13]. Приведённый ниже типичный пример был получен по данным о движении судов в течение одних суток в летний период; в это время в зоне ответственности СУДС одновременно находилось около 80 судов.



Рис. 4. Движение судов по акватории порта Владивосток: положение судов с тревожными сигналами уровня «красный» (темные точки) и «жёлтый» (светлые точки)

На рис. 4 показано положение судов на акватории в те моменты времени, когда для них был сгенерирован тревожный сигнал уровня, соответственно, «жёлтый» и «красный» (желтые и красные точки). Видно, что наибольшее количество тревог возникает во внутренних портовых водах, где суда располагаются близко друг к другу, и

высока интенсивность движения малых плавсредств (катеров, буксиров). Оба уровня тревоги имеют место и при движении судов вне портовых вод: Амурском (слева), Уссурийском (справа) заливах, проливе Босфор Восточный. Доля тревожных сигналов уровня «желтый» составляет около 20%, места их генерации не образуют устойчивых зон.

Заключение

Рассмотренный в статье подход к построению многоуровневой системы оценки состояния навигационной безопасности морской акватории позволяет наглядно представлять особенности навигационной обстановки. Предложенная цветовая интерпретация уровней тревоги типа «красный» и «желтый» интуитивно понятна судоводителям и операторам СУДС. Тот факт, что доля ситуаций уровня «желтый» на типичной акватории довольно значительна, говорит о том, многоуровневая оценка ситуации актуальна для практики, а её применение может способствовать упорядочиванию работы операторов СУДС в условиях высокой интенсивности движения.

Результаты работы ориентированы на расширение функций современных систем управления движением судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моисеев Г. А. Безопасность морского судоходства // Транспорт: наука, техника, управление. – 2010. – №12. – С. 43–45.
2. Ростопшин Д. Я., Антонова Д. А. О проблемах использования данных автоматической идентификационной системы в задачах управления движением судов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2007. – №9. – С. 63–69.
3. Бродский П. Г., Румянцев Ю. В., Некрасов С. Н. К вопросу оценки влияния интенсивности судоходства на аварийность // Навигация и гидрография. – 2010. – №30. – С. 36–42.
4. Коноплев М. А. Применение аппарата нечеткой логики для определения уровня опасности столкновения // Эксплуатация морского транспорта. – 2009. – №2. – С. 34–39.
5. Tam Ch. K., Bucknall R., Greig A. Review of collision avoidance and path planning methods for ships in close range encounters // Journal of Navigation. – 2009. – Vol. 62. – №3. – P. 455–476.
6. Goodwin E. M. A statistical study of ship domains // Journal of Navigation. – 1975. – Vol. 28. – P. 328–341.
7. Гриняк В. М., Головченко Б. С., Малько В. Н. Распознавание опасных ситуаций системами управления движением судов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2011. – №8. – С. 42–45.
8. Сазонов А. Е., Дерябин В. В. Прогнозирование траектории движения судна при помощи нейронной сети // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2013. – №3. – С. 6–13.
9. Гриняк В. М., Девятисильный А. С. Нечеткая система распознавания опасного сближения судов на морских акваториях // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2014. – №11. – С. 36–42.
10. Гриняк В. М. Нечеткая система распознавания опасного сближения морских судов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2014. – №6. – С. 6–10.
11. Никитин А. А., Грицык П. А. Сопровождение маневрирующей цели // Антенны. – 2013. – №1. – С. 25–29.
12. Головченко Б. С., Гриняк В. М., Девятисильный А. С. Нечеткая система предупреждения об опасном сближении морских судов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2015. – №1. – С. 15–25.
13. Головченко Б. С., Гриняк В. М. Информационная система сбора данных трафика морской акватории // Научно-техническая информация. Сер. 2: Информационные процессы и системы. – 2014. – №8. – С. 24–28.

MULTILEVEL MODEL OF SHIPS COLLISION RISK ASSESSMENT

V. M. Grinyak (FEFU), **L. V. Gerasimenko** (VSUES),
A. S. Devyatisilny (IACP FEB RAS)

The problem of marine vessel traffic control is discussed. The model of information system for marine safety estimation (ships collision avoidance) is considered. The system defines several alarm levels: «green», «yellow» and «red». The alarm criterion is based on maneuver detector. If the ship is maneuvering, her alarm level decreases («yellow»). Mathematical model of position and speed estimation for alarm generation is proposed. Some results of experiments, such as numerical experiments for typical ship paths and experiments for vessel traffic in Vladivostok port water area are shown. There are about 20 % «yellow» alarms and 80 % «red» alarms. These alarms are generated throughout the water area.

ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

УДК 528.28:528.94

УТОЧНЕННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ГЕОГРАФИЧЕСКИМИ И КВАЗИГЕОГРАФИЧЕСКИМИ КООРДИНАТАМИ С УЧЕТОМ СФЕРОИДИЧНОСТИ ЗЕМЛИ

А. В. КАВРАЙСКИЙ
(ОАО «ГНИНГИ»)

Приводится уточненное математическое описание построения системы квазигеографических координат с учетом сфероидичности Земли, позволяющее устранить разночтения по данному вопросу в научно-технической литературе. Дается оценка методических погрешностей вычислений по приведенным формулам, показана правомерность их применения для новых отечественных геодезических систем ГСК-2011 и ПЗ-90.11.

Одним из методических приемов при навигационно-гидрографическом обеспечении кораблевождения и решении других задач НГО в околополюсном районе является применение квазигеографических координат. Принципы их построения и соответствующие математические зависимости приведены в ряде источников [1–6]. Однако между приводимыми формулами имеются некоторые различия, главным образом в отношении учета сфероидичности Земли, отсутствует оценка погрешностей, возникающих за счет допускаемых упрощений.

Учитывая повышение требований к точности решения задач НГО ВМФ с применением современных средств цифровой вычислительной техники, представляется целесообразным дать более строгое и однозначное определение системы квазигеографических координат и методов ее применения.

В качестве параллели, ограничивающей с юга рассматриваемый полярный район, условно примем $\varphi_s = 70$ с. ш., что перекрывает зону практического использования квазигеографических координат.

1. Уточнение математического описания системы квазигеографических координат

1.1. Общий вид формул преобразования географических координат в квазигеографические

Система квазигеографических координат (КГК) строится следующим образом.

На шаре с радиусом R , близким к радиусам кривизны эллипсоида, строится система «сферических географических» координат: сферических географических ши-

рот u и параллелей (от 0° до $\pm 90^\circ$), сферических географических долгот w и меридианов (от 0° до $\pm 180^\circ$).

Северный сегмент земного эллипсоида, ограниченный параллелью φ_s , изображается на поверхности шара, при этом точка географического северного полюса изображается в точке северного полюса шара, а меридианы и параллели эллипсоида изображаются меридианами и параллелями шара.

На экваторе шара ($u = 0^\circ$) точка с долготой $w = 180^\circ$ принимается за «квасеверный полюс», а точка с долготой $w = 0^\circ$ главным образом за «квазиюжный полюс» системы квазигеографических координат. Получаем новую, «квазигеографическую» систему координат, с соответствующими квазипараллелями и квазимеридианами, развернутую на 90° относительно «сферической географической».

Таким образом, система квазигеографических координат является производной от системы географических координат (ГК), т. е. строится путем чисто математических преобразований последних согласно изложенному выше. Формулы, определяющие квазигеографические координаты, в общем случае имеют вид [1–7]:

$$u = u(\varphi); \quad (1)$$

$$w = w(\lambda); \quad (2)$$

$$\varphi_q = -\arcsin(\cos u \cos w); \quad (3)$$

$$\lambda_q = \arctg(\ctgu \sin w), \quad (4)$$

где φ, λ – географические координаты на земном эллипсоиде, или «сфероидические географические координаты»;

u, w – сферические географические координаты;

$u(\varphi), w(\lambda)$ – зависимости, определяемые принятым способом изображения земного эллипсоида на шаре;

φ_q, λ_q – квазигеографическая широта, соответствующая квазипараллелям и квазигеографическая долгота, соответствующая квазимеридианам.

Конкретный вид зависимостей $u = u(\varphi)$ и $w = w(\lambda)$ зависит от принятого способа изображения эллипсоида на шаре.

Формулы (3) и (4) определяют связь двух систем сферических координат на шаре, развернутых на 90° по отношению друг к другу.

При математическом описании системы квазигеографических координат в указанных выше источниках применяются два различных способа изображения эллипсоида на шаре: изображение эллипсоида на шаре с соответствием по нормалям и равноугольное изображение эллипсоида на шаре по Гауссу [6–10].

Первый способ является простейшим из возможных и определяется выражениями:

$$u = \varphi ; \tag{5}$$

$$w = \lambda , \tag{6}$$

т. е. в формулах (1) и (2) принимается $u(\varphi) = u$, $w(\lambda) = w$ или, иными словами, Земля принимается за шар. Система квазигеографических координат определяется в этом случае формулами (3) и (4) с подстановкой в них φ , вместо u и λ вместо w [1–5].

Такой способ ведет к возникновению погрешностей в расстояниях и направлениях, рассчитываемых в системе квазигеографических координат на шаре. Величины этих погрешностей (предельной относительной погрешности расстояний $|v|_{\max}$) и предельной погрешности направлений ΔA_{\max}), рассчитанные по известным формулам [9], приведены в табл. 1.

Указанные в табл. 1 значения радиусов шара являются оптимальными для полярных районов, ограниченных указанными широтами. При любых других значениях радиусов шара предельные погрешности расстояний будут больше.

Таблица 1

Оптимальные радиусы шара для полярных районов и погрешности расчета расстояний и азимутов на шаре при данных радиусах

Южная широта φ_s	Оптимальный радиус шара $R_{opt}, \text{ м}$	Предельная относительная погрешность расстояний, $ v _{\max}$	Предельная погрешность направлений, ΔA_{\max}
75°	6 397 546,8	0,000336	46,2"
80°	6 398 730,2	0,000151	20,8"
85°	6 399 454,9	0,000038	5,2"

Второй способ – равноугольное изображение эллипсоида на шаре по Гауссу – обладает тем преимуществом, что обеспечивает пренебрежимо малые погрешности в расстояниях ($|v|_{\max} = 2 \cdot 10^{-6}$) и направлениях ($\Delta A_{\max} = I''$), вычисляемых на шаре в пределах всего полярного сегмента, ограниченного параллелью 75° с. ш. Независимо от того, насколько погрешности, сопутствующие первому способу, допустимы, с точки зрения решения современных задач плавания в приполюсном районе, предпочтение должно быть отдано второму способу как обеспечивающему многократное уменьшение погрешностей.

Согласно действующему руководящему документу – Правилам гидрографической службы № 5 (ПГС-5) [6] для построения навигационных морских карт (НМК) на широты выше 75° с. ш. в поперечной проекции Меркатора используется система квазигеографических координат, построенная с применением равноугольного изображения эллипсоида на шаре по Гауссу (см. также работу [7]). Очевидно, что решение задач навигации и всех других геопространственных задач должно выполняться в таких же квазигеографических координатах.

К сожалению, из-за отмеченного выше различия методов перехода на шар, приводимых в различных источниках, такое различие имеет место и в программном

обеспечении некоторых технических средств навигации. Например, в изделии «Шлюз» используется первый способ изображения эллипсоида на шаре, в изделии «Бриз-ПЛ» – второй (исх. в/ч 59051 № 53/2/2951 от 22.12.2005 г.). Величина расхождений в квазигеографических координатах точек, рассчитанных двумя указанными способами, для широт 78° – 90° не превышает 122 м, и при использовании карт масштаб 1:200 000 и мельче эта величина не существенна. Следовательно, карты таких масштабов, составленные согласно ПГС-5, могут использоваться и для изделия «Шлюз».

1.2 Преобразование географических координат в квазигеографические с применением равноугольного изображения эллипсоида на шаре по Гауссу.

Применение метода изображения эллипсоида на шаре позволяет решать задачи, относящиеся к поверхности земного эллипсоида, по простым формулам сферической тригонометрии. В числе известных методов такого рода наилучшее приближение к строгому решению задач на эллипсоиде даёт равноугольное изображение эллипсоида на шаре с искажениями длин не ниже третьего порядка малости, формулы которого впервые выведены Гауссом, и называемое также «равноугольным изображением эллипсоида на шаре по Гауссу» [9, 10].

Равноугольное изображение по Гауссу обеспечивает малые искажения длин в пределах определённого широтного пояса, предельная ширина которого на практике допускается до $\pm 20^\circ$ от заданной средней («нормальной») параллели φ_n , на которой искажения длин отсутствуют (масштаб изображения $m = 1$, искажение длин $v_i = m_i - 1 = 0$). Предельные положительные и отрицательные значения искажений длин v на крайних параллелях широтного пояса примерно одинаковы, т. е. изображение обладает свойством минимума крайних искажений [8].

Последовательность вычислений для равноугольного изображения эллипсоида на шаре по Гауссу определяется формулами [6, 8, 9, 10]:

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{3}{2}}}; \quad (7)$$

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{1}{2}}}; \quad (8)$$

$$\operatorname{ctg} u_n = \sqrt{\frac{N_n}{M_n} \operatorname{ctg} \varphi_n}; \quad (9)$$

$$\alpha = \frac{\sin \varphi_n}{\sin u_n}; \quad (10)$$

$$U(\varphi) = \frac{\cos \varphi}{1 - \sin \varphi} \left(\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right)^{0,5e}; \quad (11)$$

$$K = \operatorname{ctg}\left(45^\circ + \frac{u_n}{2}\right)U_n^\alpha; \quad (12)$$

$$\operatorname{ctg}\left(45^\circ + \frac{u}{2}\right) = \frac{K}{U^\alpha}; \quad (13)$$

$$w = \alpha\lambda; \quad (14)$$

$$R_n = \sqrt{M_n \cdot N_n}; \quad (15)$$

$$m = \frac{\alpha R_n \cos u}{N \cos \varphi}, \quad (16)$$

где φ, λ – географические координаты на эллипсоиде;
 u, w – сферические широта и долгота на шаре;
 M, N – радиусы кривизны меридиана и первого вертикала эллипсоида;
 φ_n – широта средней («нормальной») параллели изображаемой области эллипсоида;

e – первый эксцентриситет эллипсоида;

α, K – параметры изображения эллипсоида на шаре;

R_n – радиус шара;

m – переменный масштаб изображения эллипсоида на шаре в широтах φ .

Индекс n в формулах означает, что величина вычисляется для широты φ_n .

Рассматривая возможные методы практического применения изображения эллипсоида на шаре по Гауссу, особенно при построении соответствующего программного обеспечения, необходимо учесть особенности, возникающие при изображении на шаре полярного сегмента земного эллипсоида.

Из формулы (14), учитывая, что при $\varphi_n \neq 90^\circ \alpha > 1$, следует, что изображение полного (замкнутого) широтного пояса эллипсоида не будет сплошным, так как с меридианом шара $w = \pm 180^\circ$ будут совпадать два меридиана эллипсоида, меньшие по абсолютной величине, чем 180° [11]. Это свойство не играет роли в решении задач в пределах весьма значительных областей поверхности Земли, вписывающихся в рамки сфероидической трапеции. Однако, если данный способ изображения эллипсоида на шаре применить для отображения целиком полярного сегмента эллипсоида, возникающий «сектор разрыва» необходимо устранить, иначе получаемое сферическое изображение и его проекция на плоскость не будут сплошными. Для устранения возникающего разрыва при отображении полярного сегмента принимается условие: $\alpha = 1$. Такое изменение в системе математических зависимостей, обеспечивающих получение минимума крайних искажений, несколько увеличивает их. Для обеспечения свойства минимальности искажений и при $\alpha = 1$ в получаемом ряде v радиус шара R_{III} рассчитывается по формуле [11]:

$$R_{III} = c\sqrt{M_n N_n}. \quad (17)$$

Введённый дополнительный параметр c подбирается под условием получения оптимального распределения величин относительных искажений длин v : $v = m - 1$; $\max|v| = \min$.

Для этого:

– образуем ряд из D широт в заданном диапазоне: $\varphi_s = 70^\circ$, $\varphi_N = 90^\circ$, $\varphi_n = 80^\circ$ по формулам: $h = (\varphi_N - \varphi_s):D$; i принимает значения от 0 до D ; $\varphi_i = \varphi_N - h \cdot i$ (при расчетах широты выражаются в радианной мере);

– для избежания неопределенности при вычислении $U(90^\circ)$ по формуле (11) вместо $\varphi_0 = \pi/2$ принимаем $\varphi_0 = \pi/2 - 2 \cdot 10^{-9}$ («отступаем» от точки полюса на пренебрежимо малое расстояние около 1 см);

– вычисляем ряд значений масштаба m_i изображения эллипсоида на шаре для полученных широт φ_i по формулам (9) – (16) с подстановкой $\alpha = 1$;

– далее получаем $v_i = m_i - 1$; $v_{\max} = \max(v_i)$; $v_{\min} = \min(v_i)$, находим требуемый коэффициент $c = 1 - 0,5(v_{\max} + v_{\min})$ и по формуле (17) получаем R_{III} .

Из экспериментальных вычислений установлено, что после $D = 10$, при дальнейшем увеличении ряда, результат расчетов практически не изменяется.

Для эллипсоида Красовского ($a = 6\,378\,245$ м, $e = 0,081813334$), приняв $\alpha = 1$, $\varphi_n = 80^\circ$, $D = 20$, по формулам (7) – (16) получим:

$K = 0,99351511$, $R_n = 6\,398\,399$ м – «радиус средней кривизны» на широте $\varphi_n = 80^\circ$, $c = 1,00000223$, $R_{III} = 6\,398\,412,8$ м.

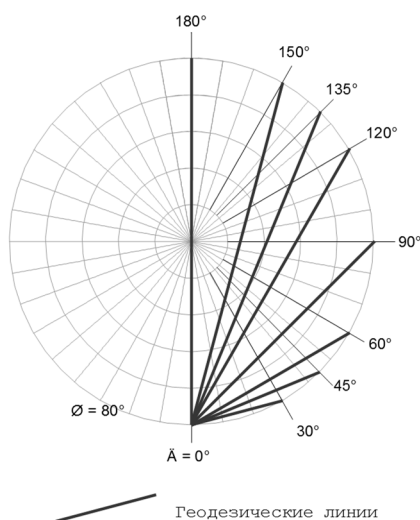
Из расчетов величин $v_i = m_i - 1$ для ряда широт от 70° до 90° через 1° получено:

- по формулам (7) – (16) без изменений – $\max|v| = 537 \cdot 10^{-7}$;
- по формулам (7) – (16) с подстановкой $\alpha = 1$, R_n – $\max|v| = 38 \cdot 10^{-7}$;
- по формулам (7) – (16) с подстановкой $\alpha = 1$, R_{III} – $\max|v| = 16 \cdot 10^{-7}$.

Поскольку рассматриваемый метод изображения равноугольный, ошибки в направлениях при решении геодезических задач на шаре возникают только за счет геодезической кривизны изображения на шаре геодезических линий сфероида. Расчеты показали, что для расстояний до 3 000 км, в пределах широт $\varphi_s = 75^\circ$, $\varphi_N = 90^\circ$ ожидаемые погрешности $|\Delta A|$ направлений A не превышают 1" [11].

Таким образом, результаты расчетов подтверждают правомерность и целесообразность применения описанного выше модифицированного метода равноугольного изображения эллипсоида на шаре для полярного сегмента.

Для подтверждения полученной оценки погрешностей длин и направлений выполнены контрольные расчеты. Обратные геодезические задачи (ОГЗ) решались на поверхности эллипсоида способом Бесселя (точность – 1–2 см) и на сферическом изображении полярного сегмента эллипсоида, полученном с использованием рассмотренного метода изображения эллипсоида на шаре. В контрольные примеры включены восемь линий различных направлений согласно схеме на рисунке.



**Расположение геодезических линий
для контрольных расчетов погрешностей длин и направлений**

Фактические погрешности решения ОГЗ на шаре определялись как разности ΔS , ΔA вычисленных расстояний и азимутов S и A : $\Delta S = S_{\text{ш}} - S_{\text{э}}$, $\Delta A = A_{\text{ш}} - A_{\text{э}}$.

Для указанных на рисунке геодезических линий получено: $\max|\Delta S| = 0,9$ м, $\max|\Delta A| = 0,5''$, $\max|\nu| = 10 \cdot 10^{-7}$, где $\nu = \Delta S : S_{\text{э}}$. Данные величины находятся в пределах теоретически рассчитанных, указанных выше: $\max|\nu| = 16 \cdot 10^{-7}$, $\max|\Delta A| = 1''$.

Таким образом, для заданного полярного сегмента эллипсоида Красовского ($\varphi_s = 70^\circ$, $\varphi_N = 90^\circ$, $\varphi_n = 80^\circ$) его изображение на поверхности шара определится следующими параметрами и формулами:

$K = 0,99351511$, $R_{\text{ш}} = 6\,398\,412,8$ м, формула (11), формулы (13) и (14) с подстановкой $\alpha = 1$.

После некоторых преобразований из формул (11), (13) получим:

$$u = 2 \operatorname{arctg} \frac{\cos \varphi \left(\frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right)^{0,5e}}{K} - \frac{\pi}{2}; \quad (18)$$

$$w = \lambda. \quad (19)$$

Подставляя u и w в формулы (3), (4) получаем квазигеографические координаты φ_q, λ_q .

Сферическую широту u для широт $75^\circ - 90^\circ$ можно вычислять по упрощенной формуле:

$$u = \varphi + \delta\varphi, \quad (20)$$

получая $\delta\varphi$ из степенного ряда [7]:

$$\delta\varphi'' = -0,1'' - 81,219''(\varphi - C) + 497,132''(\varphi - C)^2 - 667,346''(\varphi - C)^3, \quad (21)$$

где φ выражается в радианах, $C = 1,32645$ радиана.

Ряд (21) получен как интерполяционный многочлен 3-й степени методом параболической интерполяции. Для этого использовались величины $\delta\varphi = u - \varphi$, полученные для эллипсоида Красовского по строгой формуле (18) для широт $76^\circ - 90^\circ$ с шагом 1° .

Погрешности $d\delta\varphi$ вычисления $\delta\varphi$ по ряду (21) определяются разностью:

$$d\delta\varphi'' = \delta\varphi''r - \delta\varphi'',$$

где $\delta\varphi''$ вычисляется по строгой формуле (18). Вычисления для широт $77^\circ - 90^\circ$ (области практического применения КГК, покрытой картами-сетками в поперечной проекции Меркатора) показали, что эти погрешности не превышают $0,01''$, т. е. ≈ 30 см на местности.

Таким образом, с точностью, достаточной для решения расчетных задач навигации и картографии, пересчет ГК в КГК может выполняться по формулам (21), (20), (19), (3), (4).

1.3. Преобразования квазигеографических координат в географические

1.3.1. Вычисление сфероидической географической широты $\varphi = \varphi(u)$

Сферическая широта u вычисляется по формуле [6]:

$$u = \arcsin(\cos\varphi_q \cdot \cos\lambda_q). \quad (22)$$

Для вычисления сфероидической географической широты $\varphi = \varphi(u)$ воспользуемся формулой, связывающей функцию U с так называемой «изометрической широтой» χ [9]:

$$U = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\chi}{2}\right). \quad (23)$$

Из формулы (13), учитывая, что $\alpha = 1$, получим $\operatorname{ctg}\left(45^\circ + \frac{u}{2}\right) = \frac{K}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\chi}{2}\right)}$,

откуда найдем выражение для χ :

$$\chi = 2 \operatorname{arctg}\left[K \operatorname{tg}\left(\frac{u}{2} + \frac{\pi}{4}\right)\right] - \frac{\pi}{2}.$$

Сфероидическая географическая широта φ вычисляется по изометрической широте χ с помощью тригонометрического ряда [9]:

$$\varphi = \chi + c_2 \sin 2\chi + c_4 \sin 4\chi + c_6 \sin 6\chi, \quad (24)$$

где

$$c_2 = \frac{e^2}{2} + 5\frac{e^4}{24} + \frac{e^6}{12}, \quad c_4 = 7\frac{e^4}{48} + 29\frac{e^6}{240}, \quad c_6 = 7\frac{e^6}{120}.$$

Широта φ может быть вычислена и по упрощенной формуле с использованием ряда, аналогичного формуле (21), но по аргументу сферической широты u :

$$\delta u_r'' = -0,1'' - 81,219''(u - C) + 497,132''(u - C)^2 - 667,346''(u - C)^3, \quad (25)$$

$$\varphi = u - \delta u_r. \quad (26)$$

Ввиду малости $\delta\varphi''$ коэффициенты и величина C в формулах (21) и (25) идентичны. Правомерность сделанного допущения может быть проконтролирована решением примеров с вычислением функции $\varphi = \varphi(u)$ по строгим формулам (13), (23), (24) и по упрощенным – (25), (26). Из вычислений получено, что для широт $77^\circ - 90^\circ$ величина $d\delta u'' = \delta u_r'' - \delta u''$ не превышает $0,01''$.

1.3.2. Вычисление сфероидической географической долготы λ

Формула, связывающая сферическую долготу с квазигеографическими координатами, имеет вид [6]:

$$w = \operatorname{arctg} \left[-\frac{\sin \lambda_q}{\operatorname{tg} \varphi_q} \right]. \quad (27)$$

Учитывая, что согласно формуле (19) $\lambda = w$, имеем:

$$\lambda = \operatorname{arctg} \left[-\frac{\sin \lambda_q}{\operatorname{tg} \varphi_q} \right]. \quad (27)$$

Область возможных значений долготы λ определяется выражением:

$$-180^\circ < \lambda \leq 180^\circ,$$

тогда как область значений арктангенса имеет вид: $-90^\circ < \operatorname{arctg}(x) < 90^\circ$. Кроме того, при $\varphi_q = 0$ в правой части формулы (27) возникнет деление на 0.

Для вычисления долготы в требуемых пределах и исключения деления на 0 преобразуем формулу (27) и введем дополнительные логические условия. Долготу будем вычислять через $\operatorname{arcsctg}$, так как область значений арккотангенса имеет вид:

$0^\circ < \text{arccctg}(x) < 180^\circ$. Учитывая, что $\text{arctg}\left[-\frac{\sin \lambda_q}{\text{tg } \varphi_q}\right] = \text{arccctg}\left[-\frac{\text{tg } \varphi_q}{\sin \lambda_q}\right]$, и $\text{arccctg}(x) = \pi/2 - \text{arctg}(x)$, для вычисления λ получим формулу:

$$\lambda = \frac{\pi}{2} - \text{arctg}\left[-\frac{\text{tg } \varphi_q}{\sin \lambda_q}\right]. \quad (28)$$

Далее:

1) Устанавливается некоторая малая угловая величина ε , заведомо не превышающая допустимую методическую погрешность вычисления координат: например, $\varepsilon = 0,00000005$ радиан, что соответствует линейной погрешности места ≈ 30 см.

2) Если $|\lambda_q| < \varepsilon$, то принимается $\lambda_q = \varepsilon$, в других случаях $\lambda_q = \lambda_q$.

3) Значение λ вычисляется по формуле $\lambda_p = \frac{\pi}{2} - \text{arctg}\left[-\frac{\text{tg } \varphi_q}{\sin \lambda_q}\right]$ и условиям:

$$\text{если } \lambda_q > 0, \text{ то } \lambda = \lambda_p, \quad \text{если } \lambda_q \leq 0, \text{ то } \lambda = \lambda_p - \pi. \quad (29)$$

2. Построение системы квазигеографических координат для государственных систем координат РФ и системы координат WGS-84

Во всех расчетах, выполненных для описания и обоснования методики построения системы квазигеографических координат (раздел 1), использованы параметры эллипсоида Красовского, принятого для системы координат 1942 года. Те же параметры использованы и для расчетов, приведенных в ПГС-5, Приложение 10: «Вычисление и построение картографической сетки в поперечной равноугольной цилиндрической проекции Меркатора» [6].

В соответствии с Постановлением Правительства № 1463 от 28 декабря 2012 г. в РФ установлены единые государственные системы координат, приведенные в табл. 2. (№№ 2-4), а до 1 января 2017 года применяется система координат 1942 года (в отношении материалов, созданных с её использованием). В морской картографии применяется также система WGS-84.

Таблица 2

Геодезические системы, применяемые в РФ, и параметры соответствующих эллипсоидов

№ п/п	Геодезические системы координат	Большая полуось a	Знаменатель t сжатия f $t = 1 : f$
1	СК-42	6 378 245	298,3
2	СК-95	6 378 245	298,3
3	ГСК-2011	6 378 136,5	298,2564151
4	ПЗ-90.11	6 378 136	298,25784
5	WGS-84	6 378 137	298,257223563

В таблице приведены параметры эллипсоидов, принятых для данных геодезических систем.

Согласно разделу 1 статьи связь географических и квазигеографических координат определяется следующими параметрами и соотношениями.

1. Параметр e эллипсоида, принятого для системы геодезических координат.
2. Параметр K равноугольного изображения эллипсоида на шаре по Гауссу, модифицированного для полярного района.
3. Строгие формулы преобразования ГК в КГК: (3), (4), (18).
4. Строгие формулы преобразования КГК в ГК: (22), (23), (24), (28) и условия вычисления λ , изложенные в п. 1.3.2.

Как отмечено выше в пунктах 1.2 и 1.3 статьи, вместо формулы (18) вычисление сферической широты u может выполняться по упрощенным зависимостям вида (20), (21), а вычисление географической эллипсоидальной широты φ может выполняться по аналогичным зависимостям (25), (26). При вычислении коэффициентов рядов (21) и (25) использовались параметры эллипсоида Красовского.

Для выяснения влияния на построение системы КГК различия параметров эллипсоидов, принятых в применяемых геодезических системах, проведены следующие расчеты.

- 1) Вычислены значения параметров K и R_{III} для эллипсоидов, указанных в табл. 2. Полученные значения приведены в табл. 3. Здесь же даны значения 1-го эксцентриситета всех указанных эллипсоидов, рассчитанные по формуле:

$$e = (2f - f^2)^{0,5}.$$

Таблица 3

Значения параметров, используемых в зависимостях, связывающих географические и квазигеографические координаты

№ п/п	Эллипсоид	Параметр K	Первый эксцентриситет e	Радиус шара R_{III}
1	Красовского (СК-42, СК-95)	0,99351511	0,081813334	6 398 412,82
2	ГСК-2011	0,99351416	0,081819302	6 398 307,03
3	ПЗ-90.11	0,99351419	0,081819106	6 398 306,43
4	WGS-84	0,99351418	0,081819191	6 398 307,47

Из таблицы видно, что наибольшее различие параметров e и K имеет место для эллипсоида Красовского (системы СК-42, СК-95) и системы координат ГСК-2011.

- 2) Вычислены для широт $77^\circ - 90^\circ$ величины:

u_{SK-42} – сферические широты (по параметрам e и K эллипсоида Красовского);

$\delta\varphi''_{SK-42} = u_{SK-42} - \varphi$ – строгие значения поправки перехода от географических широт к сферическим для эллипсоида Красовского;

u_{GSK} – сферические широты (по параметрам e и K эллипсоида ГСК-2011);

$\delta\varphi''_{GSK} = u_{GSK} - \varphi$ – строгие значения поправки перехода от географических широт к сферическим для эллипсоида ГСК-2011.

$\delta\varphi''_r$ – поправки перехода от географических широт к сферическим вычисленные из ряда (21).

3) Вычислены разности соответствующих поправок:

$$d\delta\varphi''_{GSK, SK-42} = \delta\varphi''_{GSK} - \delta\varphi''_{SK-42}, \quad d\delta\varphi''_{GSK, r} = \delta\varphi''_{GSK} - \delta\varphi''_r.$$

Результаты вычислений показали, что различие поправок перехода с эллипсоида на шар для систем ГСК-2011 и СК-42 пренебрежимо мало: $\max(d\delta\varphi'') = 0,01'' \approx 31$ см. Не более этого и различие для любой пары систем из табл. 3.

Таким образом, выполненные оценочные расчеты, а также данные по построению картографической сетки в поперечной проекции Меркатора, приведенные в ПГС-5 (Приложение 10), одинаково справедливы для всех эллипсоидов, указанных в табл. 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по определению азимутов и расстояний на картах в различных проекциях. – ГУМО, 1966. – 84 с.
2. Кораблевождение (практическое пособие для штурманов). Под ред. Шандабылова В. Д. – ГУНиО МО, 1972. – 645 с.
3. Груздев Н. М., Колтуненко В. В., Гладков Г. Е. Морская навигация. – М.: Воениздат, 1992. – 472 с.
4. Каманин В. И., Лаврентьев А. В., Скубко Р. А. Штурман флота (справочник по кораблевождению). – М.: Воениздат, 1986. 539 с.
5. Практическое кораблевождение. Книга первая. Под ред. Мотрохова А. Н. – ГУНиО МО, 1989 – 896 с.
6. Правила гидрографической службы № 5. Составление и подготовка к изданию морских карт (ПГС № 5). – УНиО МО РФ, 2009. – 268 с.
7. Коломийчук Н. Д. Гидрография. – ГУНиО МО РФ, 1975. – 470 с.
8. Таблицы для вычисления сеток изолиний на морских картах и приближенного решения геодезических задач на большие расстояния. – УНГС ВМФ, 1957.
9. Каврайский В. В. Избранные труды, т. II. – УНГС ВМФ, 1958. – 319 с.
10. Сорокин А. И. Морская картография. – ГУНиО МО/ВМА, 1985. – 254 с.
11. Каврайский А. В. Об изображении полярных районов земного сфероида на шаре с малыми искажениями // Изв. ВУЗов / Геодезия и аэрофотосъемка. – 1981. – № 6. – С. 24–27.

REFINED RELATIONSHIPS BETWEEN GEOGRAPHIC AND QUASIGEOGRAPHIC CO-ORDINATES TAKING THE EARTH'S SPHEROIDICITY INTO ACCOUNT

A. V. Kavraisky («GNINGI» OJSC)

The refined mathematical description of constructing the system of quasigeographic coordinates taking the Earth's spheroidicity into account that allows to remove the variant readings on this issue in scientific-technical literature, is presented. The appraisal of methodical errors for calculations using the presented formulas is given; the rightfulness of their employment for the new national geodetic systems ГСК-2011 and ПЗ-90.11 is shown.

УДК 355::528; 623.64

К ВОПРОСУ О ПЕРЕХОДЕ К КООРДИНАТНЫМ СИСТЕМАМ ПЗ-90.11 И ГСК-2011 ПРИ КАРТОГРАФИРОВАНИИ МОРСКИХ АКВАТОРИЙ В ИНТЕРЕСАХ НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВМФ**Э. С. ЗУБЧЕНКО (ВУНЦ ВМФ «ВМА»),
В. М. СМОЛИН, А. М. ШАРКОВ (ОАО «ГНИНГИ»)**

Рассматриваются проблемы, возникающие в условиях перехода к использованию новых систем геодезических координат ГСК-2011 и ПЗ-90.11.

Приводится пример возможного решения одной из возникающих проблем, а именно – получения значения поправки в измеренную глубину путем измерения высоты антенны судовой аппаратуры, принимающей информацию со спутника.

Одной из основных задач Гидрографической службы (ГС) ВМФ является картографирование морских акваторий в операционных зонах ВМФ в интересах обеспечения безопасности плавания кораблей, минных и противоминных действий, высадки морских десантов на берег, обеспечения систем автономной навигации. С этой целью ГС ВМФ проводит съемку акваторий, по результатам которой создаются навигационные и специальные морские карты и цифровые модели.

В руководящих документах ГС ВМФ, регламентирующих выполнение съемок, определены координатные системы отсчета, в которых должны представляться их результаты. Так, например, в проекте ПГС № 4, регламентирующем съемку рельефа морского дна, разработка которого закончилась до выхода Постановления Правительства РФ от 28 декабря 2012 г. № 1463 [1], в качестве таких систем определены СК-95 для съемки, проводимой в интересах картографирования акваторий РФ, и ПЗ-90 – для съемки акваторий открытых зон морей и Мирового океана. Параметры эллипсоидов СК-95, ПЗ-90 и параметры преобразования для перехода из других координатных систем в эти системы были включены в Приложение.

Реализация этих требований предполагает использование в качестве исходной геодезической основы координат пунктов государственной геодезической сети (ГГС), пунктов геодезических сетей сгущения, которые должны иметь геодезические координаты в названной координатной системе СК-95. Если они определены в другой координатной системе, требуется приводить правила необходимых преобразований координат.

В связи с прочно обозначившейся в мире и в РФ тенденцией использования спутниковых методов определения координат для обеспечения потребностей всех категорий пользователей системы ГЛОНАСС, в том числе и за пределами Российской Федерации, потребовалось создание цифровых топографических и навигационных карт в геоцентрической системе координат. При этом пришлось отказаться от дальнейшего использования системы геодезических координат СК-95, базирующейся на использовании локального эллипсоида Красовского.

В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 28 декабря 2012 г. № 1463 «О единых государственных системах координат» установлены новые единые государственные системы координат:

- геодезическая система координат 2011 г. (ГСК-2011) – в геодезических и картографических работах;
- общеземная геоцентрическая система координат «Параметры Земли 1990 г.» (ПЗ-90.11) – для использования в целях геодезического обеспечения орбитальных полетов и решения навигационных задач.

В процессе перехода к новым системам координат чрезвычайную актуальность приобретает анализ проблем, с которыми при этом могут столкнуться потребители.

Система геодезических координат 1995 г. (СК-95), установленная постановлением Правительства РФ от 28 июля 2000 г. № 568 в качестве единой государственной системы координат, и единая система геодезических координат 1942 г. (СК-42), введенная постановлением Совета Министров СССР от 7 апреля 1946 г. № 760, могут применяться до 1 января 2017 г. в материалах (документах), созданных с их использованием.

В единых государственных системах координат ГСК-2011 и ПЗ-90.11 применяются фундаментальные геодезические постоянные, параметры общеземных эллипсоидов, а также геометрические и физические числовые геодезические параметры, утверждаемые Федеральной службой государственной регистрации, кадастра и картографии (в отношении ГСК-2011) и Министерством обороны РФ (в отношении ПЗ-90.11). При этом ориентация координатных осей и угловая скорость единых государственных систем координат в составе числовых геодезических параметров единых государственных систем координат должны соответствовать рекомендациям Международной службы вращения Земли и Международного бюро времени.

Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр) Минэкономразвития и Министерство обороны РФ должны, соответственно, обеспечить создание и эксплуатацию геодезических пунктов геодезических систем координат ГСК-2011 и ПЗ-90.11.

Министерство обороны РФ совместно с Федеральным космическим агентством при эксплуатации глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС должны были до 1 января 2014 г. обеспечить переход к использованию общеземной геоцентрической системы координат ПЗ-90.11.

Оба ведомства должны размещать на своем официальном сайте в системе Интернет информацию о составе, техническом оснащении и местоположении таких пунктов, за исключением информации, относящейся к государственной тайне. Следует отметить, что в качестве отсчетного эллипсоида ГСК-2011 принят общеземной эллипсоид, ось вращения которого совпадает с осью Z данной геодезической системы координат. Большая полуось $a = 6378136,5$ м, сжатие $\alpha = 1/298,2564151$. Таким образом, РФ отказалась от дальнейшего использования референц-эллипсоида Красовского в качестве исходной координатной поверхности.

Преобразование геоцентрических координат геодезических пунктов и точек измерений на поверхности Земли, полученных в других системах координат, аналитически осуществляется по формуле [2]:

$$\begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{pmatrix}_B = (1 + dm) \times \begin{pmatrix} 1 & W_Z & -W_Y \\ -W_Z & 1 & W_X \\ W_Y & -W_X & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} X'_P \\ Y'_P \\ Z'_P \end{pmatrix}_A + \begin{pmatrix} dX_0 \\ dY_0 \\ dZ_0 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где dm – масштабный коэффициент, учитывающий переход с координатной поверхности (эллипсоида) системы координат А на координатную поверхность (эллипсоид) системы координат Б;

W_X, W_Y, W_Z (в радианной мере) – угловые элементы, обозначающие вращения осей системы координат А для достижения их параллельности с осями системы координат Б.

X'_P, Y'_P, Z'_P – геоцентрические прямоугольные координаты точки в системе координат А;

dX_0, dY_0, dZ_0 – координаты начала системы координат А в системе координат Б.

При преобразовании координат из СК-42 в ПЗ-90.02 необходимо было учитывать, что СК-42 не обладает единой точностью по всей территории РФ и стран, входивших в состав СССР, а имеющиеся региональные деформации Государственной геодезической сети (ГГС) пунктов в системе СК-42 достигают величин от нескольких метров до десяти и более метров. По этой причине применение аналитических зависимостей с единой системой параметров преобразования было бы просто некорректным. Поэтому для обеспечения требуемой точности трансформирования координат СК-42 в СК-95 необходимо было использовать либо системы локальных параметров преобразования, либо картосхемы поправок D_x и D_y в координаты по листам карт масштаба 1:200 000. Использование картосхем поправок D_x и D_y обеспечивает преобразование координат пунктов со средней квадратической погрешностью около 8 см. В отдельных районах ошибка может достичь 10–15 см.

Чтобы определить необходимость учета поправок для трансформирования из СК-42 в СК-95, возможно использование величины допустимой погрешности определения планового положения пунктов съёмочной геодезической сети, приведенной в таблице.

Допустимая погрешность определения планового положения пунктов съёмочной сети

Класс съёмки рельефа дна	Допустимая погрешность определения планового положения пунктов съёмочной сети ($P = 95\%$), м
1	0,3
2	0,75
3	1,5
4	1,5

Если величина суммарного влияния $D_{X,Y} = \sqrt{D_X^2 + D_Y^2}$ поправок D_X и D_Y в координаты пунктов СК-42 равна или превышает допустимое значение погрешности определения планового положения пунктов съёмочной геодезической сети, то введение поправки необходимо. В противном случае координаты в СК-95 принимаются равными координатам в СК-42.

Предполагалось, что генеральные схемы поправок D_x и D_y для территории России будут запрашиваться в ближайших региональных подразделениях Росреестра. Эта проблема остается актуальной и при переходе из СК-42 к системам ГСК-2011 и ПЗ-90.11. В настоящее время документы, содержащие исходные данные и методики для преобразований координат геодезических пунктов из СК-42 в ГСК-2011 и ПЗ-90.11 в доступных источниках отсутствуют, идет процесс подготовки их к изданию.

Какие задачи должны быть решены, чтобы осуществить переход к практическому использованию координатных систем ГСК-2011 и ПЗ-90.11 при выполнении съемок и представлению их результатов для картографирования морских и океанских акваторий?

Прежде всего должна быть осуществлена корректировка всех руководящих и научно-методических документов ГС ВМФ для введения в них положений о требовании производства съемочных работ и предоставления отчетных материалов в названных системах координат.

Необходимо также провести корректировку всех разработанных программных пакетов для ведения съемки и обработки полученных данных с целью включения в них параметров координатных систем ГСК-2011 и ПЗ-90.11 и параметров преобразования координат при переходе в них из других геодезических систем координат.

Целесообразно провести исследования по разработке методики введения поправок в координаты геодезических пунктов для перехода в ГСК-2011 и корректировки имеющихся каталогов координат геодезических пунктов на зоны ответственности ГС флотов. Необходимы исследования по разработке методики определения геодезических высот нулей глубин на прибрежные акватории в зонах ответственности ГС флотов.

Для начала практического использования координатных систем ПЗ-90.11 и ГСК-2011 при картографировании морских акваторий в интересах НГО ВМФ необходимо получение от Росреестра каталогов координат и высот геодезических пунктов государственной геодезической сети для создания (развития) на их основе съемочных сетей.

Следует провести разработку методики определения поправок в координаты исходных геодезических пунктов на все зоны ответственности ГС флотов.

Для повышения эффективности гидрографических съемок целесообразно провести разработку методики построения цифровых моделей геодезических высот (над общеземным эллипсоидом ПЗ-90.11) нулей глубин на прибрежные акватории в зонах ответственности ГС флотов.

Как пример, открывающий новые перспективы в решении проблемы получения значения глубин в масштабе реального времени предлагается способ определения поправки в измеренную глубину путем измерения высоты антенны судовой аппаратуры, принимающей информацию со спутника, над мгновенным уровнем моря.

Современные спутниковые технологии обеспечивают возможность определения относительных координат подвижного объекта с очень высокой точностью, достигающей 10–20 см. Это позволяет измерять высоты антенны судовой аппаратуры, принимающей информацию о текущих координатах со спутника, над мгновенным уровнем моря и, зная геодезическую высоту нуля глубин в точке измерения глубины, определять поправку в измеренную глубину в реальном масштабе времени, что особенно важно при решении задач НГО действий флота. На приведенном рисунке в качестве иллюстрации данного подхода показана схема взаимного расположения прие-

моизлучателя эхолота, антенн судового и берегового приемников Глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) относительно различных отсчетных поверхностей.

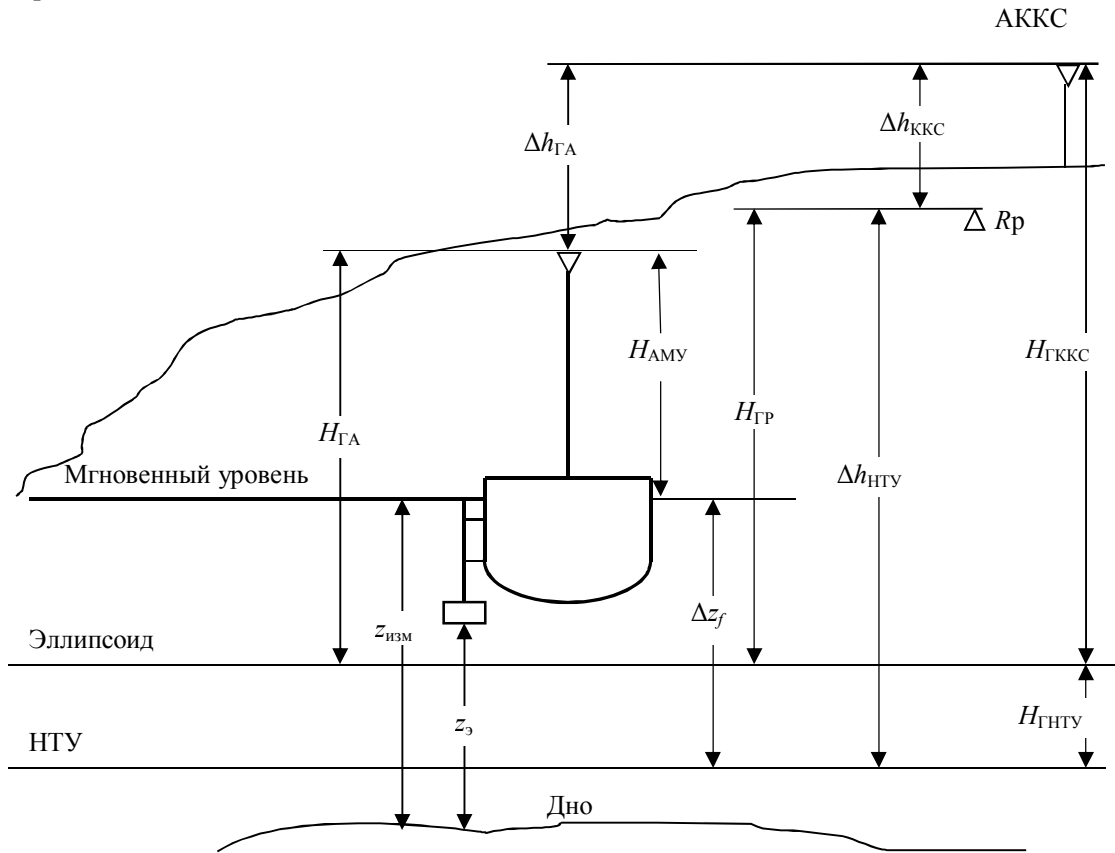


Схема взаимного расположения приемоизлучателя эхолота, антенн судового и берегового приемника ГНСС относительно различных отсчетных поверхностей

Как следует из рисунка, поправка на высоту уровня моря в Δz_f в измеренную глубину $z_{изм}$ определяется следующей формулой:

$$\Delta z_f = H_{ГА} - H_{АМУ} + H_{НТУ}, \quad (2)$$

где $H_{ГА}$ – геодезическая высота центра радиоприема антенны судовой аппаратуры ГНСС;

$H_{АМУ}$ – высота центра радиоприема антенны судового приемника ГНСС над мгновенным уровнем моря;

$H_{НТУ}$ – геодезическая высота наинизшего теоретического уровня (НТУ).

Геодезическая высота центра радиоприема антенны судового приемника ГНСС $H_{ГА}$ определяется из непрерывных синхронных фазовых измерений судовым и береговым приемниками расстояний до навигационных спутников того же созвездия (суть спутниковых измерений в режиме RTK) для вычисления составляющих базы, соединяющей антенны судового и берегового приемника ΔX , ΔY , Δh – приращений

координат и геодезической высоты (относительных геодезических спутниковых измерений). Следовательно,

$$H_{ГА} = H_{ГККС} + \Delta h_{ГА}, \quad (3)$$

где $H_{ГККС}$ – геодезическая высота центра радиоприема антенны ККС, определяемая геодезическими методами относительно репера с известным значением геодезической высоты

$$H_{ГККС} = H_{ГР} + \Delta h_{ГККС}. \quad (4)$$

Высота центра радиоприема антенны судового приемника ГНСС над мгновенным уровнем $H_{АМУ}$ должна измеряться на судне по величине осадки и высоте центра радиоприема антенны судового приемника ГНСС относительно начала судовой системы отсчета.

Геодезическая высота наинизшего теоретического уровня известна только в месте установки на берегу второго приемника ГНСС (контрольно-корректирующей станции – ККС) $H_{ГНТУ}$ и определяется геодезическими методами.

$$H_{ГНТУ} = H_{ГР} + \Delta h_{ГНТУ}, \quad (5)$$

где $\Delta h_{ГНТУ}$ – превышение НТУ над репером с установленным на нем вторым приемником ГНСС.

Таким образом, знание отсчета геодезической высоты нуля глубин над общеземным эллипсоидом в каждой точке измерения глубины делает возможным автоматическое определение в реальном масштабе времени поправки на высоту уровня моря путем измерения приемником ГНСС на судне, выполняющем съемку, геодезической высоты мгновенного уровня.

Для реализации данного метода в судовом приемнике ГНСС необходимо использовать цифровые модели геодезических высот нулей глубин на все прибрежные акватории с глубинами менее 200 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Правительства РФ от 28 декабря 2012 г. № 1463 «О единых государственных системах координат». URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70192380/>.
2. Приказ Министра Обороны Российской Федерации от 15 января 2014 г. № 11 «Об утверждении геометрических и физических числовых геодезических параметров в отношении общеземной геоцентрической системы координат «Параметры Земли 1990 г.» (ПЗ-90.11)».

ON CHANGE TO ПЗ-90.11 AND ГСК-2011 CO-ORDINATE SYSTEMS WHEN CHARTING THE MARINE WATER AREAS IN THE INTERESTS OF NAVIGATION-HYDROGRAPHIC SUPPORT FOR THE NAVY

E. S. Zubchenko (MIRC of the Navy «The Naval Academy»),
V. M. Smolin, A. M. Sharkov («GNINGI» OJSC)

The problems that arise when changing to employment of new (ГСК-2011 and ПЗ-90.11) geodetic co-ordinate systems are considered. An example is given for the possible solution of the arising problems, namely, obtaining the correction value for the measured depth by changing the antenna height of the ship equipment receiving the satellite information.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ

УДК 528.92

ИНТЕРВАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СКАЛЯРНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Ю. Н. ЖУКОВ
(ОАО «ГНИНГИ»)

Свойства значений температуры воздуха атмосферы не согласуются со свойствами вещественных чисел. Приведен способ представления значений температуры воздуха ультраметрическими числами.

Количественно гидрометеорологические характеристики в математических моделях и при измерении традиционно представляются вещественными числами. При математическом моделировании гидрометеорологических явлений вещественные числа необходимы ввиду широкого использования иррациональных чисел типа $\sqrt{2}$ или π . При измерениях тоже явно или неявно полагают, что получают вещественные числа. Однако при измерениях гидрометеорологических характеристик иррациональных чисел принципиально не может быть. Действительно, шкалы измерительных приборов в лучшем случае оцифрованы только рациональными числами, да и то выраженными в десятичном представлении. Поэтому актуален вопрос о числовой системе, которой следует описывать измеряемые гидрометеорологические характеристики. В данной статье показано, что измеряемые значения гидрометеорологических характеристик логичнее представлять в некотором интервальном виде со свойствами, существенно отличающимися от вещественных чисел.

Принципы процедуры измерения скалярных характеристик, принятых в гидрометеорологии, основываются на физических представлениях об измерении физической величины. Физическая величина – это характеристика свойств физических объектов или явлений, имеющая числовое значение, которое определяется в результате измерения. Количественную характеристику величин находят на основе определенных процедур сравнения свойств физических объектов, т. е. введением некоторой единицы и некоторой шкалы величины, ставящей в соответствие разным степеням проявления свойства определенные числа. Но к какой числовой системе эти числа относятся, сама процедура измерений не определяет. Выбор числовой системы является самостоятельной задачей. Основатель динамической метеорологии А. А. Фридман писал [1], что важнейшим этапом является адекватная арифметизация изучаемых свойств исследуемого физического объекта. Этот этап включает известный произвол, что связано не только с произвольным выбором единицы измерения, но, главное, с выбором системы чисел для арифметизации.

Рассмотрим, например, температуру воздуха (для конкретности будем всегда иметь в виду температуру воздуха). На шкале термометра нанесены некоторые деле-

ния. При тарировании термометра каждому делению приписана некоторая последовательность символов – цифр. На каком основании полагают, что эти наборы символов соответствуют действительным числам? В лучшем случае эти конечные последовательности цифр могут соответствовать только рациональным числам в десятичном представлении. А какие числовые системы можно получить, исходя из рациональных чисел? Рациональные числа \mathbf{Q} включают целые числа \mathbf{Z} и натуральные числа \mathbf{N} , $\mathbf{Q} \supset \mathbf{Z} \supset \mathbf{N}$. Но из рациональных чисел можно получить не только действительные числа. Рациональные числа представляют собой множество без какой-либо структуры. Структура на рациональных числах задается расстоянием между рациональными числами – метрикой. По теореме Островского 1918 года [2] существуют только две метрики: известная всем метрика в виде абсолютной величины $|\cdot|_{\infty}$, и другая, называемая ультраметрикой $|\cdot|_m$. Здесь на месте точки предполагается рациональное число. Задание абсолютной величины на множестве рациональных чисел приводит к вещественным числам, а задание ультраметрики приводит к так называемым адическим числам. Адических числовых систем бесконечно много, они все различаются между собой и отличаются от вещественных чисел. Свойства адических чисел экзотичны и совершенно не соответствуют свойствам вещественных чисел. В табл. 1 приведены некоторые свойства вещественных и адических чисел.

Таблица 1

Возможные метрики на \mathbf{Q} и определяемые ими числовые системы

Метрика	Абсолютная величина $ \cdot _{\infty}$	Ультраметрика $ \cdot _m$
Пополнение рациональных чисел \mathbf{Q} по метрике до:	Вещественных чисел \mathbf{R}	Адических чисел \mathbf{Q}_m , $m \in \mathbf{R}, m \geq 2$
Свойства	Непрерывность Упорядоченность Архимедовость	Прерывность Неупорядоченность Неархимедовость

Свойство архимедовости числовой системы означает, что для любого как угодно малого числа ε этой системы найдется такое натуральное число k , что $\varepsilon k > 1$. В противном случае числовая система неархимедова. Так, для вещественных чисел это справедливо, а для адических чисел – нет [2]. Из этого следует странный факт, что в адических числовых системах сумма какого угодно большого числа слагаемых не превышает или равна единице.

Проблема представления числами физических величин изучается с 1887 г., когда Гельмгольц опубликовал работу «Счет и измерение» [3]. В настоящее время это обширная область исследования [4], которая называется репрезентативной теорией измерений. Именно эта теория логически обосновывает отображение физической величины во множестве вещественных чисел. Обоснование строится путем гомоморфного отображения постулируемых свойств физической величины в тождественные известные свойства числовой системы. В табл. 2 приведено соответствие между основными постулатами теории измерений и двумя множествами чисел \mathbf{R} и \mathbf{Q}_m . От-

куда следует, что основные постулаты, традиционно приписываемые физическим величинам, действительно соответствуют внутренним свойствам множества вещественных чисел.

Таблица 2

**Соответствие постулатов репрезентативной теории измерений
свойствам числовых систем R и Q_m**

Основные постулаты	R	Q_m
Архимедовость	+	-
Упорядоченность	+	-
Аддитивность	+	+
Эксперимент	+	-

А насколько соответствуют эти постулаты наблюдаемым свойствам температуры воздуха атмосферы? В табл. 3 представлены наблюдаемые свойства температуры воздуха и соответствие их свойствам числовых систем.

Свойство архимедовости у температуры воздуха отсутствует. Это следует из того факта, что диапазон возможных значений температуры атмосферы всегда ограничен. У поверхности Земли значения температуры лежат в диапазоне $-100\text{ }^{\circ}\text{C} - +100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Множество действительных чисел бесконечно, поэтому нельзя ему сопоставить конечный интервал значений температуры. Другое дело – адические числа. Выше отмечалась неархимедовость адических чисел. Поэтому естественно сопоставить единицу адического множества чисел конечному интервалу значений температуры воздуха.

Значения температуры неупорядочены. Дело в том, что упорядоченность значений величин является следствием возможности их сравнения, то есть возможности определения для каждой пары значений, какая из них больше или меньше, или эти значения равны [5]. В нашем случае нет возможности сравнить значения температур в двух разных «точках» атмосферы. Сравнение подразумевает выявление того, в какой точке значение температуры меньше (больше) или эти значения равны. В метеорологии понятие точка – не математическое. Точка в метеорологии – это всегда некоторый объем воздуха, например, температура в городе. Сравнение температур в Москве и в Санкт-Петербурге не всегда возможно вследствие пространственно-временной изменчивости распределения температуры в городах. Здесь надо сравнивать распределения температур, а не сами точечные значения.

Температура не является адитивной величиной. Это физический закон. Можно складывать только количество тепла.

Иерархичность или многомасштабность. Это наиболее ярко проявляется в свойстве вложенности и многомасштабности атмосферных вихрей. В адических числах это свойство визуально проявляется в представлении их графической структурой корневого дерева.

Очевидно, что экспериментальная проверка для атмосферы невозможна при любом понимании этой процедуры. Все дело в том, что атмосферу нельзя считать изолированной системой даже в абстрактном смысле.

**Соответствие наблюдаемых свойств температуры свойствам
числовых систем R и Q_m**

Свойства температуры	R	Q_m
Неархимедовость	-	+
Неупорядоченность	-	+
Неаддитивность	-	+
Иерархичность	-	+
Эксперимент невозможен	-	+

Таким образом, свойства значений величины температуры воздуха и адических чисел близки, поэтому вполне логично представлять величину температуры адическими числами, а не вещественными. Приведем процедуру, с помощью которой можно такое представление осуществить. Процедура состоит в следующем: строится иерархическая шкала интервалов значений температуры, затем интервалы на шкале оцифровываются бесконечными цифровыми последовательностями, которые, вообще говоря, являются позиционным представлением адических чисел. Эту процедуру будем называть вложением значений температуры в ультраметрическое пространство, так как на множестве бесконечных последовательностей цифр мы зададим ультраметрику.

Все физически реализуемые значения температуры укладываются в некоторый ограниченный диапазон $\Omega = T_{\max} - T_{\min}$ между минимальным T_{\min} и максимальным T_{\max} значениями. Определим величину минимального интервала Δ измерения температуры, определяемого чувствительностью технического устройства – датчика температуры. Выберем некоторое натуральное число.

Построим иерархическую интервальную шкалу измерения температуры следующим рекурсивным образом. Пусть общая длина шкалы L соответствует диапазону Ω , а минимальному интервалу Δ соответствует длина l .

Уровень 1. Разобьем шкалу с длиной, не равной нулю, соответствующую диапазону Ω , на m равных интервалов (в общем случае интервалы могут быть неравными, необходимо лишь, чтобы ни один из них не имел нулевую длину). Каждому интервалу последовательно присвоим «код», равный цифре из диапазона $[0, \dots, m-1]$. В результате получим m интервалов длины $r_1 = L/m$.

Уровень 2. К каждому из полученных интервалов применим указанное разбиение с присвоением новым интервалам соответствующих цифр кода. В результате получим m интервалов длины s_s . Выполним $K = \lfloor \ln(L/l) / \ln(m) \rfloor$ таких шагов. Получим последовательность шкал со все более малыми интервалами. На наибольшем уровне получим длину интервала $r_k \approx l$ (немного большую или равную l). Такое разбиение имитирует последовательное увеличение точности измерения на каждом уровне разбиения в m раз. Иллюстрация этой процедуры представлена на рисунке.

Эту иерархическую шкалу удобно интерпретировать в виде следующего образа. Имеется не один, а много приборов-термометров, которые определяют некоторый

интервал температуры, в котором лежит измеряемое значение. И пусть первый прибор имеет самую грубую точность измерения – первый уровень. Следующий прибор имеет большую точность измерения и так далее. Традиционные измерительные шкалы термометров предполагают «точечное снятие» значений температуры. В отличие от этого построенная шкала предполагает интервальное «снятие» значения температуры: на каждом уровне шкалы, соответствующий датчик температуры «указывает» на интервал, в котором находится значение температуры. С практической точки зрения это более естественно, так как любой датчик обладает конечной чувствительностью и точное «точечное» значение температуры определить невозможно.

Исходный интервал значений температур

Уровень 1																										
0.				1.				2.																		
Уровень 2																										
00.			10.			20.			01.		11.		21.		02.		12.		22.							
000.	100.	200.	010.	110.	210.	020.	120.	220.	001.	101.	201.	011.	111.	211.	021.	121.	221.	002.	102.	202.	012.	112.	212.	022.	122.	222.
0000.	1000.	2000.	0100.	1100.	2100.	0200.	1200.	2200.	0010.	1010.	2010.	0110.	1110.	2110.	0210.	1210.	2210.	0001.	1001.	2001.	0101.	1101.	2101.	0201.	1201.	2201.
00000.	10000.	20000.	01000.	11000.	21000.	02000.	12000.	22000.	00010.	10010.	20010.	01010.	11010.	21010.	02010.	12010.	22010.	00001.	10001.	20001.	01001.	11001.	21001.	02001.	12001.	22001.

Иллюстрация вложения значений температуры воздуха в ультраметрическое пространство

Построенная «кодировка» интервалов позволяет каждому значению температуры поставить в соответствие строку цифр $a_{K-1}a_{K-2}...a_1a_0$, где $a_j \in [0, ..., m - 1]$ – цифра «кода» соответствующего интервала, $j = [0, K - 1]$. Индекс $j = 0$ соответствует цифре кода интервала с самой большой длиной, а $j = K - 1$ соответствует цифре кода интервала с самой малой длиной, другие значения индексов соответствуют интервалам промежуточных разбиений.

Для наших целей следует считать, что многозначная строка $a_{K-1}a_{K-2}...a_1a_0$ является «хвостом» бесконечной последовательности цифр $...a_{K-1}a_{K-2}...a_1a_0$, т. е. бесконечной справа налево последовательности цифр. Такое предположение соответствует неограниченной возможности увеличения чувствительности датчика температуры – точности измерений. Таким образом, результатом измерения температуры в точке по интервальной шкале является бесконечная последовательность вида $A = ...a_{K-1}a_{K-2}...a_1a_0$. Эта последовательность еще не число, а только «полуфабрикат» числа.

Теперь представим, что в N точках пространственно-временного региона проведены измерения температуры с использованием интервальных шкал и получен набор бесконечных последовательностей $\{A_n\}_1^N$. Введем метрику (степень близости, расстояние) между парой таких последовательностей следующим образом. Будем считать, что метрика $d_m(A_u, A_v)$ между последовательностями A_u и A_v , $u, v \in [1, N]$ равна числу s одинаковых символов в наибольшем начальном справа сегменте у A_u и A_v . Чем больше одинаковых начальных символов у двух последовательностей, т. е. чем больше s , тем ближе эти две последовательности друг к другу. В пределе для двух равных бесконечных последовательностей $s \rightarrow \infty$. Напротив, если общий сегмент отсутствует, то последовательности наиболее удалены друг от друга и $s = 0$. Величина (норма) некоторой последовательности есть расстояние от неё до нулевой последовательности, то есть последовательности, в которой все $a_j = 0$. Введенная метрика носит название ультраметрики [2]. Это неархимедова метрика.

Общий сегмент $\dots a_{s-1} \dots a_0$ двух последовательностей A_u и A_v определяет интервал шкалы температуры, общий для двух точек региона. Если найти общий сегмент последовательности для всех последовательностей $\{A_n\}_1^N$, то получим интервал температурной шкалы, в который входят все значения температур во всем регионе, и тем самым этот интервал описывает всю пространственно-временную изменчивость региона.

Вводя таким образом метрику и норму на множестве последовательностей $\dots a_{K-1} a_{K-2} \dots a_1 a_0$, можно построить числовое множество, называемое m -адическими целыми числами [2]. Такое число в позиционной записи имеет вид: $c = a_0 m^0 + a_1 m^1 + \dots + a_{m-2} m^{m-2} + a_{m-1} m^{m-1} \dots$. Если такое число построить для общей последовательности $\dots a_{s-1} \dots a_0$, то получим число c_s , соответствующее этому сегменту. Это число полностью описывает интервал шкалы, в котором содержатся все измеренные значения температуры региона. Таким образом, появилась возможность одним числом описать всю изменчивость измеряемой величины в пространственно-временном регионе. Причем m -адические числа можно складывать и вычитать.

Если кроме сложения и вычитания требуется умножение и деление адических чисел, то в качестве m следует взять некоторое простое число p и получить p -адические числа [2] с требуемыми свойствами.

Множество p можно использовать при построении математических моделей. В настоящее время интенсивно развивается математическое описание физических явлений с применением p -адических чисел [6], широко применяются модели диффузии в турбулентных потоках, основанные на ультраметрическом распределении перемежаемости гидрометеорологических параметров.

Очевидно, что предложенная схема интервального измерения технически реализуема. Однако ее можно применять и для традиционных технологий измерения.

Положительной стороной предложенной схемы интервальных измерений является возможность использования измерений, проведенных с различной точностью. Кроме того, для цифровых последовательностей разработаны эффективные алгорит-

мы классификации, что позволяет классифицировать пространственно-временную изменчивость гидрометеорологических и экологических характеристик.

Физики пишут, что законы природы не зависят от применяемых числовых систем, законы природы должны быть инвариантны к ним [6]. Автор полностью согласен с этим. Однако можно добавить, что в некоторых числовых системах законы должны выглядеть проще, чем в других, что аналогично использованию координатных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фридман А. А. Мир как пространство и время. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 96 с.
2. Коблиц Н. *p*-адические числа, *p*-адический анализ и дзета-функции. – М.: Мир, 1981. – 192 с.
3. Helmholtz, H. V. Counting and Measuring. – Princeton US, D Van Nostrand, 1930. – 39 pp.
4. Suppes P., Luce D.H. Foundation of Measurement. – San Diego: Academic Press. – 1990. – 125 pp.
5. Ларин С.В. Числовые системы. – М.: Издательский центр «Академия», 2001. – 166 с.
6. Владимиров В.С., Волович И.В., Зеленев Е. И. *p*-Адический анализ и математическая физика. М.: Наука, 1994. – 352 с.

INTERVAL REPRESENTATION OF SCALAR HYDROMETEOROLOGICAL CHARACTERISTICS

Y. N. Zhukov («GNINGI» OJSC)

The properties of values of the atmospheric air temperature do not agree with the properties of real numbers. The way of representing the air temperature values by ultrametric numbers is described.

УДК 528.92

ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ И КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПОСОБИЯ

Ю. Н. ЖУКОВ (ОАО «ГНИНГИ»)

Традиционные методы создания климатических пособий базируются на двух неявных постулатах: аддитивности и независимости термодинамических величин. Показано, что эти постулаты противоречат термодинамическим законам: закону Рихмана и уравнениям состояния.

«**Барометр** (сущ.) – хитрый прибор, который показывает, какая сейчас погода на дворе»

А. Бирс «Словарь сатаны» [1]

Современные методологии разработки климатических пособий основаны на двух неявных постулатах о свойствах измеряемых скалярных характеристик атмосферы и океана: на постулате аддитивности и постулате независимости физических величин, представляющих измеряемые характеристики атмосферы и океана (например, температуры и солености воды). Принятие этих постулатов приводит к возможности расчета климатических параметров для каждой характеристики отдельно, неза-

висимо от других. Например, в климатических атласах приводятся отдельные карты для средней температуры воды и отдельные карты для средней солености воды. Насколько логически обосновано применение этих постулатов? В предлагаемой статье показывается, что физические законы противоречат этим постулатам.

Использование этих неявных постулатов свидетельствует, что методология климатических пособий совершенно не учитывает физические качества измеряемых «скалярных» характеристик: температуры, солености, влажности. Раздел физики, изучающий эти характеристики, называется термодинамикой. Там исследуются физические величины, характеризующие макроскопические состояния тел [2]. Особенностью термодинамики является возможность вывода целого ряда соотношений между термодинамическими величинами, которые имеют место независимо от того, к каким конкретным телам эти величины относятся. При этом обычно пренебрегают флуктуациями, считая что термодинамические величины меняются лишь при изменении макроскопического состояния тел.

Рассмотрим справедливость постулата аддитивности. Измеряемые в гидрометеорологии «скалярные» характеристики являются физическими величинами. Это значит, что правила сложения значений этих характеристик определяет физика, а не математика. Как же определяется возможность сложения термодинамических характеристик в физике? Термодинамические величины бывают двух сортов: экстенсивные и интенсивные. Экстенсивные термодинамические величины являются однородными функциями масс компонентов, когда возможно пренебречь некоторыми усложняющими дело обстоятельствами. Эти усложняющие обстоятельства касаются важного вопроса об аддитивности термодинамических величин. Под аддитивностью понимается свойство, заключающееся в том, что некоторая величина для системы в целом равна сумме аналогичных величин, относящихся к отдельным частям системы. Например, под аддитивностью объема воды подразумевается объем двух стаканов воды, налитой в сосуд, вмещающий эти два стакана. Объем, энергия, энтропия являются аддитивными величинами, их можно считать однородными функциями масс компонентов. Напротив, интенсивные физические величины не являются аддитивными, то есть не суммируются при сложении частей системы. К интенсивным относятся, например, температура, соленость, влажность. Действительно, если слить два стакана воды с 20 °С в один сосуд, то температура воды в сосуде не станет 40 °С, температура смеси по-прежнему будет 20 °С.

В физике для определения температуры смеси нескольких объемов v_i жидкостей или газов применяется закон Рихмана [3] – сумма теплосодержаний компонентов до теплообмена равна конечному теплосодержанию системы:

$$t_0 = \frac{c_1 \rho_1 v_1 t_1 + c_2 \rho_2 v_2 t_2 + \dots}{c_1 \rho_1 v_1 + c_2 \rho_2 v_2 + \dots}, \quad (1)$$

где c_i – удельная теплоемкость, ρ_i – плотность, t_i – начальная температура i -го тела, а t_0 – результирующая температура смеси.

Из выражения (1) нельзя получить формулу среднего арифметического, используемую в климатических расчетах, даже если считать, что при суммировании температур берутся равные объемы v_i , так как остаются принципиально различны-

ми значения удельной теплоемкости и плотности при различных измерениях. Удельная теплоемкость и плотность зависит и от температуры, и от давления, при которых проводятся измерения.

Существование экстенсивных характеристик в термодинамике справедливо только для идеальных газов и жидкостей. Для реальных газов и жидкостей термодинамика определяет, что все термодинамические характеристики интенсивны, и, следовательно, в реальных условиях все они неаддитивны [2].

Таким образом, постулат аддитивности, принятый в методиках построения климатических пособий, ложен. Складывать арифметически значения температуры, или солёности, или влажности – это значит вызывая пренебрегать физическими законами термодинамики, значит совершать логическую ошибку. Получить корректный результат, совершая логические ошибки, невозможно!

Рассмотрим постулат независимости. Его ложность определяется тем, что термодинамические характеристики связаны между собой жесткой зависимостью, которая называется *уравнением состояния*.

В термодинамике установлено, что когда какое-либо тело нагревается или охлаждается, то, помимо температуры, непременно должны изменяться все остальные физические величины, характеризующие состояние тела. Это свойство приводит к теореме о существовании уравнения состояния, то есть к утверждению, что для любого тела всегда существует некая функциональная зависимость между температурой и всеми остальными характеристиками, определяющими состояние тела [4].

Приведем примеры уравнений состояния для морской воды и атмосферы.

Вода, в том числе морская, является сжимаемой жидкостью, т. е. ее плотность меняется. Зависимость плотности ρ или удельного объема v от определяющих факторов выражается уравнением состояния. В океанологии в качестве таких факторов принимаются наиболее просто измеряемые температура T , солёность S и давление P , то есть $\rho = \rho(T, S, P)$, и используются различные уравнения состояния, полученные полуэмпирическим путем, например, Кнудсена (1901 г.), Экмана (1908 г.). С 1980 г. начинает постепенно использоваться международное уравнение состояния морской воды, называемое уравнением УС-80. Эти уравнения очень громоздки, имеют по несколько десятков числовых параметров, и поэтому здесь не приводятся. Для примера приведем одно из самых простых уравнений, так называемое уравнение состояния Мамаева, представляющее упрощенный вариант уравнения Кнудсена:

$$\rho = 0,01[2815,2 - 7,35T - 0,469T^2 + (80,2 - 0,2T)(S - 35)] + 4,6 \cdot 10^{-7} P, \quad (2)$$

в которое входит температура (T) в °С, солёность (S) в ‰, давление (P) в Па.

В метеорологии уравнение состояния для влажного воздуха имеет вид [5]:

$$\rho = P/R_C T_B, \quad (3)$$

где P – атмосферное давление, R_C – удельная газовая постоянная сухого воздуха, T_B – виртуальная температура, $T_B = T(1 + 0.608q)$, где q – удельная влажность воздуха.

Для нас важна не конкретная формула, а то, что все уравнения состояния нелинейные. Это обстоятельство исключает возможность вычислять средние значения ха-

рактических характеристик независимо друг от друга (даже если характеристики считать аддитивными). Пусть существует несколько измерений в разные моменты времени в некоторой точке наборов характеристик: температуры, солености, давления для морской воды или температуры, влажности, давления для атмосферы. Каждый набор характеристик представляет собой цельное описание состояния морской воды или атмосферы в точке на момент измерения. Нельзя «рассыпать» эти наборы на отдельные составляющие и собирать отдельно множество температур, множество соленостей и т. д. Это запрещает нелинейность уравнения состояния. Вычислим для каждого отдельного набора характеристик по уравнению состояния плотность. Среднее арифметическое значение всех плотностей обозначим ρ_0 . Для морской воды имеем $\rho_0 = \overline{\rho(T, S, P)}$. Если теперь вычислить средние арифметические значения аргументов уравнения состояния, а по этим средним вычислить плотность (как делается при создании традиционных климатических пособий), то получим величину ρ' . Для морской воды имеем $\rho' = \rho(\overline{T}, \overline{S}, \overline{P})$. Значения ρ' и ρ_0 не равны друг другу, так как уравнения состояния нелинейны.

Приведем числовой пример. Аналогией нелинейного уравнения состояния может служить математическая зависимость между величиной радиуса круга r и его площадью s :

$$s = \pi r^2. \quad (4)$$

Предположим, что имеются три круга, радиусы и площади которых приведены в таблице.

Значения радиусов и соответствующих площадей трех кругов

№	r	s
1	1	3,14
2	2	12,56
3	3	28,27

Если считать, что площадь круга не зависит от его радиуса, то можно вычислить среднее значения радиуса и среднюю площадь кругов независимо друг от друга. Получим среднее значения радиуса, равное 2 ($r' = 2$), а среднее значение площади, равное 14,66 ($s' \approx 14,66$). Но эти два значения не удовлетворяют выражению (4). При радиусе, равном 2, площадь круга равна 12,56 ($s_0 = 12,56$). Пара $r' = 2$, $s' \approx 14,66$ не соответствует никакому кругу, круг с таким радиусом не может иметь такую площадь.

Точно такая же ситуация наблюдается в климатических пособиях, разработанных на принципе независимости. Например, средние значения температуры и солености, осредненные по отдельности, не соответствуют какому-либо состоянию морской воды в природе, так как эти средние получены без учета уравнения состояния.

Постулат о независимости термодинамических параметров ложен вследствие нелинейности уравнений состояния.

Зависимость термодинамических характеристик можно проиллюстрировать на примере распределении водных масс в океане.

Водная масса – это некоторый, сравнительно большой объем воды, формирующийся в определенном районе Мирового океана – очаге, источнике этой массы, – обладающий в течение длительного времени почти постоянным и непрерывным распределением физических, химических и биологических характеристик, составляющих единый комплекс, и распространяющихся как одно целое [6].

Графики зависимости солёности от температуры, которые принято называть *TS*-диаграммами, применяются для оконтуривания водных масс, определения их географического распределения, взаимного перемешивания и, косвенно, перемещения воды в глубинах океана. Значимость *TS*-диаграмм объясняется следующим. В океанологии принято считать, что вода принимает свои свойства, такие как солёность и температура, лишь на поверхности либо в перемешанном слое. Нагрев, охлаждение, выпадение осадков и испарение – все это вносит свой вклад. После того как вода погружается глубже перемешанного слоя, её температура и солёность могут изменяться лишь в ходе перемешивания с прилегающими водными массами. Следовательно, вода, сформированная в определенном регионе, обладает специфической температурой и связанной с ней солёностью, причем данное отношение меняется в ходе перемещения воды в глубинах океана весьма незначительно. Таким образом, температуру и солёность нельзя считать независимыми переменными. Например, температура и солёность воды на различных глубинах под Гольфстримом однозначно взаимосвязаны (рис. 1, справа), что указывает на их происхождение из одного района формирования, даже если на отдельных графиках температуры и солёности как функции глубины никакой взаимосвязи не прослеживается (рис. 1, слева) [7].

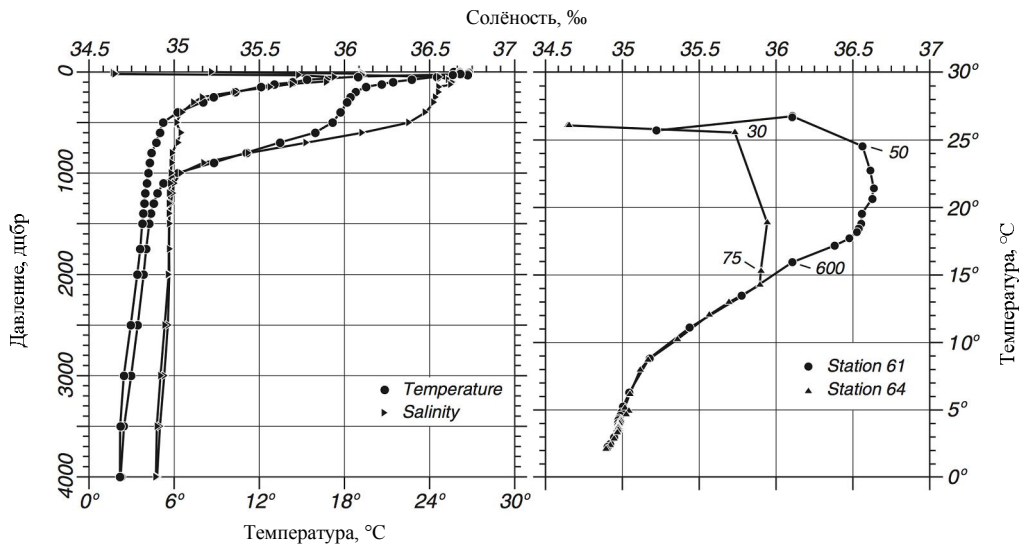


Рис. 1. Температура и солёность, измеренные на гидрографических станциях по обе стороны Гольфстрима

Слева: температура и солёность, представленные как функция глубины. Справа: те же данные, но солёность выражена в виде функции температуры (*TS*-диаграмма). Зависимость между температурой и солёностью на глубинах, превышающих нижнюю границу перемешанного слоя, однозначна. Глубины выборочно указаны возле некоторых точек графика. Station 61: 36°40,03' с. ш., 70°59,59' з. д., 23 августа 1982 г. Station 64: 37°39,93' с. ш., 71°00,00' з. д., 24 августа 1982 г.

Добавим, что использование указанных выше постулатов неявно предполагает, что возможны любые сочетания температуры и солёности в интервалах диапазонов изменчивости температуры и солёности. Однако это не так. Реально наблюдаемые сочетания температуры и солёности встречаются только в довольно узких областях, и эти области свои для каждого океана (рис. 2).

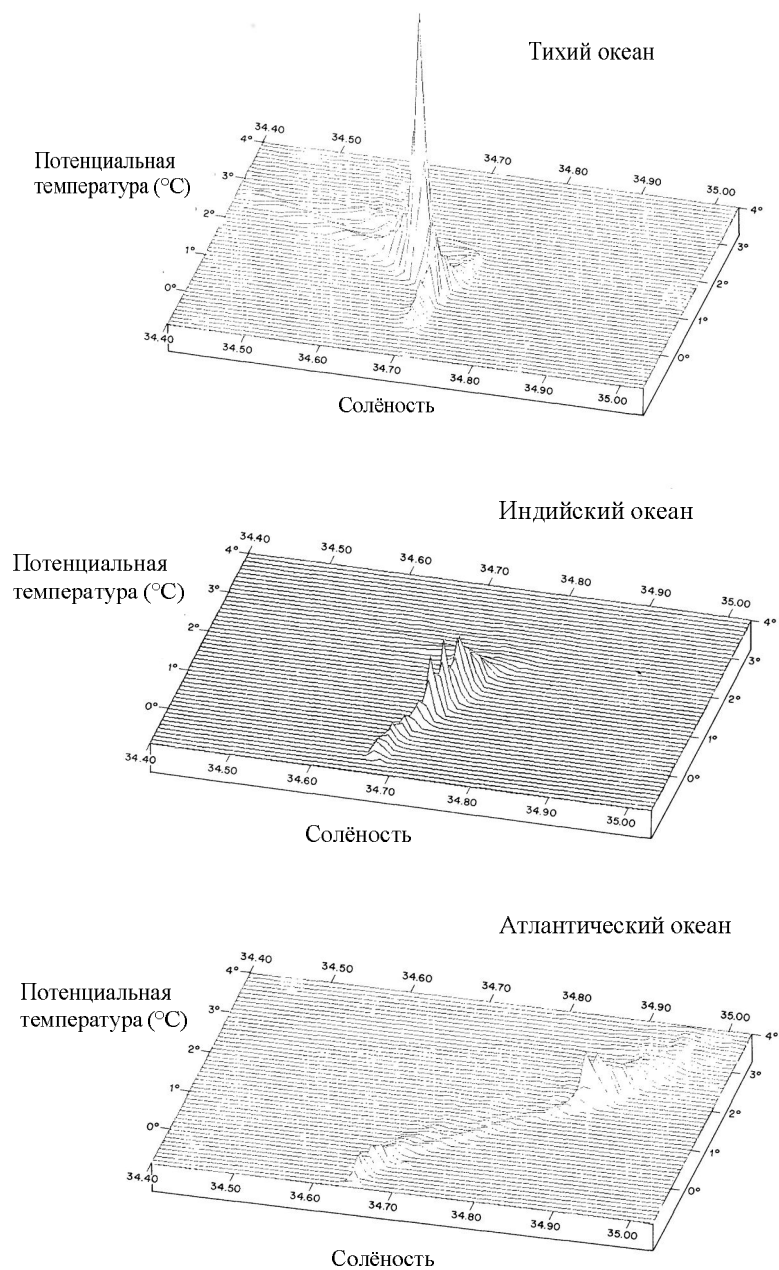


Рис. 2. Трехмерные TS-диаграммы для Тихого, Индийского и Атлантического океанов. Высота пропорциональна объему водных масс [8]

Итак, оба постулата, принятых в традиционных методах построения климатических пособий, являются ложными. Этот факт требует разработки новых принципов создания климатических пособий, удовлетворяющих законам физики.

В заключение следует сказать несколько слов о самом Рихмане (рис. 3).



Рис. 3. Рихман Георг Вильгельм

Георг Вильгельм Рихман (22.07.1711 – 6.08.1753) – русский физик, академик (1741 г.), родился в Пернове (Пярну). Окончил академический университет при Петербургской АН. С 1741 г. – профессор кафедры физики Петербургской АН и с 1744 г. – заведующий физическим кабинетом Академии. Преподавал также в Академическом университете. Работы Рихмана относятся к теплоте и электричеству. В калориметрии Рихман усовершенствовал метод смешения Тэйлора и обобщил формулу Крафта, дав в 1747–1748 гг. формулу для температуры смеси любого числа жидкостей. Исследовал влияние различных факторов на процесс теплообмена, изучал испарение жидкостей, сконструировал ряд метеорологических и термометрических приборов. Изобрел в 1745 г. первый электрический измерительный прибор (электрический указатель) и широко применял его в своих исследованиях по электричеству. Экспериментально изучал электризацию и электропроводность тел, открыл в 1748–1751 гг. явление электростатической индукции. В 1752–1753 гг. исследовал атмосферное электричество, устроив у себя дома «громовую машину». Г. В. Рихман погиб во время проведения опыта от удара молнии [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Бирс А. Словарь сатаны. – Центрполиграф, 2003. – 280 с.
2. Путилов К. А. Термодинамика. – М.: Наука, 1971. – 376 с.
3. Кухлинг Х. Справочник по физике. – М.: Мир, 1985. – 520 с.
4. Доронин Ю. П. Физика океана. – СПб.: РГГМУ, 2010. – 274 с.
5. Хргиан А. Х. Физика атмосферы. – М.: ГИТТЛ, 1953. – 456 с.
6. Добровольский А. Д. Об определении водных масс // Океанология. – 1961. – Вып. 1. С. 12–24.
7. Stewart R.H. Introduction to Physical Oceanography. – Department of Oceanography Texas A & M University, 2008. – 353 p.
8. Worthington L. V. The water masses of the world ocean: some results of a finescale census. // Evolution of Physical Oceanography. – Cambridge, MA: MIT Press, 1981. – Ch. 2. – Pp. 42–69.
9. Кравец Т. П., Радовский М. И. К 200-летию со дня смерти академика Г.-В. Рихмана. // Успехи физических наук. – 1953, октябрь. – Т. LI. Вып. 2. – С. 286–299.

PHYSICAL LAWS AND CLIMATE AIDS

Y. N. Zhukov («GNINGI» OJSC)

The traditional methods of creating the climate aids are based on two nonevident postulates: additivity and independence of thermodynamic values. It is shown that these postulates contradict the thermodynamic laws: Richmann law and equation of state.

УДК 551.46

**СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ОПЕРАТИВНОЙ ОКЕАНОЛОГИИ
ВМС США И ДРУГИХ ГОСУДАРСТВ**

С. И. МАСТРЮКОВ, Н. В. ЧЕРВЯКОВА
(ОАО «ГНИНГИ»)

Обобщены сведения о состоянии оперативной океанологии за рубежом. Показано, что одним из стимулов для развития оперативной океанологии послужило стремление повысить скрытность подводных объектов военного назначения.

Выявлено, что повышение требований к уровню информационной поддержки военно-морской деятельности, вызванное стремлением максимально использовать маскирующие свойства морской среды, неизбежно вынуждает совершенствовать все элементы системы гидрометеорологического обеспечения, включая подсистему оперативного прогнозирования состояния океана.

Оперативная океанология, которая является по существу инструментом для оценки текущей и ожидаемой «погоды» океана, начала развиваться одновременно в Европе и США в начале 1990-х годов. История её развития в ВМС США подробно изложена в работе [1]. Термин «погода» в отношении к океану подчёркивает то, что состояние океана, как и атмосферы, отличается высокой пространственной и временной изменчивостью, и эту изменчивость в масштабах нескольких дней отражает именно «погода» океана. За рубежом никогда не скрывали, что информации о «погоде океана» особенно важна для информационной поддержки подводной войны и прежде всего – для использования маскирующих свойств океана и обеспечения скрытности подводных объектов.

В настоящее время значимость оперативной океанологии возрастает в связи с тем, что на смену традиционным акустическим и магнитометрическим методам обнаружения подводных лодок приходят методы их обнаружения по возмущениям физических полей. Так, в 2015 г. Центром стратегических и бюджетных оценок (Center for Strategic and Budgetary Assessments – CSBA) США был опубликован доклад Брайена Кларка «Новая эра в подводной войне» [2]. Автор доклада отмечает, что американское превосходство в военном подводном противостоянии – это десятилетия исследований, разработок, обучения и накопленного опыта. Однако это превосходство отнюдь не гарантировано в будущем. Американские подводные лодки самые тихие в мире, но в основе новых методов обнаружения субмарин лежит не акустика, что в

будущем серьезно увеличит риск обнаружения традиционных обитаемых подводных лодок. Б. Кларк предполагает, что потенциальные противники, наращивая свои подводные силы, уже разработали соответствующие технологии обнаружения. Из этого автор обоснованно прогнозирует кардинальное изменение роли подводных лодок. По его мнению, они станут «подводными авианосцами», которые будут нести на своем борту АНПА военного назначения. Действительно, в последние годы отмечается бурный рост роботизированных военных комплексов, в том числе автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА). Перспективы их использования в НГГМО ВМФ подробно рассмотрены в обзоре [3].

Размеры АНПА и генерируемые ими возмущения физических полей, существенно меньше, чем у подводных лодок. Это обстоятельство обуславливает объективное возрастание требований к средствам неакустического обнаружения подводных объектов и, соответственно, к качеству и разрешению океанологической информации. С этой точки зрения представляет интерес рассмотреть современное состояние системы прогнозирования состояния океана ВМС США.

Функционально система ГМО, как пирамида, имеет четыре основных уровня, или подсистемы, отражающих основные этапы ГМО военно-морской деятельности:

- наблюдений и измерений;
- сбора, обработки информации и прогнозирования состояния среды;
- оценки влияния среды на сенсоры, оружие, платформы;
- выработки рекомендаций.

Важнейшим элементом является подсистема сбора, обработки информации и прогнозирования состояния среды. Важным отличием системы ГМО ВМС США от подобных систем в других странах является то, что в ВМС функционирует не только верхушка пирамиды, обеспечивающая оценку влияния среды и принятие решений, но и полноценная подсистема сбора и обработки информации. В России функции наблюдения, сбора, обработки информации и прогнозирования состояния среды по существу монополично выполняет Росгидромет. В США сочли, что для ВМС и ВВС нужна особая прогностическая информация о состоянии среды. Действительно, кому, кроме ВМС, нужны, например, сведения о неоднородностях гидрофизических полей? Это решение отвечает и современной задаче США – достижению информационного доминирования над противником, в том числе путём лучшего и более быстрого, чем у противника, учёта влияния условий среды на принимаемые решения.

Для информационной поддержки принятия решений в ВМС США создана соответствующая организационная структура ГМО. Она подробно описана в Руководстве [4]. В ВМС США насчитывается 1200 военных и 1100 гражданских специалистов в области гидрометеорологии и океанографии, семь океанографических судов, один самолёт с лидаром, большое число гидрографических катеров и судов. Дополнительно для целей океанологической разведки в ВМС США в составе Военно-Морского океанографического офиса создан специальный центр управления глайдерами (NAVO Glider Operations Center), число которых к 2015 г. достигло 168 [4, 5].

Важнейшими элементами подсистемы сбора, обработки информации и прогнозирования состояния среды в ВМС США являются:

- Центр численной метеорологии и океанографии – Fleet Numerical Meteorology and Oceanography Center (FNMOC);
- Военно-морской океанографический офис – The Naval Oceanographic Office (NAVO).

FNMOC – крупнейший мировой прогностический центр, обеспечивающий производство прогнозов состояния атмосферы и океана в глобальном масштабе с высоким пространственным и временным разрешением для Вооружённых сил США и сил коалиции. Центр расположен в г. Монтерей, штат Калифорния [6]. При FNMOC существует Отделение метеорологии и океанографии ВМС США – U.S. Navy Meteorology and Oceanography Detachment (NMOD). Это отделение размещено на базе национального климатического центра США и занимается обеспечением ВМС США климатической информацией.

NAVO – это основной центр производства океанографической информации в США, в том числе в области оперативной океанологии [7]. Он отвечает за анализ и прогноз состояния океана, обеспечение безопасности мореплавания и специализированное обеспечение ВМС океанографической информацией. NAVO расположен в Стенниссовском космическом центре, штат Миссисипи (Stennis Space Center, Mississippi).

Основой прогнозирования являются численные модели природной среды. Ниже кратко описаны прогностические модели, используемые в ВМС США.

Основой прогнозирования состояния океана в Центре Численной Метеорологии и Океанографии остаются численные модели атмосферы или объединённые модели океана и атмосферы [6, 8].

С 2013 года в FNMOC вместо Navy Operational Global Atmospheric Prediction System (NOGAPS) используется новая модель атмосферы – NAVy Global Environmental Model (NAVGEN) [9]. Горизонтальное разрешение модели составляет 37 км, она имеет глобальный охват, расчёт ведётся в 50 слоях атмосферы дважды в день с дискретностью 6 часов и с заблаговременностью 180 часов. Результаты прогноза в цифровом виде передаются большому числу потребителей Вооружённых сил США.

Наряду с моделью NAVGEN глобального покрытия, в FNMOC используется мезомасштабная объединённая модель океана и атмосферы – Coupled Ocean / Atmosphere Mesoscale Prediction System (COAMPS). Последняя построена на системе вложенных сеток с горизонтальным разрешением до 6 км и может содержать разные компоненты. Для задания граничных условий используются результаты моделирования системой NAVGEN.

Результаты расчёта по моделям NAVGEN и COAMPS используются для задания граничных условий в моделях:

- **прогноза волнения** Wavewatch III (WW3) в глобальном масштабе с разрешением 0,5 угловых градуса с заблаговременностью 6 суток по всем основным характеристикам волнения;
- **прогноза термодинамического состояния океана** – Thermodynamic Ocean Prediction System (TOPS 4.0);
- Военно-морской объединённой **модели атмосферы с усвоением данных океана** – Navy Coupled Atmosphere/Ocean Data Assimilation (NCODA);
- динамики аэрозоля;
- централизованного **анализа и прогноза состояния атмосферы** – Centralized Atmospheric Analysis and Prediction System (CAAPS).

Более подробная информация о прогностических моделях и информационной продукции FNMOC содержится в руководстве [6].

Численное моделирование океана в Океанографическом офисе ВМС США имеет иерархическую структуру. Ежедневный цикл прогнозирования начинается с применения атмосферных и океанических моделей глобального масштаба, затем применяются модели океана регионального и локального масштабов со всё более высокой степенью пространственного разрешения (рис. 1).

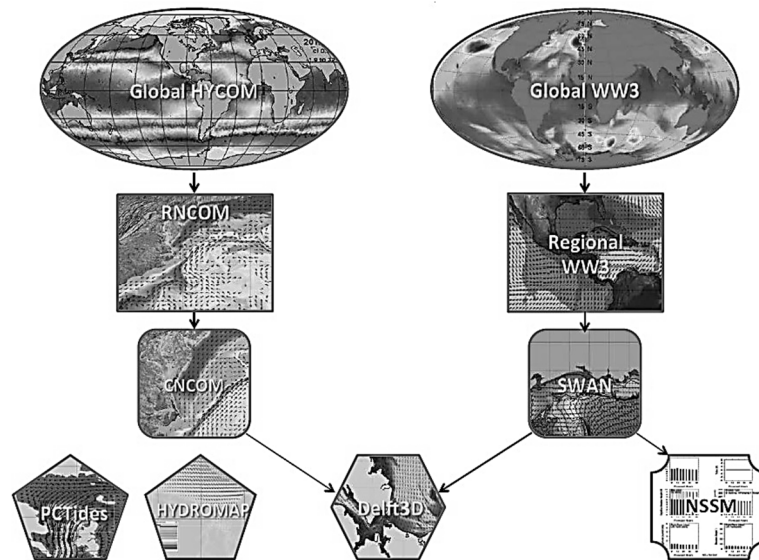


Рис. 1. Численные модели океана, применяемые в NAVO

Модели глобальной циркуляции океана. Модель HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model) разработана в NRL как Глобальная система прогнозирования океана (Global Ocean Forecast System 3.0 – GOFS 3.0). Она является четырёхмерной системой прогнозирования и позволяет ежедневно предсказывать структуру полей температуры, солёности, течений и возвышений уровня с заблаговременностью 7 суток [10]. В вертикальной плоскости данные представлены на 40 горизонтах с толщиной слоев от одного метра у поверхности до тысячи метров в глубоководных слоях океана.

Для задания граничных условий в модели HYCOM используются результаты работы полуградусной модели циркуляции атмосферы – NAVGEM.

Результаты моделирования HYCOM передаются в NOAA (Национальную администрацию по океану и атмосфере) в режиме реального времени. Центры NOAA используют эту информацию для обеспечения публичного доступа к ней посредством Национальных центров прогнозирования состояния окружающей среды и их вебсайтов или с помощью национальной системы распределения и архивирования модельных данных (National Operational Model Archive and Distribution System – NOMADS).

Региональные модели циркуляции. Модель прибрежной циркуляции ВМС США (Navy Coastal Ocean Model – NCOM) – это четырёхмерная прогностическая система для предсказания температуры, солёности, течений и возвышений уровня с заблаговременностью прогноза погоды и с высоким пространственным разрешением на срок 96 часов [11]. Модель работает в конкретных акваториях, представляющих

интерес для ВМС США, с граничными условиями моделей HYCOM и COAMPS. В большинстве районов модели RNCOM имеют горизонтальное разрешение $1/30^\circ$ (2 мили). В свою очередь модели локального масштаба, называемые прибрежными моделями, – Coastal NCOM (CNCOM) используют на открытых границах данные региональных моделей. Разрешение моделей CNCOM достигает 300–500 м. Типичный размер области расчёта для региональных моделей RNCOM – 20° по широте и по долготе. Типичный размер области расчёта для локальных моделей циркуляции CNCOM – 5° по широте и долготе. Вертикальное разрешение то же, что и у модели HYCOM.

Ледовые прогнозы. Эффективность всей военно-морской деятельности в полярных широтах существенно зависит ледяного покрова. В NAVO функционирует *система анализа и прогноза ледяного покрова в Арктике* (Arctic Cap Nowcast/Forecast System – ACNFS). Эта система в 2011 г. пришла на смену системе Polar Ice Prediction System (PIPS), внедрённой в эксплуатацию в 1996 г. ACNFS охватывает акватории всех замерзающих морей от 40° до 90° северной широты [10]. Для работы ледовой модели используются результаты работы арктической региональной модели HYCOM. В состав информационной продукции входят данные о сплоченности, толщине и дрейфе льда, температуре и солёности воды, а также о течениях. Они передаются в Национальный ледовый центр (National Ice Center – NIC) и другие центры NCEP для дальнейшего публичного использования. Продукция системы доступна на сайте [11].

Прибрежные модели циркуляции очень высокого разрешения. Для прогноза колебаний уровня и течений в прибрежной зоне в NAVO используются модели HYDROMAP, PCTides и Delft3D [12–14].

HYDROMAP – трёхмерная коммерческая, пригодная для реализации на ПК глобальная модель, разработанная Ассоциацией прикладных наук (Applied Science Associates – ASA). Горизонтальное разрешение модели лежит в пределах от 50 до 500 м, вертикальное разрешение уникально для каждого района. Баротропные течения и колебания уровня прогнозируются на 48 часов. Эта модель используется для быстрого ответа на оперативные запросы и использует упрощённую прямоугольную сетку с возможностью телескопизации в отдельных районах расчётной области.

PCTides – двухмерная баротропная приливная модель. Начальные и граничные условия задаются с помощью Глобальной модели приливов. PCTides может дополнительно учитывать поле ветра, атмосферное давление и усваивать данные о приливах на уровне постах из базы данных о приливах Международной гидрографической организации. Она может быть быстро адаптирована к новым районам, имеет горизонтальное разрешение до 100 м и обеспечивает прогнозы приливных течений и колебаний уровня на срок 96 часов.

Delft3D – коммерческая модель циркуляции в прибрежных районах и эстуариях. Сейчас она свободно распространяется компанией Deltares и эксплуатируется в оперативном режиме в NAVO. Модель может быть как двух-, так и трёхмерной и при необходимости объединяется с волновыми моделями высокого разрешения. Delft3D имеет преимущества по сравнению с описанными моделями в том, что реализована на нерегулярной сетке, пригодной для эффективного описания сложного прибрежного рельефа и береговой линии. Горизонтальное разрешение модели лежит в пределах 10–200 м, заблаговременность прогноза – до 72 часов.

Глобальные, региональные и прибрежные волновые модели. Моделирование волнения в ВМС США осуществляется в двух центрах. В FNMOC используется модель WW3 для оперативного прогноза волнения в глобальном и региональном масштабах. В NAVO прогноз выполняется в локальном масштабе для прогноза волнения в прибрежной и прибойной зонах с учётом трансформации волнения на мелководье – Simulating WAVes Nearshore – SWAN. Вместе с тем в NAVO функционирует и WW3, но её основная цель – задание граничных условий для моделей SWAN. Разрешение модели меняется от 1/12 доли углового градуса в прибрежных районах до 10 метров в прибойной зоне. Разрешение зависит от требований потребителей и наличия цифровых моделей дна высокого разрешения. Модель SWAN разработана в Технологическом университете Делфт (Delft University of Technology). Она является самостоятельным компонентом пакета моделей Delft3D. Кроме того, SWAN генерирует граничные данные для модели SURF, предназначенной для прогноза волнения в прибойной зоне на отдельных морских побережьях.

Региональные объединённые модели океана и атмосферы. В 2012 году в NAVO была реализована объединённая мезомасштабная модель океана и атмосферы (Coupled Ocean/Atmosphere Mesoscale Prediction System – COAMPS). Одна из версий для прогноза тропических циклонов (COAMPS-TC) имеет разрешение 5 км и используется для прогноза траекторий движения тропических циклонов, их структуры и интенсивности [15]. Модель позволяет учесть изменения структуры гидрофизических полей в следе тропического циклона.

Исходные данные для прогнозирования состояния океана. Для адекватной работы моделей необходимо задавать начальные и граничные условия, само построение моделей предусматривает точное задание морфометрии бассейна.

Точно задать *топографию дна* особенно важно для моделей динамики океана в прибрежной зоне. Цифровые модели топографии дна NAVO считаются наиболее точными в мире.

Задание атмосферных воздействий. Основной движущей силой для всех моделей океана является воздействие атмосферы на поверхность океана. В NAVO исходные метеорологические данные получают из полуградусной модели циркуляции атмосферы – NAVGEM для глобальной модели HYCOM, а также из региональных мезомасштабных моделей COAMPS для региональных моделей NCOM. Ежедневно NAVO получает более 47 000 файлов с прогностическими полями атмосферных полей из FNMOC.

Начальные условия. Одной из основных функций NAVO является своевременное получение, обработка, архивирование и распространение информации о физических полях, характеризующих состояние океана. Наблюдения, получаемые в режиме реального времени, используются для:

- задания начальных условий перед запуском прогностических моделей;
- верификации результатов прогноза и оценки качества прогнозирования в целях их квалификации и модернизации;
- архивирования результатов анализа и моделирования,
- создания баз данных реанализа.

Исходные наблюдения классифицируются как результаты дистанционного зондирования (получены спутниками или радаром), или как результаты непосредственных измерений (in situ). Ошибочные и устаревшие данные отфильтровываются и для анализа не используются. Высококачественные данные дистанционного зонди-

рования поступают в NAVO от многочисленных космических аппаратов и включают в себя: данные о температуре поверхности моря, альтиметрические данные о возвышении поверхности моря, сведения о ледовом покрове и данные волномерных измерений.

NAVO является национальным центром сбора, обработки и распространения информации о возвышениях поверхности моря SSH и о температуре поверхности океана SST. Альтиметрические данные о возвышениях уровня SSH важны для определения начального состояния мезомасштабной и микромасштабной структуры океана (положения океанических вихрей, фронтов, меандров) в глобальных и региональных моделях. В ВМС США постоянно подчёркивают важность дистанционных средств зондирования океана. Эта информация успешно интегрирована в прогностические системы.

В NAVO функционирует система сбора данных непосредственных наблюдений с бортовых корабельных сенсоров и систем, теряемых батитермографов, буёв, дрейфтеров, профилографов, морских планеров (глайдеров), а также с датчиков, установленных на морских животных, и других платформ; созданы технологии усвоения этой информации. Для усвоения океанографических данных, например, используется специальная технология – Navy’s Modular Ocean Data Assimilation system (MODAS) [16].

Системы оперативного прогнозирования состояния океана, подобные описанным, созданы и функционируют в Англии, Франции, Австралии, Италии, Норвегии, Японии, Китае, Индии и Канаде [17].

Так, во Франции функционирует система прогнозирования состояния океана Mercator [18], которая создана в кооперации ряда научных организаций Франции, Космического агентства и ВМС Франции, а именно Департамента гидрографии и океанографии. Прогнозирование осуществляется ежедневно с заблаговременностью 6 суток в глобальном масштабе – с разрешением $1/12^\circ$, в региональном масштабе – с разрешением $1/36^\circ$ (рис. 2).

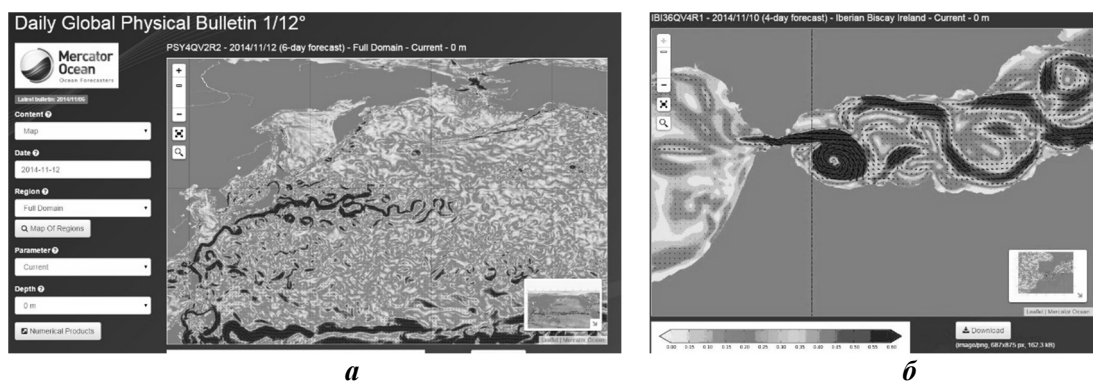


Рис. 2. Примеры прогнозирования течений системой Mercator в северной части Тихого океана (а) и в западной части Средиземного моря (б) [17]

В перечисленных странах, как и в США, созданы современные технологии прогнозирования состояния океана разного масштаба изменчивости. Из крупных морских держав полноценные системы в области оперативной океанологии отсутствуют только в России.

Таким образом, в ВМС ряда зарубежных стран в последние годы достигнуты впечатляющие результаты в области прогнозирования «погоды океана» или, другими словами, в области оперативной океанологии, роль которой в современных условиях существенно возросла. Основным стимулом для развития оперативной океанологии за рубежом послужило стремление повысить скрытность подводных объектов военного назначения за счёт полноценного учёта маскирующих свойств морской среды.

Для ВМС ряда стран стали доступны прогнозы гидрофизических полей (температуры, солёности, плотности, скорости звука, течений), подводной видимости, волнения высокого уровня разрешения. Достижения в этой области стали результатом планомерных работ в области развития систем дистанционного наблюдений за океаном, развития систем усвоения данных измерений и численного моделирования.

Зарубежный опыт создания систем оперативной океанологии может быть успешно использован в России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Burnett W., Harper S., Preller R., Jacobs G., LaCroix K. Overview of operational ocean forecasting in the US Navy: Past, present, and future // *Oceanography*. – 2014. – 27(3). Pp. 24–31. URL: <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2014.65>.
2. Clark B. The Emerging Era in Undersea Warfare // *Center for Strategic and Budgetary Assessments (CSBA)* – 2015. – 21 p. URL: <http://www.isn.ethz.ch/Digital-Library/Publications/Detail/?lng=en&id=187520>.
3. Зубченко Э. Н., Шарков А. М. Перспективы использования автономных подводных необитаемых аппаратов для обеспечения ВМФ гидрографической и океанографической информацией // *Навигация и гидрография* – 2014. – № 37. – С. 58–64.
4. Joint meteorological and oceanographic (METOC) handbook // U.S. Joint Forces Command. – 2011. – 293 p. URL: http://www.dtic.mil/doctrine/doctrine/jwfc/metoc_hbk.pdf.
5. Бочаров Л. Ю. Управление перспективных исследований и разработок Министерства обороны США (DARPA): анализ деятельности // *Электроника: Наука, Технология, Бизнес*. – 2012. – № 5. – С. 134–147.
6. Портал FNMOC. URL: <https://www.fnmoc.navy.mil/>.
7. Военно-морской океанографический портал. URL: <http://www.usno.navy.mil/>.
8. National Research Council. 2003. Environmental Information for Naval Warfare. National Academy Press, Washington, D.C. – 203 p.
9. Hogan T. F., Liu M., Ridout J. A., Peng M. S., Whitcomb T. R., Ruston B. C., Reynolds C. A., Eckermann S. D., Moskaitis J. R., Baker N. L., McCormack J. P., Viner K. C., McLay J. G., Flatau M. K., Xu L., Chen C., Chang S. W. The Navy Global Environmental Model. *Oceanography*. – 2014. – No 27(3). Pp. 116–125. URL: <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2014.73>.
10. Metzger E. J., Smedstad O. M., Thoppil P. G., Hurlburt H. E., Cummings J. A., Wallcraft A. J., Zamudio L., Franklin D. S., Posey P. G., Phelps M. W., Hogan P. J., Bub F. L., DeHaan C. J. US Navy operational global ocean and Arctic ice prediction systems // *Oceanography*. – 2014. – No 27(3). Pp. 32–43. URL: <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2014.66>.
11. Rowley C., Mask A. Regional and coastal prediction with the Relocatable Ocean Nowcast/Forecast System // *Oceanography*. – 2014. No 27(3). Pp. 44–55. URL: <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2014.67>.
12. Сайт NRL. URL: <http://www7320.nrlssc.navy.mil/hycomARC>
13. Veeramony J., Orzech M. D., Edwards K. L., Gilligan M., Choi J., Terrill E., De Paolo T. Navy nearshore ocean prediction systems // *Oceanography*. – 2014. – No 27(3). Pp. 80–91. URL: <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2014.70>
14. Rogers W. E., Dykes J. D., Wittmann P. A. US Navy global and regional wave modeling // *Oceanography*. – 2014. – No. 27(3). Pp. 56–67. URL: <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2014.68>.
15. Allard R., Rogers E., Martin P., Jensen T., Chu P., Campbell T., Dykes J., Smith T., Choi J., Gravois U. The US Navy coupled ocean-wave prediction system // *Oceanography*. – 2014. – No 27(3). Pp. 92–103. URL: <http://dx.doi.org/10.5670/oceanog.2014.71>.
16. Fox D. N., Teague W. J., Barron C. N., Carnes M. R., Lee C. M. The Modular Ocean Data Assimilation System (MODAS) // *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* – 2002. – No 19. Pp. 240–252.

17. Портал проекта Godae OceanView. URL: <https://www.godae-oceanview.org/science/ocean-forecasting-systems/system-descriptions>.
18. Сайт системы прогнозирования состояния океана Меркатор. URL: <http://www.mercator-ocean.fr/eng/produits-services/operational-services/>.

THE PRESENT-DAY STATE OF THE OPERATIONAL OCEANOLOGY OF THE US NAVY AND OTHER COUNTRIES.

S. I. Mastryukov, N. V. Chervyakova («GNINGI» OJSC)

The information about the state of the operational oceanology abroad is summarized. Attention is drawn to the fact that the aim to increase the stealth of military submarine objects was one of the incentives for development of the operational oceanology. It has been revealed that the increased requirements to the level of information support for the naval activities due to the attempt to use, to the utmost degree, the masking qualities of the marine environment inevitably result in the necessity to improve all elements of the hydrometeorological support system, including the subsystem of the ocean state operative forecast.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ГАВРИЛОВ Владимир Валентинович,

старший научный сотрудник ОАО «ГНИНГИ», подполковник в отставке. Окончил Ленинградский государственный университет. Специализация – спутниковая навигация. Автор более 60 печатных работ.

E-mail: mail@gningi.ru

ГЕРАСИМЕНКО Леонид Витальевич,

аспирант Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. Окончил Владивостокский государственный университет экономики и сервиса. Специализация – информационные системы и технологии. Автор четырёх печатных работ.

E-mail: LVGer@yandex.ru

ГЛАДСКИХ Евгений Петрович,

заместитель начальника отдела ОАО «ГНИНГИ», капитан 2 ранга в отставке. Окончил Высшее военно-морское училище им. М.В. Фрунзе. Специализация – гидрография. Автор более десяти печатных трудов, ряда патентов на изобретения.

E-mail: mail@gningi.ru

ГРИНЯК Виктор Михайлович,

доцент дальневосточного федерального университета (ДФУ), канд. техн. н. Окончил Дальневосточный государственный технический университет. Специализация – прикладная математика и информатика. Автор более 100 печатных работ.

E-mail: Viktor.Grinyak@vvsu.ru

ДЕВЯТИСИЛЬНЫЙ Александр Сергеевич,

главный научный сотрудник Института автоматики и процессов управления ДВО РАН (ИАПУ ДВО РАН), докт. техн. н., профессор. Окончил Дальневосточный политехнический институт. Специализация – гироскопические приборы и системы. Автор более 300 научных работ.

E-mail: devyatis@iacp.dvo.ru

Vladimir V. GAVRILOV,

Senior researcher, «GNINGI» OJSC, Colonel (Ret.). Graduated from Leningrad State University. Speciality: satellite navigation. Author of more than 60 publications.

E-mail: mail@gningi.ru

Leonid V. GERASIMENKO,

Postgraduate student, Vladivostok State University of Economics and Service. Graduated from Vladivostok State University of Economics and Service. Speciality: information systems and technologies. Author of 4 scientific works.

E-mail: LVGer@yandex.ru

Evgeny P. GLADSKIKH,

Deputy chief of division, «GNINGI» OJSC, Captain 2-nd Rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College. Speciality: hydrography. Author of more than 10 publications, a number of patents for inventions.

E-mail: mail@gningi.ru

Viktor M. GRINYAK,

Reader, the Far East Federal University, CandSc. Graduated from The Far East State Technical University. Speciality: applied mathematics and informatics. Author of more than 100 scientific works.

E-mail: Viktor.Grinyak@vvsu.ru

Aleksandr S. DEVYATISILNY,

Chief researcher, Institute of Automatics and Control Processes Far East Branch of Russian Academy of Science, DSc, professor. Graduated from the Far East Polytechnical Institute. Speciality: gyroscopic devices and systems. Author of more than 300 scientific works.

E-mail: devyatis@iacp.dvo.ru

ЖУКОВ Юрий Николаевич,

ведущий научный сотрудник ОАО «ГНИНГИ», докт. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт. Специализация – гидрометеорология. Автор более 80 печатных трудов.

Тел.: +7(812)322-63-39

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 более 60 печатных трудов, в том числе монографии по морским геоинформационным системам.

E-mail: ezyb@mail.ru

КАВРАЙСКИЙ Александр Владимирович,

старший научный сотрудник ОАО «ГНИНГИ», капитан 1 ранга в отставке. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – гидрография, математическая картография, геодезические системы координат. Автор более 40 печатных трудов.

Тел.: +7(812)322-66-48

КОСТИН Виктор Николаевич,

начальник лаборатории ОАО «ГНИНГИ», канд. техн. н., доцент. Окончил Ленинградский государственный университет. Область научных интересов – навигация. Автор более 80 печатных трудов.

E-mail: mail@gningi.ru

МАЙГОВ Алексей Владимирович,

технический директор, главный инженер ОАО «НТП «НАВИ-ДАЛС», капитан 2 ранга запаса, канд. техн. н. Окончил ВВМУ им. Фрунзе, ВМА им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – технические средства навигации.

E-mail: +7(812)335-34-22

МАКСИМОВ Владимир Анатольевич,

начальник лаборатории ОАО «ГНИНГИ». Окончил Ленинградское высшее инженерное морское училище им. адм. С. О. Макарова. Специализация – судовождение на морских путях (инженер-судоводитель). Автор восьми печатных трудов, ряда патентов на изобретения.

E-mail: mail@gningi.ru

Yuri N. ZHUKOV,

Leading researcher, «GNINGI» OJSC, DSc. Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute. Speciality: hydrometeorology. Author of more than 80 publications.

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

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

Alexander V. KAVRAISKY,

Senior researcher, «GNINGI» OJSC, Captain 1-st rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College, Naval Academy. Speciality: hydrography, mathematical cartography, geodetic co-ordinate systems. Author of more than 40 publications.

Tel.: +7(812)322-66-48

Victor N. KOSTIN,

Chief of laboratory, «GNINGI» OJSC, Cand Sc, reader. Graduated from Leningrad State University. Sphere of scientific interests: navigation. Author of more than 80 publications.

E-mail: mail@gningi.ru

Aleksey V. MAIGOV,

Technical director, chief engineer "Scientific and engineering enterprise "Navi-Dals" OJSC, Captain 2-nd Rank (in reserve), CandSc. Graduated from Frunze Naval College, N. G. Kuznetsov Naval Academy. Speciality: technical aids to navigation.

E-mail: +7(812)335-34-22

Vladimir A. MAKSIMOV,

Chief of laboratory, «GNINGI» OJSC. Graduated from Leningrad S. O. Makarov Higher Engineering Marine College. Speciality: ship navigation on sea routes (engineer-ship navigator). Author of 8 publications and a number of patents for inventions.

E-mail: mail@gningi.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

МАСТРЮКОВ Сергей Иванович,

ведущий научный сотрудник ОАО «ГНИНГИ», полковник в запасе, докт. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт. Специализация – океанология. Автор более 100 печатных работ.

E-mail: mail@gningi.ru

РЕПИН Юрий Михайлович,

начальник отдела ОАО «ГНИНГИ», капитан 1 ранга в отставке. Окончил ВВМУ им. М. В. Фрунзе и ВМА им. Н. Г. Кузнецова. Специализация: технические средства навигации. Автор ряда печатных трудов.

E-mail: info@gningi.ru

СМОЛИН Владимир Максимович,

начальник отделения обработки данных ОАО «ГНИНГИ», капитан 2 ранга запаса, канд. техн. н. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Специализация – навигационно-гидрографическое обеспечение. Автор 12 печатных трудов.

E-mail: vmsmolin@mail.ru

ЧЕРВЯКОВА Нина Владимировна,

начальник лаборатории ОАО «ГНИНГИ». Окончила Российский Государственный гидрометеорологический университет, магистр, специальность – климатология, гидрометеорология. Автор четырех публикаций.

E-mail: mail@gningi.ru

ШАРКОВ Андрей Михайлович,

начальник управления гидрографии, геофизики и гидрометеорологии ОАО «ГНИНГИ», капитан 1 ранга запаса, канд. техн. н., доцент. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация: навигационно-гидрографическое обеспечение, методы сбора гидрографической информации. Автор более 40 печатных трудов.

E-mail: sharkov-am@mail.ru

Pavel I. MALEYEV,

Leading researcher, «GNINGI» OJSC. Captain 1 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

Sergei I. MASTRYUKOV,

Leading researcher, «GNINGI» OJSC, Colonel (Ret.), PhD. Graduated from St. Petersburg Hydrometeorological Institute. Speciality: oceanology. Author of more than 100 publications.

E-mail: mail@gningi.ru

Yuriy M. REPIN,

Chief of division, “GNINGI” OJSC, Captain 1-st Rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College, N. G. Kuznetsov Naval Academy. Speciality: technical aids to navigation. Author some publications.

E-mail: info@gningi.ru

Vladimir M. SMOLIN,

Chief of division for information processing, “GNINGI” OJSC. Captain 2 Rank (Res.), CandSc. Graduated from M. V. Frunze Naval College. Speciality: navigation-hydrographic support. Author of 12 publications.

E-mail: vmsmolin@mail.ru

Nina V. CHERVYAKOVA,

Chief of laboratory «GNINGI» OJSC. M.Sc. Graduated from the Russian State Hydrometeorological University. Speciality: climatology, hydrometeorology. Author of 4 publications.

E-mail: mail@gningi.ru

Andrey M. SHARKOV,

Chief of research department of hydrography, geophysics and hydrometeorology «GNINGI» OJSC. Captain 1-st rank (Ret.). CandSc. Graduated from Frunze Naval College and N. G. Kuznetsov Naval Academy. Speciality: navigation-hydrographic support, methods of collection of hydrographic information. Author of 42 publications.

E-mail: sharkov-am@mail.ru

РЕФЕРАТЫ

ГРНТИ 629.12

Обзор современного состояния навигационных эхолотов отечественного производства. Ю. М. Репин, А. В. Майгов – Навигация и гидрография. – 2015. – № 40. – С. 7–11.

В статье дан краткий обзор современного состояния навигационных эхолотов. Показаны актуальность и направления дальнейшего совершенствования отечественного производства данных средств.

Ключевые слова: навигационные эхолоты, диапазон рабочих глубин, сравнительные характеристики, эксплуатационные характеристики.

ГРНТИ 629.12

Взаимозависимость световых и энергетических параметров источников света СНО на основе светодиодных излучателей. Е. П. Гладских, В. Н. Костин, В. А. Максимов, Ю. М. Репин – Навигация и гидрография. – 2015. – № 40. – С. 12–18.

В статье рассмотрены вопросы, отражающие взаимозависимость световых и энергетических параметров светодиодных источников света, и показана возможность использования этих соотношений для расчетов новых светотехнических систем зрительных СНО.

Ключевые слова: светодиодные излучатели, дальность видимости огней, сила света, световой поток, световая отдача, номинальная мощность, световые и энергетические соотношения.

ГРНТИ 733. 34. 39. 09

К вопросу об определении по спутникам положения и скорости объекта при наличии нарушения синхронизации измеренных псевдодальностей. В. В. Гаврилов, П. И. Малеев – Навигация и гидрография. – 2015. – № 40. – С. 19–28.

Измеренные по спутникам псевдодальности, представляющие разность моментов принятых сигналов по шкалам часов спутников и приемной аппаратуры, умноженную на скорость света, искажены влиянием ряда факторов: расхождением шкал времени между приёмником и спутником, влиянием ионосферы и тропосферы, фазовыми шумами несущей и др. Эти помехи каждый разработчик приёмной аппаратуры исключает своими (неизвестными потребителям) методами. Цель статьи – оценить влияние этих помех и возможную точность определения местоположения и скорости объекта по реально измеренным асинхронным псевдодальностям.

Ключевые слова: спутники, псевдодальности, местоположение объекта, помехи, синхронизация, навигационные данные.

УДК 519.68:15:681.5

Многоуровневая модель идентификации опасных ситуаций береговыми системами управления движением судов. В. М. Гриняк, Л. В. Герасименко, А. С. Девятисильный – Навигация и гидрография. – 2015. – № 40. – С. 29–38.

Статья посвящена проблеме навигационной безопасности движения морских судов. Рассматривается подход, позволяющий вырабатывать тревожные сигналы с выделением различных уровней опасности. В основу критерия разделения уровней опасности положены траекторные свойства движения судов. Предложена система правил, апеллирующая к модельным представлениям типа «судно-судно» и позволяющая упорядочить действия диспетчера при управлении коллективным движением судов. Приводятся результаты моделирования и натурного исследования трафика в акватории порта Владивосток, подтверждающие конструктивность предлагаемых идей.

Ключевые слова: управление движением судов, опасное сближение, траектория движения, маневрирование судна.

УДК 528.28:528.94

Уточненные зависимости между географическими и квазигеографическими координатами с учетом сфероидичности Земли. А. В. Каврайский – Навигация и гидрография. – 2015. – № 40. – С. 39–50.

Приводится уточненное математическое описание построения системы квазигеографических координат с учетом сфероидичности Земли, позволяющее устранить разночтения по данному вопросу в научно-технической литературе. Дается оценка методических погрешностей вычислений по приведенным формулам, показана правомерность их применения для новых отечественных геодезических системам ГСК-2011 и ПЗ-90.11.

Ключевые слова: географические координаты, квазигеографические координаты, изображение эллипсоида на шаре, геодезические системы координат.

УДК 355::528; 623.64

К вопросу о переходе к координатным системам ПЗ-90.11 и ГСК-2011 при картографировании морских акваторий в интересах навигационно-гидрографического обеспечения ВМФ.

Э. С. Зубченко, В. М. Смолин, А. М. Шарков – Навигация и гидрография. – 2015. – № 40. – С. 51–56.

Рассматриваются проблемы, возникающие в условиях перехода к использованию новых систем геодезических координат ГСК-2011 и ПЗ-90.11. Приводится пример, возможного решения одной из возникающих проблем, а именно получения значения поправки в измеренную глубину, путем измерения высоты антенны судовой аппаратуры, принимающей информацию со спутника.

Ключевые слова: геодезическая система координат, общеземная геоцентрическая система координат, общеземной эллипсоид, преобразование (трансформирование) геоцентрических координат, элементы трансформирования, картограмма для трансформирования, геодезическая высота нуля глубин, поправка на высоту прилива.

УДК 528.92

Интервальное представление скалярных гидрометеорологических характеристик.

Ю. Н. Жуков – Навигация и гидрография. – 2015. – № 40. – С. 57–63.

Свойства значений температуры воздуха атмосферы не согласуются со свойствами вещественных чисел. Приведен способ представления значений температуры воздуха ультраметрическими числами.

Ключевые слова: числовые системы, репрезентативная теория измерений, ультраметрика, температура воздуха.

УДК 528.92

Физические законы и климатические пособия.

Ю. Н. Жуков – Навигация и гидрография. – 2015. – № 40. – С. 63–69.

Традиционные методы создания климатических пособий базируются на двух неявных постулатах: аддитивности и независимости термодинамических величин. Показано, что эти постулаты противоречат термодинамическим законам: закону Рихмана и уравнениям состояния.

Ключевые слова: климатические пособия, термодинамика, закон Рихмана, уравнения состояния.

УДК 551.46

Современное состояние оперативной океанологии ВМС США и других государств.

С. И. Матрюков, Н. В. Червякова – Навигация и гидрография. – 2015. – № 40. – С. 70–78.

Обобщены сведения о состоянии оперативной океанологии за рубежом. Показано, что одним из стимулов для развития оперативной океанологии послужило стремление повысить скрытность подводных объектов военного назначения. Выявлено, что повышение требований к уровню информационной поддержки военно-морской деятельности, вызванное стремлением максимально использовать маскирующие свойства морской среды, неизбежно вынуждает совершенствовать все элементы системы гидрометеорологического обеспечения, включая подсистему оперативного прогнозирования состояния океана.

Ключевые слова: климатические пособия, термодинамика, закон Рихмана, уравнения состояния

ABSTRACTS

Review of the Current Status of the Nationally-Produced Navigation Echosounders. Y. M. Repin, A. G. Maigov – Navigation and Hydrography. – 2015. – No. 40. – P. 7–11.

The short review of the current status of navigation echosounders is presented. The actuality and directions for the further improvement of these nationally-produced aids are shown.

Key words: navigation echosounders, range of operational depths, comparative characteristics, operational characteristics.

Interdependence of Light and Energy Parameters for the Light Sources of the Aids to Navigation Based on the LED Sources. E. P. Gladskikh, V. N. Kostin, V. A. Maksimov, Y. M. Repin – Navigation and Hydrography. – 2015. – No. 40. – P. 12–18.

The issues showing the interdependence of light and energy parameters of LED sources are considered. The possibility to use these relationships in order to carry out the calculations for the new light-technology systems of visual aids to navigation is shown.

Key words: light-emitting diodes (LEDs), visibility range of lights, intensity of light, light flux, light efficacy, nominal output (nominal power), light and energy relationships.

On Obtaining the Position and Speed of an Object by Satellites in Case of Synchronization Disruption for Measured Pseudo-ranges. V. V. Gavrilov, P. I. Maleyev – Navigation and Hydrography. – 2015. – No. 40. – P. 19–28.

The pseudo-ranges obtained by satellites that are the difference of the moments for the signals received by the satellite clock scales and scales of receiving equipment, multiplied by the velocity of light, are distorted due to a number of factors: the discrepancy of the receiver and satellite, influence of ionosphere and troposphere, carrier phase noises etc. Each developer of the receiving equipment excludes the interference by his own methods (unknown to the users). The aim of the article is to evaluate the influence of this interference and the possible accuracy of finding the position and speed of an object, using the real measured asynchronous pseudo-ranges.

Key words: satellite, pseudo-ranges, position of an object, disturbances, synchronization, navigation data.

Multilevel Model of Ships Collision Risk Assessment. V. M. Grinyak, L. V. Gerasimenko, A. S. Devyatitsilny – Navigation and Hydrography. – 2015. – No. 40. – P. 29–38.

The problem of marine vessel traffic control is discussed. The model of information system for marine safety estimation (ships collision avoidance) is considered. The system defines several alarm levels: “green”, “yellow” and “red”. The alarm criterion is based on maneuver detector. If the ship is maneuvering, her alarm level decreases (“yellow”). Mathematical model of position and speed estimation for alarm generation is proposed. Some results of experiments, such as numerical experiments for typical ship paths and experiments for vessel traffic in Vladivostok port water area are shown. There are about 20 % “yellow” alarms and 80 % “red” alarms. These alarms are generated throughout the water area.

Key words: vessel traffic control, collision avoidance, path, ship maneuver.

Refined Relationships Between Geographic and Quasigeographic co-ordinates Taking the Earth's Spheroidicity into Account. A. V. Kavraisky – Navigation and Hydrography. – 2015. – No. 40. – P. 39–50.

The refined mathematical description of constructing the system of quasigeographic co-ordinates taking the Earth's spheroidicity into account that allows to remove the variant readings on this issue in scientific-technical literature, is presented. The appraisal of methodical errors for calculations using the presented formulas is given; the rightfulness of their employment for the new national geodetic systems ГСК-2011 and ПЗ-90.11 is shown.

Key words: geographic co-ordinates, quasigeographic co-ordinates, representation of ellipsoid on a sphere, geodetic co-ordinates systems.

On Change to ПЗ-90.11 and ГСК-2011 Co-ordinate Systems When Charting the Marine Water Areas in the Interests of Navigation-Hydrographic Support for the Navy E. S. Zubchenko, V. M. Smolin, A. M. Sharkov – Navigation and Hydrography. – 2015. – No. 40. – P. 51–56.

The problems that arise when changing to employment of new (ГСК-2011 and ПЗ-90.11) geodetic co-ordinate systems are considered. An example is given for the possible solution of the arising problems, namely, obtaining the correction value for the measured depth by changing the antenna height of the ship equipment receiving the satellite information.

Key words: geodetic co-ordinate systems, earth (terrestrial), geocentric co-ordinate systems, earth (terrestrial) ellipsoid, transformation of geocentric co-ordinates, elements of transformation, sketch (schematic) map for transformation, geodetic height for (hydrographic) datum, correction for height of tide.

Interval Representation of Scalar Hydrometeorological Characteristics. Y. N. Zhukov – Navigation and Hydrography. – 2015. – No. 40. – P. 57–63.

The properties of values of the atmospheric air temperature do not agree with the properties of real numbers. The way of representing the air temperature values by ultrametric numbers is described.

Key words: numeric systems, representative theory of measurements, ultrametries, air temperature.

Physical Laws and Climate Aids. Y. N. Zhukov – Navigation and Hydrography. – 2015. – No. 40. – P. 63–69.

The traditional methods of creating the climate aids are based on two nonevident postulates: additivity and independence of thermodynamic values. It is shown that these postulates contradict the thermodynamic laws: Richmann law and equation of state.

Key words: climate aids, thermodynamics, Richmann law, equation of state.

The Present-Day State of the Operational Oceanology of the US Navy and Other Countries. S. I. Mastryukov, N. V. Chervyakova – Navigation and Hydrography. – 2015. – No. 40. – P. 70–78.

The information about the state of the operational oceanology abroad is summarized. Attention is drawn to the fact that the aim to increase the stealth of military submarine objects was one of the incentives for development of the operational oceanology. It has been revealed that the increased requirements to the level of information support for the naval activities due to the attempt to use, to the utmost degree, the masking qualities of the marine environment inevitably result in the necessity to improve all elements of the hydrometeorological support system, including the subsystem of the ocean state operative forecast.

Key words: hydrometeorological support, operational oceanology, model of the ocean.

o

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, №40

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

Подписано в печать 25.06.2015 г.
Тираж 300 экз.
Заказ № 04/32 от 29.06.2015 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»**