

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

---

**НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ**

ИЗДАЕТСЯ С 1995 ГОДА

**25  
2007**

**МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

---

Санкт-Петербург

# **Главный редактор**

## **д. т. н., проф. С. П. Алексеев**

### **Редакционная коллегия:**

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

**© Государственный научно-исследовательский  
навигационно-гидрографический институт  
Министерства обороны Российской Федерации**

**2007**

**THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC  
INSTITUTE**

---

**NAVIGATION AND HYDROGRAPHY**

PUBLISHED SINCE 1995

**25  
2007**

**RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE**

---

Saint-Petersburg

# **Editor-in-chief**

## **S. P. Alekseyev, DSc, professor**

### **Editorial board**

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

© The State Research Navigation–Hydrographic Institute  
Russian Federation Ministry of Defence

2007

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>С. П. Алексеев, А. В. Лаврентьев, В. А. Катенин.</b> Желаящему стать дипломированным ученым .....	9
--	---

## НАВИГАЦИЯ

<b>Б. И. Лобойко, Ю. В. Токарев.</b> Показатели эффективности глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС.....	15
<b>Б. Е. Иванов.</b> Оценка вероятности нахождения места в круге при использовании створа для обсервации .....	22
<b>Б. Е. Иванов, Д. А. Фролов.</b> Оценка вероятности отсутствия пропусков при обследовании района.....	31
<b>А. А. Пылаев, Л. Г. Тамкун, В. С. Трегубов.</b> Об использовании аппроксимаций для вычисления дополнительных задержек радиосигналов фазовых РНС СЧ диапазона .....	36
<b>В. А. Михальский, А. А. Якушев.</b> Оценивание точности ИНС по разностям показаний одного и того же навигационного параметра от двух ИНС .....	45

## ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

<b>Ю. Н. Жуков.</b> Учет изменения широт и долгот за счет перемещения полюсов земли.....	51
<b>С. Г. Амельченко, А. Л. Тезиков.</b> Сравнение методов поиска подводных объектов методами интегральной геометрии.....	56

## ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ОКЕАНОГРАФИЯ

<b>В. С. Аносов, С. А. Дружевский, В. А. Катенин, А. И. Никифоров.</b> К вопросу определения аэробаллистических характеристик и выбора парашютной системы для авиационной постановки дрейфующих автономных гидрометеорологических станций .....	61
<b>С. И. Мастрюков.</b> Оценка взаимосвязи характеристик ветрового режима в южной части Баренцева моря .....	70
<b>Ю. Н. Жуков, А. Б. Опарин.</b> Пути повышения эффективности военной подсистемы единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане .....	78

<b>А. Б. Опарин, И. Т. Бурейко, А. В. Воробьев, Я. Н. Губаревич, А. Ю. Устименко.</b> Технико-технологическое обеспечение функционирования государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института – единого центра данных Министерства Обороны Российской Федерации .....	85
<b>О. А. Гасников.</b> Применение теории случайных выбросов к исследованию волновых процессов в океане .....	94

#### **СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ**

<b>И. М. Мирошников, Ю. О. Петрова.</b> Ко всемирному дню гидрографии. Международная гидрографическая организация и участие в ее работе российской гидрографии .....	106
<b>Б. М. Золотайкин.</b> На всю оставшуюся жизнь.....	120
<b>ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ</b> .....	129

## CONTENTS

**S. P. Alekseyev, A. V. Lavrentyev, V. A. Katenin.** For those wishing to become a certified scientist .....9

## NAVIGATION

**B. I. Loboiko, Y. V. Tokarev.** The performance criteria of GLONASS global navigation satellite system .....15

**B. E. Ivanov.** Evaluation of the probability of fixing the position in a circle when using the range for observation .....22

**B. E. Ivanov, D. A. Frolov.** Evaluation of the probability of the gaps absence when exploring the area ..... 31

**A. A. Pylaev, L. G. Tamkun, V. S. Tregubov.** About approximations usage for additional delays calculations of ground radiowaves.....36

**V. A. Mikhalsky, A. A. Yakushev.** Evaluation of INS accuracy by the difference of readings of two INS for the same navigation parameter .....45

## HYDROGRAPHY AND MARINE CARTOGRAPHY

**Y. N. Zhukov.** Allowance for the changes of latitudes and longitudes due to the variation of earth's poles position .....51

**S. G. Amelchenko, A. L. Tezиков.** Comparison of methods of search for submarine objects using the integral geometry techniques.....56

## HYDROMETEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY

**V. S. Anosov, S. A. Druzhevsky, V. A. Katenin, A. I. Nikiforov.** On determining the aeroballistic characteristics and selection of parachute system for dropping the drifting autonomous hydrometeorological stations from aircraft .....61

**S. I. Mastryukov.** Evaluation of interrelationship for wind regime characteristics in the southern part of the Barents sea .....70

**Y. N. Zhukov, A. B. Oparin.** Ways of increasing the effectiveness of the military subsystem of the unified state system of information on the World ocean state .....79

**A. B. Oparin, I. T. Bureyko, A. V. Vorobyev, Ya. N. Gubarevich, A. Y. Ustimenko.** Technical and technological support for operation of the State Research Navigation Hydrographic Institute – the unified centre of data for the oceanographic and hydrographic explorations of the World ocean, Ministry of Defence of the Russian Federation.....85

**O. A. Gasnikov.** Employment of random processes emission theory to exploration of wave processes in the ocean .....94

**PAGES OF HISTORY**

<b>I. M. Miroshnikov, I. O. Petrova.</b> On the occasion of the World Hydrography Day.....	106
<b>V. M. Zolotaikin.</b> For the Rest of the Life .....	120
<b>INFORMATION ABOUT AUTHORS</b> .....	129



ГРНТИ: 12.41

**ЖЕЛАЮЩЕМУ СТАТЬ ДИПЛОМИРОВАННЫМ УЧЕНЫМ**

**С. П. АЛЕКСЕЕВ,  
А. В. ЛАВРЕНТЬЕВ,  
В. А. КАТЕНИН**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Рассматриваются методические и организационные вопросы, связанные с первыми (основными) шагами при написании диссертационной работы соискателем, которые недостаточно подробно раскрыты в соответствующей литературе, а также в руководящих документах Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации.*

Уходит в прошлое имевшая широкое хождение в доперестроечный период поговорка «Ученым можешь ты не быть, но кандидатом быть обязан».

Как к научным исследованиям, так и к начинающим ученым жизнь предъявляет новые требования, которые реализуются в работе диссертационных советов и Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации.

Осознавая важность науки и техники в ускорении развития экономического потенциала страны, Президент и Правительство Российской Федерации (РФ) проявляют большую заботу по созданию необходимых условий для творчества ученых, одновременно ставя перед ними задачи большого масштаба.

Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт (ГНИНГИ) Министерства обороны РФ, являясь ведущей организацией в соответствующей области, успешно решает поставленные перед ним научные и технические проблемы в интересах обеспечения Военно-морского флота и морской экономической деятельности страны в Мировом океане.

Отдача института могла бы быть более весомой, если бы не некоторое, наметившееся в последнее время, уменьшение числа квалифицированных научных кадров, которое объясняется объективными причинами.

Такое положение дел представляется возможным исправить за счет более интенсивной и качественной подготовки молодых дипломированных ученых для ГНИНГИ МО РФ. Проанализировав тематику и результаты защит более тридцати докторских и кандидатских диссертаций за предшествующие годы, авторы пришли к выводу о целесообразности рассмотрения особенности работы диссертационного совета института, его требований к защищаемым диссертациям и предоставления необходимых начальных сведений соискателю ученой степени на первых шагах написания квалификационной работы. Сложившаяся ситуация типична для большинства научно-

исследовательских организаций, поэтому изложенные ниже рекомендации могут быть полезны более широкому кругу читателей.

Очевидно, что уроки в подготовке молодых ученых за прошедшие годы должны быть учтены в современных условиях развития науки и техники, направленной на становление и развитие Военно-Морского Флота России. Прежде всего не следует забывать, что ученым может стать не каждый научный сотрудник или педагог. Будущий ученый должен обладать научным потенциалом, солидными знаниями, умениями и определенным опытом работы в избранной области знаний, а также склонностью к новаторству, творчеству, трудолюбию, усидчивость, способность работать в коллективе, непрерывно учиться и передавать знания другим в процессе совместной деятельности.

Поэтому понятны требования конкурсного подбора кандидатов в адъюнктуру (аспирантуру) и успешной сдачи ими кандидатских экзаменов. Подбор в адъюнктуру (аспирантуру) следует проводить, как показывает опыт, не менее, чем из двух-трех кандидатов конкурсным путем. Сдачу кандидатских экзаменов, особенно по специальности, можно, на наш взгляд, считать успешной, если они оценены не ниже, чем на «хорошо». Сдача кандидатских экзаменов по специальности (основного и дополнительного) с оценкой «удовлетворительно» нужно рассматривать как исключение, принимаемое комиссией при обсуждении лица, сдающего экзамен.

Тема диссертации выбирается соискателем до или в процессе сдачи кандидатских экзаменов, но обязательно до сдачи кандидатских экзаменов по специальности, имея в виду, что дополнительный экзамен по специальности сдается по программе, составленной в рамках вопросов, подлежащих исследованию в диссертации. Дополнительная программа утверждается на научно-техническом совете института (или на Ученом совете ВУЗа). Название темы диссертации должно соответствовать основному научному результату, который предполагается получить в диссертации. После завершения написания работы название темы диссертации может быть, по согласованию с научным руководителем, подкорректировано или изменено.

Как показывает многолетний опыт защит диссертаций, многие соискатели имеют недостаточную методическую подготовку и поэтому формулируемые ими научные результаты часто грешат неточностью или просто неверны, что обнаруживается при их представлении учебно-методическому и диссертационному советам. По этой причине соискатель не всегда четко представляет, что же полезного он сделал для науки и практики. Поэтому в процессе проведения исследований и подготовке к защите диссертации следует направлять соискателя на изучение таких методических категорий как модель, прием, способ, метод, методика, методология и других, с которыми соискателю приходится иметь дело, формулируя полученные научные результаты. В чем отличие методологии от метода, метода от способа или приема, модели от метода, метода от методики? В некоторых диссертационных советах для оказания помощи соискателям по методическим

вопросам составлены справочные пособия, что оказывает соискателям существенную помощь, если они этими пособиями пользуются в процессе проведения исследований.

При разработке диссертации необходимо четко представлять и формулировать *цель работы, решаемую актуальную научную задачу и частные задачи исследования, предмет и объект исследования, научную гипотезу исследования и ожидаемые научные результаты.*

Во «Введении» диссертации, кроме обоснования актуальности темы исследования и краткого анализа работ ученых (с указанием их фамилий и инициалов), внесших определенный вклад в исследуемую область науки, необходимо четко определить цель диссертации и сформулировать рассмотренные выше вопросы, начиная с актуальной научной задачи и кончая полученными научными результатами с показом их внедрения и практического использования.

Разработку диссертации целесообразно вести по установившейся схеме. Первая глава обычно посвящается анализу состояния исследуемого вопроса (или проблемы). Как правило, вначале формулируются требования, которые предъявляются ВМФ к тем или иным видам вооружения и военной техники, их навигационно-гидрографическому обеспечению. Затем анализируются все вопросы, относящиеся к теме исследования, оцениваются их достоинства и недостатки и, наконец, формулируется актуальная научная задача (проблема), которую требуется решить. Выводы по первой главе должны заканчиваться формулировкой новой актуальной научной задачи (проблемы), переводящей исследователя ко второй главе.

Любой читатель, ознакомившись с содержанием первой главы диссертации, должен представлять, в каком состоянии находится исследуемый вопрос и насколько актуально и необходимо его решение.

Вторая глава должна содержать совокупность теоретических вопросов, направленных на решение новой актуальной научной задачи. Обычно в ней обосновываются, закономерности рассматриваемых явлений, модели создаваемых объектов и процессов; методы, способы и приемы достижения планируемых результатов, строятся алгоритмы решаемых задач, а также анализируется степень совпадения теоретических и экспериментальных результатов исследования.

В третьей главе, как правило, обосновывается методика реализации предложенных методов и способов решения задачи. В тексте диссертации приводится структура методики (полная методика помещается в приложении к работе), выбираются (или обосновываются) критерии, по которым дается сравнительная оценка полученных результатов с ранее известными, определяется эффективность новой методики. В этой главе целесообразно помещать разработанные автором принципиальные структурно-логические и структурно-функциональные схемы, а также формулировать научно обоснованные рекомендации и предложения.

При оформлении диссертации особое внимание уделять ссылкам на выполненные ранее другими авторами исследования и использованную литературу (для исключения обвинений в плагиате), качественному написанию введения, выводам по главам и заключению. Выводы по главам имеют важное значение для понимания структуры и содержания диссертации, поэтому в сжатой форме они должны представлять основу полученных в главах научных результатов. Выводы по каждой главе целесообразно излагать на двух-трех листах диссертации. Каждый написанный вывод должен быть аргументирован.

В «Заключении» формулируются полученные основные и дополнительные результаты исследования, их эффективность, внедрение и использование, публикации научных результатов в рекомендованных ВАК России изданиях.

В перечне использованной литературы должны быть указаны: труды соискателя, в которых опубликованы основные результаты и материалы исследования; труды научного руководителя и предполагаемых оппонентов – специалистов в области проводимых исследований. В случае грифовой диссертации в перечне должны быть указаны источники, содержащие закрытые сведения.

На итоговом листе показываются страницы текста диссертации, которые являются грифованными. В диссертацию вшивается заключение комиссии о грифе диссертации, подписанное членами комиссии и утвержденное командиром части (начальником учреждения).

На титульном листе диссертации в верхней части печатается название организации, где выполнялась работа, гриф и экземпляр диссертации; фамилия, имя и отчество автора работы; название диссертации и указание, на какую ученую степень и в какой области науки защищается диссертация; ученая степень, ученое звание, воинское звание, фамилия и инициалы научного руководителя (консультанта); город и год завершения написания диссертации.

За титульным листом помещаются: лист с аннотацией на работу; листы с пояснением основных условных обозначений и сокращений, принятых в работе (если это необходимо). Оглавление к диссертации, обычно, помещается в конце (или в начале) работы. Диссертация подписывается соискателем после заключения и приложений к ней. Научный руководитель расписывается на титульном листе.

По написанной диссертации составляется автореферат – научный труд, в котором автором излагаются обоснованные в диссертации научные результаты. Объем автореферата не должен превышать одного авторского листа (22 машинописные страницы). В малом объеме автореферата состоит сложность краткого изложения и аргументации полученных в диссертации научных результатов. Для оказания помощи соискателям в диссертационных советах разрабатываются методические рекомендации по написанию авторефератов. В соответствии с рекомендациями в первой части автореферата обосновываются актуальность темы диссертации, ее цель,

решаемая актуальная научная задача, формулируются объект и предмет исследования, научная гипотеза и полученные научные результаты, а также их новизна, достоверность, внедрение и практическая реализация, апробация диссертации и публикация основных научных результатов.

Во второй части автореферата раскрываются и поясняются полученные в диссертации (не обязательно по главам) научные результаты, их теоретическое и практическое значение, реализация на практике. Для наглядности пояснения научных результатов используются таблицы, графики, рисунки.

Автореферат завершается заключением, в котором формулируется актуальная научная задача, решенная в диссертации, перечисляются основные и дополнительные научные результаты (если они не были изложены в первой части автореферата). В конце автореферата помещается перечень трудов соискателя, в которых опубликованы научные результаты, выводы и предложения.

Титульный лист автореферата оформляется по типовой схеме.

В процессе и после разработки диссертации и автореферата соискателю рекомендуется активно поддерживать связь с научно-исследовательской организацией, где он участвует в исследованиях, и с членами диссертационного совета, в котором планируется защита диссертации. С разрешения членов совета соискатель информирует их о проведенных исследованиях и полученных научных результатах, учитывает конструктивные замечания и предложения членов совета.

К защите диссертации соискатель подготавливает научный доклад и необходимый иллюстративный материал; тщательно изучает отзывы, полученные на диссертацию и автореферат, продумывает и подготавливает ответы по замечаниям, выраженным в полученных отзывах.

Доклад должен быть написан в такой форме, чтобы только из его содержания можно было понять, какие научные результаты обосновал лично соискатель и какова степень доверия к ним; насколько полученные научные результаты соответствуют требованиям практики и развития теории в исследуемой области; каковы возможности их внедрения в заинтересованных организациях.

Изготовленный демонстрационный материал имеет своей задачей создать наглядность представленных на защиту научных результатов и представить их оригинальность в обоснованиях и решениях.

На научный доклад по кандидатской диссертации отводится 20-25 минут. Он должен содержать следующие положения. После обращения к председателю, членам Совета и приглашенным на защиту диссертации соискатель называет тему диссертации, кратко обосновывает ее актуальность, переходит к формулированию цели и научным задачам исследования, объекта и предмета исследования. Раскрывает структуру и содержание диссертации (название глав) и формулирует научные результаты исследования, выносимые на защиту. Все упомянутые выше вопросы представляются на плакате №1.

После этого в научном докладе приводится краткий анализ состояния темы исследования, который завершается формулировкой актуальной научной задачи, решаемой в диссертации. Далее соискатель переходит к обоснованию первого научного результата. Раскрывается прежде всего исходные научные положения, на которых построено исследование (принятые или открытые им закономерности, модели, методы и т. п.). Показывается путь исследования, его полнота и ограничения, полученный результат, новизна, достоверность, публикация, внедрение.

Затем обосновывается второй и последующие научные результаты в порядке, описанном выше. Подчеркивается их новизна, достоверность, публикации, внедрение. Если проводился педагогический или технический эксперимент, то описывается его организация и методика проведения. Подчеркивается, чем обеспечена чистота проведенного эксперимента и дается оценка его достоверности.

По обоснованным или выбранным критериям сравнивается эффективность полученных научных результатов с используемыми на практике (например, новых и старых методик, методов, способов, приемов, алгоритмов, схемных решений и др.).

В докладе перечисляются основные и дополнительные научные результаты, их внедрение, апробация и публикация в рекомендуемых ВАК изданиях. На этом доклад заканчивается.

Соискатель отвечает на вопросы сначала членов диссертационного совета, а затем приглашенных на защиту. Ответ дается, как правило, на каждый заданный вопрос, при этом соискателю разрешается пользоваться диссертацией, авторефератом, демонстрационными схемами, ранее выполненными работами и флотскими руководящими документами.

В заключение хочется подчеркнуть, что настоящий ученый, как правило, – великий труженик, решающий научные актуальные задачи и научные проблемы, которые ставят Военно-Морской Флот и текущая жизнь.

#### **FOR THOSE WISHING TO BECOME A CERTIFIED SCIENTIST**

**S. P. Alekseyev,**  
**A. V. Lavrentyev,**  
**V. A. Katenin**  
(GNINGI, RF MoD)

*The methodical and organizational issues dealing with the first (basic) steps when writing the dissertation work that are not covered in sufficient detail in the literature as well as in the guiding documents of the Higher Attestation Commission, the Russian Federation Ministry of Education and Science, are considered.*

---

# НАВИГАЦИЯ

---

ГРНТИ 78.25.31

## **ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЛОБАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ ГЛОНАСС**

**Б. И. ЛОБОЙКО,  
Ю. В. ТОКАРЕВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Представлены показатели эффективности навигационного обеспечения при использовании Глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС.*

Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС предназначена для определения местоположения, скорости движения, а также точного времени морских, воздушных, сухопутных и других видов потребителей.

Система ГЛОНАСС состоит из трех подсистем:

- космических аппаратов (ПКА);
- контроля и управления (ПКУ);
- навигационной аппаратуры потребителей (НАП).

ПКА системы ГЛОНАСС состоит из 24-х спутников, находящихся на круговых орбитах высотой 19100 км, наклоном  $64,8^\circ$  и периодом обращения 11 часов 15 минут в трех орбитальных плоскостях, разнесенных по долготе на  $120^\circ$ .

В каждой орбитальной плоскости размещаются по 8 спутников с равномерным сдвигом по аргументу широты  $45^\circ$ . Кроме этого, сами плоскости сдвинуты относительно друг друга по аргументу широты на  $15^\circ$ . Такая конфигурация ПКА позволяет обеспечить непрерывное и глобальное покрытие земной поверхности и околоземного пространства навигационным полем.

ПКУ состоит из Центра управления системой ГЛОНАСС и сети станций измерения, управления и контроля, рассредоточенной по всей территории России. В задачу ПКУ входит контроль правильности функционирования ПКА, непрерывное уточнение параметров орбит и выдача на спутники временных программ, команд управления и навигационной информации.

НАП состоит из навигационных приемников и устройств обработки, предназначенных для приема навигационных сигналов спутников ГЛОНАСС и вычисления собственных координат, скорости и времени [1].

В минувшее десятилетие сложилась драматическая ситуация с отечественной системой ГЛОНАСС. С одной стороны, недостаточное финансирование космической отрасли привело к постепенной деградации

орбитальной группировки (ОГ). С другой – по этим же причинам практически отсутствует массовое производство аппаратуры потребителей СНС ГЛОНАСС.

Современная ситуация требует радикального пересмотра концепции дальнейшего развития систем и средств навигационно-временного обеспечения Российской Федерации. В последнее десятилетие предприятия и организации, занимающиеся разработкой и производством НАП, перешли на разработку и производство интегрированной НАП ГЛОНАСС/GPS, востребованной на рынке навигационно-временной аппаратуры.

Эти условия нашли поддержку со стороны Правительства Российской Федерации, которое своим постановлением от 20 августа 2001 г. №587 утвердило Федеральную целевую программу «Глобальная навигационная система». Последняя учитывает интересы разработчиков системы и потребителей навигационно-временной информации. Программа предполагает сбалансированное развитие орбитальной группировки, наземного комплекса управления (НКУ) и аппаратуры потребителей, определяет мероприятия по закупке навигационно-временного оборудования для массового оснащения ею транспортной инфраструктуры, геодезического обеспечения страны и силовых структур.

Современная боевая и повседневная деятельность Военно-Морского флота (ВМФ) неразрывно связана с решением задач кораблевождения. В тоже время совокупность технических средств, систем и личного состава их обслуживающего, предназначенных для решения задач кораблевождения при выполнении свойственных флоту задач по сути есть система навигационного обеспечения.

В соответствии с установившимися взглядами, навигационное обеспечение (НО) является подвидом навигационно-гидрографического обеспечения, предназначенного для выработки навигационных параметров с точностью, необходимой для успешного применения технических средств и обеспечения безопасности плавания. В силу своей важности и специфики с учетом системного подхода правомерно выделить НО в отдельную организационную структуру – систему, имеющую свои задачи [2].

При системном подходе любой процесс рассматривается как сложное целое – совокупность взаимосвязанных частей функционирующих элементов, составляющих определенную систему, при этом реализуется положение о всеобщей взаимосвязи процессов и явлений, их целостности, внутренней и внешней обусловленности. Основная суть системного подхода – сосредоточение внимания на всей системе в целом, а не на отдельных ее элементах, взятых в отдельности. Это создает возможность более или менее полного учета взаимосвязей и взаимной зависимости рассматриваемых явлений и способствует тому, чтобы решения по частным вопросам соответствовали общим целям. Именно такой подход и должен применяться при оценке эффективности использования СНС ГЛОНАСС при навигационном обеспечении.



Эффективностью системы принято называть ее способность выполнять стоящие перед ней задачи в ожидаемых условиях ее применения. Это одна из основных характеристик системы, она изменяется с изменением условий, в которых система функционирует. Естественно, что для количественной оценки эффективности функционирования системы, необходимо иметь какую-то числовую характеристику, т. е. показатель эффективности. Показателем эффективности системы является численная характеристика, выражающая меру способности системы обеспечить достижение поставленных перед ней целей при данных условиях во время выполнения задач [3].

Эффективность НО может быть оценена по одному или нескольким критериям или показателям эффективности. При выборе показателей эффективности необходимо исходить из основной задачи – своевременного и надежного НО потребителей. В качестве обобщенного показателя эффективности  $W_0$  можно принять вероятность выполнения потребителем собственных задач в зависимости от качества навигационных данных. Он должен учитывать реальную точность средств НО и навигационных данных, надежность средств и своевременность обеспечения. При определении пределов значений  $W_0$  необходимо исходить из требований, принятых для оценки эффективности выполнения поставленных задач. Так, НО будет иметь высокую эффективность, если  $W_0 \geq 0,9$ , среднюю, если  $0,9 > W_0 \geq 0,7$ , и низкую, если  $W_0 < 0,7$ .

Все потребители СНС ГЛОНАСС должны быть обеспечены требуемой навигационной информацией практически в любой точке Земли при решении задач в специфичной для них среде – на земле, в море, воздухе и космическом пространстве, в любое время года и суток и при любых гидрометеорологических условиях.

Точность, периодичность коррекции навигационных параметров и длительность их хранения в навигационном комплексе должны обеспечивать высокую эффективность выполнения потребителем собственных ему задач. Решение задач НО может осуществляться различными путями. При этом под применением СНС понимается комплекс систематических и эпизодических действий и мероприятий, проводимых с целью успешного решения поставленных перед системой задач. Применение СНС ГЛОНАСС включает систематические, взаимосвязанные действия по планированию применения, управлению системой, обеспечению функционирования и взаимодействия элементов системы.

Поэтому фундаментальный принцип оценки эффективности НО с помощью СНС ГЛОНАСС подразумевает определенную меру соответствия ожидаемых результатов решения поставленных перед ней задач НО потребителей. В соответствии с этим качество работы СНС ГЛОНАСС можно было бы оценить по ее влиянию на изменение эффективности функционирования потребителей. Однако, учитывая весьма разнообразный состав потребителей СНС и многообразие решаемых ими задач,

положительного эффекта от такого подхода ожидать не приходится. Дело в том, что учет факторов, определяющих условия функционирования потребителей, приведет к тому, что показатели эффективности СНС окажутся слабо чувствительными к ее характеристикам и будут определяться в основном свойствами потребителей и их количеством [4].

Наиболее приемлемый подход к оценке эффективности НО с помощью СНС ГЛОНАСС может быть основан на отказе от оценки потребителей. Этот подход учитывает требования потребителей к качеству НО, а сама оценка выполняется для каждого потребителя в рамках требований НО, решаемых потребителем задач. При этом большая роль отводится выбору основного показателя эффективности, который, с одной стороны, должен учитывать требования потребителей к НО, а с другой – зависеть от решаемых потребителем задач и условий их решения.

Чтобы оценить эффективность навигационной системы, необходимо выбрать такие критерии, которые с достаточной объективностью отражали бы влияние использования этой системы на выполнение задач потребителями. Однако при этом число критериев должно быть сведено до минимума, поскольку многокритериальность затрудняет сравнительный анализ систем и их оптимизацию. В этом случае формируют частный критерий, выбирая из множества характеристик качества системы одну, наиболее важную, либо на базе множества частных критериев строят некоторый обобщенный критерий, способный наиболее полно характеризовать систему [4, 5].

Исходя из общего понятия эффективности, целесообразно в качестве основного показателя эффективности  $W$  навигационного обеспечения с помощью СНС принять вероятность наступления события, заключающегося в том, что данный потребитель будет обеспечен требуемой навигационной информацией в заданный момент времени с точностью, необходимой для успешного решения поставленной перед ним задачи:

$$W_{ij} = \int_{(\vec{x})} f(\vec{x}) d\vec{x}_{ij}, \quad (1)$$

где  $f(\vec{x})$  – мгновенная плотность вероятности оценок текущих средних значений характеристик точности, обеспечиваемых с помощью СНС для данного  $i$ -го потребителя, решающего  $j$ -задачу. Вектор  $\vec{x}$  обозначает оценки средних значений параметров достигнутой потребителем точности навигационной информации. В качестве таких оценок удобно использовать вектор среднеквадратических ошибок навигационных определений:

$$\vec{x} = [\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \sigma_{\dot{x}}, \sigma_{\dot{y}}, \sigma_{\dot{z}}, \sigma_{\tau}]^T, \quad (2)$$

где  $T$  – показатель транспонирования матрицы, т. е. матрица, у которой произведена перемена строк и столбцов при сохранении их номеров.

Состав вектора соответствует возможностям конкретного типа навигационной аппаратуры потребителя (НАП). Интегрирование должно выполняться в пространстве требований к его значениям  $\bar{x}$ , определяемых задачей, стоящей перед данным потребителем.

Следует отметить, что интеграл (1) носит вероятностный характер и является условным. Его условность предопределена привязкой к конкретному значению времени оценки эффективности, району и условиям использования НАП. Этим показателем может быть оценена эффективность НО лишь с помощью СНС.

На практике бывает так, что одну и ту же  $j$ -задачу решают несколько ( $n_j$ ) потребителей КНС, тогда математическое ожидание числа потребителей, решающих  $j$ -задачу при успешном НО с помощью СНС возможно использовать в качестве обобщенного показателя эффективности:

$$m_j = \sum_{i=1}^{n_j} W_{ij}. \quad (3)$$

Для обеспечения возможности расчета количественных значений выбранных показателей эффективности СНС необходимо знание входящих в выражение (1) величин плотности вероятностей  $f(\bar{x})$ . К сожалению, трудно представить себе способ нахождения ее аналитического выражения. Однако эта задача может быть решена как опытным путем, так и путем имитационного моделирования. Экспериментальное нахождение этой зависимости сопряжено с немалыми трудностями, ибо требует организации и проведения большого количества сложных и дорогостоящих экспериментов в течение длительного времени в различных условиях.

Основой второго варианта является нахождение искомой плотности вероятности посредством имитационного моделирования процесса функционирования СНС и аппаратуры потребителей. При этом следует иметь в виду, что из-за организационной, технической и функциональной сложности СНС математическая модель ее функционирования не должна быть ни слишком простой (в этом случае результаты моделирования будут недостоверны), ни слишком сложной (в этом случае расчеты с ее использованием потребуют больших затрат времени).

СНС функционирует в пространстве и постоянно испытывает влияние внешней среды. Полагая, что плотность вероятности  $f(\bar{x})$  является функцией времени  $t$ , положения  $P$  определяющего объекта, состояния  $\bar{S}$  наземных элементов системы (НКУ) и орбитальной группировки (ОГ) НКА, условий  $G$ , в которых СНС действует:

$$f(\vec{x}) = f[x(t, \vec{P}, \vec{S}, G)]. \quad (4)$$

Для получения функции  $f(\vec{x})$  в результате моделирования необходимо предварительно получить представительную выборку случайных векторов  $\vec{x}$ . Обычно в этом случае используют метод статистических испытаний. В процессе испытаний рассчитывают значения корреляционной матрицы ошибок навигационных определений  $K$ , элементы которой зависят от указанных параметров (4):

$$K = \sigma^2 (H^T H)^{-1} + M \times R \times M^T, \quad (5)$$

где  $\sigma^2$  – дисперсия измерений навигационного параметра;

$H$  – матрица измерений, т. е. матрица частных производных от навигационной функции по оцениваемым параметрам;

$M = (H^T H)H^T L$  – матрица возмущений, где  $L$  – матрица частных производных от навигационной функции по не учитываемым параметрам, являющимися источниками сильно коррелированной (систематической в данном сеансе навигационных определений) погрешности;

$R$  – матрица, характеризующая разброс этих параметров от сеанса к сеансу.

Разумеется, матрица требований к качеству навигационных определений должна быть задана в той же, что и в матрице (5), системе координат. В случае возможности процедуры преобразования матрицы (5) в диагональную элементы вектора  $\vec{x}$  будут представлять собой ее диагональные элементы.

Применяя методику статистических испытаний, возможно накопление достаточной выборки векторов  $\vec{x}$ .

Получение многомерной плотности вероятности  $f(\vec{x})$  по выборке значительного объема, как известно, представляет собой достаточно сложную задачу. Поэтому обычно пользуются ее первыми моментами – математическим ожиданием  $MO[\vec{x}]$  и корреляционной матрицей [4]

$$K_x = MO\{(\vec{x} - MO[\vec{x}])(\vec{x} - MO[\vec{x}])^T\} \quad (6)$$

и полагая, что плотность вероятности вектора приближенно описывается многомерным нормальным законом

$$f(\vec{x}) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^n \det K_x}} \exp\left[-\frac{1}{2}(\vec{x} - MO[\vec{x}])K_x^{-1}(\vec{x} - MO[\vec{x}])^T\right]. \quad (7)$$

В случае возможности преобразования матрицы  $K_x$  в диагональную удастся еще более упростить процедуру нахождения  $f(\vec{x})$ , ибо при этом многомерный закон распределения выражается в виде произведения одномерных законов:

$$f(\vec{x}) = \prod_{n=1}^N f(x_n),$$

где  $n$  – размерность вектора  $\vec{x}$ ;  $N$  – показатель множества.

В конечном итоге показатель эффективности навигационного обеспечения с использованием СНС ГЛОНАСС может быть записан в следующей форме:

$$W = \prod_{n=1}^N \int_{(x_n)} f(x_n) dx_n. \quad (8)$$

Таким образом, последовательность расчета основного показателя эффективности НО с помощью СНС ГЛОНАСС методически заключается в следующем:

- задании исходных данных;
- моделировании процесса функционирования СНС и обсерваций с целью получения корреляционных матриц;
- получении с их помощью представительной выборки векторов;
- расчете оценок математического ожидания МО и корреляционной матрицы;
- расчете значений обобщенного показателя эффективности  $W$ .

Следует заключить, что при оценке эффективности НО кораблевождения важнейшим этапом в деятельности специалистов в этой области (и в первую очередь, штурманов) является обоснование требований к точностным характеристикам средств навигации. Это вызвано тем, что эффективность НО в целом характеризуется совокупностью критериев эффективности данного вида обеспечения отдельных частных задач, на выполнение которых навигационные параметры оказывают существенное влияние.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС. Интерфейсный контрольный документ. – М.: 1995. – 26 с.
2. Катенин В. А., Дмитриев В. И. Навигационное обеспечение судовождения. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 372 с.
3. Поддубный А. И. Навигационно-гидрографическое обеспечение ВМФ Л.: ВМА, 1986. – 440 с.

4. Романов Л. М., Судаков В. Ф., Шинков В. Д. Космические навигационные системы (учебник) / под ред. Л. М. Романова. – Л.: МО, – 1994. – 632 с.
5. Шебшаевич В. С. и др. Сетевые спутниковые радионавигационные системы / Под ред. П. П. Дмитриева. – М.: Радио и связь, 1982. – 272 с.

#### THE PERFORMANCE CRITERIA OF GLONASS GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM

**V. I. Loboiko,  
Y. V. Tokarev**  
(GNINGI, RF MoD)

*The performance criteria of the navigation support when using the GLONASS Global Navigation Satellite System are presented.*

ГРНТИ 78.21.41.19

#### ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ НАХОЖДЕНИЯ МЕСТА В КРУГЕ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СТВОРА ДЛЯ ОБСЕРВАЦИИ

**Б. Е. ИВАНОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Получены выражения для вероятности нахождения места судна в круге в зависимости от средних квадратических погрешностей и угла пересечения линий положения для двух вариантов. В первом варианте место определялось по створу и второй линии положения, полученной в результате измерения произвольного навигационного параметра (расстояния, пеленга и т. п.), а во втором – по двум створам.*

Для обеспечения навигационной безопасности плавания предлагается место судна характеризовать не точкой, а областью, в которой судно находится с определенной вероятностью [1]. В качестве такой области могут выступать эллипс и круг. Поскольку эллипс имеет место только при нормальном распределении погрешностей, то целесообразно использовать круг. Сопоставление радиуса круга с расстоянием до навигационной опасности позволяет судоводителю принять правильное решение и избежать навигационного происшествия. Отмечая важность этого вопроса, автор работы [1] указывает, что «59,1% посадок на мель происходит по причине неудовлетворительного контроля за местом корабля из-за неучета площади его вероятного местонахождения».

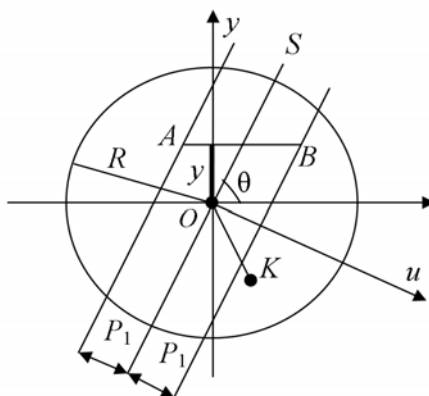
Для решения указанной задачи в первую очередь необходимо получить выражение, связывающее радиус круга с вероятностью нахождения в нем места судна. Такое выражение получено для случая, когда погрешности измерения навигационных параметров подчиняются нормальному распределению [2, 3]. При этом в качестве аргументов выступают отношение

полуосей эллипса [2] или средние квадратические погрешности (СКП) и угол пересечения линий положения [3].

Обычно в навигации используется нормальное распределение погрешностей. В то же время при обеспечении навигационной безопасности плавания рекомендуется применять распределение Лапласа [4, 5]. Рассматриваемая задача решена в работах [6, 7] для случаев, когда распределение Лапласа используется как смешанное распределение с переменной СКП измерения [5], так и как обычное, несмешанное распределение с постоянной СКП измерения [8].

Перечень законов распределения погрешностей не ограничивается только указанными выше распределениями. При использовании створа погрешность определения места судна относительно оси створа подчиняется равномерному распределению. В связи с этим целесообразно решить указанную задачу в двух вариантах, когда место судна определяется по створу и по линии положения, полученной путем измерения произвольного навигационного параметра (первый вариант) и по двум створам (второй вариант).

**Первый вариант.** Пусть место судна  $O$  определено по двум линиям положения  $OS$  и  $Ox$ , пересекающимся под углом  $\Theta$  (рис. 1).



**Рис. 1. Истинное место  $K$  судна в круге с радиусом  $R$  и центром в определяемом месте  $O$  по створу и второй линии положения**

Первая линия положения  $OS$  является осью створа, а вторая линия положения  $Ox$  получена путем измерения произвольного навигационного параметра (расстояния, пеленга и т. п.). Погрешность  $u$  первой линии положения подчиняется равномерному распределению в пределах от  $-P_1$  до  $+P_1$ , где  $P_1$  – боковое уклонение створа. Погрешность  $y$  второй линии положения является неограниченной случайной величиной с симметричной плотностью распределения  $f(y)$  и СКП  $m$ .

Оценим вероятность  $P$  нахождения истинного места судна  $K$  в круге с заданным радиусом  $R$  для трех случаев, когда погрешность  $y$  подчиняется

нормальному распределению и распределению Лапласа, которое используется как несмешанное, так и как смешанное распределение.

В соответствии с работой [9] плотность распределения погрешности определения места равна

$$\varphi = \frac{\sin \Theta}{2P_1} f(y). \quad (1)$$

В связи с симметричностью выражения (1) относительно оси  $Ox$  вероятность  $P$  может быть представлена в общем виде

$$P = \frac{\sin \Theta}{P_1} \int_0^R Lf(y)dy, \quad (2)$$

где  $L$  – длина отрезка  $AB$ , параллельного линии положения  $Ox$  (см. рис. 1).

Величина  $L$  может быть найдена из соотношения элементов геометрических фигур на рис. 1. В случае, когда весь круг находится в створной зоне,

$$L = 2\sqrt{R^2 - y^2}. \quad (3)$$

В случае, когда часть круга выходит из створной зоны, область интегрирования разбивается на части с границами по переменной  $y$ , равными  $y_0=0$ ,

$$y_1 = \sin \Theta \sqrt{R^2 - P_1^2} - P_1 \cos \Theta \text{ и } y_2 = \sin \Theta \sqrt{R^2 - P_1^2} + P_1 \cos \Theta.$$

В пределах от  $y_0$  до  $y_1$

$$L = 2P_1 / \sin \Theta \quad (4)$$

Если  $y_1 < 0$ , то в пределах от  $y_0$  до  $|y_1|$  величина  $L$  соответствует формуле (3). В пределах от  $|y_1|$  до  $y_2$  имеем

$$L = \frac{1}{\sin \Theta} \left[ P_1 - R \cos \left( \Theta + \arccos \frac{y}{R} \right) \right]. \quad (5)$$

В пределах от  $y_2$  до  $R$  величина  $L$  соответствует формуле (3).



Плотность нормального распределения [8] равна

$$f(y) = \frac{1}{m\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2m^2}}. \quad (6)$$

Плотность распределения Лапласа [8] равна

$$f(y) = \frac{1}{2} \alpha e^{-\alpha|y|}, \quad (7)$$

где  $\alpha$  – параметр распределения Лапласа, равный  $\sqrt{2}/m$  для несмешанного распределения и  $\sqrt{\pi}/m$  – для смешанного.

Методом численного интегрирования по формулам (2) – (7) вычислены значения вероятности  $P$  для трех указанных случаев при различных значениях  $\Theta$ ,  $P_1/m$  и  $R/M$ , где  $M$  – СКП определения места, которая вычисляется по формуле из работы [9]. Результаты вычислений представлены в табл. 1 при  $R/M$ , равном 1, 2 и 3.

Таблица 1

**Вероятность  $P$  нахождения места судна в круге с радиусом  $R$ , нормированным СКП  $M$  определения места, в зависимости от отношения бокового уклонения створа  $P_1$  к СКП  $m$  второй линии положения и угла  $\Theta$  пересечения линий положения**

$\Theta$	$\frac{P_1}{m}$	Вероятность $P$ при нормальном распределении			Вероятность $P$ при распределении Лапласа					
					несмешанном			смешанном		
		$R/M=1$	$R/M=2$	$R/M=3$	$R/M=1$	$R/M=2$	$R/M=3$	$R/M=1$	$R/M=2$	$R/M=3$
30°	0,1	0,683	0,954	0,997	0,757	0,941	0,986	0,714	0,919	0,977
	0,5	0,682	0,956	0,997	0,752	0,944	0,987	0,711	0,922	0,979
	1	0,680	0,960	0,998	0,736	0,950	0,990	0,700	0,931	0,984
	2	0,661	0,969	0,999	0,673	0,965	0,996	0,653	0,952	0,993
	5	0,602	0,990	1,000	0,601	0,988	1,000	0,598	0,984	1,000
	10	0,584	0,999	1,000	0,584	0,998	1,000	0,583	0,997	1,000
	100	0,577	1,000	1,000	0,577	1,000	1,000	0,577	1,000	1,000
60°	0,1	0,683	0,955	0,997	0,757	0,941	0,986	0,714	0,919	0,977
	0,5	0,682	0,959	0,998	0,755	0,945	0,987	0,713	0,924	0,979
	1	0,677	0,969	0,999	0,742	0,955	0,991	0,703	0,936	0,985
	2	0,611	0,985	1,000	0,634	0,975	0,997	0,608	0,963	0,995
	5	0,584	0,998	1,000	0,583	0,995	1,000	0,575	0,993	1,000
	10	0,579	1,000	1,000	0,579	0,999	1,000	0,577	0,999	1,000
	100	0,577	1,000	1,000	0,577	1,000	1,000	0,577	1,000	1,000
90°	0,1	0,683	0,955	0,997	0,757	0,941	0,986	0,714	0,919	0,977
	0,5	0,682	0,961	0,998	0,756	0,946	0,988	0,714	0,924	0,980
	1	0,670	0,974	0,999	0,745	0,957	0,992	0,703	0,939	0,986
	2	0,568	0,994	1,000	0,603	0,980	0,998	0,575	0,970	0,996
	5	0,574	1,000	1,000	0,573	1,000	1,000	0,562	0,998	1,000
	10	0,577	1,000	1,000	0,577	1,000	1,000	0,574	1,000	1,000
	100	0,577	1,000	1,000	0,577	1,000	1,000	0,577	1,000	1,000

При  $R/M \geq 4$  вероятность для случая нормального распределения и наибольшее значение вероятности для случая распределения Лапласа равны 1,000. Наименьшее значение вероятности равно 0,997 при  $R/M=4$  и 0,999 при  $R/M=5$  для случая несмешанного распределения Лапласа и равно 0,993 при  $R/M=4$  и 0,998 при  $R/M=5$  для случая смешанного распределения Лапласа.

Из табл. 1 видно, что с увеличением  $P_1/m$  вероятность уменьшается при  $R=M$  в большинстве случаев и увеличивается при  $R \geq 2M$ , а при  $R=M$  и  $\theta > 60^\circ$  вероятность сначала уменьшается, достигает минимального значения и затем увеличивается. При  $P_1/m > 100$  вероятность не зависит от закона распределения погрешностей.

С увеличением  $R/M$  все вероятности увеличиваются. Вероятность для несмешанного распределения Лапласа всегда больше вероятности для смешанного распределения Лапласа. При  $R=M$  вероятность для нормального распределения меньше вероятности для распределения Лапласа, а при  $R \geq 2M$ , наоборот, вероятность для нормального распределения больше вероятности для распределения Лапласа. Изменение угла  $\theta$  мало влияет на вероятность.

Найдем минимальное значение вероятности при  $R=M$ . Для этого возьмем производную функции (2) по  $P_1$  с учетом равенства (3). Приравняв производную нулю, получим

$$\frac{2}{3 \sin \Theta} \int_0^M \frac{1}{\sqrt{M^2 - y^2}} f(y) dy - \frac{2 \sin \Theta}{P_1^2} \int_0^M \sqrt{M^2 - y^2} f(y) dy = 0. \quad (8)$$

Методом последовательных приближений с учетом формул (2) – (7) получено решение уравнения (8) с последующим вычислением вероятности. Оказалось, что при  $\theta=75^\circ$  минимальное значение вероятности равно 0,569 для нормального распределения, 0,575 для несмешанного распределения Лапласа и 0,559 для смешанного распределения Лапласа при значениях  $P_1/m$ , равных 2,7, 4,2 и 3,3 соответственно, а при  $\theta=90^\circ$  минимальное значение вероятности равно 0,561 для нормального распределения, 0,571 для несмешанного распределения Лапласа и 0,554 для смешанного распределения Лапласа при значениях  $P_1/m$ , равных 2,5, 3,8 и 3,1 соответственно.

Проверка полученных выражений выполнена методом статистического моделирования. Для этого на персональном компьютере моделировались  $N=100000$  пар случайных погрешностей  $u$  и  $y$ . Для моделирования погрешностей, подчиняющихся нормальному и равномерному распределений, использовались алгоритмы из работы [10], а для моделирования погрешностей, подчиняющихся распределению Лапласа, – алгоритм из работы [11]. Для каждой пары погрешностей  $u$  и  $y$  вычислялся модуль погрешности определения места  $\Delta = \frac{1}{\sin \Theta} \sqrt{u^2 + y^2 + 2uy \cos \Theta}$ . Далее

определялось число  $n$  значений  $\Delta$  при условии  $\Delta > R$ . Затем вычислялась эталонная вероятность  $P_3 = 1 - n/N$ . Для каждого случая  $P_3$  сравнивалась с вероятностью  $P$ , приведенной в табл. 1. Оказалось, что разность между этими вероятностями не превышает 0,001. Это подтверждает достоверность полученных выражений.

**Второй вариант.** Пусть место судна  $O$  определено по ведущему и секущему створам или по двум створам, специально спроектированным для решения конкретной задачи (рис. 2).

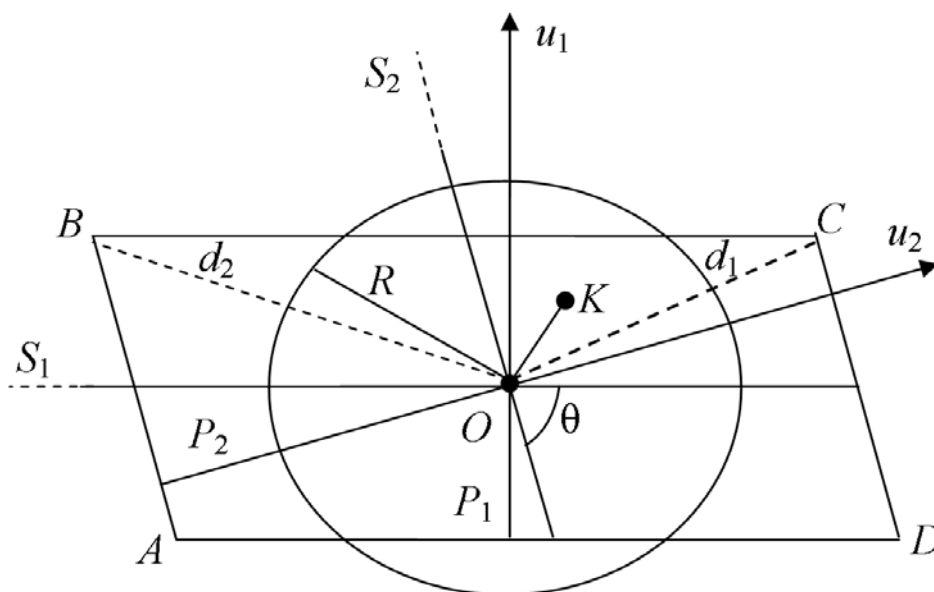


Рис. 2. Истинное место  $K$  судна в круге с радиусом  $R$  и центром в определяемом месте  $O$  по двум створам

Оси створов  $OS_1$  и  $OS_2$  пересекаются под углом  $\theta$ . Боковые отклонения створов  $P_1$  и  $P_2$  обуславливают появление створных зон, которые ограничены отрезками, образующими параллелограмм  $ABCD$ . Для определенности принято  $P_1 \leq P_2$ . Линиями положения служат оси створа. Погрешностями линий положения являются случайные отклонения  $u_1$  и  $u_2$ , которые подчиняются равномерному распределению в пределах от  $-P_1$  до  $+P_1$  и от  $-P_2$  до  $+P_2$  соответственно.

Оценим вероятность  $P$  нахождения истинного места судна  $K$  в круге с заданным радиусом  $R$ . В соответствии с работой [12] плотность распределения погрешности определения места равна

$$\varphi = \frac{\sin \Theta}{4P_1P_2}. \quad (9)$$

В связи с постоянством величины (9) в пределах параллелограмма  $ABCD$  вероятность  $P$  можно представить в общем виде

$$P = \frac{S \sin \Theta}{4P_1P_2}, \quad (10)$$

где  $S$  – площадь той части параллелограмма, которая находится в круге.

Очевидно, что при  $R \leq P_1$  площадь  $S$  равна площади круга  $\pi R^2$ . В случае, когда  $R \geq d_2$ , где  $d_2 = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos \Theta}$  – большая полудиagonalь параллелограмма [12],  $S$  равна площади параллелограмма  $4P_1P_2/\sin \Theta$ , а  $P=1$ .

В других случаях величина  $S$  может быть найдена из соотношения элементов геометрических фигур на рис. 2.

Если  $P_1 < R \leq P_2$ , то

$$S = 2P_1\sqrt{R^2 - P_1^2} + 2R^2 \arcsin \frac{P_1}{R}. \quad (11)$$

Если  $P_2 < R \leq d_1$ , где  $d_1 = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 - 2P_1P_2 \cos \Theta}$  – меньшая полудиagonalь параллелограмма [12], то

$$S = 2P_1\sqrt{R^2 - P_1^2} + 2P_2\sqrt{R^2 - P_2^2} + 2R^2 \left( \arcsin \frac{P_1}{R} + \arcsin \frac{P_2}{R} \right) - \pi R^2. \quad (12)$$

Вместо формулы (12) применяется формула (11), если  $P_2 < R \leq d_1$  и  $P_2 \cos \Theta > P_1$ .

Если  $d_1 < R < d_2$ , то

$$S = \frac{4P_1P_2}{\sin \Theta} - L_1L_2 \sin \Theta - 2H\sqrt{R^2 - H^2} + 2R^2 \arccos \frac{H}{R}, \quad (13)$$

где величины  $H$ ,  $L_1$  и  $L_2$  равны

$$H = \sqrt{R^2 - \frac{1}{4}(L_1^2 + L_2^2 - 2L_1L_2 \cos \Theta)};$$

$$L_1 = \frac{P_2}{\sin \Theta} - \sqrt{R^2 - P_1^2} + P_1 \operatorname{ctg} \Theta;$$

$$L_2 = \frac{P_1}{\sin \Theta} - \sqrt{R^2 - P_2^2} + P_2 \operatorname{ctg} \Theta.$$

Обычно радиус  $R$  нормируется СКП  $M$  определения места, которая для данного варианта находится по формуле из работы [12]. Определим, при каком минимальном значении  $R_m/M$  нормированного радиуса вероятность  $P$  будет равна единице. Для этого подставим выражения величин  $M$  и  $d_2$  из работы [12] в правую часть равенства  $R_m/M=d_2/M$ . Тогда после преобразований получим

$$\frac{R_m}{M} = \sqrt{3 \left( 1 + \frac{2P_1 P_2}{P_1^2 + P_2^2} \cos \Theta \right)}. \quad (14)$$

По формуле (14) выполнены вычисления, результаты которых представлены на рис. 3.

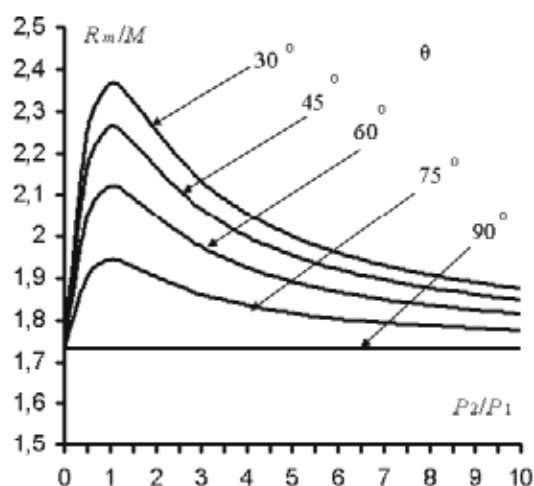


Рис. 3. Изменение минимального значения нормированного радиуса  $R_m/M$  круга в зависимости от отношения  $P_2/P_1$  боковых уклонов створов и угла  $\theta$  их пересечения

Из этого рисунка видно, что при назначении нормированного радиуса круга следует учитывать условие  $R/M < 3$ .

По формулам (10) – (13) вычислены значения вероятности  $P$ , которые приведены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что в случае, когда  $R/M=1$ , с увеличением отношения  $P_2/P_1$  вероятность  $P$  уменьшается при угле  $\theta$ , равном  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  и  $60^\circ$ , увеличивается при  $\theta=90^\circ$ , а при  $\theta=75^\circ$  сначала увеличивается, достигает максимального значения при  $P_2/P_1=2,4$  и затем уменьшается. При  $P_2/P_1 \geq 40$  и при любом  $\theta$  вероятность имеет одно и то же значение  $P=0,577$ . С увеличением угла  $\theta$  вероятность уменьшается при  $P_1 \neq P_2$ , а при  $P_1=P_2$  она сначала увеличивается, достигает максимального значения  $0,660$  при  $\theta=48^\circ$  и затем уменьшается. Таким образом, при  $R/M=1$  вероятность  $P$  изменяется от  $0,524$  до  $0,660$ .

Таблица 2

Вероятность  $P$  нахождения места судна в круге с радиусом  $R$ , нормированным СКП  $M$  определения места, в зависимости от отношения  $P_2/P_1$  боковых уклонов створов и угла  $\theta$  пересечения их осей

$\frac{P_2}{P_1}$	Вероятность $P$ при $R/M=1$					Вероятность $P$ при $R/M=2$				
	$\theta=30^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=60^\circ$	$\theta=75^\circ$	$\theta=90^\circ$	$\theta=30^\circ$	$\theta=45^\circ$	$\theta=60^\circ$	$\theta=75^\circ$	$\theta=90^\circ$
1,0	0,655	0,659	0,605	0,542	0,524	0,976	0,986	0,997	1,000	1,000
1,5	0,646	0,636	0,602	0,574	0,562	0,980	0,989	0,998	1,000	1,000
2,0	0,628	0,612	0,593	0,579	0,573	0,985	0,993	0,999	1,000	1,000
2,5	0,611	0,600	0,588	0,579	0,576	0,991	0,996	1,000	1,000	1,000
3,0	0,601	0,593	0,585	0,579	0,577	0,994	0,998	1,000	1,000	1,000
3,5	0,595	0,589	0,583	0,579	0,577	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
4,0	0,591	0,586	0,582	0,578	0,577	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
4,5	0,588	0,584	0,581	0,578	0,577	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
5,0	0,586	0,583	0,580	0,578	0,577	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
6,0	0,583	0,581	0,579	0,578	0,577	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
7,0	0,582	0,580	0,579	0,578	0,577	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
8,0	0,581	0,580	0,578	0,578	0,577	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
9,0	0,580	0,579	0,578	0,578	0,577	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
10,0	0,580	0,579	0,578	0,578	0,577	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
15,0	0,578	0,578	0,578	0,577	0,577	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
20,0	0,578	0,578	0,578	0,577	0,577	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
50,0	0,577	0,577	0,577	0,577	0,577	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

В случае, когда  $R/M=2$ , вероятность увеличивается с увеличением угла  $\theta$  и отношения  $P_2/P_1$ . Она изменяется от 0,976 до 1,000.

Проверка полученных выражений выполнена методом статистического моделирования так же, как описано в первом варианте. Разность между значениями вероятности, вычисленными по формулам (10) – (13) и полученными методом статистического моделирования, не превысила 0,001, что подтвердило достоверность полученных выражений.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что отмеченные в работах [9, 12] особенности оценки точности определения места с учетом равномерного распределения погрешностей распространяются и на оценку вероятности нахождения места судна в круге на основе полученных в данной статье выражений.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Груздев Н. М. Навигационная безопасность плавания. – СПб.: ГУНиО МО РФ, 2002. – 221 с.
2. Сорокин А. И. Теоретические основы гидрографических исследований. – Л.: ГУНиО МО СССР, 1972. – 196 с.
3. Кондрашихин В. Т. Круг погрешностей места // Записки по гидрографии. – 1981. – № 205. – С. 15–20.
4. Методики вероятностных расчетов при решении навигационных задач на кораблях и судах ВМФ (МВР-96). – СПб.: ГУНиО МО СССР, 1999. – 218 с.
5. Кондрашихин В. Т. Определение места судна. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1989. – 230 с.

6. Иванов Б. Е. Оценка вероятности нахождения места в круге при использовании распределения Лапласа // Навигация и гидрография. – 2006. – № 22. – С. 62–66.
7. Иванов Б. Е. Об обеспечении безопасности плавания с учетом вероятности нахождения места корабля в круге // Морской вестник. – 2007. – № 1(21). – С. 45–47.
8. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы, формулы. Пер. с англ. – М.: Наука, 1968. – 720 с.
9. Иванов Б. Е. Особенности оценки точности определения места при использовании навигационного створа // Навигация и гидрография. – 1999. – № 9. – С. 37–43.
10. Вадзинский Р. Н. Справочник по вероятностным распределениям. – СПб.: ВМА им. Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова, 1996. – 282 с.
11. Иванов Б. Е. Моделирование погрешностей, подчиняющихся распределению Лапласа // Навигация и гидрография. – 1998. – № 6. – С. 38–40.
12. Иванов Б. Е. Оценка точности определения места по створам // Навигация и гидрография. – 2006. – № 23. – С. 43–51.

#### EVALUATION OF THE PROBABILITY OF FIXING THE POSITION IN A CIRCLE WHEN USING THE RANGE FOR OBSERVATION

**B. E. Ivanov**  
(GNINGI, RF MoD)

*The expressions for the probability of fixing the vessel's position in a circle, depending on RMS errors and crossing angle of position lines for two variants, have been obtained. In the first case the position was fixed by a range and the second position line obtained as a result of measurement of an arbitrary navigation parameter (distance, bearing, etc) and in the second case – by two ranges.*

ГРНТИ 78.25.25.31.39.29

#### ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОТСУТСТВИЯ ПРОПУСКОВ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ РАЙОНА

**Б. Е. ИВАНОВ,  
Д. А. ФРОЛОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*Получена зависимость между вероятностью отсутствия пропусков при обследовании заданного района и погрешностью определения места. Предложен способ оптимизации отношения между перекрытием смежных полос обследования и перекрытием границ района крайними полосами.*

При обследовании заданного района (боевом и гидрографическом тралении, поиске затонувших объектов и т. п.) на параллельных галсах образуются обследованные полосы, которые перекрываются между собой с тем, чтобы не допустить пропусков при обследовании. Для определения перекрыша полос в работах [1, 2] оценивается вероятность отсутствия пропусков при обследовании. Однако в этих работах рассматривается только перекрыш двух смежных полос. В связи с этим целесообразно оценить

вероятность отсутствия пропусков при нескольких полосах с учетом всех перекрышей смежных полос и перекрышей границ района крайними полосами. Эта задача решается в данной статье.

Пусть требуется обследовать район шириной  $S$  (рис. 1). Для этого запланировано  $n$  галсов, в результате прохождения каждого из них образуется обследованная полоса шириной  $L$ . Перекрыш смежных полос равен  $d$ , а перекрыш границ района крайними полосами –  $D$ . На каждом  $i$ -ом галсе случайная погрешность определения места корабля  $u_i$  в направлении, перпендикулярном галсу, характеризуется плотностью распределения  $f(u_i)$  с СКП, равной  $m$  ( $i=1, 2, 3, \dots, n$ ).

Для определения искомой вероятности найдем пределы изменения каждой случайной погрешности при условии отсутствия пропусков. С учетом рис. 1 погрешность  $u_1$  может изменяться от  $-(n-1)d-D$  до  $D$ , погрешность  $u_2$  – от  $-(n-2)d-D$  до  $u_1+d$ , погрешность  $u_3$  – от  $-(n-3)d-D$  до  $u_2+d$  и так далее. Тогда вероятность отсутствия пропусков будет равна

$$P = \int_{-(n-1)d-D}^D f(u_1) \int_{-(n-2)d-D}^{u_1+d} f(u_2) \int_{-(n-3)d-D}^{u_2+d} f(u_3) \dots \int_{-D}^{u_{n-1}+d} f(u_n) du_n \dots du_3 du_2 du_1. \quad (1)$$

Методом численного интегрирования по формуле (1) с учетом выражения для плотности нормального распределения из работы [3] вычислены значения вероятности  $P$  при числе галсов  $n$ , равном 1, 2 и 3. Результаты вычислений представлены в таблице.

Из таблицы видно, что вероятность  $P$  увеличивается с увеличением перекрытий  $d$  и  $D$  и уменьшается с увеличением числа галсов  $n$ .

Проверка достоверности формулы (1) выполнена методом статистического моделирования. Для этого на персональном компьютере по алгоритму из работы [4] генерировались  $N=30000$  серий из  $n$  случайных погрешностей определения места. В каждой серии оценивалась возможность появления пропуска по одному из условий:  $u_1 > D$ ,  $u_n < -D$  и  $u_{i+1} - u_i > d$ . Затем вычислялась эталонная вероятность отсутствия пропусков по формуле

$$P = 1 - \frac{q}{N},$$

где  $q$  – число серий, в которых обнаружен пропуск по вышеуказанным условиям.

Оказалось, что разность между значениями вероятности, полученными методом численного интегрирования и методом статистического моделирования, не превысила 0,001. Это подтвердило достоверность формулы (1).

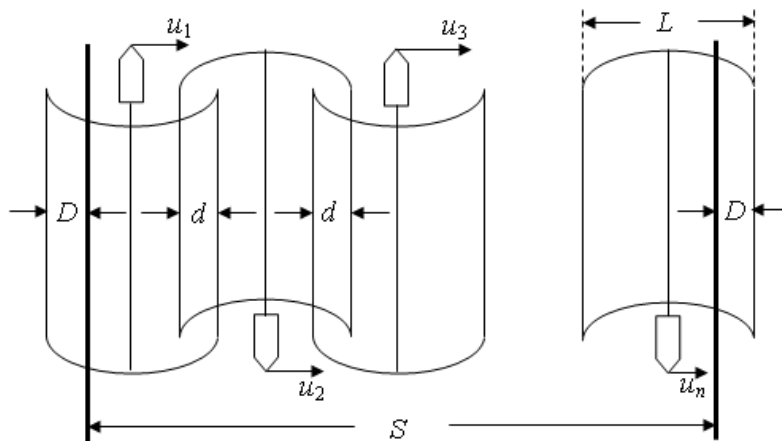


**Вероятность  $P$  отсутствия пропусков в зависимости от числа галсов  $n$ , перекрышей  $d$  и  $D$ , нормированных СКП определения места  $m$**

D/m	d/m	Вероятность P		
		n=1	n=2	n=3
1	1	0,683	0,471	0,323
1	2	0,683	0,629	0,577
1	3	0,683	0,691	0,680
1	4	0,683	0,706	0,705
1	5	0,683	0,708	0,709
2	1	0,954	0,715	0,502
2	2	0,954	0,876	0,802
2	3	0,954	0,938	0,922
2	4	0,954	0,953	0,951
2	5	0,954	0,955	0,955
3	1	0,997	0,758	0,534
3	2	0,997	0,919	0,841
3	3	0,997	0,980	0,963
3	4	0,997	0,995	0,993
3	5	0,997	0,997	0,997
4	1	1,000	0,760	0,536
4	2	1,000	0,921	0,843
4	3	1,000	0,983	0,966
4	4	1,000	0,998	0,995
4	5	1,000	1,000	1,000
5	1	1,000	0,760	0,536
5	2	1,000	0,921	0,843
5	3	1,000	0,983	0,966
5	4	1,000	0,998	0,995
5	5	1,000	1,000	1,000

Рассмотрим оптимальное решение задачи путем изменения соотношения между перекрышами  $d$  и  $D$ . С учетом рис. 1 ширина района равна

$$S = nL - (n - 1)d - 2D. \quad (2)$$



**Рис. 1. Расположение  $n$  обследованных полос шириной  $L$  с перекрышами  $d$  и  $D$ , обусловленными погрешностями  $u_1, u_2, u_3, \dots, u_n$  определения места, в заданном районе шириной  $S$**

Поскольку  $S$  и  $L$  являются постоянными величинами для конкретного района и наряда сил, то из формулы (2) можно получить равенство

$$(n-1)d + 2D = C, \quad (3)$$

где  $C$  – постоянная, наперед заданная величина, которая при нормировании ее шириной района  $S$  характеризует относительное увеличение объема работ по обследованию района, что обусловлено погрешностями координирования.

При заданном значении  $C$  можно получить совокупность значений  $d$  и  $D$ . Эти значения следует попеременно подставлять в формулу (1) и найти совокупность значений вероятностей  $P$ , из которой выбрать наибольшее значение. Величины  $d$  и  $D$ , относящиеся к наибольшему значению вероятности, соответствуют оптимальному решению.

Рассмотрим оптимальное решение при  $n=3$ . В этом случае из формулы (3) получим

$$d + D = C/2. \quad (4)$$

По формулам (1) и (4) вычислены значения вероятности  $P$  при различных значениях  $d$  и  $D$  для постоянной наперед заданной величины  $C$ . В качестве примера при  $d+D=7m$  на рис. 2 показано изменение вероятности  $P$  в зависимости от нормированной разности  $(d - d_0)/m$ , где  $d_0$  – перекрыш смежных полос при  $d=D$ . На этом рисунке видно, что при увеличении аргумента вероятность  $P$  сначала увеличивается, достигает максимума  $P_m$ , а затем уменьшается.

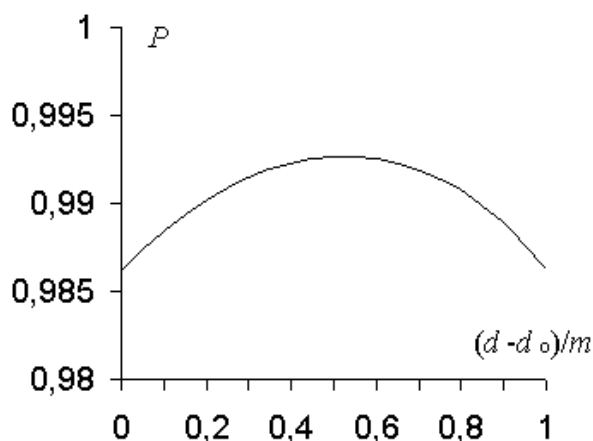
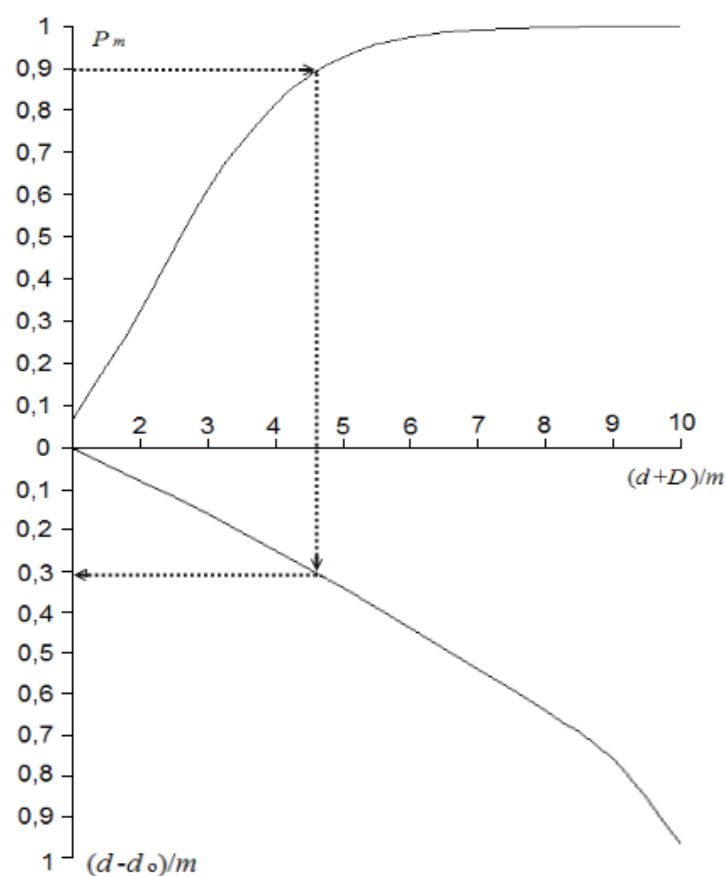


Рис. 2. Изменение вероятности  $P$  отсутствия пропусков в зависимости от разности  $d - d_0$ , нормированной СКП  $m$  определения места

Значения  $P_m$  и соответствующие им значения  $(d - d_0)/m$  получены для величины  $(d+D)/m$ , которая принимает значения от 1 до 10. Изменения

максимума вероятности  $P_m$  и нормированной разности  $(d - d_0)/m$  в зависимости от величины  $(d + D)/m$  показаны на рис. 3. Этот рисунок может использоваться для оптимального решения задачи.



**Рис. 3.** Изменение максимального значения вероятности  $P_m$  отсутствия пропусков (верхняя часть) и изменение нормированной разности  $(d - d_0)/m$  (нижняя часть), в зависимости от суммы  $d + D$ , нормированной СКП  $m$  определения места

Пусть требуется обследовать заданный район с вероятностью  $P=0,9$ . Для расчета перекрыша на верхней части рис. 3 из точки с ординатой  $P_m$ , равной 0,9, восстанавливается перпендикуляр до пересечения с кривой. Из точки пересечения проводится прямая линия, параллельная оси ординат до пересечения с кривой на нижней части рис. 3. Из точки пересечения восстанавливается перпендикуляр на ось ординат и снимается отсчет  $(d - d_0)/m = 0,31$ . Далее вычисляются  $d_0/m=2,35$ ,  $d=2,67m$  и  $D=2,04m$ .

Если СКП определения места в направлении, перпендикулярном галсам, составляет 10 м, то целесообразно принять перекрыш между смежными полосами, равным 27 м, а перекрыш границ района крайними полосами, равным 20 м.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что предложенные в статье зависимости более полно отражают реальный процесс обследования заданного района, чем это сделано в работах [1, 2], и позволяют оптимизировать отношения между перекрытием смежных полос обследования и перекрытием границ района крайними полосами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Б. Е. Основы расчета перекрытия соседних полос обследования // Записки по гидрографии. – 1969. – № 1(180). – С. 22–25.
2. Правила гидрографической службы № 12. Навигационно-гидрографическое обеспечение траления (ПГС № 12). – СПб.: ГУНиО МО РФ, 1995. – 102 с.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. 3-е изд., испр. – М.: Наука, 1964. – 576 с.
4. Вадзинский Р. Н. Справочник по вероятностным распределениям. – СПб.: ВМА им. Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова, 1996. – 282 с.

#### EVALUATION OF THE PROBABILITY OF THE GAPS ABSENCE WHEN EXPLORING THE AREA

**B. E. Ivanov**  
**D. A. Frolov**  
(GNINGI, RF MoD)

*The relationship between the probability of the gaps absence when exploring the set area and position fixing error has been obtained. The way to optimize the relationships between the overlap of the adjoining swaths and the overlap of the borders of a region by the extreme swaths is proposed.*

ГРНТИ 47.49.31, 47.43.25

#### ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АППРОКСИМАЦИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЗАПАЗДЫВАНИЯ РАДИОСИГНАЛОВ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ НАД ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

**А. А. ПЫЛАЕВ,**  
**Л. Г. ТАМКУН**  
(НИИ Радиофизики С.-ПбГУ),  
**В. С. ТРЕГУБОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*В статье рассматривается алгоритм расчета дополнительных задержек радиосигналов радионавигационных систем среднечастотного диапазона при их распространении над однородными по глубине многокусочными трассами земной поверхности, который использует аппроксимации, созданные на основе предварительных точных вычислений дополнительных задержек над однородными трассами. Особенностью этого алгоритма является его относительная простота, обеспечивающая возможность его использования в программах для мобильных бортовых устройств при сохранении достаточно высокой точности расчетов.*

## Введение

Определение местоположения корабля с помощью фазовых радионавигационных систем (РНС) основано на вычислении расстояния  $R$  от корабля до опорной станции РНС путем измерения запаздывания излученного ею радиосигнала. Это запаздывание  $T$  равно

$$T = R / c + t_{\text{доп}},$$

где  $c$  – известная скорость распространения радиоволн в свободном пространстве,

$t_{\text{доп}}$  – так называемое дополнительное запаздывание (задержка) радиосигнала относительно его задержки  $R/c$  в свободном пространстве.

Для правильной оценки расстояния  $R$  надо уметь прогнозировать величину  $t_{\text{доп}}$ , которая сложным образом зависит от частоты, расстояния и электрических свойств трассы распространения.

Расчет этих дополнительных задержек, возникающих при фазовых измерениях электромагнитного поля (ЭМП), необходим, во-первых, при разработке фазовых и импульсно-фазовых РНС, для теоретической оценки выходных сигналов этих РНС, при решении задач выбора мест их расположения и оптимизации их сигналов. В этих вычислениях обычно используются стационарные ЭВМ общего применения. При этом для расчетов ЭМП разрабатываются программы на основе численного решения достаточно сложных задач, как правило, с использованием какого-либо из алгоритмических языков высокого уровня (например, «С», «Fortran»). Некоторые из относящихся к этим проблемам вопросам уже обсуждались нами ранее [1, 2].

Кроме того, вычисление дополнительных задержек необходимо для оперативного решения навигационных задач при обработке сигналов РНС в мобильных бортовых устройствах (так называемый «учет поправок за распространение»), и для этого используются специальные бортовые компьютеры. Программное обеспечение для таких компьютеров, как правило, разрабатывается на языке низкого уровня (Ассемблер). Однако разработка и отладка программного обеспечения требуемого уровня сложности и объема вычислений (решение интегральных, дифференциальных уравнений и т. д.), на Ассемблере очень трудоемки, а полученные программы не позволяют производить вычисление поправок за распространение радиоволн (дополнительных задержек) в реальном масштабе времени.

В настоящей работе для фазовых РНС среднечастотного (СЧ) диапазона предлагается алгоритм решения данной задачи путем вычисления дополнительных задержек над многокусочными трассами, то есть трассами, состоящими из участков суши и моря, с использованием аппроксимаций, полученных на основе результатов предварительных строгих вычислений

значений задержек для однородных трасс. Эти строгие значения будем условно называть «эталонными». Представленный в настоящей статье алгоритм достаточно прост для его реализации в программах для мобильных бортовых устройств, и при этом он обеспечивает необходимую точность вычислений.

### 1. Строгие расчеты дополнительных запаздываний для однородных трасс

Для получения требуемого дополнительного запаздывания  $t$  над многокусочной трассой с однородными свойствами каждого участка трассы использовался алгоритм Миллингтона [3], исходя из которого это запаздывание можно представить как линейную комбинацию дополнительных задержек для однородных трасс на различных расстояниях:

$$t = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [t_i(d_i) - t_i(d_{i-1})] + [t_i(d_n - d_{i-1}) - t_i(d_n - d_i)], \quad (1)$$

где  $n$  – число участков трассы с однородными свойствами,

$t_i$  – дополнительные задержки радиосигнала над трассами со свойствами соответствующих однородных участков,

$d_i$  – длины однородных участков трассы, отсчитываемые от передатчика.

Предварительное вычисление таблиц «эталонных» значений дополнительных задержек в зависимости от расстояния для однородных трасс производилось по алгоритму, на малых расстояниях использующему решение интегрального уравнения для функции ослабления над однородной по импедансу сферической Землей в виде ряда по полуцелым степеням расстояния [4], а на больших расстояниях – решение для сферической Земли в виде ряда по нормальным волнам [5]. Это обеспечило выполнение всех предельных переходов; в частности, на малых расстояниях дополнительное запаздывание строго равно нулю на нулевом расстоянии и зависит от него как корень квадратный, а на больших расстояниях – та же зависимость строго линейна, так как в этом случае «работает» уже только одна нормальная волна, по определению имеющая линейную зависимость фазы от расстояния. При этом применялась найденная нами эмпирическая формула для определения положения точки сшивания двух решений, обеспечивающая его высокое качество, то есть непрерывность расчетов в зависимости от расстояния [1].

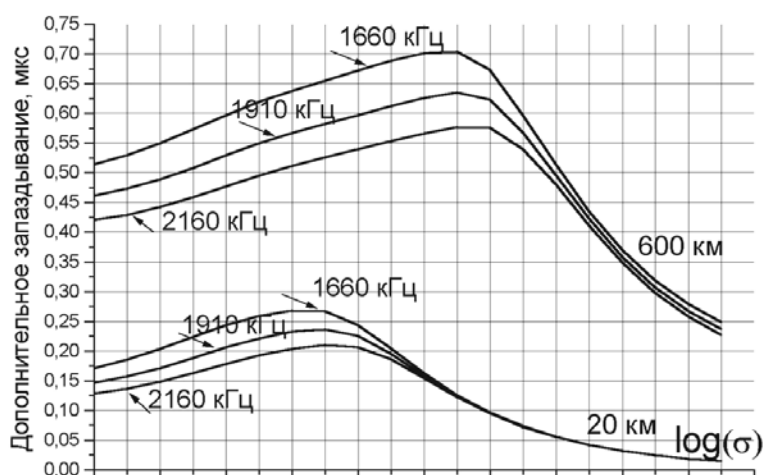
Чтобы определить значения проводимостей и частот для вычисления «эталонных» таблиц зависимостей дополнительной задержки от расстояния, по описанному выше алгоритму были проведены вычисления дополнительных задержек для различных используемых на практике проводимостей суши и моря в диапазоне частот 1500–2300 кГц, соответствующем частотам спектров сигналов наземных РНС СЧ диапазона

(БРАС, РС-10, СПРУТ-1Н). Проведенные расчеты показали, что для получения гладкого хода дополнительной задержки в зависимости от проводимости подстилающей поверхности, достаточно определить значения задержек только для некоторого дискретного набора основных проводимостей  $\sigma_i$ . При этом для суши достаточно уметь рассчитывать значения дополнительных задержек в зависимости от расстояния только для 25 основных проводимостей (по 8 проводимостей на порядок в диапазоне их изменения от -4 до -1 в десятично-логарифмической шкале), а для моря – для 13 основных проводимостей (по 8 проводимостей на порядок в диапазоне их изменения от -0,75 до 0,75 в десятично-логарифмической шкале). Значения диэлектрических проницаемостей для суши жестко привязывались к их проводимостям и вычислялись по эмпирической формуле  $\epsilon=64*(\sigma^{1/3})$ , где  $\sigma$  – это проводимость почвы в См/м, полученной путем обработки экспериментальных данных из работы [6], а диэлектрическая проницаемость морей, в соответствии с данными из того же источника, для всех их проводимостей принимается равной 80.

Что касается частотной зависимости дополнительной задержки, то в указанном выше диапазоне частот она с высокой степенью точности имеет квадратичный характер. Такая функция полностью описывается своими значениями в трех точках [7], и поэтому для частотной аппроксимации достаточно выбрать только три узловые частоты. Учитывая важность обсуждаемой проблемы для разрабатываемой РНС СПРУТ-1Н, мы выбрали в качестве узловых две крайние и среднюю частоту излучаемого спектра ее сигнала, а именно  $f_1=1,66$  МГц,  $f_2=1,91$  МГц и  $f_3=2,16$  МГц.

По вышеописанному алгоритму были рассчитаны таблицы «эталонных» значений дополнительных задержек на расстояниях от 0,5 до 700 км с шагом 0,5 км для выбранного дискретного набора основных проводимостей подстилающей поверхности и трех узловых частот спектра сигнала РНС СПРУТ-1Н.

Для иллюстрации на рисунке представлены полученные в результате выполненных расчетов графики зависимостей дополнительного запаздывания от логарифма проводимости подстилающей поверхности для трех узловых частот РНС СПРУТ-1Н на расстояниях 20 км и 600 км.



Зависимость дополнительного запаздывания радиосигнала от проводимости земной поверхности для частот 1660, 1910, 2160 кГц на расстояниях 20 км и 600 км

## 2. Вид аппроксимирующей формулы для вычисления дополнительных запаздываний и методы нахождения коэффициентов аппроксимации

Большая точность аппроксимации может быть достигнута только в том случае, если аппроксимирующая функция повторяет все особенности аппроксимируемой. В частности, должен сохраняться вид зависимости дополнительного запаздывания от расстояния при предельных переходах, а именно – при очень малых и очень больших расстояниях. Как известно [5], на малых расстояниях дополнительное запаздывание ведет себя как корень квадратный из расстояния, а на больших расстояниях – как линейная функция расстояния. Поэтому при поиске вида требуемой аппроксимирующей зависимости дополнительной задержки  $t(R)$ , в качестве основы был использован вид зависимости  $t$  от  $R$  при предельных переходах, а именно – как квадратный корень на малых расстояниях и как линейный двучлен на больших расстояниях, с добавлением членов следующего порядка малости, а также некоторого корректирующего экспоненциального слагаемого со своими константами. При этом для всего набора рассчитанных в каждой таблице «эталонных» значений задержек  $t_i(R_i)$  подбирались такие параметры для вычисления значений  $\bar{t}_i(R_i)$  по аппроксимирующей формуле, чтобы в итоге получался минимум среднеквадратической погрешности (СКП), определяемой выражением:

$$\tilde{N}\hat{E}\tilde{I} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [t_i(R_i) - \bar{t}_i(R_i)]^2}, \quad (2)$$

где  $n$  – число точек в рассчитанных таблицах «эталонных» значений задержек  $t_i(R_i)$ .



В результате была получена следующая единая аппроксимирующая формула для вычисления дополнительных задержек в зависимости от расстояния, дающая значения  $\bar{t}_i(R_i)$  со среднеквадратической погрешностью не хуже 0,0001 мкс, для выбранных значений проводимостей суши и моря в требуемом диапазоне частот:

$$\bar{t}(R) = a\sqrt{R}(1 - b\sqrt{R}) \cdot p_2(R) + (c + d \cdot R) \cdot p_1(R) + e \cdot \exp\left(-\frac{R}{220}\right) \cdot p_1(R), \quad (3)$$

где  $R$  – расстояние между корреспондентами в км,

$$p_2 = -p_0 + 0,5;$$

$$p_1 = p_0 + 0,5;$$

$$\begin{cases} p_0 = \frac{1}{\pi} \arctg \left[ 5 \operatorname{tg} \frac{\pi(R-r)}{2r} \right] & \text{и } \delta \text{è } R < 2r; \\ p_0 = \frac{1}{2} & \text{и } \delta \text{è } R \geq 2r, \end{cases}$$

а подбираемые коэффициенты аппроксимации – это  $a, b, c, d, e, r$ .

При поиске значений этих коэффициентов аппроксимации, для каждой из таблиц "эталонных" значений дополнительных задержек  $t_i(R_i)$ , соответствующих выбранным значениям основных проводимостей и узловых частот, необходимо было минимизировать функцию (2), включающую в себя аппроксимирующее выражение для  $\bar{t}_i(R_i)$  (3), с шестью неизвестными параметрами  $a, b, c, d, e, r$ . Данная задача решалась методом итераций [7] от заданных начальных приближений  $a_0, b_0, c_0, d_0, e_0$  и  $r_0$ .

Для вычисления начальных приближений  $a_0$ , и  $b_0$  производился поиск минимума функции (2) по методу наименьших квадратов [6] с аппроксимирующим выражением для  $\bar{t}_i(R_i)$ :

$$\bar{t}_i = a\sqrt{R_i}(1 - b\sqrt{R_i}), \text{ при малых значениях расстояния } R_i.$$

Для вычисления начальных приближений  $c_0$ , и  $d_0$  производился поиск минимума функции (2) по методу наименьших квадратов [7] с аппроксимирующим выражением для  $\bar{t}_i(R_i)$ :

$$\bar{t}_i = c + d \cdot R_i, \text{ при больших значениях расстояния } R_i.$$

Значения начальных приближений  $e_0$  и  $r_0$  выбирались методом пошагового поиска из интервалов, соответствующих допустимым диапазонам изменения параметров  $e$  и  $r$ , после оценки начальных приближений  $a_0, b_0, c_0$  и  $d_0$ .

Полученная аппроксимирующая формула (3) с найденными методом итераций [6] коэффициентами аппроксимации для основных проводимостей подстилающей поверхности и узловых частот спектра РНС, позволяет

вычислять дополнительные задержки над соответствующими однородными трассами на любом требуемом расстоянии из диапазона 0,5–700 км.

Для нахождения задержки  $t$  на однородной трассе с промежуточной проводимостью  $\sigma$ , не совпадающей с какой-либо из основных проводимостей, с учетом выбранной выше десятично-логарифмической шкалы и принятых градаций по проводимостям, использовалась линейно-логарифмическая интерполяция [7] по следующей формуле:

$$t = [t_1 \cdot (\log(\sigma_2) - \log(\sigma)) - t_2 \cdot (\log(\sigma_1) - \log(\sigma))] / [\log(\sigma_2) - \log(\sigma_1)], \quad (4)$$

где  $t_1$  и  $t_2$  – это дополнительные задержки, вычисленные по аппроксимирующей формуле (3) для двух ближайших к  $\sigma$  и неравных ей «эталонных» проводимостей  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ .

После того, как по формулам (3) и (4) получены дополнительные задержки для всех однородных трасс, входящих в формулу Миллингтона (1), она позволяет рассчитать дополнительные задержки на всей неоднородной трассе, то есть необходимые поправки, для трех узловых частот. Обозначим эти поправки как  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ , и  $\tau_3$ .

Для нахождения поправки  $\tau$  на рабочей частоте РНС, не совпадающей с какой-либо из ее узловых частот, используется следующее выражение, полученное на основе формулы Стирлинга для квадратичной интерполяции [7]:

$$\tau = \frac{1}{f} \left[ \frac{\tau_1 \cdot f_1 + \tau_3 \cdot f_3 - 2\tau_2 \cdot f_2}{2} \cdot x^2 + \frac{\tau_3 \cdot f_3 - \tau_1 \cdot f_1}{2} \cdot x + \tau_2 \cdot f_2 \right], \quad (5)$$

где  $f$  – рабочая частота РНС;

$$x = \frac{f - f_2}{0.5 \cdot (f_3 - f_1)}.$$

### 3. Сравнительные результаты расчетов «эталонных» значений дополнительных запаздываний для кусочно-однородных трасс и их значений, полученных с использованием аппроксимаций

Для доказательства высокой точности вычислений по предложенному алгоритму, в табл. 1 приведены результаты расчетов по формуле Миллингтона (1) дополнительных запаздываний радиосигнала для нескольких двухкусочных, однородных по глубине трасс (суша, море) со следующими исходными параметрами:

- рабочая частота РНС  $f = 1,95$  МГц;
- длины кусков трассы  
 $R_1 = 20$  км (суша),  $R_2 = 280$  км (море);

- проводимости подстилающих поверхностей кусков трасс:  
 трасса 1:  $\sigma_{1c} = 1,0 \times 10^{-4}$  См/м (суша),  $\sigma_m = 2,0$  См/м (море);  
 трасса 2:  $\sigma_{2c} = 3,0 \times 10^{-4}$  См/м (суша),  $\sigma_m = 2,0$  См/м (море);  
 трасса 3:  $\sigma_{3c} = 1,0 \times 10^{-3}$  См/м (суша),  $\sigma_m = 2,0$  См/м (море);  
 трасса 4:  $\sigma_{4c} = 3,0 \times 10^{-3}$  См/м (суша),  $\sigma_m = 2,0$  См/м (море);  
 трасса 5:  $\sigma_{5c} = 1,0 \times 10^{-2}$  См/м (суша),  $\sigma_m = 2,0$  См/м (море);  
 трасса 6:  $\sigma_{6c} = 3,0 \times 10^{-2}$  См/м (суша),  $\sigma_m = 2,0$  См/м (море);  
 трасса 7:  $\sigma_{7c} = 1,0 \times 10^{-1}$  См/м (суша),  $\sigma_m = 2,0$  См/м (море).

Вычисления требуемых по формуле Миллингтона (1) задержек для однородных трасс производились как по строгим алгоритмам, изложенным в разделе 1, так и по аппроксимационным и интерполяционным формулам раздела 2. Значения аппроксимирующих коэффициентов для вычислений по формуле (3) были найдены методом итераций [7] на основе вычислений «эталонных» значений задержек  $t(R)$  для основных значений проводимостей суши и моря, принятых в практике эксплуатации РНС на море, и 3-х узловых частот РНС СПРУТ-1Н:  $f_1=1,6$  Гц,  $f_2=1,1$  МГц и  $f_3=2,16$  МГц при оптимальном значении эффективного радиуса Земли  $A_{эф} = 8500$  км, соответствующем нормальной рефракции в стандартной атмосфере и не зависящем от частоты в СЧ диапазоне [8].

Таблица 1

Сравнительные результаты расчетов «эталонных» значений дополнительных задержек радиосигнала ( $\tau_m$ ) и расчетов с использованием аппроксимаций ( $\tau_a$ )

Проводимости кусков трассы	$\tau_m$ , мкс	$\tau_a$ , мкс
$\sigma_{1c}, \sigma_m$	0,215	0,215
$\sigma_{2c}, \sigma_m$	0,227	0,228
$\sigma_{3c}, \sigma_m$	0,244	0,244
$\sigma_{4c}, \sigma_m$	0,257	0,259
$\sigma_{5c}, \sigma_m$	0,255	0,255
$\sigma_{6c}, \sigma_m$	0,225	0,226
$\sigma_{7c}, \sigma_m$	0,194	0,194

Из приведенных результатов следует, что при расчетах с проводимостями суши, не совпадающими строго с основными (трассы с четными номерами), т. е. при использовании линейной интерполяции по проводимости, погрешность вычислений по аппроксимирующей формуле (3) не более 0,001 мкс (или в линейном измерении  $< 1$  м). При совпадении же заданных проводимостей суши с основными значениями (трассы с нечетными номерами), погрешность вычислений по аппроксимирующей формуле практически равна нулю. Заметим, что во всех вариантах аппроксимации использовалась также квадратичная интерполяция по частоте.

## Выводы

Предложенный аппроксимационный алгоритм для вычисления дополнительных задержек при распространении радиосигналов над многокусочной и однородной по глубине в пределах куска земной поверхностью может быть реализован в мобильных бортовых устройствах фазовых РНС среднечастотного (СЧ) диапазона. Особенностью данного алгоритма является простота его реализации и быстрдействие при сохранении высокой точности вычислений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пылаев А. А., Тамкун Л. Г., Трегубов В. С. К вопросу о методах расчета амплитуд и фаз электромагнитного поля в СВ диапазоне частот // Навигация и гидрография. – 2006. – № 22. – С. 49–54.
2. Пылаев А. А., Трегубов В. С. Учет особенностей распространения радиоволн при работе радионавигационных систем среднечастотного диапазона на морских трассах, покрытых слоем льда // Навигация и гидрография. – 2004. – №18. – С. 28–33.
3. G. Millington. Ground wave propagation over an inhomogeneous smooth earth // PIRE. – 1949. – Part III, 96. – P. 53–64.
4. Горшенев А. М. Решение интегрального уравнения для функции ослабления над импеданной сферической землей // Проблемы дифракции и распространения волн. – 1981. – Вып. 18. – С. 165–170.
5. Фок В. А. Дифракция радиоволн вокруг земной поверхности. – М.: Изд-во АН СССР, 1946. – 80 с.
6. Фейнберг Е. Л.. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности М.: Изд-во АН СССР, 1961. – С 105.
7. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Изд-во «Наука», 1974. – С. 659–660, 675–678, 683–685.
8. Макаров Г. И., Новиков В. В. О влиянии высотной неоднородности атмосферы на собственные числа нормальных волн в задаче дифракции радиоволн вокруг земной поверхности // Проблемы дифракции и распространения волн. – 1979. – Вып. 17. – С. 3–20.

## ABOUT APPROXIMATIONS USAGE FOR ADDITIONAL DELAYS CALCULATIONS OF GROUND RADIOWAVES

**A. A. Pylaev,**

**L. G. Tamkun**

(The Research Radiophysics Institute of the St. Petersburg State University),

**V. S. Tregubov**

(GNINGI, RF MoD)

*The algorithm of additional delays calculations for medium frequency band radionavigation stations signals is considered at the propagation of these signals along homogeneous in depth paths of many pieces using the approximations created on the basis of exact additional delays calculations for paths that consist of one piece. Peculiarity of this algorithm is its relative simplicity. It enables this algorithm to be used in programs for mobile onboard devices, while keeping the sufficiently high accuracy of calculations.*

**ОЦЕНИВАНИЕ ТОЧНОСТИ ИНС ПО РАЗНОСТЯМ ПОКАЗАНИЙ  
ОДНОГО И ТОГО ЖЕ НАВИГАЦИОННОГО ПАРАМЕТРА ОТ ДВУХ ИНС****В. А. МИХАЛЬСКИЙ,  
А. А. ЯКУШЕВ  
(ГНИНГИ МО РФ)**

*Рассмотрен способ оценивания средней квадратической погрешности (СКП) навигационных параметров, вырабатываемых инерциальными навигационными системами. Способ позволяет определять оценки СКП навигационных параметров в условиях повседневного плавания без привлечения дополнительной информации.*

Показатели точности выработки навигационных параметров (НП) инерциальными навигационными системами (ИНС), входящими в состав навигационного комплекса (НК), должны определяться в процессе испытаний НК. Из-за ограниченности времени испытаний и диапазона условий их проведения статистические оценки показателей точности НК часто не определяются или являются недостаточно представительными. Не удается проверить их стабильность, зависимость от условий работы НК и изменчивость при возникновении нештатных ситуаций. Поэтому актуальной является задача оценивания показателей точности НП в процессе эксплуатации НК. Особенно важным показателем точности является средняя квадратическая погрешность (СКП) НП, способ оценивания которой рассматривается далее.

Исходными данными для решения этой задачи могут служить разности  $Y$  одного и того же НП  $X$ , например, широты, с выходов двух ИНС  $X_1, X_2$  или с выхода ИНС и системы относительного и абсолютного счисления  $X_{OC}$  и  $X_{AC}$ . Такие разности в некоторых НК рассчитываются, но используются только для контроля достоверности выходных данных ИНС [1].

С точки зрения оценивания показателей точности инерциальные навигационные системы можно подразделить на два вида, относя к первому виду ИНС, в которых реализован метод протяженной (или двойной) коррекции (МПК), ко второму виду – ИНС, в которых этот метод не реализован.

Величина НП на выходе ИНС может быть представлена в виде суммы

$$X_C = X_{И} + x_s, \quad (1)$$

где  $X_C$  – счислимое значение НП;  
 $X_{И}$  – неизвестное истинное значение НП;  
 $x_s$  – суммарная погрешность НП.

Величина  $x_s$  (на выходе двух ИНС  $x_{s1}$  и  $x_{s2}$ ) складывается в общем случае при рассмотрении погрешностей на продолжительности  $t_{ЦК}$  цикла коррекции (ЦК) из нескольких составляющих:

$$x_s = x_{ПО} + x_{ПЧ} + x_O(t) + x_Ч(t) + x'_{Сл}, \quad (2)$$

где  $x_{ПО}$  – постоянная на интервале  $t_{ЦК}$  погрешность, общая (одинаковая) в показаниях двух ИНС;

$x_{ПЧ}$  – частная постоянная погрешность, свойственная каждой из двух ИНС;

$x_O(t)$  – общая для двух ИНС погрешность, монотонно (линейно или нелинейно) изменяющаяся во времени;

$x_Ч(t)$  – частная для каждой ИНС монотонно изменяющаяся во времени погрешность;

$x'_{Сл}$  – случайная погрешность.

Здесь рассмотрена классификация составляющих погрешностей ИНС по характеру их проявления (без анализа причин происхождения и частотных свойств). В ИНС первого вида некоторые из перечисленных составляющих в штатном режиме скомпенсированы до пренебрежимо малой величины. Разность  $Y$  НП с выходов двух ИНС с учетом (1) равна разности суммарных погрешностей НП

$$Y = X_{C1} - X_{C2} = x_{s1} - x_{s2}.$$

Подставляя в это выражение (2), получаем:

$$Y = (x_{ПЧ1} - x_{ПЧ2}) + [x_{Ч1}(t) - x_{Ч2}(t)] + (x'_{Сл1} - x'_{Сл2}). \quad (3)$$

В результате вычитания погрешностей здесь из рассмотрения выпали составляющие  $x_{ПО}$  и  $x_O(t)$ . Принимая во внимание компенсацию постоянных и изменяющихся во времени составляющих в результате применения МПК в ИНС первого вида или коррекций координат в ИНС второго вида, можно приближенно написать

$$Y = x_{Сл1} - x_{Сл2}, \quad (4)$$

где  $x_{Сл1} = x_{ПЧ1} + x_{Ч1}(t) + x'_{Сл1} = x_1$ ;  $x_{Сл2} = x_{ПЧ2} + x_{Ч2}(t) + x'_{Сл2} = x_2$ . Обозначения  $x_1$  и  $x_2$  приняты для облегчения записей. За время  $t_{ЦК}$  при дискретности фиксации, равной 1 или 2 ч, значений  $X_{C1}$  и  $X_{C2}$ , будет получена выборка из  $n$  значений  $Y$

$$[Y] = Y_1, \dots, Y_i, \dots, Y_n. \quad (5)$$

Возведем все члены выборки (5) в квадрат, возьмем их сумму и разделим ее на количество  $n$  членов выборки. В результате получим дисперсию  $\sigma^2_Y$  величины  $Y$ , равную

$$\sigma^2_Y = (1/n) \sum_1^n Y_i^2 = (1/n) \sum_1^n X_{1i}^2 - 2(1/n) \sum_1^n x_{1i} x_{2i} + (1/n) \sum_1^n x_{2i}^2 = m_1^2 - 2rm_1m_2 + m_2^2, \quad (6)$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – СКП случайных составляющих погрешностей НП  $X_{C1}$  и  $X_{C2}$ ;  $r$  – коэффициент корреляции погрешностей этих составляющих. Оценка величины  $\sigma_Y$  по выборке  $[Y]$  определяется по формуле Гаусса

$$\sigma_{\sim Y} = (\sum_1^n Y_i^2 / n)^{0,5}. \quad (7)$$

Если априорно известны (например, из предыдущих наблюдений) значение  $r$  и соотношение точности двух ИНС  $k = m_2/m_1$ , то из (6) и (7) получаем выражения для оценок СКП  $m_{\sim 1}$  и  $m_{\sim 2}$ :

$$m_{\sim 1} = \sigma_{\sim Y} / (1 - rk + k^2)^{0,5}; \quad m_{\sim 2} = km_{\sim 1}. \quad (8)$$

При отсутствии априорных сведений принимают  $r=0,2$ ;  $k=1$ , которые являются средними значениями по результатам государственных испытаний различных ИНС. Далее символ « $\sim$ » («тильда»), обозначающий статистическую оценку показателя, опускается. Полученные оценки  $m_1$  и  $m_2$  являются приближенными снизу, т.к. в разностях  $Y$  исчезают рассмотренные выше общие для разных ИНС составляющие погрешностей. С другой стороны, оценки  $m_1$  и  $m_2$  соответствуют конкретным условиям работы НК. Поэтому, если эти оценки превышают априорные значения СКП  $m_{A1}$  и  $m_{A2}$ , то оценки  $m_1$  и  $m_2$  целесообразно использовать в навигационных расчетах в качестве значений СКП. В НК, включающих ИНС второго вида, с помощью этих оценок определяется вероятнейшее значение  $x^*$  НП  $X$  по показаниям  $x_1$  и  $x_2$  НП, вырабатываемого ИНС-1 и ИНС-2. Рекомендации по определению величины  $x^*$  при двух коррелированных измерениях содержатся в работе [2].

В случае необходимости проверки разности  $Y_i$  на принадлежность к генеральной совокупности разностей (в терминах навигации – на отсутствие грубой погрешности) контролируют условие

$$|Y_i| < 2\sigma_{\sim Y}, \quad (9)$$

которое соответствует предположению о нормальном законе распределения разности  $Y$  и доверительной вероятности 0,95. При выполнении условия (9)

считается, что значение  $Y_i$  принадлежит генеральной совокупности разностей  $Y$  (и с вероятностью 0,95 не содержит грубую погрешность).

При трех ИНС в составе НК по каждой разности  $Y_{jk}$  вычисляют по формулам (8) два значения СКП, получая в итоге шесть значений СКП, по два значения для каждой ИНС  $m'_1, m''_1; m'_2, m''_2; m'_3, m''_3$ . Далее по каждой паре значений СКП с одинаковым нижним индексом рассчитывают среднеарифметическое значение, получая оценки СКП выработки НП  $X$  каждой ИНС  $m_1, m_2$  и  $m_3$ . Если эти оценки превышают соответствующие априорные значения, то их целесообразно принять в качестве априорных для дальнейших расчетов при решении задач оптимизации (определения вероятнейшего значения НП на выходе НК) и навигационно-тактических задач.

Вычисление оценок  $m_{\sim j}$  производят по завершении каждого  $q$ -го ЦК. При  $q > 4$  (для пятого и последующих ЦК) можно для повышения представительности объединить все полученные ранее и теперь оценки  $m_{jq}$  по следующей формуле, справедливой для одинаковой продолжительности  $t_{ЦК}$  [2]

$$m^*_{jn} = (\sum_{q=1}^n m^2_{jq}/n)^{0,5}, \quad (10)$$

где  $m^*_{jn}$  – объединенная за  $n$  ЦК оценка СКП  $j$ -ой ИНС;  $n$  – количество ЦК при работе НК в рассматриваемых условиях, совпадающее с последним номером числа  $q$ . Если совокупная оценка  $m^*_{jn}$  при  $n > 4$  превышает априорное значение СКП  $m_{jA}$ , то эта совокупная оценка становится априорным значением СКП для последующих расчетов при данных условиях работы НК. В случае неодинаковой продолжительности ЦК формула (10) приобретает вид

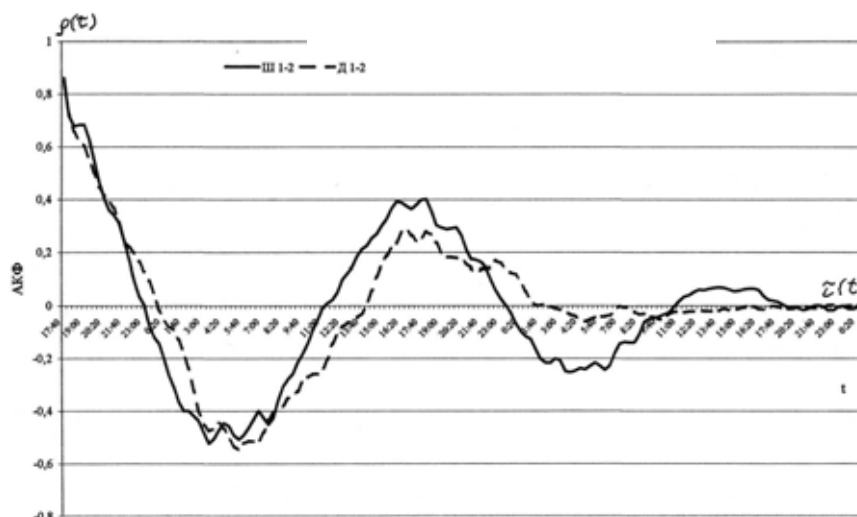
$$m^*_{jn} = (\sum_{q=1}^n N_q m^2_{jq} / \sum_{q=1}^n N_q)^{0,5}, \quad (11)$$

где  $N_q$  – количество независимых измерений в  $q$ -ом ЦК, эквивалентное его продолжительности  $t_q$  и равное  $N_q = t_q / \tau_K$ , где  $\tau_K$  – интервал корреляции случайного процесса  $Y(t)$  разностей  $Y$ .

На рисунке приведены графики нормированной автокорреляционной функции (АКФ) разностей показаний широты и долготы ИНС-1 и ИНС-2 первого вида. Анализ графиков показывает, что в разностях  $Y$  основной составляющей погрешности является суточная с характерным периодом  $T = 24$  ч, как и в погрешностях НП  $X_{C1}$  и  $X_{C2}$ . Следовательно, суточные составляющие погрешностей НП  $X_{C1}$  и  $X_{C2}$  не совпадают по фазе и в разностях  $Y$  не компенсируются. Поэтому АКФ может быть аппроксимирована экспоненциально-косинусной функцией вида

$$\rho(\tau) = \exp(-\alpha\tau) \cos\beta\tau, \quad \tau > 0, \quad \beta = 0,262 \text{ ч}^{-1}, \quad \alpha = 0,06 \text{ ч}^{-1}.$$





**Автокорреляционные функции разностей показаний широты и долготы двух ИНС**

При таких параметрах АКФ интервал корреляции случайного процесса разности  $Y$ , определяемый условием  $\rho(\tau)=0,1$ , равен 5 ч.

Эффективность способа оценивания СКП НП по разностям показаний трех ИНС проверена по материалам государственных испытаний одного из НК. Экспериментальные значения СКП (в условных единицах) выработки широты и долготы и эксцесса представлены в таблице. В графах «1» показаны оценки, рассчитанные классическим способом эталонирования, в графах «2» – по разностям. Видно, что оценки СКП, полученные предлагаемым способом, практически не отличаются от оценок классического способа, так что даже не требуется проверка равенства СКП по критерию Фишера. Хорошее сходство наблюдается и в отношении оценок эксцесса, который характеризует вид закона распределения погрешностей.

#### Результаты экспериментальной проверки

Параметр		ИНС-1		ИНС-2		ИНС-3	
		1	2	1	2	1	2
Широта	СКП эксцесс	0,11	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10
		-0,83	-0,80	-0,22	-0,45	1,53	-0,20
Долгота	СКП эксцесс	0,30	0,26	0,23	0,27	0,26	0,27
		-0,45	0	-0,05	-0,16	0,81	0,05

Таким образом, рассмотренный способ позволяет определять оценки СКП навигационных параметров в условиях повседневного плавания без привлечения дополнительной информации. Этот способ особенно эффективен для ИНС первого вида и канала широты ИНС второго вида, поскольку в погрешностях этих каналов невелики систематические составляющие. Применительно к каналу долготы ИНС второго вида задача оценивания СКП может быть решена с использованием дополнительной информации,

доставляемой системой относительного (по относительному лагу) или абсолютного (по абсолютному лагу) счисления. Эта задача заслуживает отдельного рассмотрения.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Дмитриев С. П., Колесов Н. В., Осипов А. В. Информационная надежность, контроль и диагностика информационных систем. – СПб.: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2003. – 206 с.
2. Методики вероятностных расчетов при решении навигационных задач на кораблях и судах ВМФ (МВР-96) / Михальский В. А., Рябоконт В. А. и др. – СПб.: ГУНиО МО РФ, 1999. – 218 с.

**EVALUATION OF INS ACCURACY BY THE DIFFERENCE OF READINGS OF TWO INS FOR THE SAME NAVIGATION PARAMETER**

**V. A. Mikhalsky,**  
**A. A. Yakushev**  
(GNINGI, RF MoD)

*The method of evaluating the RMS error of navigation parameters generated by INS is considered. The method enables the evaluation of RMS of navigation parameters to be determined under the conditions of everyday navigation without using traditional information.*

---

# ГИДРОГРАФИЯ И МОРСКАЯ КАРТОГРАФИЯ

---

ГРНТИ 78.21.43

## **УЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ ШИРОТ И ДОЛГОТ ЗА СЧЕТ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПОЛЮСОВ ЗЕМЛИ**

**Ю. Н. ЖУКОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

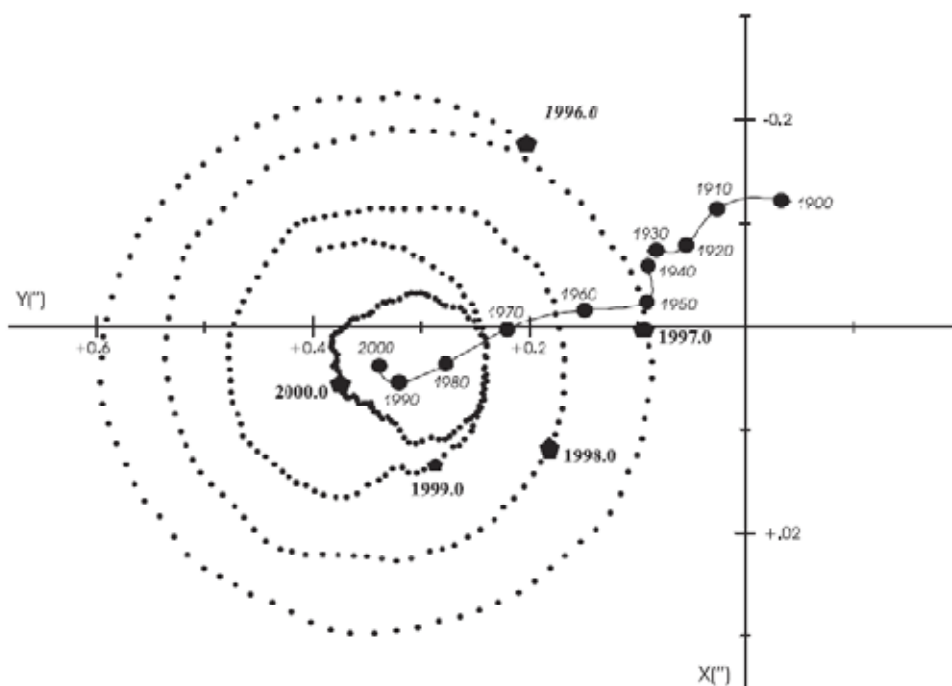
*Рассматривается проблема учета перемещения полюсов Земли в обеспечении задач ВМФ на основе автоматизированных баз геопространственной информации.*

В настоящее время в России ведутся работы по созданию автоматизированных баз геопространственных данных как общегосударственных, так и ведомственных. В частности, в ГНИНГИ МО РФ разрабатывается технология геопространственной базы данных для обеспечения вооруженных сил и гражданских пользователей. Очевидно, что информационное наполнение этих баз с необходимостью включает координаты геопространственных объектов в виде широты и долготы, определенных в разное время и разными методами. Точность определения этих координат, однако, различна. Современные практические задачи ВМФ требуют повышение точности геопространственного обеспечения на уровне точности GPS и ГЛОНАСС. Точность других методов определения координат ниже, но данных, полученных на основе этих методов значительно больше. Поэтому при создании автоматизированных баз геопространственных данных необходимо на этапе проектирования предусмотреть разработку технологии учета точности определения и алгоритмов согласования разноточных координат.

Одна из проблем, которую необходимо решить в автоматизированных базах геопространственных данных, – это учет изменения координат вследствие нутации оси вращения Земли. Полюсы постепенно изменяют свое положение на поверхности Земли, что приводит к изменению широт и долгот во времени.

Точка, в которой ось пересекает земную поверхность, – «мгновенный полюс» Земли – перемещается по земной поверхности вокруг «среднего полюса» в направлении вращения Земли, т. е. против часовой стрелки. Траектория движения полюса имеет вид спирали, которая периодически то закручивается, то раскручивается. Для примера на рис. 1 показана траектория движения Северного полюса за 1996–2000 гг. Максимальное удаление полюса от среднего отмечалось в мае-июле 1996 г. Затем полюс стал закручиваться, и это продолжалось до 2000 г., когда полюс подошел на минимальное

расстояние к центру спирали. Сейчас полюс раскручивается и все далее удаляется от своего среднего положения.



**Рис. 1. Траектория движения полюса в 1996–2000 гг. Сплошная кривая – траектория среднего полюса с 1890 по 2000 гг. [2]**

Из рис. 1 следует, что центр спирали находится в стороне от начала координат – международного условного начала (1890 г.). Причина тому – так называемое вековое движение полюса. Если из координат полюса отфильтровать составляющие колебания, то останутся координаты среднего полюса. Оказывается, он тоже смещается. Траектория среднего полюса за 1890–2000 гг. изображена на рис. 1 сплошной кривой. Видно, что в течение всего периода наблюдений осредненное положение полюса смещалось со скоростью около 10 см/год по сложной зигзагообразной кривой с преобладающим направлением в сторону Северной Америки (меридиан  $290^\circ$  в. д.).

Для получения этих сведений в 1899 г. была создана Международная служба широты, переименованная в 1961 г. в Международную службу движения полюсов Земли. В её состав входило 5 станций, проводивших наблюдения изменений широт, и Центральное бюро, которое на основе этих наблюдений вычисляло координаты полюса. Станции расположены на одной географической параллели  $39^\circ 08' \text{ с. ш.}$  и снабжены однотипными инструментами. В число их входят станции: Мидзусава (Япония), Китаб (Туркмения), Карлофорте (Италия), Гейтерсберг (США), Юкайа (США). В России наблюдения для службы движения полюсов Земли ведутся также в Пулкове, Москве, Полтаве, Казани, Горьком, Иркутске, Благовещенске.

В настоящее время в Международную службу движения полюсов Земли входит 30 станций, которые расположены на различных географических широтах.

Движение полюсов Земли изучается относительно так называемого условного международного начала координат Северного полюса Земли (ему соответствует «условный» экватор), положение которого установлено решением 13-й Генеральной ассамблеи Международного астрономического союза в 1967 г. Положение Северного полюса на 1890 г. принято за условный Северный полюс. В этой точке ( $O$ , рис. 2) проводится плоскость  $K$ , касательная к поверхности земного сфероида. По результатам астрономических наблюдений широты  $\varphi$  на станциях определяется плоскость мгновенного экватора Земли. Перпендикуляр  $CP$  к этой плоскости практически совпадает с мгновенной осью вращения Земли, а точка  $P$ , в которой он пересекает плоскость  $K$ , – с мгновенным полюсом Земли. В плоскости  $K$  вводят координатную систему: ось  $OX$  проводят в направлении меридиана Гринвича,  $OY$  – под углом  $90^\circ$  к западу от него. Координаты точки  $P$  в этой системе называется координатами мгновенного полюса Земли. Они связаны с широтой пункта наблюдений формулой, предложенной в 1893 С. К. Костинским [1]:

$$x \cos \lambda + y \sin \lambda = \varphi - \varphi_0, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – долгота пункта наблюдения.

Данные о движении полюса показывают, что полюс  $P$  движется по поверхности Земли в направлении её суточного вращения вокруг полюса инерции  $I$  (рис. 2), в которой наименьшая ось эллипсоида инерции Земли пересекает плоскость  $K$  и при этом описывает неправильную спиралевидную кривую – полодию (рис. 3), витки которой постепенно смещаются относительно условного международного начала  $O$  в сторону Гренландии. Полодия Южного полюса имеет такую же форму, как и Северного.

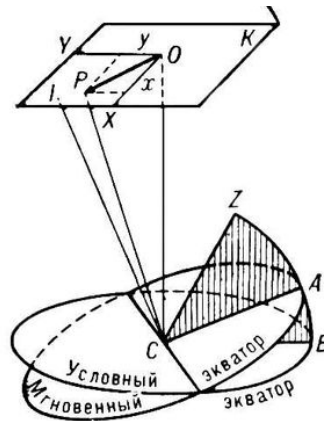


Рис. 2. Условные координаты для описания движения полюса

Периодическая составляющая движения полюса складывается из нескольких колебаний с периодами представленными в табл. 1. Амплитуда движения полюса значительно меняется, приближаясь в максимуме к 0,3" (например, в 1910, 1955, 1965 гг.) и уменьшаясь почти до нуля в минимуме (в 1927, 1935, 1961, 1968 гг.).

Таблица 1

Выявленные периоды циклов положения оси вращения Земли

№ п/п	Периодичности, выявленные в вариациях широт (движения полюса)	Автор
1.	365 суток (год)	Chandler C., 1892
2.	410–440 суток	Chandler C., 1892
3.	~14 суток	Nothnagel, 1992; Avsjuk, 1996
4.	6–7 лет	Chandler C., 1892;

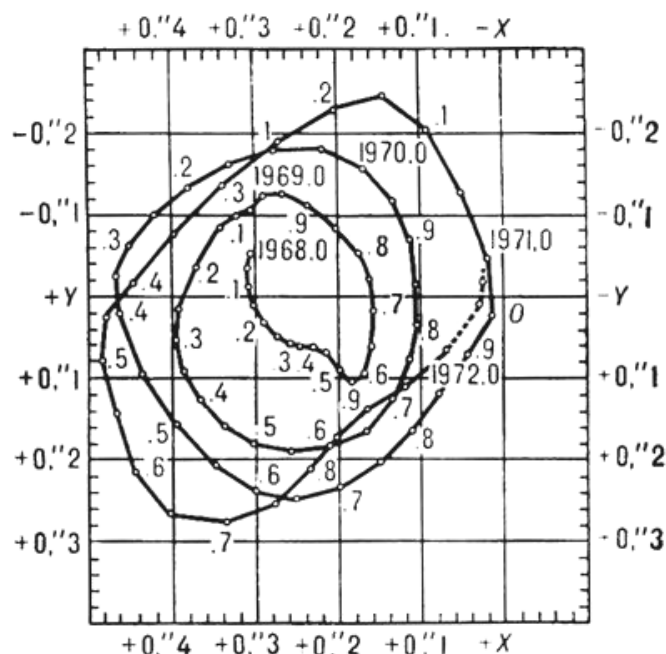


Рис. 3. Движение Северного полюса Земли с 1968 по 1972. Положения полюса отмечены через десятую часть года. Координатная сетка проведена через 0,1" (315 см)

Учет движения полюсов осуществляется только в геодезической технологии определения координат в системе GPS. При этом координаты даются в специальных системах пространственных координат. Исходной конструкцией этих координат являются пространственные оси барицентрических координатных систем с началом в барицентре Солнечной системы. В этой системе оси задаются их направлениями по отношению к компактным внегалактическим источникам – квазарам. По международному

соглашению используется международная небесная опорная система координат (ICRF), в основу которой положен список прямых восхождений и склонений около 600 квазаров с неопределенностями в координатах от  $2 \times 10^{-4}$  до  $5 \times 10^{-4}$  угловых секунд. В качестве опорной даты принято 1 января 2000 г. Направление оси вращения Земли и направление равноденствия на эту дату выбраны как направления осей системы координат, с которой связано барицентрическое координатное время (TCB). Пространственные оси невращающейся геоцентрической системы координат располагаются в центре масс Земли (включая ее газовую оболочку). Они имеют такие же направления по отношению к квазарам, как в барицентрической системе. Координатное время близко в этой системе к собственному времени часов, движущихся в ней со скоростью малой по сравнению со скоростью света. Это геоцентрическое координатное время (TCG). Физическая реализация вращающейся геоцентрической системы носит название – международной земной опорной системы координат (ITRF2000) и сопровождается списком координат и скоростей примерно 500 пунктов, распределенных по всей земной поверхности, на фиксированную опорную дату. Обе международные системы координат (ICRF и ITRF2000) установлены Международной службой вращения Земли IERS и постоянно уточняются. Система координат ITRF2000 служит первичным геодезическим стандартом, к которому постепенно приводятся все геодезические системы. Именно система координат ITRF2000 служит первичным геодезическим стандартом, к которому приводятся все геодезические системы. Именно для системы ITRF2000 с помощью GPS определяются наиболее точные геодезические координаты, среднеквадратическая погрешность которых составляет 1 м. Существует математические формулы пересчета координат из системы ITRF2000 в WGS84 и отечественную ПЗ-90. Однако при пересчете погрешность возрастает. В системе WGS-84 минимальная среднеквадратическая погрешность составляет 2–3 м, а в ПЗ-90 – несколько больше.

Вся координатная информация в базе геопространственных данных хранится в одной определенной при проектировании системе координат (WGS-84 или ПЗ-90). Таким образом, можно констатировать, что определенные широты и долготы объектов, хранимых в базе данных, всегда не соответствуют текущему положению полюса. Порядок отклонения одна угловая секунда.

При пополнении базы данных высокоточной координатной информацией необходимо учитывать технологию, использованную при измерении координат геопространственных объектов. Если это технология GPS, то коррекцию координат проводить не надо. Однако, при использовании любых других технологий, при которых отсутствует учет положения полюса на момент измерения необходимо вводить поправки на разность между положением полюса в момент измерения координат и положением полюса, принятого в координатной системе хранения в геопространственной базе данных.

Поэтому в технологии функционирования автоматизированной базы геопространственных данных необходимо предусмотреть технологический блок, осуществляющий сбор и хранение положений полюсов Земли в различные моменты времени, и блок, обеспечивающий ввод поправок. Информацию о положениях полюса можно получать от Международной службы движения полюсов Земли.

Учет старения широт и долгот при создании и функционировании автоматизированных геопространственных баз данных позволит повысить эффективность обеспечения задач ВМФ, в которых требуется повышенная точность координат в условиях отсутствия поддержки спутниковых систем типа GPS.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Куликов К. А., Изменяемость широт и долгот. – М., Наука, 1962 г. – 400 с.
2. IERS Annual Report 2000. – International Earth Rotation Service (IERS), Frankfurt an Main, 2001. – 152 p.

#### **ALLOWANCE FOR THE CHANGES OF LATITUDES AND LONGITUDES DUE TO THE VARIATION OF EARTH'S POLES POSITION**

**Y. N. Zhukov**  
(GNINGI, RF MoD)

*The problem of allowing for the variation of the Earth's poles position when providing the support for the Navy, using the automated bases of geospatial information is considered.*

ГРНТИ 73.34.15,27.43.51

#### **СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ПОИСКА ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДАМИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ**

**С. Г. АМЕЛЬЧЕНКО,**  
**А. Л. ТЕЗИКОВ**  
(ГМА им. адм. С. О. Макарова)

*Приводятся основные формулы и результаты вычисления вероятности обнаружения подводного объекта одиночными галсами и системами галсов, имеющими вид прямых линий или полос.*

Поиск подводных объектов, к которым относятся затонувшие суда, подводные трубы и кабели, а также скалы, мели и другие навигационные препятствия, в гидрографии обычно выполняется одиночными галсами или системами галсов при непрерывном обследовании дна эхолотом, эхотралом, гидролокатором бокового обзора или многолучевым эхолотом. При поиске



эхолотом галс представляет собой прямую линию, для эхотрала, гидролокатора или многолучевого эхолота – полосу шириной  $b$ .

Считается, что поиск полосами лучше, чем линиями. От качественного утверждения перейдем к количественным сравнительным оценкам. Сравнение методов будем производить сравнением вероятности обнаружения подводного объекта, которая соответствует данному методу.

Рассмотрим пример.

Необходимо обнаружить объект (затонувшее судно), который на плоскости может быть представлен двумя кругами  $A$  и  $B$  радиуса  $r = 7,5$  м, отстоящими друг от друга на расстоянии  $R = 45$  м. Ограничим район поиска квадратом со стороной 1000 м.

В районе поиска случайным образом проводится прямая линия. Объект будет обнаружен, если прямая линия пересечет общий контур, охватывающий  $A$  и  $B$ , и не пройдет между частями объекта. Таким образом, вероятность обнаружения  $P$  будет равна произведению вероятностей двух событий:

$$P = P_{AB} (1 - P_{A|B}), \quad (1)$$

где  $P_{AB}$  – вероятность пересечения общего контура, охватывающего  $A$  и  $B$ ;

$P_{A|B}$  – вероятность прохождения прямой линии между частями  $A$  и  $B$  объекта.

В интегральной геометрии [1] доказывается, что вероятности пересечения прямых линий с выпуклыми множествами могут быть выражены через периметры этих множеств.

Тогда выражение (1) преобразуется к виду:

$$P = \{L_{AB} - L_i + (L_A + L_B)\} / L_S, \quad (2)$$

где  $L_A$  – периметр внешнего контура, охватывающего  $A$  и  $B$ ;

$L_i$  – периметр контура, охватывающего части  $A$  и  $B$ , и перекручивающегося в области между ними;

$L_A$  и  $L_B$  – периметры кругов  $A$  и  $B$ ;

$L_S$  – периметр района поиска.

Из выражения (2) следует, что для повышения вероятности обнаружения необходимо стремиться к уменьшению размеров района поиска. Однако при этом возрастает угроза того, что объект может оказаться за границей района и поиск окажется бессмысленным.

Подставив в (2) численные значения периметров, соответствующих объекту поиска, получим  $P = 0,023$  ( $P_{AB} = 0,042$ ;  $P_{A|B} = 0,46$ ).

Вычислим вероятность пересечения объекта полосой.

Для полос, двойная ширина которых превышает расстояние между контурами  $A$  и  $B$  или соизмерима с ним ( $2b \geq R$  или  $2b \approx R$ ) объект, состоящий из двух частей, воспринимается как единое целое с периметром  $L_{AB}$ . В этом случае вероятность пересечения объекта и полосы вычисляется по формуле

$$P_b = (L_{AB} + \pi b) / (L_S + \pi b) \quad (3)$$

Вычисления проведем для  $b_1 = 20$  м и  $b_2 = 200$  м. Для более узкой полосы выполняется условие  $2b \approx R$ , а для более широкой –  $2b \geq R$ , поэтому применение формулы (3) оправдано.

Получим следующие значения:  $P_{b1} = 0,057$  и  $P_{b2} = 0,172$ .

Узкая полоса соответствует эхотралу, для которого ширина полосы обзора фиксирована и не зависит от глубины. Двухсотметровая полоса соответствует гидролокаторам бокового обзора при глубинах около 50 м, если допустить, что для них  $b = (4-5)H$ , где  $H$  – глубина.

Сопоставление полученных численных значений вероятности показывает, что вероятность обнаружения заданного объекта одним галсом с применением эхотрала (узкая полоса) примерно в 2,5 раза выше, чем при поиске эхолотом по прямолинейному одиночному галсу. Применение 200-метровой полосы ведет к увеличению этого показателя в 7,5 раз.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что при увеличении ширины поисковой полосы в 10 раз (с 20 до 200 м) вероятность обнаружения объекта увеличилась только в 3 раза.

Анализ выражений (2) и (3) показывает, что преимущества систем, обеспечивающих поиск объектов полосами, убывает по мере увеличения размеров (периметра) объекта.

При хаотичном расположении галсов вероятность пересечения объекта хотя бы одной прямой линией или полосой определится выражениями [2]:

$$P_n = 1 - (1 - P)^n, \quad (4)$$

$$P_{bm} = 1 - (1 - Pb)^m, \quad (5)$$

где  $n$  и  $m$  – количество галсов в виде прямых линий и полос соответственно.

Выражения (4) и (5) позволяют найти отношение количества линий  $n$  к количеству полос  $m$ , при условии  $P_n = P_{bm}$ . Отношение

$$n / m = \ln(1 - P_b) / \ln(1 - P) \quad (6)$$

может использоваться как сравнительная числовая характеристика поисковых усилий для достижения одинакового результата двумя способами поиска.

При использовании систем параллельных галсов с фиксированными междугалсовыми расстояниями  $l$  вероятность обнаружения объекта прямыми линиями и полосами вычисляется по формулам (обобщенное решение задачи Бюффона [1]):

$$P=L_{AB} / \pi l, \quad (7)$$

$$Pb=(L_{AB} +\pi b) / \pi l_b, \quad (8)$$

где индекс  $b$  относится к вероятности и междугалсовому расстоянию для полос.

При  $P = P_b$  из системы уравнений (7) и (8) найдем отношение междугалсовых расстояний  $l_b$  и  $l$ :

$$l_b / l = 1 + (b / L_{AB})\pi. \quad (9)$$

Для полос 20 и 200 м по формуле (9) получим: 1,4 и 4,8. Это означает, что для поиска объекта системой параллельных прямых линий, междугалсовое расстояние должно быть уменьшено в 1,4 раза по сравнению с поиском объекта системой параллельных полос, имеющих ширину 20 м, и уменьшено в 4,8 раза по сравнению с полосами шириной 200 м при одинаковой вероятности обнаружения.

Поиск подводных объектов по параллельным галсам является основным.

Проведем вычисление отношения междугалсовых расстояний  $l_b$  и  $l$  для полос, ширина которых изменяется от 1 до 200 м, и объектов с периметрами от 10 до 500 м.

Результаты вычислений приведены в таблице.

**Отношение междугалсовых расстояний ( $l_b / l$ )**

$b / L_{AB}$	10	100	200	300	400	500
1 (м)	1,25	1,03	1,02	1,01	1,01	1,01
10	4,17	1,32	1,15	1,10	1,08	1,06
20	7,14	1,64	1,32	1,20	1,16	1,12
50	16,67	2,56	1,78	1,52	1,39	1,32
100	33,30	4,17	2,56	2,04	1,78	1,64
200	50	7,14	4,17	3,13	2,56	2,27

Приведенные в таблице данные показывают, что при поиске подводных объектов полосами, междугалсовое расстояние всегда может быть увеличено по сравнению с поиском по прямым линиям. Такой положительный эффект особенно сильно проявляется при увеличении ширины полосы  $b$  для объектов, имеющих небольшие горизонтальные размеры. Например, при поиске небольших объектов ( $L_{AB} = 10$ ), увеличение ширины полосы с 20 до 200 м

позволяет получить выигрыш по сравнению с прямыми линиями в 7 раз. Для объектов с большими горизонтальными размерами ( $L_{AB} = 500$  м) такое же увеличение ширины полосы приводит только к двукратному выигрышу.

Таким образом, применение методов интегральной геометрии к задачам поиска подводных объектов позволяет получить численные сравнительные оценки основных методов поиска объектов, форма и размеры которых известны точно или предположительно.

#### *ЛИТЕРАТУРА*

1. Сантало Л. Интегральная геометрия и геометрические вероятности. – М.: Наука. – 1983. – 358 с.
2. Пугачев В. С. Теория случайных функций. – М.: Физматгиз. – 1960. – 884 с.

#### **COMPARISON OF METHODS OF SEARCH FOR SUBMARINE OBJECTS USING THE INTEGRAL GEOMETRY TECHNIQUES**

**S. G. Amelchenko,**

**A. L. Tezikov**

(Makarov State Maritime Academy)

*The main formulas and calculation results for probability of a submarine object detection by running the single tack and systems of tack having the form of straight lines or swaths, are presented.*

# ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ОКЕАНОГРАФИЯ

ГРНТИ 78.21.43

## ***К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЭРОБАЛЛИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ВЫБОРА ПАРАШЮТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВИАЦИОННОЙ ПОСТАНОВКИ ДРЕЙФУЮЩИХ АВТОНОМНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ***

**В. С. АНОСОВ,  
С. А. ДРУЖЕВСКИЙ,  
В. А. КАТЕНИН**  
(ГНИНГИ МО РФ),  
**А. И. НИКИФОРОВ**

(Санкт-Петербургский государственный  
морской технический университет)

*Рассматривается методический подход к определению аэробаллистических характеристик движения автономной гидрометеорологической станции (АГМС) при парашютной постановке с авиационного носителя. Приводятся алгоритмы для выполнения расчетов максимальных динамических перегрузок, испытываемых АГМС при раскрытии парашюта от момента постановки до момента приводнения. Показаны способы существенного снижения динамических перегрузок АГМС и выбор наиболее оптимального варианта постановки.*

### **Введение**

Существующая практика авиационных постановок объектов различного назначения, в частности, радиогидроакустических буев, показывает, что испытываемые объектами при раскрытии парашюта динамические усилия могут достигать (50–60) g, а при приводнении – (200–400) g. Площадь купола парашюта составляет (2,0–2,5) м<sup>2</sup>, скорость приводнения объекта до 20 м/с [1, 2, 3].

Столь жесткие условия авиационной постановки объектов связаны с высокой ударостойкостью аппаратуры и характером решаемых ими задач. При этом определяющим фактором при расчете параметров и выборе парашютной системы для авиационной постановки являются максимальные перегрузки, испытываемые при приводнении объектов.

В отличие от указанных объектов, для обеспечения требуемой эксплуатационной надежности аппаратуры гидрометеорологического измерительного комплекса АГМС, действующие максимальные ударные перегрузки на всем участке траектории движения, включая моменты приводнения и раскрытия парашюта, не должны превышать 10–20 g.

Необходимая площадь парашюта, отвечающая допустимым перегрузкам АГМС при приводнении, должна составлять не менее  $7-10 \text{ м}^2$ , а скорость приводнения – не более  $7-10 \text{ м/с}$  [4].

Однако при таких площадях, возникающие в момент заполнения купола парашюта динамические усилия могут превышать в 2–3 раза и более допустимые для АГМС перегрузки.

В связи с этим, определение параметров и выбор парашютной системы для авиационной постановки АГМС должны производиться с учетом аэробаллистических характеристик «АГМС – парашют» и динамических перегрузок, испытываемых АГМС на всем участке траектории движения от момента постановки до момента ее приводнения.

### **Предлагаемый методический подход к определению максимальных динамических перегрузок**

Рассматриваемый в статье методический подход направлен на определение максимальных динамических перегрузок, испытываемых АГМС при раскрытии парашюта, условий вхождения станции в воду и выбор по допустимым перегрузкам парашютной системы, отвечающей требуемой эксплуатационной надежности АГМС при авиационной постановке.

Основу подхода составляет метод приближенного решения задачи движения системы «АГМС – парашют» на воздушном участке от момента постановки с авиационного носителя до момента приводнения станции.

Метод заключается в том, что система заменяется материальной точкой, масса которой равна массе АГМС и парашюта, а сила аэродинамического сопротивления системы равна сумме их сопротивлений. При этом, движение системы рассматривается в вертикальной координатной плоскости  $YOX$  при отсутствии ветра.

В этом случае, согласно работе [3], уравнения движения системы принимают вид:

$$m \frac{dV}{dt} = -Q - mg \cdot \sin\Theta;$$

$$mV \frac{d\Theta}{dt} = -mg \cdot \cos\Theta;$$

$$\frac{dx}{dt} = V \cdot \cos\Theta;$$

$$\frac{dy}{dt} = V \cdot \sin\Theta.$$

где  $m$  – масса системы «АГМС – парашют»;

$V$  – скорость движения системы;

$Q$  – сила лобового аэродинамического сопротивления системы;

$\Theta$  – угол наклона траектории движения системы относительно горизонтальной плоскости;

$x, y$  – координаты траектории движения системы соответственно в горизонтальной плоскости и по высоте над уровнем моря;

$g$  – ускорение силы тяжести.

Сила лобового аэродинамического сопротивления системы определяется, согласно [5] выражением вида:

$$Q = \frac{\rho(y)V^2}{2} = (C_I F_I + C_0 F_{\text{ад}i}),$$

где  $C_I$  и  $C_0$  – соответственно коэффициенты аэродинамического сопротивления парашюта и АГМС;

$\rho(y)$  – распределение плотности воздуха по высоте;

$F_I$  и  $F_{\text{атм}}$  – соответственно площадь парашюта и площадь миделевого сечения АГМС.

Распределение плотности воздуха по высоте над уровнем моря определяется как [6]:

$$\rho(y) = \rho_0(1 - 2,26 \cdot 10^{-5}y)^{4,247},$$

где  $\rho_0$  – плотность воздуха над уровнем моря;

$y^*$  – геопотенциальная высота.

Алгоритм решения задачи включает в себя:

1) *Ввод исходных данных:*

- параметры АГМС: масса, площадь миделевого сечения, коэффициент лобового аэродинамического сопротивления;
- условия постановки: высота сбрасывания, скорость сбрасывания, начальный угол наклона траектории;
- параметры парашютной системы: масса, площадь, коэффициент аэродинамического сопротивления, высота раскрытия парашюта.

2) *Численное решение уравнений движения системы.* При этом на каждом шаге интегрирования определяются характеристики движения: скорость, координаты траектории движения, угол наклона траектории с учетом распределения плотности воздуха по высоте и коэффициента сопротивления.

Приближенный метод обладает существенной простотой и в то же время, позволяет получить достаточно точные результаты, на основании которых можно судить о баллистических характеристиках движения системы «АГМС – парашют».

### Перегрузки АГМС при раскрытии парашюта

После отделения системы «АГМС – парашют» от носителя начинается процесс наполнения парашюта. Этот процесс характеризуется большой динамичностью и сложностью математического описания. Имеется ряд приближенных методов, позволяющих описать его с той или иной точностью. Все они основаны на том, что процесс наполнения кратковременен, и за время его протекания скорость системы изменяется незначительно [2].

Исходя из принятого в [2] допущения, перегрузки, возникающие вдоль продольной оси АГМС при раскрытии парашюта определяются через отношение действующих на объект сил к его весу как:

$$n = \frac{Q - mg \cdot \sin\Theta}{mg}.$$

Разработанная вычислительная программа определения аэробаллистических характеристик движения системы позволяет определять коэффициент перегрузки АГМС на каждом шаге интегрирования, а также его максимальное значение.

Проведенные расчеты показывают, что при раскрытии парашюта сразу после отделения объекта от носителя, возникают недопустимо большие перегрузки. Во избежание этого необходимо в момент раскрытия парашюта снизить скорость объекта. Этого можно добиться двумя способами.

Первый из них состоит в том, что открытие парашюта следует осуществлять на такой высоте, где скорость системы заметно уменьшается за счет аэродинамического сопротивления самого объекта. Путем использования в АГМС специальных жестких стабилизаторов можно изменять аэродинамическое сопротивление системы в достаточно широком диапазоне.

Второй предполагает в том, что используется двухступенчатая парашютная система. На основном участке траектории объект движется с небольшим стабилизирующим парашютом, который обеспечивает устойчивость на траектории и в тоже время замедляет скорость движения. Тормозной парашют раскрывается на высоте, где скорость существенно меньше, чем при отделении от носителя.

В табл. 1 приведены максимальные значения коэффициента перегрузки АГМС при использовании жестких стабилизаторов и раскрытии парашюта на различных высотах. Расчеты проводились для случая постановки АГМС с высоты 400 м со скоростью 200 м/с. Площадь парашюта принималась равной 2,5 м<sup>2</sup>, а его коэффициент аэродинамического сопротивления  $C_{\Pi} = 0,583$  [7]. Коэффициент лобового аэродинамического сопротивления АГМС  $C_0$ , отнесенный к площади миделевого сечения, варьировал в пределах от 0,4 до 0,8.



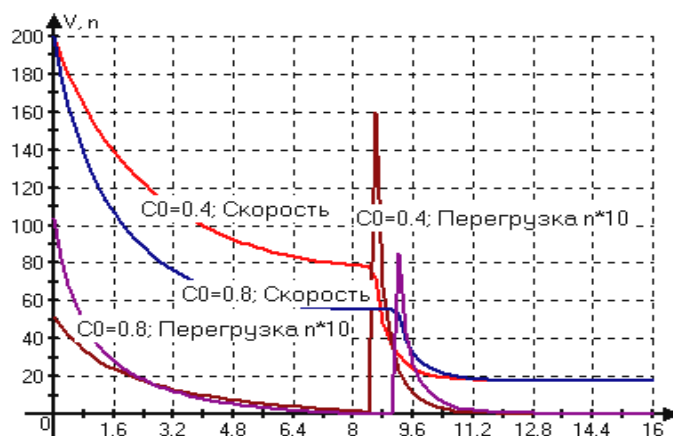
Таблица 1

**Максимальные значения коэффициента перегрузки АГМС при использовании жестких стабилизаторов**

Высота раскрытия парашюта, м	Коэффициент перегрузки			
	$C_0=0,4$	$C_0=0,6$	$C_0=0,7$	$C_0=0,8$
400	128	131,56	132,85	134,1
350	28,08	18,68	15,97	10,75
300	16,16	13,84	9,37	10,33
250	14,27	11,91	9,04	10,33
200	16,79	9,12	9,04	10,33
150	16,00	10,94	9,04	10,33
100	12,37	8,9	9,04	10,33
50	15,45	8,96	9,04	10,33

Из приведенных в табл. 1 данных видно, что при открытии парашюта сразу после отделения от носителя система испытывает перегрузки, достигающие величины более 100 g. Однако если открытие парашюта происходит несколько позже, т. е. когда скорость системы уменьшается за счет ее аэродинамического сопротивления, то перегрузки существенно снижаются.

В то же время значения коэффициента перегрузки в значительной степени зависят от значения коэффициента лобового сопротивления АГМС. Это хорошо видно из рис. 1, где в качестве примера приведены кривые изменения скорости движения и коэффициента перегрузки для АГМС с коэффициентами лобового сопротивления  $C_0 = 0,4$  и  $C_0 = 0,8$ .



**Рис. 1. Изменения скорости движения и коэффициента перегрузки для АГМС при различных коэффициентах лобового сопротивления**

В обоих случаях предполагалось, что раскрытие парашюта происходит на высоте 150 м, а скорость носителя на высоте постановки 400 м равна 200 м/с. Так при  $C_0 = 0,4$ , максимальный коэффициент перегрузки возникает

при раскрытии парашюта и достигает значения  $n = 16$ . При  $C_0 = 0,8$  максимальная перегрузка, равная  $n = 10,33$  возникает сразу после отделения от носителя. Далее скорость АГМС начинает резко снижаться и в момент раскрытия парашюта, хотя и появляется пик перегрузки, однако его значение существенно меньше первоначального.

Таким образом, выбором значения коэффициента сопротивления АГМС и высоты раскрытия парашюта можно обеспечить требуемое значение коэффициента перегрузки при раскрытии парашюта.

Подобные исследования были проведены и для случая использования двухступенчатой парашютной системы. В табл. 2 представлены максимальные значения коэффициента перегрузки при использовании стабилизирующего парашюта различной площади  $F_s$ .

Таблица 2

Максимальные значения коэффициента перегрузки АГМС при использовании стабилизирующего парашюта

Высота раскрытия тормозного парашюта, м	Коэффициенты перегрузок			
	$F_s=0,050, \text{ м}^2$	$F_s=0,075, \text{ м}^2$	$F_s=0,1 \text{ м}^2$	$F_s=0,125, \text{ м}^2$
400	128,98	128,98	128,98	128,98
350	15,83	17,63	15,58	13,87
300	14,94	10,28	9,41	10,48
250	10,39	11,12	9,41	10,48
200	9,70	10,43	9,41	10,48
150	9,44	10,22	9,41	10,48
100	9,37	10,22	9,41	10,48
50	11,57	8,45	9,41	10,48

В качестве начальных условий принимались: скорость постановки 200 м/с, высота сбрасывания 400 м, коэффициент лобового сопротивления АГМС  $C_0 = 0,4$ , коэффициент сопротивления стабилизирующего парашюта 0,5.

Анализ данных табл. 2 показывает, что при помощи стабилизирующего парашюта, площадь купола которого составляет  $F_s = (0,05 - 0,1) \text{ м}^2$ , можно добиться примерно такого же эффекта, что и при использовании в АГМС жестких стабилизаторов. Однако, учитывая, что конструктивное исполнение системы со стабилизирующим парашютом значительно проще, этот способ является предпочтительным.

На рис. 2 представлены в качестве примера кривые изменения скорости движения и коэффициента перегрузок при использовании стабилизирующего парашюта площадью 0,05 и 0,1 м<sup>2</sup>. Следует отметить, что характер зависимости приведенный на рис. 2 соответствует характеру зависимости, приведенному на рис. 1.

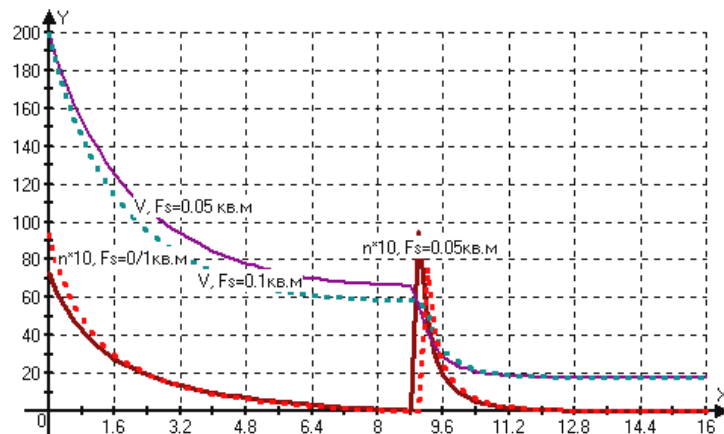
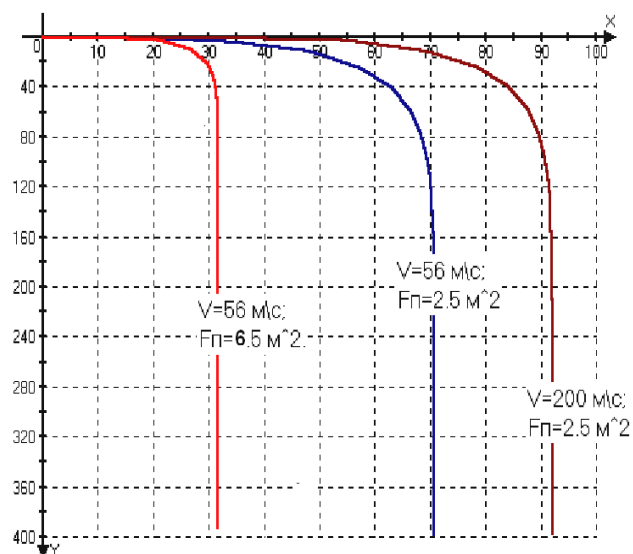


Рис. 2. Изменения скорости движения и коэффициента перегрузки для АГМС различными площадями стабилизирующего парашюта

### Условия приводнения системы «АГМС – парашют»

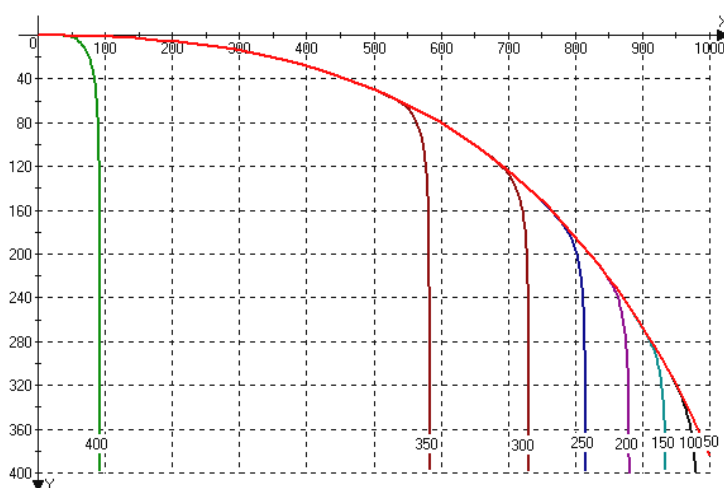
Особый интерес представляет анализ траектории движения системы «АГМС – парашют», связанный с определением условий приводнения (скорость и угол входа в воду). На рис. 3 приведены траектории движения системы при постановке АГМС с высоты 400 м со скоростями 56 и 200 м/с и площадью тормозного парашюта 2,5 и 6,5 м<sup>2</sup>. При этом предполагалось, что раскрытие тормозного парашюта происходит сразу после отделивания от носителя. Из представленных на рис. 3 кривых видно, что довольно быстро траектория становится вертикальной и угол входа в воду равен 90°. Известно, что в этом случае при раскрытии парашюта возникают большие перегрузки, поэтому были исследованы траектории движения системы при других алгоритмах включения в работу тормозного парашюта.

Так, в качестве примера на рис. 4 показаны траектории движения системы при различных высотах открытия тормозного парашюта. Этот рисунок соответствует случаю постановки АГМС с высоты 400 м со скоростью 200 м/с. Коэффициент лобового сопротивления АГМС принимался равным 0,4, а площадь тормозного парашюта  $F_{п} = 2,5 \text{ м}^2$ . Из представленного рисунка видно, что угол приводнения АГМС для всех высот открытия парашюта более 150 м составляет 90°, при этом скорость приводнения – не более 17,8 м/с. На высотах открытия парашюта менее 150 м угол приводнения составляет менее 90°. Так, при высоте, равной 150 м, угол приводнения равен 80,8°, а при высоте 50 м – 69,3°.



**Рис. 3. Траектории движения системы «АГМС – парашют» при наполнении парашюта в момент отделения от носителя**

В случае, когда коэффициент лобового сопротивления АГМС более 0,4 или при использовании стабилизирующего парашюта, характер приводнения сохраняется, однако условия приводнения будут несколько лучшими.



**Рис. 4. Траектории движения системы «АГМС – парашют» при наполнении парашюта на различных высотах от поверхности моря**

### Заключение

Таким образом, алгоритм определения аэробаллистических характеристик системы «АГМС – парашют» позволяет определять максимальные динамические перегрузки, испытываемые АГМС при раскрытии парашюта от момента постановки до момента приводнения

станции, условия вхождения в воду в зависимости от параметров, условий постановки, временного развертывания системы и осуществлять выбор парашютной системы по допустимым перегрузкам, отвечающим требуемой эксплуатационной надежности АГМС.

Проведенные исследования показывают, что существенное снижение максимальных динамических перегрузок, испытываемых АГМС при раскрытии парашюта до уровня допустимого значения, может быть достигнуто двумя способами, один из которых связан с использованием жестких стабилизаторов в АГМС, а другой – с применением двухступенчатой парашютной системы, состоящей из стабилизирующего и тормозного парашютов. При этом наиболее предпочтительным с точки зрения технической реализации является использование двухступенчатой парашютной системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рысев О. В., Пономарев А. Т., Васильев М. И. и др. Парашютные системы. – М.: Наука, 1996. – 126 с.
2. Белоцерковский С. М., Днепров И. В., Пономарев А. Т., Рысев О. В. Динамика раскрытия парашюта // Изв. АН СССР, МТТ. – № 3. – 1984.
3. Антоненко А. И. и др. Динамика движения парашютных систем. – М.: Машиностроение, 1982. – 152 с.
4. «Обоснование схмотехнических решений по созданию буйкового измерительного комплекса в целях оперативного вскрытия и освещения гидрометеорологической обстановки», шифр «Дрифтер» // Итоговый отчет, М.: ФГУП «ОКБ ОТ РАН», 2005. – 203 с. Научный руководитель: Парамонов А. А.
5. Грумондз В. Т., Яковлев В. А. Алгоритмы аэродинамического проектирования. – М.: МАИ, 1994, – 304 с.
6. Постников А. Г., Чуйко В. С. Внешняя баллистика неуправляемых авиационных ракет и снарядов. – М.: Машиностроение, 1985. – 560 с.
7. Лобанов Н. А. Основы расчета и конструирования парашютов. – М.: Машиностроение, 1965, – 145 с.

#### ON DETERMINING THE AEROBALLISTIC CHARACTERISTICS AND SELECTION OF PARACHUTE SYSTEM FOR DROPPING THE DRIFTING AUTONOMOUS HYDROMETEOROLOGICAL STATIONS FROM AIRCRAFT

**V. S. Anosov,**

**S. A. Druzhevsky,**

**V. A. Katenin**

(GNINGI, RF MoD),

**A. I. Nikiforov**

(St. Petersburg State Maritime Technical University)

*The methodical approach to determining the aeroballistic characteristics for the movement of the autonomous, hydrometeorological station when it is deployed by parachute from an aircraft is considered. The algorithms necessary to calculate the maximum dynamic overloads experienced by the station from the moment of deployment of the parachute to the moment of water impact, are presented. The ways for considerable reduction of dynamic overloads and selection of the optimum variant of dropping are shown.*

**ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗИ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВОГО РЕЖИМА В ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

**С. И. МАСТРЮКОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*На основе анализа измерений скорости ветра автоматической гидрометеорологической станцией «Сюжет-К» в южной части Баренцева моря проверены полученные по данным реанализа европейского центра среднесрочных прогнозов погоды за 1980–1999 гг. зависимости отдельных характеристик ветрового режима от повторяемости ветра по градациям скорости, а также исследовано влияние периода осреднения на связь порывов со средними значениями скорости ветра. Получены статистически значимые уравнения зависимости числа периодов с заданными ветровыми условиями и их средней непрерывной продолжительности от повторяемости скорости ветра, а также уравнения взаимосвязи скоростей и порывов ветра для условий южной части Баренцева моря*

Традиционные характеристики ветрового режима включают сведения о повторяемости ветра по градациям скорости и направления, в Лодциях и других справочных пособиях кроме или вместо этого приводят сведения о числе дней со скоростью выше заданной.

В то же время зачастую возникает необходимость расчета дополнительных характеристик ветрового режима: числа штормов, окон погоды, времени ожидания окна погоды, непрерывной продолжительности периодов скорости ветра менее/более заданной и т. п. Статистические характеристики перечисленных параметров необходимы для оценки экономической эффективности работы тех или иных операций на море. В самом простом случае задача ставится следующим образом: некий объект нужно отбуксировать из одного пункта в другой с ограничением по скорости ветра, время перехода равно 3 суткам. Требуется определить число таких благоприятных для выполнения транспортной операции 3-х суточных интервалов времени, а также время ожидания такого окна погоды заданного уровня обеспеченности в разные месяцы года. Наличие этих сведений позволит обоснованно выполнить планирование операции и минимизировать затраты на аренду буксиров.

Сведения о таких дополнительных характеристиках ветрового режима нужны и для решения других прикладных задач. Например, при косвенной оценке волнового режима по данным о скорости ветра следует учитывать сведения о максимальной непрерывной продолжительности ветра заданного направления и скорости, что позволит избежать получения необоснованно завышенных оценок при косвенном расчете высот волн по сведениям о ветровом режиме.

Традиционные характеристики ветрового режима – повторяемость ветра по градациям скорости и направления, а также число дней со скоростью ниже/выше заданной непригодны для характеристики распределения ветровых условий по времени.

Собственно повторяемость (вероятность) условий, при которых скорость ветра выше или ниже заданной, позволяет определить только среднее значение суммарной продолжительности заданных ветровых условий. Днем со скоростью ветра выше/ниже заданной считается день, когда хотя бы в один из сроков наблюдений скорость ветра выше/ниже заданной. Эта характеристика не позволяет однозначно оценить ветровой режим. При одном шторме в месяц одной и той же продолжительности мы можем получить и 1 и 2 дня со скоростью ветра свыше заданной. По мере увеличения числа штормов неопределенность принятой характеристики будет линейно возрастать.

В работе [1] предложен метод расчета характеристик окон погоды и штормовых периодов по сведениям о числе штормовых периодов и функции распределения непрерывной продолжительности штормов. В первом приближении было рекомендовано при отсутствии сведений о числе штормовых условий использовать сведения о числе дней со скоростью ветра выше заданной.

В настоящей работе получены и проверены эмпирические зависимости числа штормов и числа дней со штормами от повторяемости (вероятности) заданных ветровых условий.

Информационной базой для получения зависимости отдельных характеристик ветрового режима от повторяемости скорости ветра послужили четырехсрочные данные приземного реанализа Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF) за период с 1980 по 1999 гг., на основе которых по волновой модели ГИЦ ААНИИ [2] был выполнен расчет скорости ветра. В качестве примера на рис. 1 приведен расчетный ряд скорости ветра в безледный (май-декабрь) период 1999 г. в юго-восточной части Баренцева моря.



**Рис. 1. Ход скорости ветра с 1.05 по 31.12.1999 г. по данным реанализа ECMWF в юго-восточной части Баренцева моря**

По данным реанализа для каждого месяца были рассчитаны:

- вероятность ветра со скоростью ниже/выше заданных значений ( $P$ );

- число дней со скоростью ниже/выше заданных значений ( $N_{dней}$ );
- число периодов времени со скоростью ниже/выше заданных значений ( $N_{periodov}$ );
- средняя непрерывная продолжительность периодов времени со скоростью ветра ниже / выше заданных значений ( $SNPr$ ).

Непрерывная продолжительность заданных ветровых условий  $NPr$  определяется по числу последовательных сроков  $N$ , когда ветровые условия соответствовали заданным:

$$NPr = (N-1) \Delta t + \Delta t / 2,$$

где  $\Delta t$  – дискретность временного ряда.

Т. е. если явление наблюдалось только в один срок, непрерывная продолжительность принималась равной половине дискретности ряда (в нашем случае – 3 часам).

Вид задания ветровых условий:

$$<2, <3 \dots <8 \text{ м/с}; >=8, >=9, \dots, >=20, >=21, >=22 \text{ м/с}.$$

Отметим, что при анализе ветровых условий во внимание принимались условия, вероятность которых не более 50%. Это не накладывает ограничений на полученные результаты. Обычно потребителей интересует, например, не столько число периодов со скоростью ветра менее 15 м/с, вероятность чего априори превышает 50%, сколько число периодов со скоростью ветра более 15 м/с.

В качестве примера на рис. 2 приведена зависимость числа дней и периодов со скоростью ветра ниже/выше заданных значений от вероятности этих условий.

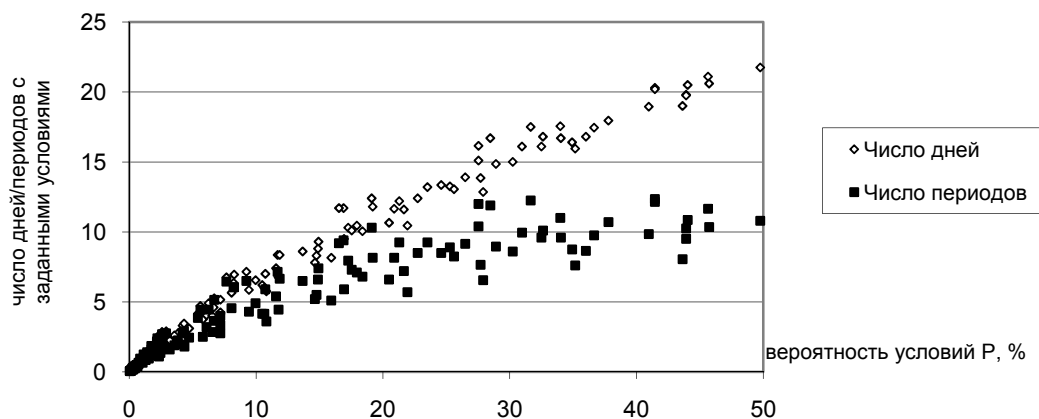


Рис. 2. Зависимость числа дней и периодов со скоростью ветра ниже/выше заданных значений от вероятности этих условий



Для линеаризации полученных зависимостей с целью достижения наибольшей точности аппроксимации были проверены различные виды функций задания вероятности условий –  $f(P)$ . Наилучшие результаты получены при задании функции  $f(P)$  в виде:

$$f(P) = 1/(-\ln(P))^b,$$

Показатель степени  $b$  – для зависимости числа дней  $N_{dней}$  и средней непрерывной продолжительности  $SNPr$  от вероятности соответствующих условий принят равным 0,5, а для числа периодов  $NPr$  – 0,25.

Линеаризованная зависимость числа периодов со скоростью ветра ниже/выше заданной от выбранной функции вероятности заданных условий, например, для числа периодов со скоростью ветра ниже/выше заданной приобрела вид, представленный на рис. 3.

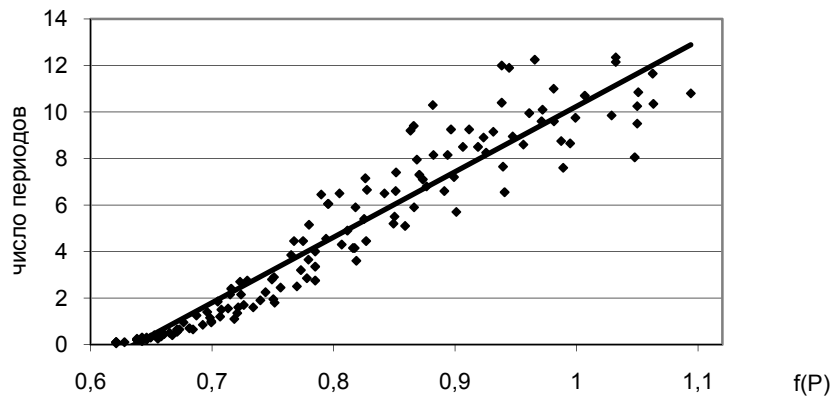


Рис. 3. Зависимость числа периодов со скоростью ветра ниже/ выше заданных значений от выбранной функции вероятности этих условий  $f(P)$

Ниже приведены полученные зависимости, а также критерий достоверности аппроксимации  $R^2$ .

$$N_{dней} = 30,2/(-\ln(P))^{0.5} - 10,6, \quad R^2 = 0,97. \quad (1)$$

$$N_{periodov} = 28,11/(-\ln(P))^{0.25} - 16,6, \quad R^2 = 0,91. \quad (2)$$

Для оценки непрерывной продолжительности периодов времени пришлось разделить случаи со скоростью ветра ниже заданной от случаев со скоростью ветра выше заданной. Для расчета средней непрерывной продолжительности периодов времени ( $SNPr$ ) со скоростью ниже заданной получена зависимость:

$$SNPr = 38,5/(-\ln(P))^{0.5} - 13,5 \quad R^2 = 0,94. \quad (3)$$

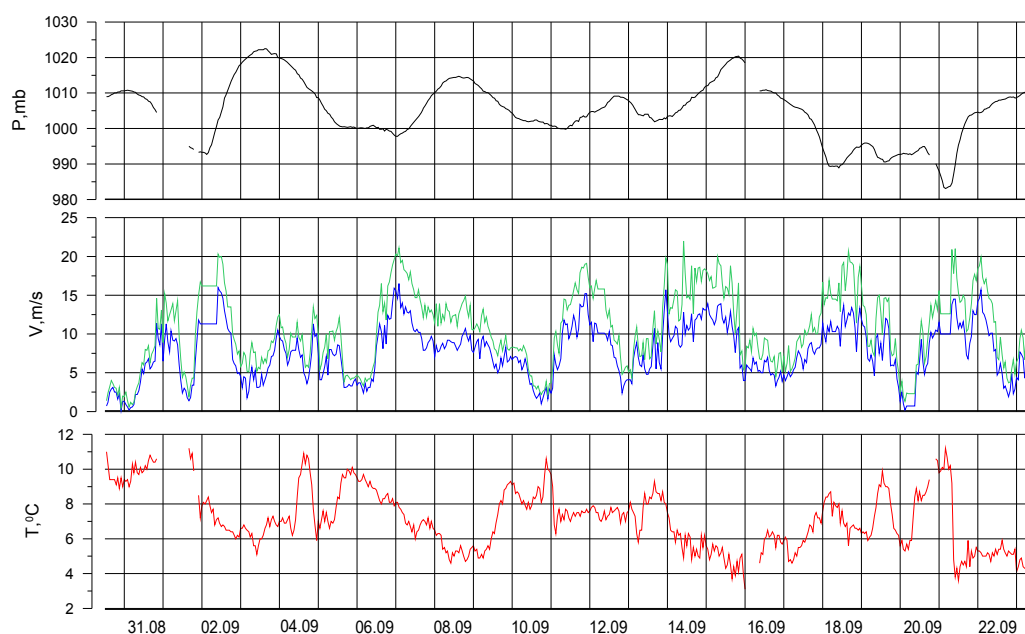
Для расчета средней непрерывной продолжительности периодов времени со скоростью выше заданной получена зависимость:

$$SNPr = 34,5/(-\ln(P))^{0,5} - 11,5 \quad R^2 = 0,91. \quad (4)$$

В формулах (1) – (4) вероятность скорости ветра ниже/выше заданных значений ( $P$ ), выражена в долях единицы, в формулах (3) – (4), непрерывная продолжительность выражена в часах.

Полученные выражения справедливы для диапазона вероятности скорости ветра ниже/выше заданных значений от 0,05% до 50%.

Для проверки полученных зависимостей было принято решение использовать независимый ряд наблюдений за скоростью ветра полученный в августе – сентябре 2006 г. в южной части Баренцева моря с помощью автоматической гидрометеорологической станции «Сюжет-К». Метеорологическая станция была размещена на борту ГИСУ «Визир» и основная часть наблюдений выполнена в открытом море. Дискретность наблюдений составила 1 минуту, всего выполнено свыше 38 тыс. измерений. В качестве примера на рис. 4 приведен ход метеорологических параметров с 31.08 по 21.09 2006 г. Достоинством использованных для проверки наблюдений явилась высокая дискретность наблюдений, что особенно важно, поскольку низкая дискретность данных, использованных для получения эмпирических связей (1) – (4), вызывала наибольшие опасения в правильности полученных результатов.



**Рис. 4. Ход атмосферного давления  $P$  (приведено к уровню моря), скорости и порывов ветра  $V$  (осреднение 10 минут) и температуры воздуха  $T$  в южной части Баренцева моря в 2006 г.**

Средствами СУБД «Access» по временному ряду осредненных за 10 минут скоростей ветра рассчитаны число дней со скоростью ветра ниже/выше заданных значений, средняя непрерывная продолжительность периодов со скоростью ветра ниже/ выше заданных. Результаты обобщения приведены к длине временного ряда 1 месяц и представлены в таблице.

Число периодов со скоростью ветра ниже/выше заданных значений  $N_{\text{Periodov}}$  ввиду непродолжительности ряда измерений оценивалось по очевидной зависимости среднего числа периодов со скоростью ветра ниже/выше заданных значений от суммарной продолжительности таких условий (определяемой их вероятностью) и от средней непрерывной продолжительности периодов времени со скоростью ниже/выше заданной скорости.

Результаты оценки среднеквадратической погрешности расчета (СКО) и среднего отклонения характеристик ветрового режима по полуэмпирическим выражениям (1)–(4) приведены в таблице.

**Оценки погрешности расчета характеристик ветрового режима по полуэмпирическим выражениям (1) – (4)**

Скорость ветра, м/с	Повторяемость, %	Число дней		Число периодов		Средняя непрерывная продолжительность, часы	
		Измер.	Выраж. (1)	Измер.	Выраж.(2)	Измер.	Выраж. 3–4
<1	4,9	5,0	6,8	5,5	4,7	6,4	8,6
<2	9,8	9,0	9,2	7,4	6,2	9,5	11,8
<3	14,7	14,0	11,2	9,3	7,3	11,4	14,3
<4	22,2	17,0	14,0	10,7	8,8	15,0	17,9
<5	30,3	20,0	17,0	9,9	10,3	22,0	21,7
<6	38,7	20,0	20,4	11,2	11,9	25,0	26,0
<7	48,1	22,0	24,7	12,4	13,8	28,0	31,5
>=8	44,1	23,0	22,8	11,8	12,9	27,0	26,6
>=9	36,2	22,0	19,3	9,9	11,4	26,2	22,7
>=10	27,8	20,0	16,1	9,4	9,8	21,3	19,0
>=11	18,2	17,0	12,5	7,1	8,0	18,4	14,9
>=12	10,6	14,0	9,6	5,5	6,4	14,0	11,5
>=13	5,7	11,0	7,2	3,7	5,0	11,0	8,9
>=14	2,8	9,0	5,4	2,9	3,9	7,0	6,8
>=15	1,3	7,0	3,9	2,4	2,9	4,0	5,1
>=16	0,2	3,0	1,4	0,7	1,1	2,0	2,2

Ввиду относительно небольшого периода времени, по которому выполнена проверка, оценки средних значений характеристик ветрового режима отражают не многолетний режим, а режим одного года. Достаточно обоснованно можно предположить, что увеличение длины выборки приведет к лучшему соответствию оценки средних характеристик ветрового режима.

Вместе с тем даже сравнение с данными наблюдений за короткий период показывает:

- относительная невязка между результатами расчета среднего числа дней (периодов) со скоростью ветра ниже/выше заданной и наблюдаемым средним за 1 месяц в среднем составляет около 20%;
- невязка между результатами расчета средней непрерывной продолжительности периода со скоростью ветра ниже/выше заданной и наблюдаемым средним за 1 месяц значением не превышает 3-х часов.

Проверка полученной в работе [2] зависимости непрерывной продолжительности скорости ветра выше заданных значений от вероятности соответствующих условий по тому же ряду выявила существенное занижение результатов расчета непрерывной продолжительности штормовых периодов по сравнению с наблюдаемыми. Это, видимо, связано с тем, что в работе [2] в качестве исходных использованы данные наблюдений на береговых станциях Кольского полуострова, где ветровой режим мягче ветрового режима открытого моря.

Для уточнения полученных зависимостей целесообразно выполнить анализ продолжительных (не менее 1–2 лет) инструментальных наблюдений за скоростью ветра в открытом море с высокой дискретностью.

Для информационного обеспечения проектирования морских и береговых объектов, помимо приведенных выше характеристик ветрового режима, требуются данные о скорости ветра и порывах ветра с различным периодом осреднения. Для оценки соотношения между средними скоростями ветра с разным периодом осреднения между собой и с максимальными скоростями ветра выполнена статистическая обработка тех же наблюдений автоматической гидрометеорологической станцией «Сюжет-К» в южной части Баренцева моря.

Ниже приведены уравнения линейной регрессии и критерий достоверности аппроксимации  $R^2$ , полученные по результатам линейного регрессионного анализа средних скоростей ветра с периодами осреднения 1, 2 и 10 мин ( $V_{1\text{cp}}$ ,  $V_{2\text{cp}}$ ,  $V_{10\text{cp}}$ ) между собой и с максимальными значениями скорости (порывами ветра) за интервалы времени 2 и 10 минут ( $V_{2\text{пор}}$ ,  $V_{10\text{пор}}$ ):

Порывы ветра:

$$V_{2\text{пор}} = 1,2V_{2\text{cp}} + 0,4, \quad R^2 = 0,97 \quad (5)$$

$$V_{10\text{пор}} = 1,3V_{10\text{cp}} + 0,5, \quad R^2 = 0,96 \quad (6)$$

Средние скорости:

$$V_{1\text{cp}} = V_{2\text{cp}}, \quad R^2 = 0,89;$$

$$V_{1\text{cp}} = V_{10\text{cp}}, \quad R^2 = 0,87; \quad (7)$$

$$V_{2\text{cp}} = V_{10\text{cp}}, \quad R^2 = 0,95.$$

Следовательно, с высокой степенью достоверности средние скорости ветра с периодом осреднения 2 и 10 мин. в районе измерений не отличаются друг от друга в статистическом смысле. В то же время порывы ветра за 10-минутный интервал больше порывов ветра, определенных за 2-минутный интервал примерно на 10%, и больше средней скорости ветра на 20–30%.

Таким образом, в работе получены статистически значимые уравнения зависимости характеристик ветрового режима от повторяемости ветровых условий, а также уравнения взаимосвязи скоростей и порывов ветра для условий южной части Баренцева моря.

Полученные результаты позволяют, используя традиционные характеристики ветрового режима, обоснованно выполнять расчет специальных характеристик ветрового режима, в частности, статистических характеристик окон погоды и штормовых периодов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мاستрюков С. И. Имитационное моделирование статистических характеристик окон погоды в интересах информационной поддержки планирования морских операций // Навигация и гидрография. – 1999. – № 8. – С. 34–42.
2. Лавренов И. В. Математическое моделирование ветрового волнения в пространственно-неоднородном океане. – СПб: Гидрометеоиздат, 1998. – 500 с.
3. Зыкова Г. Г. Непрерывная продолжительность ветра на Кольском полуострове по наблюдениям различной дискретности // Тр ААНИИ. – 1980. – Т. 348. – С. 99–105.

#### EVALUATION OF INTERRELATIONSHIP FOR WIND REGIME CHARACTERISTICS IN THE SOUTHERN PART OF THE BARENTS SEA

**S. I. Mastryukov**  
(GNINGI, RF MoD)

*Based on the analysis of the wind velocity measurements by the «Сюжем-К» automatic hydrometeorological station in the southern part of the Barents Sea, the dependence of separate wind velocity characteristics on the repeatability of the wind according to the velocity graduations obtained using the reanalysis data of the European Centre of Medium-term Weather Forecasts for 1980–1999, was checked. Also the influence of the averaging period on the relationship between the gusts and average values of wind velocity was studied. The statistically meaningful equations for dependence of the number of the periods with set wind conditions and their average continuity on the wind velocity repeatability, as well as the equations of interrelationship of wind velocities and gusts for the southern part of the Barents Sea were obtained.*

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЕННОЙ ПОДСИСТЕМЫ ЕДИНОЙ  
ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИИ  
ОБ ОБСТАНОВКЕ В МИРОВОМ ОКЕАНЕ**

**Ю. Н. ЖУКОВ,  
А. Б. ОПАРИН**  
(ГНИНГИ МО РФ)

*В статье рассматриваются вопросы повышения эффективности обеспечения деятельности ВМФ геопрограмственной информацией с применением автоматизированной системы распределенной обработки данных на основе учета специфики задач флота.*

Задача единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕГСИМО) – оперативное обеспечение гражданских и военных потребителей различной гидрометеорологической информацией по электронным каналам связи. Поставщиками гидрометеорологической информации в ЕГСИМО являются все организации России, имеющие отношение к сбору и обработке этой информации: Всесоюзный научно-исследовательский гидрометеорологический институт Мировой центр данных (ВНИИГМИ МЦД), Государственный океанографический институт (ГОИН), Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт (ААНИИ) и др. Роль ГНИНГИ состоит в предоставлении геопрограмственной (картографической), океанографической и метеорологической информации, имеющейся в банке данных ГНИНГИ, а также в выполнении особо важной задачи – обеспечении информационного согласования между ЕГСИМО и военной подсистемой ЕГСИМО.

В настоящее время реализация задачи ЕГСИМО ограничивается созданием Интернет-сайтов в каждой из организаций-членов ЕГСИМО (центров ЕГСИМО). Потребитель может получать гидрометеорологическую информацию по стандартному HTTP-протоколу (Hypertext Transfer Protocol), т. е. используя стандартный браузер, искать на сайтах этих организаций нужную информацию и визуально просматривать HTML-страницы (Hypertext Markup Language). Следует отметить, что в подавляющем большинстве случаев это статические HTML-страницы. Другими словами, в настоящее время сетевая информационная технология ЕГСИМО основывается на морально устаревшей сетевой модели распределенного документооборота конца 80-х годов прошлого века. Очевидно, что в таком состоянии нельзя получить оперативно нужную информацию, и тем более невозможно оперативно её использовать в автоматизированных системах поддержки принятия решений с учетом гидрометеорологической информации. Уже это делает проблематичным рассмотрение информации ЕГСИМО как военной подсистемы гидрометеорологического обеспечения ВМФ. Чтобы изменить

эту ситуацию, нужно использовать в качестве программной инфраструктуры ЕГСИМО не HTTP-протокол, а программные средства пространственно-распределенной оперативной обработки геопространственной информации.

Необходимость этого кроется в особенностях информационной базы ЕГСИМО и в современных требованиях ВМФ к обеспечению геопространственной информации. Для оперативного, в реальном времени, обеспечения потребителей ЕГСИМО необходимо с большой скоростью находить и выбирать данные, производить над ними требуемые пользователю вычислительные операции, визуализировать и доставлять потребителю. Такой большой объем технологических операций должен проходить в условиях большого сетевого трафика. Например, должны выполняться требования ВМФ к времени выполнения запроса – не более чем пять секунд. Это диктует необходимость разработки специализированной вычислительной структуры пространственно-распределенной оперативной обработки геопространственной информации в ЕГСИМО.

Геопространственные данные территориально распределены по центрам ЕГСИМО, информация в которых имеет различную тематическую направленность. Кроме того, объем данных велик и традиционно хранится в реляционных базах данных. Последнее обстоятельство не позволяет осуществить быстрый поиск и выборку требуемой информации. Это обусловлено тем, что гидрометеорологическая информация многомерна, а реляционная технология хранения, используемая в центрах ЕГСИМО, не ориентирована на эффективный пространственно-временной поиск. Поэтому гидрометеорологическая информация должна храниться в специально подготовленных массивах данных, обеспечивающих быстрый пространственно-временной поиск. Кроме того, вычислительная обработка информации должна проводиться на месте ее хранения, а не передаваться на какой-то выделенный для этого удаленный сервер. Всякая передача данных по каналам связи значительно увеличивает время выполнения запроса.

Особую роль ЕГСИМО играет в рамках военной подсистемы. Действительно, на любом уровне планирования действий Вооруженных Сил России необходимо учитывать влияние гидрометеорологических условий. Этот учет в настоящее время осуществляется не только экспертным способом. Все больше автоматизированных систем управления вооруженными силами вводятся в строй. Специфика этого обстоятельства состоит в том, что гидрометеорологическая информация для этих систем должна быть представлена только в численном виде – естественном языке ЭВМ. Графическая или текстовая информация в таких системах не используется. Более того, военные системы управления принципиально не могут ориентироваться на традиционные Web-браузеры как средства поиска и источники информации в силу естественных ограничений по скрытности. Поэтому существующая на сегодняшний день форма представления информации в ЕГСИМО в виде HTML-страниц непригодна для обеспечения

автоматизированных систем управления войсками. К тому же, с точки зрения обеспечения управления войсками, информация, получаемая из ЕГСИМО должна быть однозначна, актуальна, точна и обезличена. Последнее означает, что источником информации выступает ЕГСИМО в целом, при этом конкретный физический хранитель и поставщик информации в виде отдельного центра ЕГСИМО должен быть скрыт. Ответственность за достоверность и качество информации должна нести вся ЕГСИМО, а не конкретный центр. Однако сейчас это не так. Гидрометеорологическая информация дублируется в различных центрах ЕГСИМО, пользователю приходится самому решать какому центру ЕГСИМО и по какому виду информации доверять больше, а какой-либо моральной или юридической ответственности за качество информации не несут ни поставщик, ни ЕГСИМО в целом, ни отдельный ее центр.

Таким образом, можно констатировать, что на текущий момент ЕГСИМО не может эффективно обеспечивать информацией военную подсистему ни по качественным, ни по временным характеристикам.

Оперативное обеспечение военной подсистемы ЕГСИМО возможно только путем создания программного комплекса пространственно распределенных вычислений. Основное назначение комплекса – осуществление параллельных во времени вычислений в различных территориальных центрах ЕГСИМО при оперативном обеспечении ответа на запрос пользователя. Ниже предлагается структура такого программного комплекса и функциональное назначение его элементов.

Логическая структура комплекса в каждом территориальном центре ЕГСИМО идентична и представляется тремя составляющими: «Локальным менеджером задач» комплекса, «Локальным вычислителем» и «Локальным клиентом» (см. рисунок).

Запрос от внешнего пользователя принимается программной средой сервера центра ЕГСИМО, где определяется: класс задачи, осуществляющей ответ на запрос, параметры ее решения, набор необходимых исходных данных для решения и их территориальное расположение (ссылки на файлы). Затем программная среда центра ЕГСИМО посылает запрос «Локальному клиенту» с указанием этой информации. «Локальный клиент» в свою очередь посылает информацию «Локальному менеджеру задач», который определяет территориальное местоположение исходных данных и необходимый набор «Локальных решателей задач». Если данные находятся в этом же центре ЕГСИМО, где расположена локальная составляющая программного комплекса, то «Локальный менеджер задач» рассылает запросы на «Локальные вычислители». Если же данные находятся в другом центре ЕГСИМО, то «Локальный менеджер задач» посылает расположенному там «Локальному менеджеру задач» запрос на выполнение задания. Затем «Локальный менеджер задач» ждет выполнения операций всеми «Локальными вычислителями» и возвращает ответ на запрос «Локальному



клиенту», от которого был получен первоначальный запрос на обработку. Этот «Локальный клиент» возвращает результаты расчетов в программную среду сервера центра ЕГСИМО.



**Логическая структура программного комплекса пространственно распределенных вычислений в центрах ЕГСИМО**

Программная реализация комплекса распределенных вычислений ЕГСИМО может быть получена на основе языка MatLab. Поток данных в локальной и Интернет сетях передаются по TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) протоколу. Обмен информацией внутри и между составляющими программного комплекса распределенных вычислений ЕГСИМО осуществляется по RMI (Remote Method Invocation) – интерфейсу в виде объектов MatLab, «обернутых» в сериализованные объекты Java.

В такой реализации эффективность (затрачиваемое время) ответов на запрос внешнего пользователя будет определяться (не рассматривая трафик и скорость сетей):

- эффективностью программ-вычислителей;
- ресурсами вычислительной техники, на которой установлен программный комплекс распределенных вычислений ЕГСИМО;
- подготовкой исходных данных (скоростью выборки), осуществляемой программными средами серверов центров ЕГСИМО.

Форматы и протокол обмена данными между «Локальными клиентами» и программной средой серверов центров ЕГСИМО, а также форматами исходных данных, подготавливаемыми программной средой серверов центров ЕГСИМО, должны быть выработаны и согласованы всеми программистами-разработчиками программной среды серверов центров ЕГСИМО.

Отметим особую роль ГНИНГИ МО РФ в системе ЕГСИМО. В отличие от традиционных форм информация в ЕГСИМО представляется в электронном виде. Такая информация может использоваться либо экспертным путем при визуализации геопространственной информации в картографическом виде для зрительного уяснения расположения объектов в пространстве – здесь визуализация выступает в функции графического макета пространства (далекий аналог типографской карты), – либо для решения прикладных задач в автоматизированных системах управления. В этом случае визуализация не требуется, а если и применяется, то только в качестве графического интерфейса пользователя для задания параметров, контроля хода решения прикладной задачи и результатов ее решения. Например, в задачах Единой государственной системы освещения надводной и подводной обстановки и военном контуре вторая функция – основная.

В любой из этих двух областей применения геопространственной информации должны с необходимостью выполняться требования законов картографии к построению тематических карт. По существу задача ЕГСИМО – оперативное формирование тематических карт гидрометеорологической информации. Одно из основных требований картографии к построению тематических карт состоит в том, что гидрометеорологическая информация, являющаяся собственно тематическим слоем, должна иметь наибольшую точность по сравнению с вторичной информацией, в данном случае – навигационной и топографической. Из этого следует, что масштаб картографического изображения (цифровых данных) определяется только точностью пространственного разрешения гидрометеорологической информации. Точность пространственного разрешения остальной информации (навигационной и топографической) обязана быть не более (обычно на порядок менее) точности пространственного разрешения гидрометеорологической! Вместе с тем, как следствие того, что ЕГСИМО автоматизированная система, и гидрометеорологическая информация должна быть пространственно привязана и представлена в «машинном» виде как уникальный набор данных с указанием точности пространственного разрешения, причем с обязательным условием отсутствия в них каких-либо не гидрометеорологических данных, в том числе навигационных и топографических. Только при этом условии гидрометеорологическую информацию можно использовать для решения прикладных задач в автоматизированном режиме.

Поэтому в рамках работ по включению ЕГСИМО в военный контур необходимо разработать методику и алгоритмы, которые позволяют для

заданного тематического набора гидрометеорологической информации определять точность пространственного разрешения данного тематического набора и создавать пространственно привязанное «машинное» представление этого набора информации с включением в него значения точности пространственного представления. При автоматизированном решении прикладных задач созданное «машинное» представление гидрометеорологической информации передается программной среде автоматизированного комплекса напрямую без визуализации и без навигационной и топографической информации. При визуализации в картографическом виде гидрометеорологическая информация должна пополняться минимальным набором навигационной и топографической с масштабом меньшим на порядок, чем полученная точность пространственного разрешения гидрометеорологической информации. Этим будет обеспечена возможность использования в военном контуре ЕГСИМО только корректной гидрометеорологической информации с известными точностными параметрами. Очевидно, что ГНИНГИ МО РФ должен возложить на себя контроль за разработкой таких методов и алгоритмов ввиду того, что он является основным узлом информационного согласования между военной подсистемой и ЕГСИМО. Более того, ГНИНГИ МО РФ должен осуществлять постоянный контроль качества гидрометеорологической информации, поступающей от ЕГСИМО в военную подсистему в процессе её функционирования.

Кроме того, в целях создания эффективно функционирующего сервера геопространственной информации на базе программно-вычислительного комплекса ГНИНГИ МО РФ целесообразно организовать работы по следующим основным направлениям:

1. Сетевое обслуживание сервера геопространственной информации и программно-вычислительного комплекса ГНИНГИ с функциональными обязанностями:

- проектирование программно-вычислительной технологии распределенных и параллельных вычислений. Основными параметрами проектирования являются: минимальное время ответа на любой запрос – пять секунд, объем хранимой информации (должен быть оценен), возможные финансовые вложения в технические средства. На основе этих параметров необходимо определить необходимый набор вычислительных средств, их сетевую конфигурацию и набор программных средств эффективной организации технологии распределенных и параллельных вычислений. Создать спроектированную систему, запустить и поддерживать ее функционирование;
- разработка, создание и поддержание в функционирующем состоянии НТТР-сервера геопространственной информации; разработка алгоритмов и программ функционирования серверной части баз данных (сервлетов); разработка алгоритмов и программ обработки и представления

геопространственной информации на клиентской стороне (апплетов); дизайн клиентской части представления геопространственной информации.

2. Формирование первичной базы данных геопространственной информации с функциональными обязанностями:

- поиск и сбор первичной геопространственной информации, сканирование, ввод, векторизация, первичное редактирование, конвертирование в различные форматы данных и базы данных;
- разработка алгоритмов и программ первичной обработки (редактирования, поиска ошибок) геопространственной информации, структур баз данных, конвертирования.

3. Предобработка геопространственной информации с функциональными обязанностями:

- разработка специализированных абстрактных структур пространственных баз данных, разработка алгоритмов и программ формирования специализированных пространственных банков геопространственной информации, разработка алгоритмов и программ решения задач вычислительной геометрии, разработка алгоритмов и программ представления геопространственной информации в электронном виде, доступа, выборки, визуализации;
- формирование и поддержание в актуальном состоянии баз геопространственной информации на сервере ГНИНГИ МО РФ.

4. Разработка программных средств распределенных и параллельных вычислений на базе геопространственных данных сервера ГНИНГИ МО РФ с функциональными обязанностями:

- разработка абстрактной структуры, алгоритмов и программ распределенных и параллельных вычислений с любой геопространственной информацией; разработка программ-менеджеров, программ-вычислителей (worker) и программ-клиентов, обеспечивающих функционирование технологии распределенных и параллельных вычислений на базе пространственных баз данных;
- установка программного обеспечения и поддержание ее функционирования в актуальном состоянии на сервере ГНИНГИ МО РФ и сторонних пользователей ЕГСИМО.

Изложенное выше хотя и не охватывает всех деталей, необходимых для создания эффективного обеспечения военного контура ЕГСИМО качественной гидрометеорологической информацией, однако является необходимым условием создания такой системы.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Об утверждении Положения о единой государственной системе информации об обстановке в Мировом океане. Постановление правительства РФ от 29 декабря 2005 г. №836, Москва, 3 с.
2. Алексеев С. П. Морская доктрина России: информационная поддержка. // Морской Бизнес Северо-запада. – 2005. – Вып. 2. – С. 56.
3. Жуков Ю. Н., Катенин В. А., Опарин А. Б. Особенности обеспечения ВМФ геопространственной информацией на основе вычислительных электронных средств. // Оборонный заказ. – 2006. – Вып. 11, декабрь. С. 11–14.

**WAYS OF INCREASING THE EFFECTIVENESS OF THE MILITARY SUBSYSTEM OF THE UNIFIED STATE SYSTEM OF INFORMATION ON THE WORLD OCEAN STATE**

**Y. N. Zhukov,**

**A. B. Oparin**

(GNINGI, RF MoD)

*The problems of increasing the effectiveness of provision of the geospatial information for the Navy activities, using the automated system of distributed data processing, taking in to account the specific missions of the Navy are considered.*

ГРНТИ 37.25

**ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО НАВИГАЦИОННО-ГИДРОГРАФИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА – ЕДИНОГО ЦЕНТРА ДАННЫХ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**А. Б. ОПАРИН,**

**И. Т. БУРЕЙКО,**

**А. В. ВОРОБЬЕВ,**

**Я. Н. ГУБАРЕВИЧ,**

**А. Ю. УСТИМЕНКО**

(ГНИНГИ МО РФ)

*В статье сформулированы основные цели и задачи, для решения которых создается Единый центр данных океанографических и гидрографических исследований Мирового океана Минобороны России как функционального подразделения Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института МО РФ, описаны его структура, состав, технологии обработки информации, программное обеспечение и технические средства*

**Введение**

Основной целью военно-морской деятельности России в Мировом океане является комплексное решение проблемы обеспечения безопасности страны на морских направлениях и охраны ее морских границ [1].

Современные потребности органов государственного управления, военного, транспортного и промыслового флотов, промышленности России выдвигают требования модернизации системы обеспечения потребителей гидрографической и гидрометеорологической информацией на базе геоинформационных систем (ГИС) и телекоммуникационных технологий.

Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт (ГНИНГИ) является головной научно-исследовательской и производственной организацией Российской Федерации, осуществляющей реализацию государственной политики, организацию межведомственной координации и взаимодействия, специальные и контрольные функции, ответственной за обоснование и разработку технической и информационной политики в области навигации, гидрографии, морской картографии, морской геофизики, океанографического и гидрометеорологического обеспечения обороны и экономики страны.

В связи с этим в рамках второго этапа реализации подпрограммы «Военно-стратегические интересы России в Мировом океане» Федеральной целевой программы «Мировой океан» [2] на базе ГНИНГИ МО РФ было предусмотрено создание Единого центра данных океанографических и гидрографических исследований Мирового океана (ЕЦД).

### **1. Цели и задачи создания ЕЦД**

Основной целью создания и функционирования ЕЦД является обеспечение в режиме реального времени руководства страны и командования ВС РФ достоверной режимной океанографической и геофизической информацией для принятия научно-обоснованных политических, народно-хозяйственных и военно-технических решений на основании государственных банков состояния природной морской среды [3].

К числу наиболее важных задач, поставленных перед Центром, следует отнести:

- сбор, обработку, хранение, распространение и управление государственными информационными фондами по Мировому океану, включающими навигационные, геофизические, гидрографические, топогеодезические, картографические, океанографические, гидрометеорологические, аэрологические, геопространственные материалы и данные;
- обоснование и разработку государственной технической политики в области информационного обеспечения данными о морской природной среде деятельности Министерства обороны, других министерств и ведомств Российской Федерации в интересах обороны и экономики страны;
- развитие технологий интеграции и комплексного информационного обеспечения морской деятельности океанографической и гидрографической информацией, включая взаимодействие систем навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения

с единой государственной системой информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО), комплексными системами безопасности освоения полезных ископаемых на континентальном шельфе и другими информационными системами;

– обоснование и разработку методов и форм представления, обобщения и использования океанографической и гидрографической информации для обеспечения действий сил Военно-Морского Флота, применения оружия и использования технических средств, определение внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в интересах экономики страны;

– формирование и ведение ведомственного цифрового банка навигационно-гидрографических и геопространственных данных и участие в создании комплексной системы безопасности освоения ресурсов континентального шельфа РФ;

– разработку геоинформационных систем и геопространственных моделей процессов и явлений в морской природной среде для использования их в интересах обороны и экономики страны;

– обеспечение организаций и учреждений Российской Федерации, осуществляющих профильную деятельность по освоению ресурсов Мирового океана специализированной информационной продукцией комплексных систем безопасности функционирования морских объектов;

– оказание информационных и консультативных услуг;

– внедрение результатов научных исследований в производство;

– обоснование и разработку предложений по международному обмену данными в области навигации, гидрографии, морской картографии и океанографии; участие в разработке международных регламентов стандартов и требований в этих областях деятельности.

Данная деятельность осуществляется на основании имеющихся и непрерывно пополняющихся с 1804 г. банков и баз данных НИЦ ГНИНГИ МО РФ.

## **2. Краткая характеристика информационных ресурсов ЕЦД**

В настоящее время в ЕЦД разработаны и постоянно пополняются из различных источников базы данных (БД) океанографических и геофизических исследований Мирового океана. В качестве системы управления при создании БД используется система управления БД, основанная на Access (пакет управления БД). Перспективы развития банка океанографических данных изложены в работе [1].

БД содержат результаты экспедиционных исследований Мирового океана, выполненных ВМФ и другими мореведческими организациями России, а также данные, полученные в рамках международного обмена и совместных исследований по международным программам. По оценкам специалистов Всероссийского научно-исследовательского института

гидрометеорологической информации (ВНИИГМИ), который выполняет функции Национального центра океанографических данных (НЦОД) России, и куда собираются все данные океанографических исследований России, НИЦ ГНИНГИ располагает примерно 70% данных судовых океанографических исследований, имеющих в НЦОД России. При этом доля наблюдений собственно Гидрографической службы ВМФ в общем объеме российских данных составляет примерно 10-15%.

В состав информационных ресурсов НИЦ ГНИНГИ МО входят следующие компоненты [5]: архив объемом 12 тысяч отчетов; каталог со сведениями о 21 тысяче экспедиций; массивы и дисциплинарные БД Гидрографической службы ВМФ, а также массивы и БД, полученные от мореведческих организаций страны и в порядке международного обмена данными, в поквadratном и порейсовом виде; база метаданных Гидрографической службы ВМФ; климатические и специализированные информационно-справочные системы; БД наблюдений за уровнем моря, выполненных Гидрографической службой ВМФ в Баренцевом, Белом, Охотском, Беринговом и Японском морях; БД сейсмических зондирований со льда в Арктическом бассейне; программные модули подсистемы проблемно-ориентированных приложений.

Состав массивов и дисциплинарных данных ЕЦД: судовая метеорология и аэрология; глубоководные гидролого-гидрохимические наблюдения; батитермографные наблюдения и температурное зондирование; течения; волнение моря; гравиметрические и магнитометрические наблюдения; сейсмоакустическое зондирование с дрейфующего льда в Арктике.

На основе Банков океанографических и геофизических данных производится формирование и ведение специализированных БД: интегрированных океанографических данных по морям; порейсовых БТ-данных, гидролого-гидрохимических порейсовых данных, порейсовых наблюдений за течениями; метеорологических данных; метаданных; гравитационных и геомагнитных данных; сейсмических данных; батиметрических данных; грунтов и осадков; аэрофотосъемок прибрежных территорий; электронных навигационно-гидрографических описаний районов; аномальных явлений природного и нетрадиционного характера.

В настоящее время интенсивно выполняется работа по формированию порейсовых баз океанографических данных и по дополнительному занесению информации, имеющейся в архиве НИЦ. Сформированные в порейсовом виде данные проходят достаточно трудоемкие процедуры контроля качества, данные банка гарантированно совпадают с данными наблюдений. Практически закончена работа по переводу данных наблюдений за течениями из массивов в базу данных.

Сведения о течениях в Мировом океане представляют особый интерес ввиду их существенного влияния на многообразные виды морской деятельности.



Однако в связи с трудоемкостью инструментальных измерений течений их доля в общем объеме любого банка океанографических данных невелика.

БД по течениям сформирована на персональном компьютере в СУБД Access. Формирование базы шло с жесткого диска, на который были переписаны данные с магнитных лент в виде текстовых файлов в макете архивного хранения.

В настоящее время база данных содержит данные по 3049 станциям наблюдений за течениями, выполненными в период с 1951 по 1985 гг. Основное количество станций выполнено в северных частях океанов и в проливных зонах. В южных частях океанов и в западной части Тихого океана наблюдения единичны.

Общий объем накопленных в НИЦ данных, поступивших от судов Гидрографической службы ВМФ, составляет 1941 экспедиций за период с 1923 по 2001 г. В базе данных содержится 46600 станций за период с 1930 по 2000 гг.

База данных батитермографных наблюдений, созданная под управлением СУБД Access, содержит наблюдения 495 экспедиций за период с 1961 по 1998 гг. Общее количество станций в базе составляет 98500, из которых 85% выполнены судами ГС ВМФ и 15% – другими организациями. Почти 60% выполненных ВМФ наблюдений приходится на период май–сентябрь, с 1992 г. активность гидрологических исследований ВМФ уменьшилась более чем на порядок.

В последние годы до 25% увеличилась доля данных зарубежных океанографических наблюдений.

Следует учесть, что в массивы и БД занесено пока немногим больше половины имеющихся в архивах данных, поэтому потребуется еще несколько лет для занесения остальной информации.

Создание в составе ЕЦД современного программно-технического комплекса формирования цифрового банка данных о морской среде, включающего материалы отечественных и зарубежных съемок, позволит выполнять всеобъемлющий компьютерный анализ изученности и изменчивости гидрофизических и геофизических полей в целях решения различных задач ВМФ, даст возможность на основе реальных данных обосновывать предложения и методические рекомендации для учреждений кораблестроения и оборонной промышленности, повысит оперативность подготовки цифровых навигационных и специальных карт, электронных атласов, информационно-справочных систем, сделает более качественной разработку и доведение до потребителей электронных версий морских руководств (лоций), гидрометеорологических и справочных пособий.

В настоящее время подготовлены основные программы, позволяющие обеспечить как военных, так и гражданских потребителей геопространственной информацией по морям и по суше. Исходя из технических возможностей существующих видов вооружения ВМФ, для решения задач материального обеспечения флота эти программы могут быть

реализованы только с применением современных технологий на обновленной технической базе.

Визуализация геопространственной картографической информации аккумулирует как информацию, содержащуюся в Банках океанографических и геофизических данных, так и получаемую от других ведомств, например, спутниковую информацию. Это позволяет представить на гидрометеорологической электронной карте одновременно или послойно следующие виды информации: гидрологическую; о течениях; о ледовой обстановке; о приливах; о внутренних волнах; о волнении; об уклонах суши и дна для минных постановок и др.; о грунтах на суше и море; об уровне моря; метеорологическую; о растительности на суше; измерений сейсмики, магнитного поля Земли, гравитационного поля, отклонения отвесной линии; о мостах, переправах в прибрежной зоне; о безопасном плавании судов в прибрежной зоне.

Разработанные и поддерживаемые варианты электронных лоций по восьми морям России занимают объем 5740,2 Мбайт, ежегодное увеличение объема составляет около 2 Гбайт.

Исторический банк океанографических данных в настоящий момент содержит 7,2 Гбайта информации, ежедневное пополнение – 5-10 Мбайт.

Банк является национальным достоянием России.

Создается банк сейсмической информации. В настоящее время его объем составляет 2 Гбайта. Имеющаяся техника не позволяет его расширить. Поступающая информация находится в складированном виде на картриджах типа 3590 емкостью 10 Гбайт. Сейсмическая съемка одного 1-градусного квадрата содержит 140 Гбайт информации. Экономическая зона России содержит порядка 900 одноградусных квадратов. Сейсмический банк данных может иметь размеры –  $900 \times 140 = 126000$  Гбайт ~ 126 Тбайт.

Важнейшее место в архивных фондах геофизического Банка данных ВМФ занимают единственные в мире первичные материалы систематических исследований Арктического бассейна, которые составляют более 70% всех отечественных материалов исследований данного региона [6].

В ходе исследований Арктического бассейна получены уникальные по своему содержанию и объему первичные материалы, включающие данные съемки рельефа и грунта дна; морской магнитной съемки; морской гравиметрической съемки; сейсмических наблюдений; океанографических наблюдений (характеристика ледяного покрова, температура и соленость морской воды, параметры течения, волнения и т. д.); метеорологических наблюдений. Проведено более 200 съемок гравитационного поля Земли (ГПЗ) с различной точностью и подробностью, из них около 50 съемок в центральной части, остальные – в морях Северного Ледовитого океана. Всего получено более 0,5 млн. точечных значений ГПЗ. Акватории Белого, Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морей к настоящему времени практически полностью исследованы. Этот уникальный

объем информации (ни у одной страны мира подобного банка данных по Северному Ледовитому океану нет), который позволяет обеспечить безопасное плавание подводных аппаратов и выявить возможные места полезных ископаемых, используется в минимальных объемах из-за отсутствия необходимых вычислительных мощностей.

### **3. Технологии, технические средства и программное обеспечение ЕЦД**

Для обеспечения формирования и работы с БД объемами десятки терабайт в ЕЦД предусмотрено использование современных технологий управления БД. В качестве операционной системы (ОС) выбран «Соларис» [7] (вариант ОС UNIX) с полным набором программных продуктов для разработки и поддержки работы с геоинформационными системами – системами для управления геопространственной информацией, ее анализа и отображения.

Система представляет собой высокопроизводительный кластер (система, состоящая из нескольких серверов), работающая под управлением ОС «Соларис»:

- рабочие места представляют собой графические консоли с диагональю 17 или 21 дюйм, подключенные к кластеру;
- консоли не содержат памяти, для выполняемых приложений и жестких дисков для хранения информации, что исключает неавторизованное копирование информации;
- консоли содержат систему авторизации пользователя с помощью Смарт-карт и являются деперсонированными средствами доступа к данным и приложениям, что означает, что любой авторизованный пользователь может работать с любого рабочего места;
- вся информация хранится на высокозащищенном сервере с разграничением доступа в соответствии с технологией UNIX;
- вариантов неавторизованного доступа не существует;
- система требует единственной копии программного обеспечения, установленной на сервере, которой могут пользоваться все пользователи, независимо от их количества;
- система обеспечивает высокую защиту от потери данных, в том числе за счет централизованной, периодической архивации;
- система поддерживает работу Windows приложений в качестве временной меры в переходный период.

В 2005–2006 гг. в рамках реализации проекта было поставлено оборудование для создания абонентского пункта сетей военного назначения, абонентского пункта сетей открытого доступа, локальной вычислительной сети и частично ПО. Современные ЭВМ пятого поколения, лицензионное ПО позволяют решать задачи по обеспечению информацией потребителей ВМФ и гражданских пользователей на новом качественном уровне, который будет

соответствовать самым высоким мировым стандартам. Для ввода в строй ЕЦД дооборудование вычислительной сети Центра дополнительной памятью, как оперативной, так и внешней, дополнительными процессорами и внешними устройствами.

Оборудование и ПО ЕЦД обеспечивает следующее: полное исключение возможности хранения информации на клиентском устройстве; отсутствие конфигурируемых компонентов на клиентском устройстве; строгую авторизацию с помощью Смарт-карт; централизованное управление набором исполняемых команд; централизованное и единовременное планирование конфигурации системы; работу с Windows-приложениями; централизованный контроль подключения внешних устройств.

На рисунке показано автоматизированное рабочее место пользователей.



АРМ пользователей Единого центра данных

### **Выводы**

1. Создание ЕЦД, оборудование его современными электронными вычислительными средствами и сертифицированным программным обеспечением, позволяет выйти на мировой уровень соответствующих заграничных центров развитых стран в области формирования и использования БД океанографических и гидрографических исследований Мирового океана.

2. Использование в ЕЦД современных геоинформационных технологий позволит существенно повысить оперативность и качество обеспечения руководства страны, командование ВС ВФ и других потребителей достоверной режимной океанографической и географической информацией для принятия научно-обоснованных политических, народо-хозяйственных и военно-технических решений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Морская доктрина РФ на период до 2020 г. // Красная звезда от 23.08.2001.
2. Система программных мероприятий подпрограммы «Военно-стратегические интересы России в Мировом океане» на II этапе реализации (2003–2007 гг.), утверждена Министром обороны Российской Федерации 31 июля 2002 г.
3. Алексеев С. П., Опарин А. Б. Роль ВМФ в создании единой системы информационного обеспечения морской деятельности // Навигация и гидрография. – 2004. – №19. – С. 9–17.
4. Опарин А. Б., Устименко А. Ю. Перспективы развития банка океанографических данных ВМФ. – Навигация и гидрография. – 2006. – №23. – С. 136–147.
5. Отчет о НИР. Проект 2.1.1.7. (книга 2). – СПб: ГНИНГИ, 2004. – 45 с.
6. Комарицын А. А. Определение внешней границы континентального шельфа Российской Федерации в Арктике – актуальное направление обеспечения морской деятельности государства. / Сборник докладов 4-ой Российской научно-технической конференции «Современное состояние, проблемы навигации и океанографии» («НО-2001»), том 1. – СПб: ГНИНГИ, 2001. – С. 9–13.
7. Торчинский Ф. И. Операционная система Solaris: Учебное пособие / Ф. И. Торчинский. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий, 2006. – 472 с.

#### TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL SUPPORT FOR OPERATION OF THE STATE RESEARCH NAVIGATION HYDROGRAPHIC INSTITUTE – THE UNIFIED CENTRE OF DATA FOR THE OCEANOGRAPHIC AND HYDROGRAPHIC EXPLORATIONS OF THE WORLD OCEAN, MINISTRY OF DEFENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

**A. B. Oparin,**  
**I. T. Bureyko,**  
**A. V. Vorobyev,**  
**Ya. N. Gubarevich,**  
**A. Y. Ustimenko**  
 (GNINGI, RF MoD)

*In order to fulfil the main objectives and tasks formulated in this article, the Unified Centre of Data for the Oceanographic and Hydrographic Explorations of the World Ocean of the Russian Federation Ministry of Defence as a functional unit of the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD, is being established. The structure, composition, technology for processing the information, software and technical facilities of the Centre are described.*

**ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ СЛУЧАЙНЫХ ВЫБРОСОВ К ИССЛЕДОВАНИЮ  
ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ОКЕАНЕ**

**О. А. ГАСНИКОВ**  
(ГНИНГИ МО РФ)

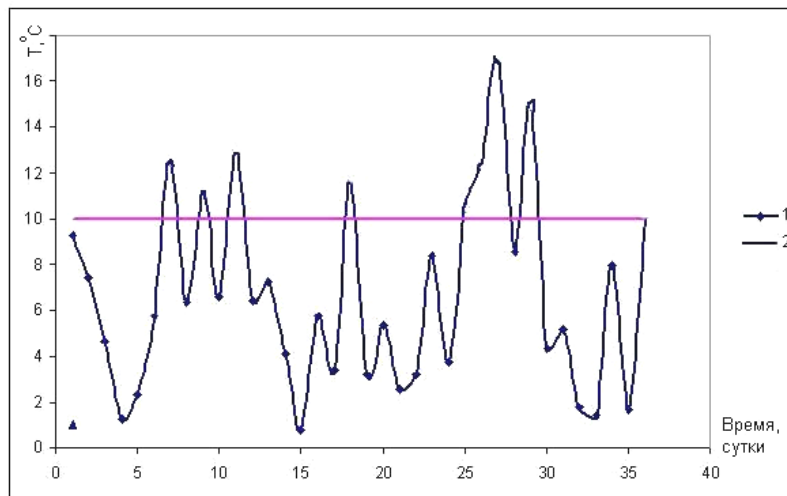
*Показана возможность применения аппарата теории случайных выбросов к исследованию волнового режима в океанах и морях. Изложена методика расчета характеристик волнового процесса, приведены результаты расчетов для центральной части Норвежского моря. Сделан вывод о возможности использования характеристик случайных выбросов, полученных с использованием изложенного метода, при составлении специализированных пособий.*

Одной из важнейших характеристик природной среды, определяющих деятельность человека на море, является ветровое волнение. Параметры волнения зависят от условий волнообразования, которые, в свою очередь, подвержены изменчивости вследствие объективных изменений, происходящих в атмосфере.

Регистр судоходства, Управление навигации и океанографии, организации Росгидромета регулярно выполняют работы по сбору статистических данных и выпуску справочных материалов, характеризующих параметры волнения в различных районах Мирового океана. К сожалению, эти материалы, представленные в традиционном виде, не всегда отвечают требованиям потребителей. Освоение шельфа океанов и морей, поступление на вооружение высокоточного оружия выдвинуло многочисленные дополнительные требования к составу, полноте и достоверности сведений о волновом климате Мирового океана. Причем зачастую эти сведения требуются для локальных участков, не обеспеченных натурными наблюдениями. Современные методы анализа ветрового режима используют для расчетов гидродинамические модели (WAM Cycle-4, WAVEWATCH-III, AARI и др.) [1, 2, 3]. В этих моделях по заданному полю ветра или атмосферного давления рассчитываются частотно-направленные спектры, а по ним – высоты и периоды волн в узлах сеточной области. Это дает возможность получения непрерывных рядов наблюдений практически для любой акватории, что позволяет привлекать для исследования волнения новые или ранее используемые в других областях методы анализа. К таким методам можно отнести теорию случайных выбросов.

В ряде работ [4, 5, 6] рассматривался вопрос применения некоторых аспектов теории случайных выбросов при исследовании гидрометеорологических рядов. Наиболее полное обобщение теории случайных выбросов представлено в монографии [7], а применительно к гидрологии – в работе [5].

Под выбросом понимается выход последовательности значений за некоторый заданный уровень (рис. 1).



**Рис. 1. Изменение значения температуры воздуха во времени:  
1 – выброс «вниз» (<10); 2 – выброс «вверх» (>10)**

В гидрологии принято в основном ограничиваться только определением вероятности такого выхода как характеристики выброса (функция обеспеченности).

Теория случайных выбросов позволяет наряду с вероятностью превышения данного уровня получить более подробные характеристики исследуемого процесса, такие как длительность выбросов и их распределение, среднее число выбросов за некоторый промежуток времени, интервал времени между последовательными выбросами. Можно рассматривать выбросы как «вверх», так и «вниз». Определение характеристик в обоих случаях идентично. При общем подходе к решению данной задачи последовательность может иметь не только временной, но и пространственный характер. Следует иметь в виду, и это особенно ценно, что теория случайных выбросов рассматривает не отдельные события последовательности, а определенную совокупность событий и позволяет анализировать внутреннюю структуру явления.

Для того, чтобы произошел выброс случайной величины  $X(t)$  за некоторый уровень  $x_1$  необходимо, чтобы в некоторый момент времени  $t$  случайная величина удовлетворяла двум требованиям:

- $X(t)$  должна находиться в непосредственной близости от значения  $x_1$  (под ним на расстоянии  $\Delta x$ )
- необходимо существование тенденции к увеличению значения ординаты, т.е. первая производная функции случайного процесса должна быть больше нуля ( $\dot{X}(t) > 0$ ):

$$\begin{cases} x_1 - \Delta x \leq X(t) < x_1 \\ \dot{X}(t) > 0 \end{cases} \quad (1)$$

Вероятность выполнения этого условия можно выразить следующим образом:

$$P[x_1 - \Delta x \leq X(t) < x_1, \dot{X}(t) > 0] = \int_0^\infty \int_{x_1 - \Delta x}^{x_1} P_2(x, V_x) dx dV_x, \quad (2)$$

где  $P_2$  – двумерный закон распределения ординат процесса  $x$  и скорости ее изменения  $V_x$ .

При достаточно малом интервале  $\Delta t$  можно написать:

$$\Delta x \approx V_x \times \Delta t. \quad (3)$$

Применяя теорему о среднем ко второму интегралу, имеем:

$$\begin{aligned} \int_0^\infty \int_{x_1 - \Delta x}^{x_1} P_2(x, V_x) dx dV_x &= \int_0^\infty [x_1 - (x_1 - (x_1 - \Delta x))] \times P_2(x^*, V_x) dV_x = \\ &= \int_0^\infty \Delta x \times P_2(x^*, V_x) \times V_x \times \Delta t dV_x, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $x_1 - V_x \times \Delta t < x^* < x_1$ .

Так как  $\Delta t$  мало, то  $x^*$  лишь незначительно отличается от  $x_1$ , и можно окончательно написать:

$$P[x_1 - \Delta x \leq X(t) < x_1, \dot{X}(t) > 0] = \Delta t \times \int_0^\infty V_x \times P_2(x_1, V_x) dV_x \quad (5)$$

Величину  $\int_0^\infty V_x \times P_2(x_1, V_x) dV_x$  можно трактовать как среднюю скорость изменения ординат процесса при его значении, равном  $x_1$ . Тогда среднее число выбросов на отрезке времени  $T$  можно определить как:

$$\overline{n}_{x_1} = \int_0^T dt \int_0^\infty V_x \times P_2(x_1, V_x) dV_x = T \times \int_0^\infty V_x \times P_2(x_1, V_x) dV_x. \quad (6)$$

Тогда

$$\overline{v}_{x_1} = \frac{\overline{n}_{x_1}}{T} = \int_0^\infty V_x \times P_2(x_1, V_x) dV_x \quad (7)$$



представляет собой среднюю частоту появления выбросов или среднее число выбросов в единицу времени.

Очевидно, что средняя продолжительность отдельного выброса может быть выражена через отношение

$$\overline{\theta}_{x_1} = \frac{\overline{T}_{x_1}}{n_{x_1}}, \quad (8)$$

где  $\overline{T}_{x_1}$  – средняя суммарная продолжительность выбросов на отрезке времени  $T$ , которая определяется по формуле:

$$\overline{T}_{x_1} = T \times P(X(t) > x_1) = T \times [1 - F(x_1)], \quad (9)$$

где  $F(x)$  – функция распределения исходного процесса  $X(t)$ .

Таким образом, выражение (8) можно записать в виде:

$$\Theta = \frac{1 - F(x_1)}{\int_0^\infty V_x \times P_2(x_1, V_x) dV_x} = \frac{1 - F(x_1)}{\nu_{x_1}}. \quad (10)$$

Используя выражение (9), можно найти суммарную продолжительность интервалов времени  $T_{ин}$  между выбросами:

$$T_{ин} = T \times F(x_1). \quad (11)$$

Принимая во внимание, что среднее число интервалов на отрезке времени  $T$  равно среднему числу выбросов, средняя продолжительность одного интервала  $\omega_{x_1}$  находится по формуле

$$\omega_{x_1} = \frac{T \times F(x_1)}{n_{x_1}} = \frac{F(x_1)}{\nu_{x_1}}, \quad (12)$$

или иначе:

$$\omega_{x_1} = \Theta_{x_1} \times \frac{F(x_1)}{1 - F(x_1)}. \quad (13)$$

Однако в большинстве случаев наблюдения за гидрометеорологическими элементами приводятся в виде значений в дискретные моменты времени. Такие ряды наблюдений можно рассматривать как случайные последовательности. В этом случае для осуществления выброса последовательности за уровень необходимо в момент выброса выполнение условия:

$$\begin{cases} X_i \leq X_1 \\ X_{i+1} > X_1 \end{cases} \quad (14)$$

Тогда вероятность выброса можно определить следующим образом [4]:

$$P = [X_i \leq X_1, X_{i+1} > X_1] = \int_{-\infty}^{X_1} \int_{X_1}^{\infty} P_2(X_i, X_{i+1}) dX_i dX_{i+1} = v_{X_1} \quad (15)$$

где  $P_2(X_i, X_{i+1})$  – двумерная плотность распределения ординат случайной последовательности.

Выражение для определения вероятностных характеристик непрерывных процессов справедливы и для случайных последовательностей.

Так как двумерная плотность распределения исследуемого процесса зачастую неизвестна, вычисление интеграла (15) в большинстве случаев осуществимо только численно и требует значительного объема исходной информации.

Для эмпирических расчетов вероятностных характеристик можно преобразовать выражение (15):

$$\begin{aligned} P[X_i \leq X_1; X_{i+1} > X_1] &= P[X_i > -\infty; X_{i+1} > X_1] - P[X_i > X_1; X_{i+1} > X_1] = \\ &= P[X_{i+1} > X_1] - P[X_i > X_1; X_{i+1} > X_1] = v_{X_1}. \end{aligned} \quad (16)$$

Подставляя это выражение в формулы (7), (10), (12), имеем:

$$n_{X_1} = T[P\{X_i > X_1\} - P\{X_i > X_1; X_{i+1} > X_1\}], \quad (17)$$

$$\Theta_{X_1} = \frac{P\{X_i > X_1\}}{P\{X_i > X_1\} - P\{X_i > X_1; X_{i+1} > X_1\}}, \quad (18)$$

$$\omega_{X_1} = \frac{1 - P\{X_i > X_1\}}{P\{X_i > X_1\} - P\{X_i > X_1; X_{i+1} > X_1\}}. \quad (19)$$

Эмпирический путь расчета может быть применим для уровней, лежащих в пределах наблюдаемых значений. В отличие от эмпирического подхода, использование аппарата теории случайных выбросов дает возможность получить расчетным путем характеристики выбросов для любых интересующих нас уровней. При этом надежность расчетных характеристик значительно выше, чем эмпирических, так как при их определении более полно учитывается весь объем имеющейся информации.

Для проведения расчетов в общем случае необходимо иметь:

1. функцию распределения исходного процесса;
2. двумерную плотность распределения ординаты  $P_2(X_i, X_{i+1})$ .

Для «нормальной» случайной последовательности плотность распределения определена и может быть представлена в следующем виде [4, 8]:

$$P_2(X_i, X_{i+1}) = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left(-\frac{t_i^2 + t_{i+1}^2 - 2\rho t_i t_{i+1}}{2(1-\rho^2)}\right) dt_i dt_{i+1}, \quad (20)$$

где  $t = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}$  – нормированная величина последовательности,

$\bar{X}$  – среднее значение,

$\sigma$  – среднеквадратичное отклонение,

$\rho$  – коэффициент корреляции между смежными последовательностями.

Так как значения ординат гидрометеорологических рядов не всегда удовлетворяют нормальному распределению, то при использовании формулы (20) предварительно можно нормализовать исходный ряд наблюдений. Приемы построения функции  $Y(t)$  от случайной величины  $X(t)$ , которая имела бы заданное распределение вероятностей, в данном случае нормальное, подробно освещается в [9]. Такая нормализация не изменяет характеристик выбросов исходного процесса, но делает его распределение близким к нормальному [5].

Реальное ветровое волнение является нестационарным и неоднородным вероятностным процессом. Однако при анализе волнения часто используется предположение о стационарности волнового процесса в пределах определенного промежутка времени. Допустимость этого положения для многих прикладных задач неоднократно подтверждена экспериментальными данными [10, 11].

Многолетние (режимные) свойства волнения обычно описывают через функцию распределения моментных или порядковых статистик, каждая из которых характеризует волнение на промежутке квазистационарности волнового процесса.

Анализ многолетних эмпирических распределений элементов волн на морях и океанах позволил заключить, что высота волнения в значительном диапазоне ее изменения распределена по логарифмическому нормальному закону [12, 13].

$$F(x) = \frac{s}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left[-\frac{1}{2} \ln^2(x)^s\right] dx, \quad (21)$$

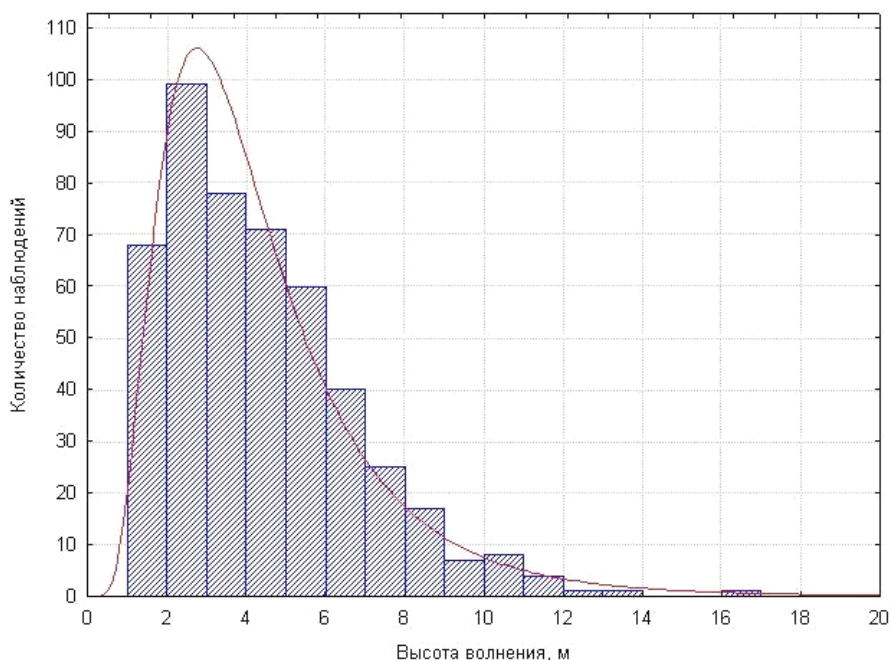
где  $x = \frac{h}{h_{0,5}}$  – нормализованная на значение медианы высота волнения,

$s = \frac{1}{\sigma}$  – параметр формы, равный обратной величине дисперсии

логарифмов высот волн.

Для проведения тестовых расчетов был использован ряд значений высот волн, полученный автором для центральной части Норвежского моря. Для генерации этого ряда использовалась математическая модель ветрового волнения в пространственно-неоднородном океане, разработанная в Арктическом и Антарктическом научно-исследовательском институте и адаптированная авторами модели для данного региона [14]. Вычисления проводились для трех сезонов – зима, лето, осень.

Предварительный анализ исходных данных на предмет принадлежности их к логнормальному закону распределения показал допустимость использования его для аппроксимации эмпирических распределений высот волн (рис. 2).



**Рис. 2. Эмпирическая и теоретическая функции распределения высот волн в центральной части Норвежского моря (зима)**

По исходному ряду с использованием формул (17)–(19) были рассчитаны обобщенные характеристики выбросов для различных высот волн. Затем была произведена аппроксимация эмпирических распределений логнормальной функцией (21) и рассчитана двумерная плотность распределения высот волн по формуле (20). С учетом формул (15) и (20) частота выбросов может быть оценена по формуле:

$$v_{x_1} = \frac{1}{2\pi\sqrt{1-\rho^2}} \int_x^{x_1} \int_{x_1}^{\infty} \exp\left(-\frac{x_i^2 + x_{i+1}^2 - 2\rho x_i x_{i+1}}{2(1-\rho^2)}\right) dx_i dx_{i+1} . \quad (22)$$

На рис. 3–5 представлены результаты вычисления вероятности выбросов двумя способами – эмпирическим и теоретическим.

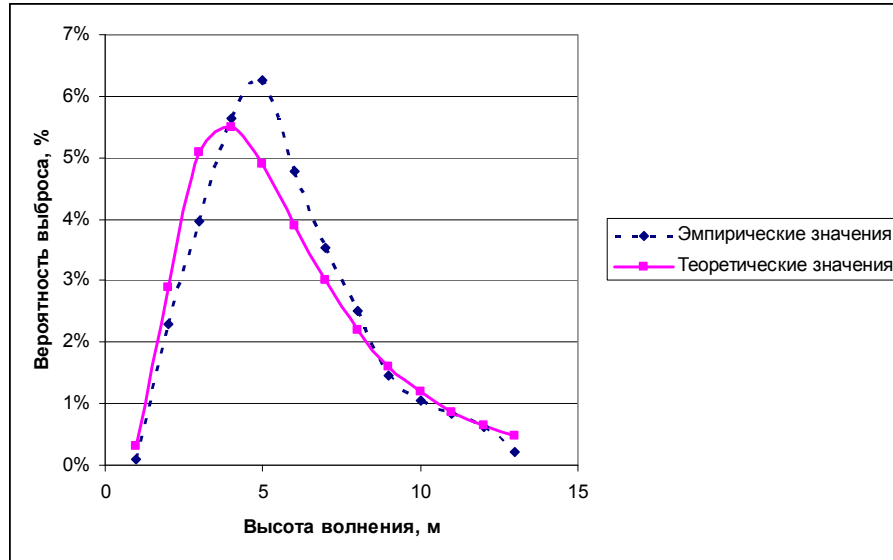


Рис. 3. Зависимость вероятности (частоты) выбросов от высоты волнения в центральной части Норвежского моря (зима)

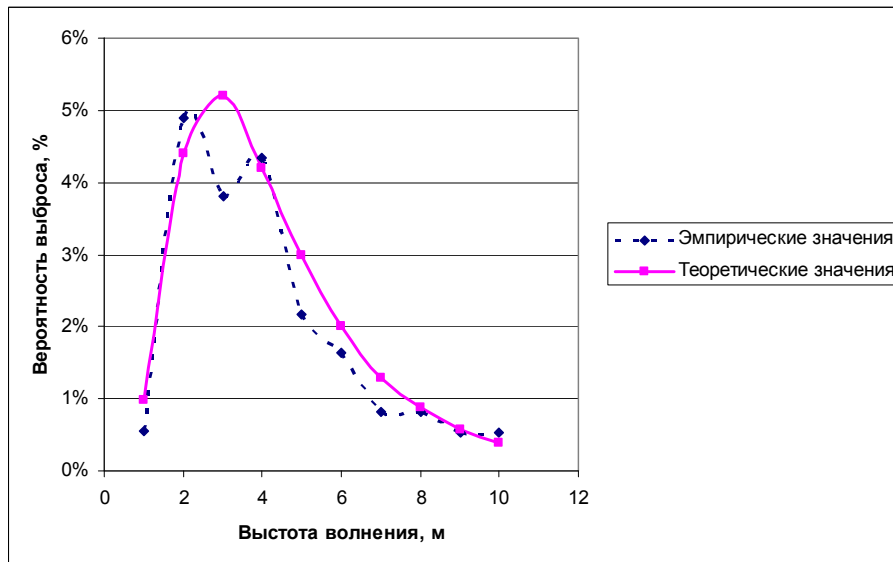


Рис. 4. Зависимость вероятности (частоты) выбросов от высоты волнения в центральной части Норвежского моря (лето)

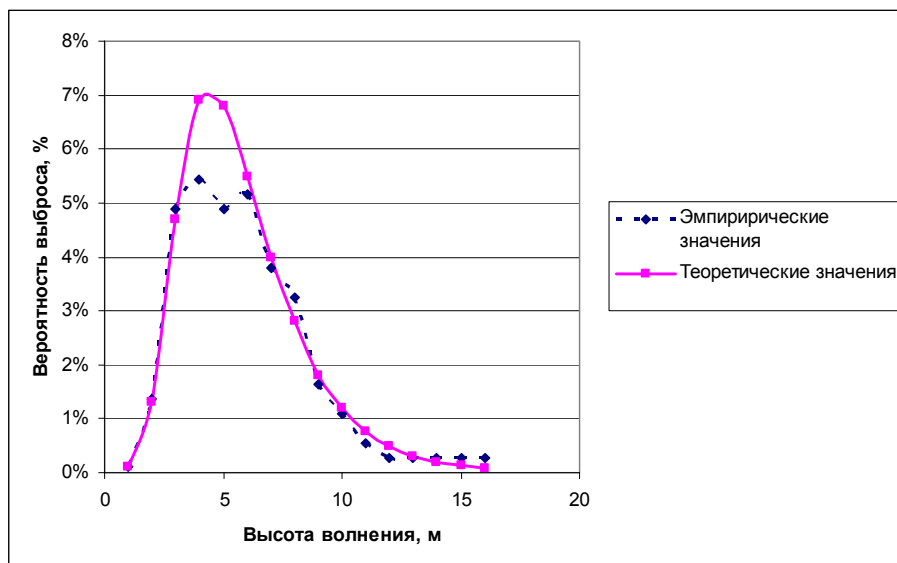


Рис. 5. Зависимость вероятности (частоты) выбросов от высоты волнения в центральной части Норвежского моря (осень)

На рис. 6–8 приведены графики сравнения средней продолжительности выбросов ( $Q$ ) и средней длительности между ними.

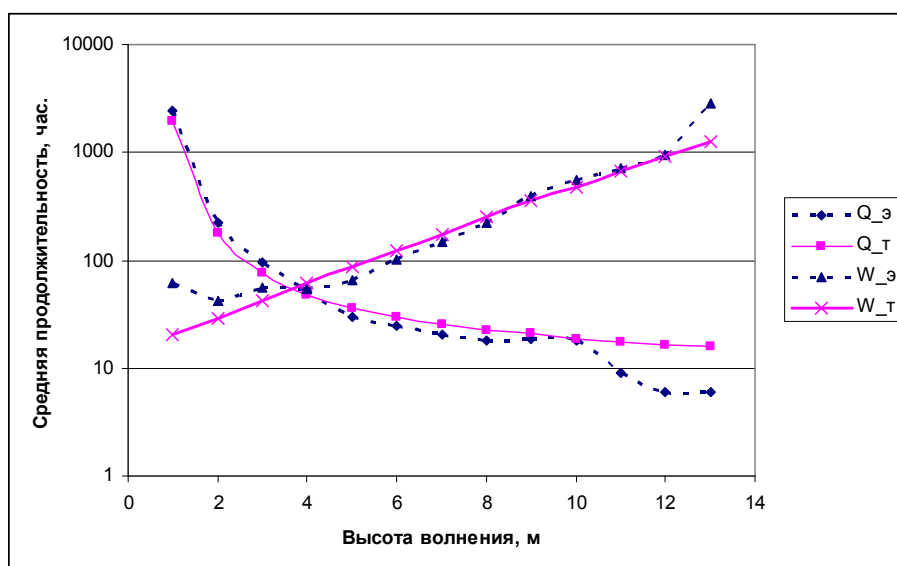


Рис. 6. Зависимость средних характеристик выбросов от высоты волнения в центральной части Норвежского моря (зима)

- $Q_{э}$  – среднее значение продолжительности одного выброса (эмпирические данные);
- $Q_{т}$  – среднее значение продолжительности одного выброса (теоретические данные);
- $W_{э}$  – средняя продолжительность интервала между выбросами (эмпирические данные);
- $W_{т}$  – средняя продолжительность интервала между выбросами (теоретические данные).

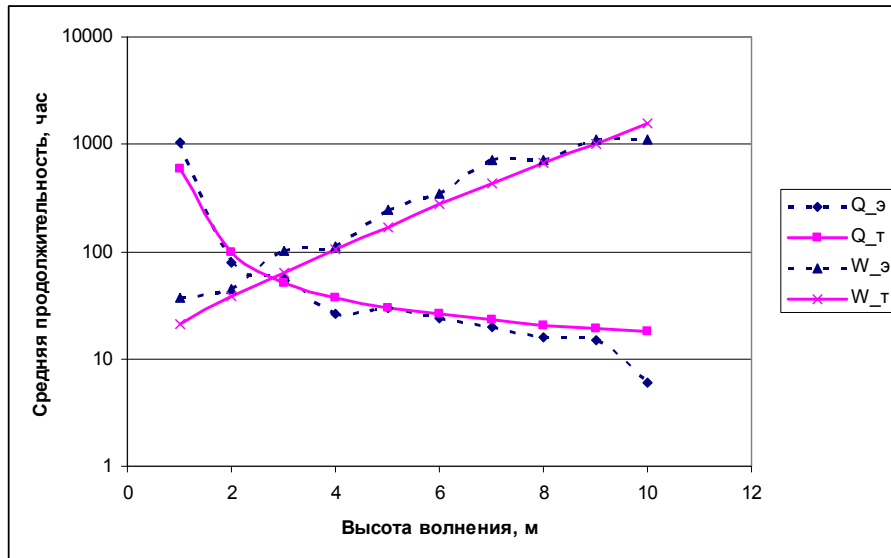


Рис. 7. Зависимость средних характеристик выбросов от высоты волнения в центральной части Норвежского моря (лето)

Q\_э – среднее значение продолжительности одного выброса (эмпирические данные);  
 Q\_т – среднее значение продолжительности одного выброса (теоретические данные);  
 W\_э – средняя продолжительность интервала между выбросами (эмпирические данные);  
 W\_т – средняя продолжительность интервала между выбросами (теоретические данные).

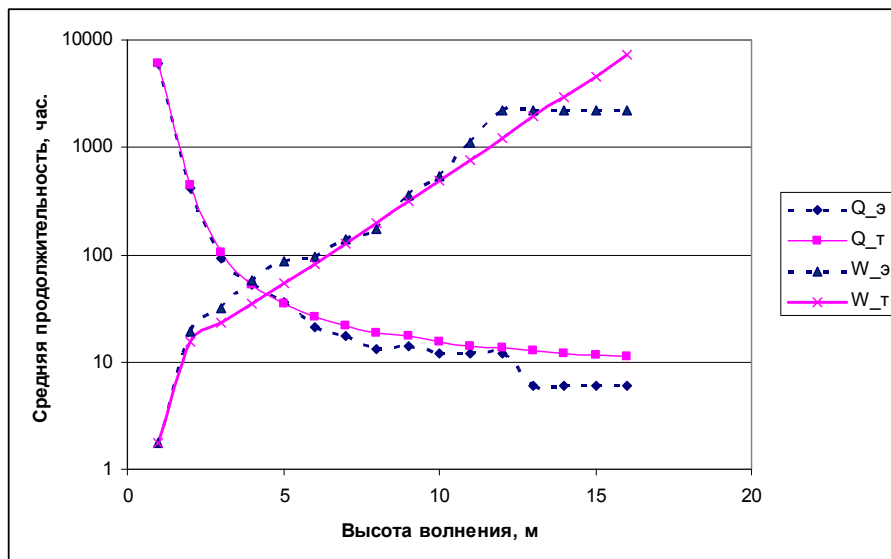


Рис. 8. Зависимость средних характеристик выбросов от высоты волнения в центральной части Норвежского моря (осень)

Q\_э – среднее значение продолжительности одного выброса (эмпирические данные);  
 Q\_т – среднее значение продолжительности одного выброса (теоретические данные);  
 W\_э – средняя продолжительность интервала между выбросами (эмпирические данные);  
 W\_т – средняя продолжительность интервала между выбросами (теоретические данные).

Результаты вычислений не выявляют значительных расхождений между эмпирическими и модельными данными. Некоторые несовпадения наблюдаются для высот малой обеспеченности так как достаточно трудно зафиксировать редко встречающиеся события.

Характеристики выбросов несут большую информацию о процессе, чем набор стандартных характеристик, и могут выполнять определенную прогностическую функцию. Так, например, пусть высота волнения в зимний период достигла 5 м. По графику вероятности выброса (рис. 3) можно оценить величину количества выбросов за данный уровень за сезон. Средняя продолжительность выброса будет оценена в 36 часов, период до следующего превышения – в 87 часов (рис. 6).

### **Вывод**

Современные гидродинамические модели расчета ветрового волнения позволяют получать непрерывные ряды наблюдений над высотами волн практически для любой акватории. Это дает возможность привлекать для анализа волнового процесса новые методы и, в частности, теорию случайных выбросов. Тестовые расчеты по акватории Норвежского моря не выявили серьезных расхождений между статистическими оценками, полученными по эмпирическим и модельным данным. Было показано, что статистические характеристики выбросов несут значительную информацию о природе исследуемого процесса, что позволяет рекомендовать их к использованию при составлении традиционных пособий и электронных информационно-справочных систем.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Komen G. J., Cavaleri L., Donelan M., Hasselmann K., Hasselmann S., Janssen P. A. E. M. Dynamics and Modelling of Ocean Waves. – Cambridge: University Press, 1994. – 532 p.
2. Проблемы исследования и математического моделирования ветрового волнения (под. ред. Давидана И. Н.) – СПб.: Гидрометеоздат, 1995. – 465с
3. Лопатухин Л., Кутейников М. Учет регистром режимов волнения // Морской флот. – 2006. – №3. – С. 66–69.
4. Зубакин Г. К., Зуев А. Н., Калганов А. Г., Кочин Б. К исследованию океанографических рядов при помощи теории случайных выбросов // Тр. ВНИИГМИ-МЦД. – 1980. – Вып. 64. – С. 101–107.
5. Румянцев В. А. Применение теории случайных выбросов к исследованию временных гидрометеорологических рядов // Тр. ГГИ. – 1973. – Вып. 211. – С. 192–222.
6. Хваленский Ю. А. Вероятностный прогноз времени сохранения знака аномалии температуры воздуха // Метеорология и гидрология. – 1969. – №2. – С. 59–64.
7. Тихонов В. И. Выбросы случайных процессов. – М.:Наука, 1970. – 391с.
8. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятности и ее инженерные приложения. – М. Высшая школа, 2007. – 496 с.
9. Алексеев Г. А. Объективные методы выравнивания и нормализации корреляционных связей. – Л. Гидрометеоздат, 1971. – 363с.
10. Давидан И. Н. Применение вероятностных методов для анализа режима волнения на примере северной части Атлантического океана // Тр. ГОИН. – 1967. – Вып. 91. – С. 70–96.
11. Давидан И. Н., Рожков В. А., Андреев Б. М., Лопатухин Л. И., Трапезников Ю. А. Вероятностные характеристики волнения, методы их анализа и расчета // Тр. ГОИН. – 1971. – Вып. 97. – С. 70–96.



12. Давидан И. Н., Лопатухин Л. И. Закономерности распределения ветра и волн в океанах и морях // Тр. ГОИН. – 1974. – Вып. 122. – С. 108–123.
13. Давидан И. Н., Лопатухин Л. И., Рожков В. А. Ветровые волны как вероятностный гидродинамический процесс. – Л. Гидрометеоздат, 1978. – 297 с.
14. Лавренов И. В. Математическое моделирование ветрового волнения в пространственно-неоднородном океане. – СПб, 1998. – 500с.

**EMPLOYMENT OF RANDOM PROCESSES EMISSION THEORY TO EXPLORATION OF WAVE PROCESSES IN THE OCEAN**

**O. A. Gasnikov**  
(GNINGI, RF MoD)

*The possibility to use the apparatus of random processes emissions theory in the exploration of the wave regime of the oceans and seas is shown. The methods of calculation of the wave process characteristics are described; the results of calculation for the central part of the Norwegian Sea are presented. The conclusion is drawn about the possibility to use the method set forth here when compiling the special-purpose aids and textbooks.*

---

## СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

---

ГРНТИ 38.61

**КО ВСЕМИРНОМУ ДНЮ ГИДРОГРАФИИ:  
МЕЖДУНАРОДНАЯ ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ И УЧАСТИЕ В ЕЕ  
РАБОТЕ РОССИЙСКОЙ ГИДРОГРАФИИ**

**И. М. МИРОШНИКОВ,  
Ю. О. ПЕТРОВА**  
(280 ЦКП ВМФ)

*Рассмотрены этапы создания и совершенствования Международной гидрографической организации, ее структура, результаты работы за прошедшие годы и участие в ее деятельности Главного управления навигации и океанографии Минобороны РФ.*

### **Введение. О Всемирном дне гидрографии**

Организация Объединенных Наций в Резолюции Генеральной Ассамблеи ООН A/Res/60/30 от 29 ноября 2005 года «...приветствует установленный Международной гидрографической организацией «Всемирный день гидрографии», который будет ежегодно отмечаться 21 июня с тем, чтобы подходящим образом освещать работу этой организации на всех уровнях и расширять охват гидрографической информации на глобальной основе, и настоятельно призывает все государства работать с этой организацией над содействием безопасной навигации, особенно в акваториях международного судоходства, портах и там, где имеются уязвимые или охраняемые морские районы; защиты и сохранения морской среды» [1]. Руководящий комитет Международного гидрографического бюро (МГБ) предложил тему для празднования Всемирного дня гидрографии (ВДГ) 2007 года – «Электронные навигационные карты (ЭНК) – важнейшая составляющая безопасности на море и эффективности морских операций».

Для празднования ВДГ Международное гидрографическое бюро (МГБ) организовало:

- специальную страницу на сайте Международной гидрографической организации (МГО), на которую выложены документы и другие материалы для проведения празднования;
- пресс-релиз, посвященный данному событию, – для использования в Монако и в государствах-членах МГО;
- пресс-конференцию и интервью на местном телевидении, направленные на освещение важности ВДГ и разъяснение вопроса о том, каким образом

гидрография служит укреплению безопасности на море и защите морской среды;

– прием, на который приглашены Е. В. Князь Монако Альберт II, члены правительства и другие официальные лица Монако, (В Княжестве Монако находится Международное гидрографическое бюро – штаб-квартира Международной гидрографической организации), а также представители дипломатических миссий, других организаций, местной морской промышленности.

ВДГ – это удобная возможность для того, чтобы обратить внимание правительств, морских администраций, морской промышленности и широкой общественности на значение Международной гидрографической организации и работы гидрографических служб ее государств-членов для безопасности мореплавания, защиты морской среды и устойчивого развития.

### **1. История создания Международной гидрографической организации (МГО)**

Основными мероприятиями, способствовавшими созданию МГО, явились проводившиеся в Санкт-Петербурге XI Международный Судоходный Конгресс (1908 г.) и Международная Морская Конференция (1912 г.), организованная Главным Гидрографическим управлением России. В повестку дня Конгресса по предложению российского Морского министерства были включены вопросы, относящиеся к обеспечению безопасности мореплавания, а тематика Конференции была полностью посвящена этой проблеме. На Конференции единогласно было принято одно из предложений российской стороны: *«Желательно, чтобы Конференция по безопасности мореплавания стала постоянным международным учреждением и созывалась бы через промежутки времени не более трех лет. Россия могла бы принять на себя инициативу в деле достижения международного соглашения по этому вопросу»* [2].

Большой вклад в данную работу внес генерал-майор Андрей Ипполитович Вилькицкий (1858–1913), начальник Главного Гидрографического Управления в 1907–1913 гг., который *«добился представительства русской Гидрографии в Постоянной Международной Ассоциации Суд. Конгрессов, участия на всех Международных выставках, Конгрессах и Конференциях и, наконец, организовал в 1912 г., при Главном Гидрографическом Управлении, Международную Морскую Конференцию по вопросам безопасности мореплавания. ...Значение этой Конференции для русской гидрографии заключается между прочим во всесветном признании блестящего состояния последней...»* [3].

Начавшаяся вскоре первая мировая война, а затем революция и гражданская война в России исключили для нашей страны возможность дальнейшего участия в создании гидрографической организации мирового масштаба. Однако идеи, выношенные и выраженные русскими гидрографами

в 1912 г., не пропали даром. В 1919 г. в Лондоне состоялась Международная гидрографическая конференция, по решению которой 21 июня 1921 г. в Княжестве Монако начала свою работу такая организация, названная Международным гидрографическим бюро и объединившая усилия гидрографических служб 18-ти государств в деле обеспечения безопасности мореплавания.

В Уставе МГБ была прямо указана одна из основных задач Бюро: оно должно было способствовать внедрению наилучших методов проведения гидрографических съемок и координации гидрографических работ с целью обеспечения мореплавания и повышения его безопасности во всемирном масштабе.

В 1956 г. Руководящий комитет МГБ начал работу по приданию организации юридического статуса всемирной межправительственной организации, официально признанной правительствами ее государств-членов. Этот процесс был завершен в 1967 г. принятием на 9-й Конференции МГБ Конвенции о Международной гидрографической организации, которая вступила в силу 22 сентября 1970 г. С этого времени термин «МГБ» означает штаб-квартиру МГО в Монако.

Постановлением Совета Министров СССР от 30 апреля 1976 г. № 287 было принято решение о присоединении СССР к Конвенции о Международной гидрографической организации. После осуществления процедуры присоединения, в феврале 1977 г., состоялось официальное вступление СССР в МГО. Осуществление членства в МГО было возложено на Главное управление навигации и океанографии Министерства обороны. К этому времени в организации состояло 48 государств-членов.

## 2. Деятельность МГО

С момента создания МГБ его основная работа заключалась в разрешении специальных вопросов, возникающих на Международных гидрографических конференциях (МГК); в дальнейшем стали готовиться специальные публикации, отражающие достижения научно-технического прогресса в области гидрографии. Для связи с Бюро каждое государство-член назначает своего официального представителя, предпочтительно – начальника гидрографической службы.

### 2.1 Первые итоги

На 5-й МГК в 1947 г. были подведены итоги работы МГБ за 26 лет. Среди многочисленных разработок можно отметить:

- унифицированные условные знаки и сокращения на картах;
- сборный лист навигационных опасностей с отметками «положение сомнительно», «существование сомнительно» и др.;
- Генеральную батиметрическую карту Мирового океана (ГЕБКО);
- сбор сведений по измерению глубин в океане эхолотами;

- терминологию форм подводного рельефа;
- границы морей и океанов;
- унифицированные «Огни и знаки»;
- систему передачи Извещений мореплавателям;
- каталог гармонических постоянных приливов;
- измерение и использование данных о скорости звука в воде;
- инструменты и методы измерения глубин;
- использование аэрофотосъемки для составления морских карт;
- инструменты и методы измерения течений, параметров магнитного и гравитационного поля в океане;
- сведения о гидрографическом флоте государств-членов;
- унификацию систем ограждения навигационных опасностей.

### *2.2 Создание и дальнейшая разработка ГЕБКО*

В апреле 2003 г. отмечалось столетие проекта по созданию Генеральной батиметрической карты океанов (ГЕБКО). Идея «подготовки батиметрических карт океанов» родилась на 7-й Международной географической конференции в Берлине в 1899 г., но только в 1903 г., когда князь Монако Е. В. Альберт I предложил организовать и профинансировать производство серии карт, получивших название ГЕБКО, началось реальное воплощение проекта в жизнь.

В 50–60-е гг. XX в. на основе активной работы МГБ по внедрению новых методов и инструментов в практику гидрографических съемок и в связи с активным развитием океанского промера удалось значительно расширить базу данных для карты ГЕБКО. В этой работе участвовали гидрографические службы 17-ти государств-членов МГО. Подготовка 4-го издания этой карты была проведена в 1965–72 гг., 5-го – в 1977 г., а в дальнейшем все содержание карты было преобразовано в цифровую форму, и в 1997 г. был издан Цифровой атлас ГЕБКО.

В данном контексте обращают на себя внимание значительные усилия МГО по унификации географических названий форм подводного рельефа и создания соответствующего Справочника ГЕБКО. С 9 по 12 июля 2007 г. в Монако проходило 20-е заседание Подкомитета ГЕБКО по наименованиям форм подводного рельефа (SCUFN), на котором, в частности, рассматривались вопросы о картографическом интерфейсе для Справочника географических названий форм подводного рельефа на базе «Всемирной Паутины» и о новой версии Программного обеспечения Справочника географических названий ГЕБКО. Эту работу МГО ведет в тесном сотрудничестве с Межправительственной океанографической комиссией при ЮНЕСКО (МОК). Представителями МОК в SCUFN являются, в числе прочих членов, доктор Д. Травин (ЮНЕСКО) и доктор Г. Агапова (Геологический институт РАН). Членом подкомитета со стороны МГО также состоит капитан 1 ранга (в отставке) В. Соболев (Управление навигации и океанографии МО РФ).

Российская гидрографическая наука принимает активное участие в деятельности SCUFN. В числе генераторов предложений о присвоении названий формам подводного рельефа – Гидрографическая служба России, Геологический институт РАН, «Южморгеология» Министерства природных ресурсов РФ. Значительные усилия прилагаются для решения вопросов транслитерации русских географических названий.

### *2.3 Региональные гидрографические комиссии*

Серьезным шагом в развитии МГО стало создание региональных гидрографических комиссий (РГК), в которые входят гидрографические службы стран одного региона. Первая из них – Гидрографическая комиссия Северного моря – была сформирована в 1967 г. До 1976 г. существовало всего две таких комиссии (Северная и Северного моря), но в последнюю четверть XX века благодаря усилиям Международного гидрографического бюро их число значительно возросло. В настоящее время имеется уже 14 таких комиссий по отдельным регионам и Гидрографический комитет по Антарктике:

- Северная гидрографическая комиссия;
- Гидрографическая комиссия Северного моря;
- Гидрографическая комиссия Восточной Азии;
- Гидрографическая комиссия США и Канады;
- Гидрографическая комиссия Средиземного и Черного морей;
- Гидрографическая комиссия Балтийского моря;
- Гидрографическая комиссия Восточной Атлантики;
- Гидрографическая комиссия юго-восточной части Тихого океана;
- Гидрографическая комиссия юго-западной части Тихого океана;
- Гидрографическая комиссия межамериканской акватории и Карибского бассейна;
- Гидрографическая комиссия южной Африки и островов;
- Гидрографическая комиссия морского региона ROPME;
- Гидрографическая комиссия северной части Индийского океана;
- Гидрографическая комиссия юго-западной части Атлантического океана.

Главное управление навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации участвует в работе трех гидрографических комиссий: Средиземного и Черного морей (с 1979 г.) и Балтийского моря (с 1983 г.) и Гидрографического комитета по Антарктике (с 1997 г.). В комиссиях рассматривается необходимость проведения гидрографических съёмок, составляются схемы покрытия региона международными картами, организуется совместное составление карт, обсуждаются проблемы обмена оперативной навигационной информацией между странами региона.

#### 2.4 Усилия МГО в области стандартизации карт

Во второй половине XX века МГО приступила к объемной работе по созданию международных морских карт (серия INT), и к 1981 г. был выпущен первый их каталог, что позволило избежать дублирования работ гидрографических служб и сэкономить значительные средства.

На XI-ой МГК (1977 г.) был создан Комитет по стандартизации карт, что обеспечило в дальнейшем планомерную работу по совершенствованию содержания и оформления морских карт. Следует отметить, что в работе этой Конференции впервые в качестве полноправного члена участвовала делегация ГУНиО МО СССР. Одним из решений Конференции явилось утверждение русского языка в качестве официального рабочего языка МГК (по предложению нашей делегации в составе капитана 1 ранга В. И. Фалеева и капитана 1 ранга И. М. Мирошникова).

Стандартизацией картографических условных знаков для морских навигационных карт на международном уровне в настоящее время занимается Рабочая группа по стандартизации карт и бумажным картам (CSPCWG) Комитета по гидрографическим требованиям к информационным системам (CHRIS) Международной гидрографической организации. Ей поручена разработка и техническое обслуживание публикации МГО № М-4 «Правила МГО для международных (INT) карт и спецификации для карт МГО», которая состоит из следующих частей:

«А» Правила МГО для международных (INT) карт». Разделы 100–600.

«В» Спецификации для национальных и международных карт МГО средних и крупных масштабов (масштабы крупнее 1: 2 000 000). Разделы 100–500.

«С» Спецификации для мелкомасштабных международных карт МГО средних и крупных масштабов (масштабы 1: 2 000 000 и мельче). Разделы 100–500.

Части «В» и «С» дополняются публикациями:

INT 1 Условные знаки, сокращения и термины, используемые на картах.

INT 2 Рамки, градация, сетки и линейные масштабы.

INT 3 Использование условных знаков и сокращений (карта выдуманного района, иллюстрирующая использование условных знаков, разработанных МГО).

В настоящее время указанные публикации, за редким исключением, не распространяются в бумажном виде, они корректируются на сайте МГО ([www.who.int](http://www.who.int) > Publications).

В 90-х годах прошлого века были окончательно отработаны вопросы соблюдения авторского права при обмене гидрографическими материалами между национальными гидрографическими службами и приняты соответствующие Технические резолюции МГО А 3.4 и А 1.18 [4].

### *2.5 Подготовка специалистов*

Совместно с Международной федерацией геодезистов (МФГ) в 1978 г. был создан Комитет по стандартам компетентности для гидрографов. Это позволило установить международные нормы обучения специалистов. В 2000 г. 2-я Внеочередная М. Г. Конференция одобрила разработку Стандартов компетентности для морских картографов, и в 2001 г. Комитет был переименован в Комитет МГО по стандартам компетентности для гидрографов и морских картографов.

МГО стала уделять серьезное внимание развитию национальных гидрографических служб и привлечению новых государств-членов в Организацию. Она начала оказывать помощь в совершенствовании работы гидрографических служб и их создании в тех странах, в которых таких учреждений не было. В настоящее время это направление работы ведет Комитет МГО по созданию [гидрографических] возможностей. Для оказания помощи развивающимся странам учрежден Фонд МГО по созданию возможностей, выделяющий средства на реализацию важнейших гидрографических проектов.

### *2.6 МГО и морское право*

После принятия Конвенции ООН по морскому праву (1982 г.) одним из приоритетных направлений деятельности МГО является изучение методов делимитации морских границ и определения внешних границ континентального шельфа государств, в частности, в соответствии со Статьей 76 Конвенции. Конвенция предусматривает, что прибрежные государства могут заявить свои права на ресурсы моря и морского дна на акваториях, простирающихся на расстояние до 200 морских миль от их берегов, а также провозгласить юрисдикцию на морское дно, простирающееся на расстояние до 350 миль в тех случаях, когда материковый склон шире 200 миль.

В МГО была разработана специальная публикация № S-51 «Технические аспекты Конвенции ООН по морскому праву 1982 г.» (Руководство по TALOS), призванная оказать гидрографическим службам помощь в их работе по получению данных, необходимых для определения морских границ. В марте 2006 года вышло в свет 4-е издание Руководства, подготовленное Консультативным советом по гидрографическим, геодезическим и морским геонаучным аспектам морского права, действующим под эгидой МГО, Международной ассоциации по геодезии (МАГ) и Межправительственной океанографической комиссии (МОК).

С 2000 г. МГО является участницей Бессрочного неофициального консультативного процесса ООН по вопросам об океанах и морскому праву (UNICPOLOS).



### 2.7 МГО и безопасность мореплавания

В последнее время МГО активно занимается разработкой документов, призванных усилить осознание важности работы гидрографических служб в обеспечении безопасности мореплавания. По ее инициативе в 1998 г. Генеральная Ассамблея ООН включила в свою резолюцию A.53/32/1998 параграф 21, который гласит [5]:

«Ассамблея ООН призывает государства:

- сотрудничать в выполнении гидрографических съемок и предоставлять морские навигационные услуги в целях обеспечения безопасности мореплавания, а также обеспечивать наибольшее единообразие карт и морских навигационных публикаций, и
- координировать свою деятельность таким образом, чтобы гидрографическая и морская навигационная информация стала доступной во всемирном масштабе».

29 ноября 2005 г. генеральной Ассамблеей ООН была принята резолюция A/Res/60/30 «Мировой океан и морское право», в которой, в частности, признается, «...что выполнение гидрографических съемок и составление морских карт имеет критическое значение для безопасности судоходства и охраны человеческой жизни на море, защиты окружающей среды, в том числе уязвимых морских экосистем, и экономики мировой индустрии судоходства...» [1].

Для того чтобы обеспечить мореплавателей самой последней информацией о навигационной обстановке, была разработана Всемирная система навигационных предупреждений (WWNWS), которая успешно работает уже более 20 лет. В рамках данной системы Российская Федерация осуществляет функции координатора района НАВАРЕА XIII. Планируется, что Россия также будет являться координатором новых НАВАРЕА XX и XXI.

Проводится работа по подготовке нового, пятого, издания специальной публикации МГО № S-44, содержащей приведенные на уровень современности стандарты гидрографических съемок.

### 2.8 МГО и электронная картография

Как отмечается в Резолюции Генеральной Ассамблеи ООН A/Res/61/222 «Мировой океан и морское право», принятой 20 декабря 2006 г. на 61-ой сессии Ассамблеи и распространённой 16 марта 2007 г., «...переход на электронные карты не только даёт значительно больше преимуществ с точки зрения безопасности судоходства и организации движения судов, но и позволяет получать данные и информацию, которые могут использоваться для устойчивого ведения рыбного промысла, в других отраслях использования морской среды, при делимитации морских границ и в деле защиты окружающей среды» [6].

В конце прошлого века в связи с широким внедрением электронно-вычислительной техники в МГО был создан Комитет по обмену цифровыми данными и подготовлен проект создания электронных навигационных карт (ЭНК), разработаны стандарты по передаче цифровых данных, по содержанию и оформлению цифровых карт, а также требования к их отображению в ЭКНИС (электронных картографических навигационных информационных системах).

ЭНК – это векторные карты, отвечающие спецификациям МГО. В соответствии с решением Международной морской организации (ИМО) в случае использования ЭНК в ЭКНИС последние признаются системами, удовлетворяющими требованиям Правила 19 Главы V Конвенции по охране человеческой жизни на море (СОЛАС) о наличии карт на борту судов. Чтобы выполнить стратегические, технические и административные обязательства по производству, техническому обслуживанию и распространению ЭНК в соответствии с требованиями Эксплуатационных стандартов ИМО на ЭКНИС, а также обеспечить соблюдение требований Конвенции СОЛАС, МГО учредила два комитета: по Всемирной базе данных для ЭНК (WEND) и Комитет МГО по гидрографическим требованиям к информационным системам (CHRIS).

Согласно отчету авторитетной сертификационной и классификационной компании Det Norske Veritas (DNV), при использовании ЭКНИС, работающих в режиме отображения ЭНК, вероятность посадки судна на мель снижается на 40% [7]. МГО тесно сотрудничает с ИМО, работая в направлении введения обязательных требований о наличии ЭКНИС/ЭНК на борту судов. На XVII Международной гидрографической конференции (май 2007 г.) была принята соответствующая резолюция, направленная на достижение отвечающего современным требованиям покрытия ЭНК к 2010 г.

Проблемами стандартизации морской навигационной информации с учетом самых современных информационных технологий занимается CHRIS. В настоящее время разработка Издания 4.0 стандарта МГО S-57 («Стандарт МГО на передачу цифровых гидрографических данных») переросла в создание более совершенного и эффективного стандарта S-100, получившего название «Геопространственный стандарт МГО на гидрографические данные». По существу, это уже не новая версия известного стандарта S-57 (его действующая версия – издание 3.1), а новый стандарт, имеющий более широкое содержание и поддерживающий новые форматы обмена данными. Он ориентирован на использование большего количества различных источников данных, связанных с гидрографией, и удовлетворение нужд более широкого круга потребителей гидрографической продукции и услуг.

МГО предпринимает активные действия по созданию Всемирной базы данных электронных навигационных карт. Координировать это направление деятельности МГО поручено Комитету WEND. Большое значение для успеха данного проекта имеет сотрудничество с региональными координационными

центрами электронных навигационных карт (РЭНК), работающими на коммерческой основе. В конце XX в. был создан первый РЭНК, призванный обеспечивать мореплавателей в Европе данными ЭНК – PRIMAR (Норвегия). Впоследствии некоторые страны-участники PRIMAR приняли решение о выходе из него и учреждении отдельного РЭНКа, получившего название Международного центра ЭНК, – IC-ENC (Великобритания). В настоящее время оба РЭНКа работают параллельно, внося свой вклад в повышение безопасности навигации.

### 2.9 Публикации МГО

Итоги разработок МГО освещаются в издаваемых ею публикациях. Издательскую деятельность осуществляет Международное гидрографическое бюро, которое выпускает в свет публикации четырех видов: периодические (индекс Р), специальные (S), батиметрические (B) и различные другие (M). Они выходят на официальных языках Организации (английском и французском). Бюро предпринимает меры по частичному переводу ряда публикаций на испанский язык. В настоящее время публикации издаются в цифровом виде и размещаются на сайте МГО: [www.iho.int](http://www.iho.int). Основными из них являются:

- Основные документы МГО (M-1);
- Ежегодник МГО (P-5), включающий сведения о структуре гидрографических служб государств, их адреса и др.;
- Резолюции МГО (M-3);
- Правила МГО для международных (INT) карт и Спецификации МГО для карт (M-4);
- Стандарты компетентности для гидрографов и морских картографов (M-5);
- Каталог международных карт (M-11);
- Генеральная батиметрическая карта океанов, ГЕБКО (B-1);
- Стандартизация наименований форм подводного рельефа (B-6);
- Стандарты МГО на гидрографические съемки (S-44);
- Спецификации по содержанию и отображению карт в ЭКНИС (S-52);
- Стандарт МГО на передачу цифровых гидрографических данных (S-57);
- Каталог публикаций МГО (P-4).

С 2000 г. права на «Международное гидрографическое обозрение» (P-1) – журнала по гидрографии, освещающего разработки МГБ и гидрографических служб и последние достижения гидрографической и картографической науки, – переданы издательской фирме *GITC bv* (Нидерланды). Издание журнала осуществляется на коммерческой основе.

«Международный гидрографический бюллетень» (P-3) – еще одно периодическое издание МГО, содержащее оперативную информацию по гидрографии, деятельности МГБ и гидрографических служб, – выходит в цифровом виде (режим доступа на сайте МГО: [www.iho.int](http://www.iho.int)).

### 3. Изменение структуры организации на современном этапе

#### 3.1 Действующая структура Организации

В настоящее время МГБ осуществляет постоянную связь с национальными гидрографическими службами, содействует обмену морскими навигационными картами и документами между ними, проводит необходимые консультации в государствах, создающих или развивающих свою гидрографическую службу, сотрудничает с международными организациями и научными учреждениями, имеющими родственные задачи. Текущую работу Бюро возглавляет Руководящий комитет МГБ, который состоит из президента и двух директоров. Информация о работе и принятые решения доводятся до государств-членов посредством циркулярных писем МГБ. За год поступает около 100 писем, которые обрабатываются в отделе навигационно-картографической информации 280 Центрального картпроизводства ВМФ и докладываются командованию.

Основой постоянной работы МГО является своевременное учреждение различных комиссий, комитетов, рабочих групп для разработки и решения специальных вопросов, возникающих в деятельности гидрографических служб. В настоящее время МГО насчитывает 15 технических органов, два из которых имеют свои подчиненные рабочие группы (в Руководящем комитете по ГЕБКО 2 подкомитета, а в структуру Комитета по гидрографическим требованиям к информационным системам (CHRIS) входят 8 рабочих групп). Перечень рабочих органов МГО приводится в *Приложении*.

Российская Федерация является членом следующих технических органов МГО: CHRIS, Комитета по всемирной базе данных для ЭНК (WEND), Подкомитета ГЕБКО по наименованиям форм подводного рельефа (SCUFN), Рабочей группы МГО по стандартам на гидрографическую съемку (S-44), Совместного руководящего комитета МГО/МОК по ГЕБКО (GEBCO), Комиссии по распространению радионавигационных предупреждений (CPRNW), Рабочей группы CHRIS по стандартизации карт и бумажным картам (CSPCWG), Координационной группы ИМО/МГО по электронным картографическим навигационным информационным системам (HGE). Кроме того, в таких рабочих группах как РГ CHRIS по техническому обслуживанию цветов и условных знаков (CSMWG), РГ CHRIS по Системе защиты данных (DPSWG), а также в Координационной группе МГО-МЭК по морским информационным объектам (HGMIO) работают российские представители гидрографической промышленности (*Transas*).

#### 3.2 Предстоящие изменения

Для того чтобы установить всеобъемлющие цели МГО, выявить сильные и слабые стороны в ее работе, интегрировать новые идеи и разработать мероприятия, в которых действительно нуждаются государства-члены МГО, с 1992 г. осуществляется работа по реформированию МГО. Для координации

этой работы была создана Рабочая группа МГО по стратегическому планированию (SPWG). На основе проведенных исследований, с учетом сильных и слабых сторон ныне существующей Организации, была выработана новая модель структуры и рабочих процедур МГО и предложены необходимые изменения к Основным документам МГО.

На 3-ей Внеочередной Международной гидрографической конференции (ВМГК) в апреле 2005 г. государства-члены МГО утвердили поправки к Конвенции МГО, закрепляющие общие принципы новой структуры Организации. В настоящее время осуществляется процесс ратификации новой версии Конвенции с включенными в нее поправками. Дата утверждения (ДУ) поправок к Конвенции является ключевым моментом практической реализации новой структуры МГО. ДУ – это дата, когда две третьих государств-членов МГО уведомят правительство Е.В. Князя Монако (Хранителя Конвенции МГО) об утверждении ими поправок к Конвенции, принятых 3-ей ВМГК. В соответствии с Решением № 2 3-ей ВМГК поправки к Конвенции и новая структура Организации вступят в силу три месяца спустя ДУ.

7–11 мая 2007 г. в Монако проходила очередная XVII-я Международная гидрографическая конференция. В ее работе приняли участие более 350 делегатов из 72 государств-членов, а также наблюдатели и другие официальные лица из 35 стран и международных организаций. На Конференции рассматривались 24 предложения, представленные государствами-членами МГО и Международным гидрографическим бюро. В число предложений вошли проекты, подготовленные SPWG для внесения необходимых изменений в Основные документы МГО. Основной темой Конференции стало завершение формирования новой структуры Организации в составе Ассамблеи, Совета, Финансового комитета, Секретариата и вспомогательных органов. Главным административным должностным лицом МГО в будущем станет Генеральный секретарь.

Есть основания полагать, что новая структура руководящих органов МГО будет способствовать повышению эффективности ее работы. Стоит отметить, что подобное предложение выдвигалось советской делегацией в 1982 г., но в то время оно не нашло понимания из-за негативной позиции ведущих капиталистических государств.

Поскольку миссия SPWG успешно выполнена, эта рабочая группа была распущена. В настоящее время создается Рабочая группа по Стратегическому плану МГО (ISPWG), которая возьмет на себя функции перспективного планирования работы Организации. Также Конференция одобрила предложение о создании двух новых рабочих групп: по гидрографии и картографии внутренних водных путей (с целью проанализировать целесообразность и характер участия МГО в данной работе) и по вкладу гидрографического сообщества в национальные инфраструктуры пространственных данных.

Для рассмотрения XVII-й М. Г. Конференции был предложен проект Программы работы организации на период 2008–2012 гг. В нем излагаются цели и задачи МГО на ближайшую перспективу. Одним из важнейших направлений работы МГО по-прежнему остается создание надлежащего покрытия ЭНК, удовлетворяющего требованиям международного судоходства. Решением № 20 XVII-я МГК утвердила Резолюцию о доступности, совместимости и качестве покрытия ЭНК, в которой призвала государства твердо придерживаться Принципов Всемирной базы данных ЭНК. Решение № 21 Конференции касается Резолюции о покрытии ЭНК в связи с требованиями о наличии электронных картографических навигационных информационных систем (ЭКНИС) на борту судов. В нём выражается активная поддержка усилиям ИМО по введению обязательных требований о наличии ЭКНИС на борту.

11 мая 2007 г. на Конференции состоялись выборы нового состава Руководящего комитета МГБ на период 2007–2012 гг. Его президентом вновь избран вице-адмирал Александрос Маратос (Греция), директорами – капитан Уго Горзилья (Чили) и капитан Роберт Уард (Австралия). Новый Руководящий комитет приступил к своим обязанностям 1 сентября 2007 года [8].

### **Заключение**

Уже более 85 лет Международная гидрографическая организация выполняет свои обязанности в области координации деятельности гидрографических служб государств-членов по обеспечению безопасности мореплавания, и уже в течение 30 лет российская Гидрографическая служба постоянно участвует в ее работе. В настоящее время в МГО входят 80 государств-членов. Как подчеркивается в пресс-релизе МГО, подготовленном к Всемирному дню гидрографии 2007 г., *«Обеспечение безопасности на море является основной целью и задачей МГО и гидрографических служб ее государств-членов, и мы приложим все наши усилия путем производства ЭНК, чтобы стоять на страже этого принципа и защищать человеческую жизнь в море»* [7].

## ПРИЛОЖЕНИЕ

## Комитеты и рабочие группы (РГ) МГО

AB	Международный консультативный совет по стандартам компетентности для гидрографов и морских картографов / МФГ-МГО-МКА-FIG-IHO-ICA International Advisory Board on Standards of Competence for Hydrographic Surveyors
ABLOS	Консультативный совет по гидрографическим, геодезическим и морским геонаучным аспектам морского права МГО-МАГ-МОК (Консультативный совет по морскому праву) Advisory Board on the Law of the Sea
CBC	Комитет МГО по созданию гидрографических возможностей / Capacity Building Committee
CHD	Комитет по Гидрографическому словарю (S-32) IHO Committee on the Hydrographic Dictionary (S-32)
CHRIS	Комитет по гидрографическим требованиям к информационным системам Committee on Hydrographic Requirements for Information Systems
CPRNW	Комиссия по распространению радионавигационных предупреждений Commission on Promulgation of Radio Navigational Warnings
CSMWG	РГ по техническому обслуживанию цветов и условных знаков Colours and Symbols Maintenance Working Group
CSPCWG	РГ по стандартизации карт и бумажным картам Chart Standardization and Paper Chart Working Group
DPSWG	РГ по Системе защиты данных Data Protection Scheme Working Group
DQWG	РГ по качеству данных Data Quality Working Group
FC	Финансовый комитет Finance Committee
GEBCO	Совместный руководящий комитет МГО-МОК по ГЕБКО General Bathymetric Chart of Oceans (Guiding Committee)
HCIWWG	РГ по гидрографии и картографии внутренних водных путей Hydrography and Cartography in Inland Waters Working Group
HGE	Координационная группа ИМО/МГО по электронным картографическим навигационным информационным системам Harmonization Group on ECDIS
HGMIO	Координационная группа МГО-МЭК по морским информационным объектам IHO-IEC Harmonizing Group on Marine Information Objects
ISPWG	РГ МГО по Стратегическому плану IHO Strategic Plan Working Group
LAC	Юридический консультативный комитет IHO Legal Advisory Committee
MSDIWG	РГ по инфраструктуре морских пространственных данных Marine Spatial Data Infrastructure Working Group
S-44	Рабочая группа МГО по стандартам на гидрографическую съемку (S-44) IHO Standards for Hydrographic Surveys
SCDB	Подкомитет ГЕБКО по цифровой батиметрии GEBCO Sub-Committee on Digital Bathymetry
SCUFN	Подкомитет ГЕБКО по наименованиям форм подводного рельефа GEBCO Sub-Committee on Undersea Feature Names
SNPWG	РГ по стандартизации морских навигационных публикаций Standardization of Nautical Publications Working Group
TC	Комитет по приливам Tidal Committee
TSMAD	РГ по обслуживанию и применению стандартов на передачу цифровых гидрографических данных Transfer Standard Maintenance and Application Development Working Group
WEND	Комитет по всемирной базе данных для ЭНК World-wide Electronic Navigational Chart Database

**ЛИТЕРАТУРА**

1. A/Res/60/30 Мировой океан и морское право / ООН. – 2005. – Режим доступа: [www.un.org](http://www.un.org)
2. Отчет о Международной Морской Конференции в С.-Петербурге. Март, 1912. – Петроградъ: Типография Морского Комиссариата, в Главном Адмиралтействъ, 1918.
3. Записки по гидрографии, издаваемые Гидрографическим Управлением. Том LIII, Юбилейный. – Ленинград, 1927. – С. XI
4. Resolutions of the International Hydrographic Organization: IHO Publication M-3 / IHO.– Version Updated February 2007. – Monaco: ИНВ, 2007. – Режим доступа: [www.iho.int](http://www.iho.int)
5. A.53/32/1998 / ООН.– 1998. – Режим доступа: [www.un.org](http://www.un.org)
6. A/Res/61/222 Мировой океан и морское право / ООН. – 2006.– Режим доступа: [www.un.org](http://www.un.org)
7. World Hydrography Day. Electronic Navigational Charts (ENCs); an essential element of safety at sea and efficient maritime operations. 21 June 2007 / The International Hydrographic Organization.– Monaco: ИНВ, 2007. – Режим доступа: [www.iho.int](http://www.iho.int)
8. Decisions of the XVII International Hydrographic Conference, Monaco, 7–11 May 2007 / IHO.– Monaco: ИНВ, 2007. – Режим доступа: [www.iho.int](http://www.iho.int)

**ON THE OCCASION OF THE WORLD HYDROGRAPHY DAY**

**I. M. Miroshnikov,**

**I. O. Petrova**

(The Central Chart Division of the Navy)

*The stages of establishment and improvement of the International Hydrographic Organization (IHO), its structure, results of work for the past years and participation of the Head Department of Navigation and Oceanography, the Russian Federation Ministry of Defence, in its activities are considered.*

ГРНТИ 38.61

**НА ВСЮ ОСТАВШУЮСЯ ЖИЗНЬ**

**Б. М. ЗОЛОТАЙКИН**

(Гидрографическое общество)

*Изложены впечатления участника Кругосветной антарктической экспедиции на океанографических судах «Адмирал Владимирский» и «Фаддей Беллинсгаузен» в 1982–1983 гг.*

2 декабря 2007 г. исполняется 25 лет со дня начала Кругосветной антарктической экспедиции, состоявшейся в 1982–1983 гг. на океанографических судах Черноморского флота «Адмирал Владимирский» и «Фаддей Беллинсгаузен».

За 25 лет много воды утекло, много перемен произошло в жизни страны и народа и у каждого из нас. И с высоты дней нынешних порою хочется вспомнить события четвертьвековой давности и среди них нашу Кругосветную антарктическую.



Конечно, можно обратиться к фактам и цифрам и сказать: за 148 дней плавания суда экспедиции прошли 36000 миль, пересекли 3 океана, 19 морей и 14 проливов, прошли у берегов 12 государств. При этом был выполнен большой комплекс океанографических и геофизических измерений. Маршрутный промер, магнитная съемка, замеры электрического поля и другие исследования измеряются сотнями линейных километров.

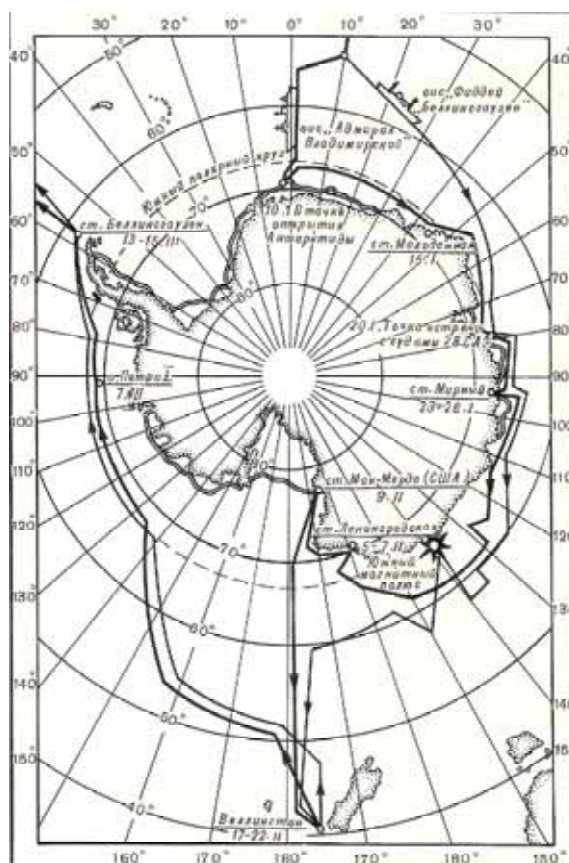


Схема похода ОИС «Адмирал Владимирский» и ОИС «Фаддей Беллинсгаузен»

Собственно, основным содержанием жизни экспедиции была работа: непрерывная по маршрутам плавания, круглосуточная, напряженная и в чем-то довольно однообразная. Ну, это обычное дело для исследовательских судов советской гидрографии того времени. Можно сказать, что в те годы они бороздили моря и океаны, но никто из них до 1982–1983 гг. не пересекал Южного полярного круга, не плавал у берегов ледового континента.

При всем уважении к трудам, работам и исследованиям участников экспедиции вспоминать их трудовые подвиги через 25 лет как-то не очень интересно, многое уже стёрлось из памяти. Но было много таких отдельных дел и событий, которые хорошо помнятся до сих пор. О некоторых из них и хотелось бы рассказать.

Когда мы вернулись из плавания в Севастополь, нас нередко спрашивали о том, что нам больше всего запомнилось в экспедиции, что было самым интересным, самым впечатляющим. И мы обычно отвечали, что самым интересным была вся экспедиция в целом, ее жизнь, ее работа, ее события. Ходило такое выражение, что впечатлений у участников похода хватит «на всю оставшуюся жизнь». И прошедшие с тех пор четверть века подтвердили, что это было действительно так.

Надо иметь в виду, что Кругосветная антарктическая экспедиция имела не только научно-практические цели, но и большое военно-патриотическое, историко-мемориальное значение. Ведь мы шли в Антарктику в год 200-летия Севастополя и Черноморского флота, мы шли по пути легендарных шлюпов «Восток» и «Мирный», открывших человечеству Антарктиду в 1820 г. Тени великих предков – Беллинсгаузена и Лазарева сопровождали нас на всем нашем пути. В Антарктике мы постоянно сравнивали то, что видели они, с тем, что открывалось нашим глазам. Мы понимали и ощущали все величие подвига русских моряков.

Однако обратимся к отдельным памятным событиям нашего плавания.

Наверное, нет необходимости подробно описывать отплытие наших гидрографических кораблей из Севастополя и их благополучное победное возвращение. Множество людей, севастопольцев – родных и друзей наших... Командование флотом, власти города-юбилея... В обоих случаях все было очень торжественно и трогательно до слез. Некоторая напряженность и грусть при отплытии и светлая радость всех при возвращении экспедиции. Конечно, все это было волнующим и незабываемым.

Очень ярким и памятным событием было пересечение судами экспедиции экватора. Это было 20 декабря 1982 г. Особенностью этого события было то, что мы перешли экватор не где-нибудь, а в единственной на земном шаре Золотой точке. Это там, где экватор пересекается с нулевым (Гринвичским) меридианом. Там все широты и долготы «по нулям». Шутники говорили, что если на палубе пошире расставить ноги, то можно быть сразу в четырех полушариях Земли: северном, южном, восточном и западном. Точка эта лежит в Гвинейском заливе, в 300 милях от западного берега Африки. Глубина океана в этом месте оказалась 4940 метров.

Суда экспедиции легли в дрейф и на них по полной классической программе, от души провели веселый праздник встречи с Нептуном – с чертями, пиратами, русалками, с чистилищем и купанием в бассейне. Было шумно, весело и мокро. Вечером командиры кораблей вручили каждому участнику похода почетную грамоту о пересечении экватора в Золотой точке.

Все мы мечтали о том, чтобы подойти к Антарктиде в той точке, в которой 28 (16) января 1820 года ее открыли русские моряки. По правде сказать, надежды было мало. Ведь все могло нам препятствовать: непогода, туманы, льды, айсберги... Ведь «Адмирал Владимирский» не был ледоколом, хотя и имел некоторые усиления корпуса. «Фаддей Беллинсгаузен» был по

водоизмещению в три раза меньше флагмана и плавал в морях и океанах уже 17 лет. Не молодой.

Но нам очень повезло. Когда подошли к кромке льдов, погода была благоприятствующая. Разведка вертолета показала, что айсбергов впереди не так много, а в дрейфующих ледяных полях есть разводья, так называемые «реки» относительно чистой воды. Руководители экспедиции вице-адмирал В. И. Акимов и контр-адмирал Л. И. Митин приняли решение идти к югу. «Фаддей Беллинсгаузен» остался за кромкой льдов выставять буйковую гидрологическую станцию.

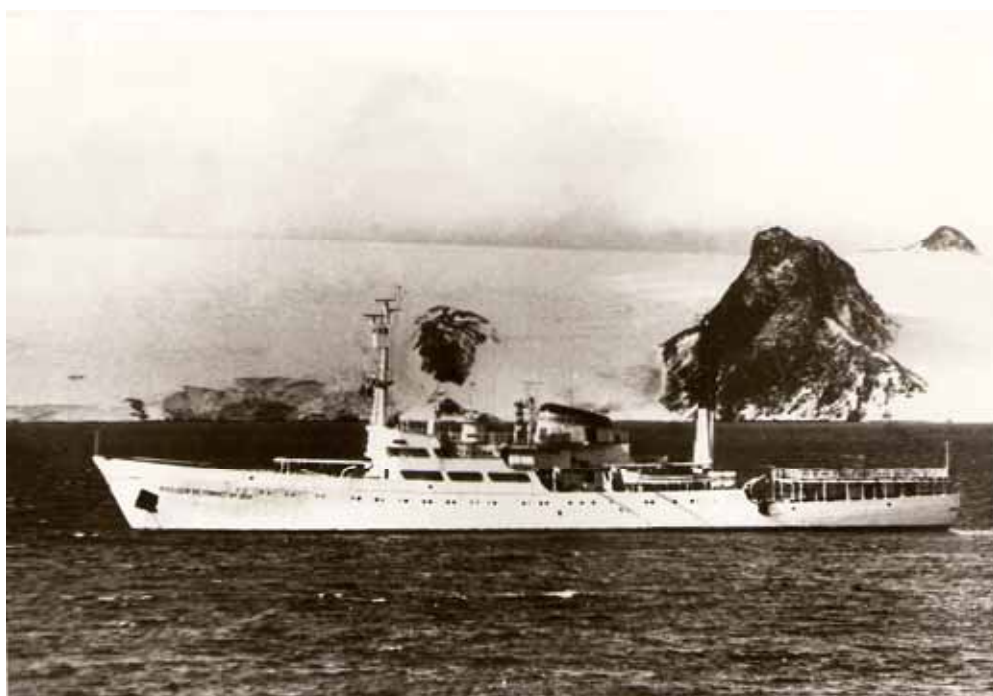
«Адмирал Владимирский» двинулся к цели. Отлично проявил себя командир корабля капитан 2 ранга Роман Панченко. Он умело и уверенно лавировал среди льдин. Ему пригодился опыт, полученный им в свое время в Арктике. Так шли целый день, часто раздвигая корпусом лед, и вечером 10 января мы достигли заветной цели.

«Адмирал Владимирский» прошел еще дальше к югу, так как за 163 года ледник уменьшился, ледовая стена как бы отодвинулась к югу, вглубь материка. Сверкающий на солнце барьер высотой в 40–50 метров простирался перед нами, уходя на запад и восток. Все было так, как в свое время описывал М. П. Лазарев: «...встретили матерой лед чрезвычайной высоты, и в прекрасный тогда вечер...простирался оный так далеко, как могло только достигать зрение».

Настроение у всех было замечательное. Сбылась наша мечта, как по заказу. Мы «открыли», увидели свою Антарктиду и в той самой исторической точке.

Айсберги... Я убежден, что ни словесные описания, ни фото и кино съемка не способны в полной мере передать красоту и величие антарктических айсбергов. Это надо видеть своими глазами, побывать вблизи них.

Первый раз мы встретили айсберг на нашем пути от мыса Доброй Надежды к ледовому континенту. Все высыпали на палубу, смотрели, обсуждали, фотографировали... Наивные люди...! Очень скоро мы увидели айсбергов столько, что уже не слишком ими любовались. Однажды в пределах видимости вокруг «Адмирала Владимирского» я насчитал около ста больших и средних айсбергов. А что значит больших? Ведь известно, что иногда айсберги достигают в длину более ста километров. Ну, честно скажу, что таких мы не встречали, но айсберги длиной в 2–3 километра нам встречались нередко. Обычно это плоские громады высотой (над водой) до 40–60 метров. А бывают еще такие исполины, как горы высотой до 100–200 метров. Перед вами не льдина плывет, а именно гора, и как подумаешь, что над водой всего лишь одна седьмая часть массы айсберга...!



**«Фаддей Беллинсгаузен» в бухте Ардли (у полярной станции Беллинсгаузен)**



**«Адмирал Владимирский» в Антарктике (снимок с вертолѐта)**

А красота айсбергов в том, что, разрушаясь, переворачиваясь, они обретают очень разнообразные и порою фантастические формы. И все это сверкает в лучах солнца (если оно есть), а у подножия айсбергов разбиваются волны чаще всего аквамаринного, синего или фиолетового цвета. Да, айсберги – это чудо, это незабываемо!

Не хотелось бы утомлять читателя, но не могу не упомянуть о встречах в Антарктике с нашими, советскими полярниками. Мы встречались с ними на станциях Мирный, Беллинсгаузен, Комсомольская, Ленинградская. Оказывается, что когда люди встречаются не на Невском проспекте или на Тверской улице, а где-то на другом краю света, это тоже не обходится без волнения и большой искренней радости. Радости до слез. Приятно сознавать, что это были не просто встречи, речи и объятия, но и большая взаимная помощь в решении различных антарктических проблем. Наши визиты были для полярников и большой моральной, эмоциональной поддержкой.

И еще несколько слов о встречах.

Какая же Антарктида без пингвинов. Конечно, нельзя не вспомнить этих милых, доверчивых, симпатичных аборигенов. Каждый пингвин по-своему красив и интересен. А когда перед вами на берегу или на льду их сотни, а то и больше, хочется поприветствовать их от всего сердца.



**Императорские пингвины**

За 163 года после плавания Беллинсгаузена и Лазарева ни один российский, советский корабль не пересекал Южного полярного круга. Ни один советский военный корабль никогда не бывал в Новой Зеландии. Поэтому мы испытывали понятные чувства удовлетворения и гордости, когда наш военно-морской гидрографический флаг реял на мачтах наших кораблей у Королевского причала Веллингтона.

Столица Новой Зеландии нам понравилась. Народ в ней спокойный, вежливый, доброжелательный. Всюду на улицах чистота, порядок, уют и какая-то очень зеленая и очень симпатичная природа. Все это рождало у нас теплое чувство к этому городу.

Никак нельзя не упомянуть о Южном магнитном полюсе (ЮМП). Впервые его координаты были определены непосредственно на ледовом континенте в 1909 г. Но этот полюс (так же, как и Северный магнитный полюс) не стоит на месте. Он передвигается или, как еще говорят, «дрейфует» с примерной скоростью 12,5 км в год.

И вот в конце 70-х годов прошлого века он «спустился» с берега на воду и стал располагаться среди льда и айсбергов в море Дюрваля. «Адмирал Владимирский» и «Фаддей Беллинсгаузен» стали первыми судами, которые, находясь в непосредственной близости от полюса, по специальной программе определили его координаты на воде. 3 февраля 1983 г. они были такими: 65°10' ю. ш., 138°40' в. д. По поручению командования экспедиции «Фаддей Беллинсгаузен» стал первым в мире кораблем, побывавшем в самой точке ЮМП. Групповая фотография гидрографов «Фаддея Беллинсгаузена» на фоне огромного айсберга и буя с надписью «Южный магнитный полюс. 1983 г.» стала, наверное, одной из самых примечательных фотографий экспедиции.



Гидрографы «Фаддея Беллинсгаузена» в точке южного магнитного полюса



После пребывания наших судов на советской антарктической станции Беллинсгаузен пути их разошлись. «Адмиралу Владимирскому» было приказано из Москвы идти с официальным визитом в Буэнос-Айрес, а «Фаддей Беллинсгаузен», продолжая путь шлюпов «Восток» и «Мирный», пошел в Рио-де-Жанейро. Я не был в Буэнос-Айресе, но знаю, что визит прошел очень успешно. Приведу только один факт. За два дня борт «Адмирала Владимирского» посетило более 25 тысяч аргентинцев. Люди часами стояли у трапа в очереди, которая растянулась по причалу на многие сотни метров. Таково было желание жителей Буэнос-Айреса побывать на борту советского корабля, выразить уважение советским морякам, Советскому Союзу. Визит проходил триумфально, ну как такое забыть? К слову сказать, в самой Аргентине в это время проходили демократические преобразования, как тогда говорили, «дули ветры добрых перемен».

Про визит «Фаддея Беллинсгаузена» в Бразилию можно было бы рассказывать долго. Он прошел также очень успешно, очень интересно. Конечно, Остап Бендер не зря мечтал попасть в Рио-де-Жанейро. Это город необычайной красоты и резких контрастов. Участники экспедиции посетили очень много примечательных мест. Назову только знаменитый пляж Копакабана, грандиозный стадион Маракана, и статую Иисуса Христа на горе Коркавадо, которую сейчас называют одним из чудес света. Мы побывали также в тех местах, которые посещали Беллинсгаузен и Лазарев. В Национальном музее для нас была устроена выставка подарков русских кругосветных мореплавателей королеве Леопольдине. Исключительно теплыми и сердечными были встречи с советскими дипломатами, они говорили, что наш визит помогает им в выполнении их миссии. Кстати сказать, это отмечалось во всех портах заходов, а мы ведь побывали еще в Гвинее и Анголе – африканских государствах.

Надо сказать, что в период нашей экспедиции интерес многих стран к Антарктиде был очень велик. И этот интерес был и научным, и политическим, и даже экономическим. Шли разговоры даже о разделе Антарктиды. Поэтому везде, где мы только ни бывали за время экспедиции, мы несли идеи мира и сотрудничества, говорили о приоритете русских моряков в открытии Антарктиды, о заслугах русских и советских моряков и полярников. Мы пронесли наш советский военно-морской флаг над многими морями и странами, а это было в то время очень важно.

23 февраля 1983 г. мы с глубоким волнением услышали обращенное к нам поздравление с Днем армии и флота Министра обороны СССР, Главнокомандующего ВМФ, Военного совета Черноморского флота. В эти дни мы были в районе земного шара, самом удаленном от Севастополя. Между нами было 19 тысяч километров, но о нашем родном городе мы помнили всегда, а в эти дни особенно. Сердца наши были там, с нашими родными и друзьями. После возвращения из похода некоторые его участники, наиболее отличившиеся в выполнении задач экспедиции, были награждены

орденами и медалями СССР. А многие участники получили почетные грамоты Министра обороны, флотского командования, горисполкома Севастополя, а также памятные медали – в честь 200-летия города-героя.

Конечно, все это воспринималось нами с большим удовлетворением. И все же главное, чему мы особенно радовались, это было успешное окончание плавания и благополучное возвращение домой.

Мечты сбылись, мы плавали на славу,  
И это счастье, что среди морей  
Мы пронесли достойно флаг державы,  
Что честь хранили Родины своей.  
Подняться вверх по берегу крутому,  
Увидеть вновь в окне знакомый свет,  
Переступить порог родного дома...  
И лучше этой нам награды нет.

**FOR THE REST OF THE LIFE**

**V. M. Zolotaikin**  
(The Hydrographic Society)

*The impressions of the participant of the Global Antarctic expedition of the oceanographic research vessels «Admiral Vladimírsky» and «Faddei Bellinshausen» in 1982–1983 are described.*



## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**АЛЕКСЕЕВ Сергей Петрович**, начальник ГНИНГИ МО РФ, заслуженный военный специалист РФ, председатель СПб регионального отделения Российского общественного института навигации, академик Академии транспорта РФ, контр-адмирал, докт. техн. н. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – штурман. Автор более 200 печатных трудов.

**АМЕЛЬЧЕНКО Сергей Георгиевич**, инженер-судоводитель, соискатель ГМА им. адм. С. О. Макарова. Окончил Одесское высшее инженерное морское училище. Область научных интересов – дноуглубление, поиск подводных объектов. Автор трех научных публикации.

**АНОСОВ Виктор Сергеевич**, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, канд. техн. наук, старший научный сотрудник. Окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения. Специалист в области гидрометеорологического обеспечения сил и средств ВМФ. Автор более 90 печатных трудов.

**БУРЕЙКО Иван Тихонович**, начальник отдела ГНИНГИ МО РФ, капитан 2-го ранга в отставке. окончил Ленинградское высшее инженерное училище им. адм. С. О. Макарова. Специализация – гидрометеорология.

**ВОРОБЬЕВ Александр Валентинович**, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 2-го ранга в запасе. Окончил Ленинградский государственный университет. Специализация – океанология. Автор более 20 печатных трудов.

**ГАСНИКОВ Олег Александрович**, старший научный сотрудник ГНИНГИ. Окончил Ленинградское высшее инженерное морское училище им. адм. С. О. Макарова, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. Специализация: гидрометеорология, вычислительная техника. Автор более 20 научных публикаций.

**ГУБАРЕВИЧ Ян Никифорович**, заместитель начальника ГНИНГИ МО РФ. Окончил Северо-Западный заочный политехнический институт. Специализация – инженер-системотехник. Автор более 10 печатных трудов.

**Sergey P. ALEKSEYEV**, Chief of the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD, Rear-Admiral, DSc, Honoured Military Specialist, chairman of St. Petersburg regional branch of the Russian Public Institute of Navigation, member of the Academy of Transport, RF. Graduated from Frunze Naval College and Naval Academy. Speciality: navigation. Author of more than 200 publications.

**Sergei G. AMELCHENKO**, engineer-navigator, postgraduate student at the Makarov State Maritime Academy. Graduated from Odessa Higer Engineering Marine College. The sphere of scientific interests: dredging operations, search for submarine objects. Author of three publications.

**Victor S. ANOSOV**, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD, Cand Sc. Graduated from Leningrad Institute of Aircraft Device Building. Sphere of scientific interests: hydrometeorological support for forces and means of the Navy. Author of more than 90 publications.

**Ivan T. BUREIKO**, chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD, captain 2-nd rank (Ret.). Graduated from Makarov State Maritime Academy. Speciality: hydrometeorology.

**Alexandr V. VOROBYEV**, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD. Captain 2-nd rank (Ret.). Graduated from Leningrad State University. Speciality: oceanology. Author of more than 20 publications.

**Oleg A. GASNIKOV**, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD. Graduated from Leningrad Higher Engineering Marine College and St. Petersburg State Polytechnical University. Speciality: hydrometeorology, computer science. Author of more than 20 publications.

**Yan N. GUBAREVICH**, deputy chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD. Graduated from North-West Extramural Polytechnical Institute. Speciality: engineer-sysrem design. Author of more than 10 publications.

**ДРУЖЕВСКИЙ Сергей Анатольевич**, начальник отдела ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга в запасе. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова. Специализация: гидрография и гидрометеорология. Область научных интересов: организация морских инженерных изысканий; влияние природной среды на безопасность строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений. Автор более 20 печатных трудов.

**ЖУКОВ Юрий Николаевич**, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, доктор технических наук. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт. Специализация – гидрометеорология. Автор более 30 печатных трудов.

**ЗОЛОТАЙКИН Борис Матвеевич**, военный пенсионер, капитан 1 ранга в отставке. Окончил Бакинское военно-морское подготовительное училище и Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Область научных интересов – гидрография, история флота. Военный писатель. Автор более 70 опубликованных работ.

**ИВАНОВ Борис Евгеньевич**, главный научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга в отставке, докт. техн. н., профессор, лауреат Государственной премии РФ, заслуженный деятель науки и техники, председатель секции НТО им. акад. А. Н. Крылова. Окончил Балтийское высшее военно-морское училище, ВМА им. Н. Г. Кузнецова. Специализация – морская геодезия, гравиметрия, гидрография, навигация. Автор около 200 печатных трудов.

**КАТЕНИН Владимир Александрович**, ученый секретарь ГНИНГИ, докт. воен. н., капитан 1 ранга в отставке. Окончил Каспийское высшее военно-морское училище. Специализация – военная кибернетика. Автор более 200 печатных трудов.

**ЛАВРЕНТЬЕВ Анатолий Васильевич**, главный научный сотрудник ГНИНГИ, профессор Морского корпуса Петра Великого (Санкт-Петербургского военно-морского института), капитан 1 ранга в отставке, докт. воен. н., действительный член Академии военных наук и Международной академии информатизации, Почетный академик РАЕН, Почетный профессор СПбВМИ, Почетный член Ученого совета СПбВМИ, Почетный начальник кафедры СПбВМИ. Окончил Тихоокеанское военно-морское училище. Область научных интересов – военное кораблевождение и методология подготовки специалистов ВМФ. Автор более 350 печатных работ.

**Sergei A. DRUZHEVSKY**, chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Captain 1-st rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College and Naval Academy. Speciality: hydrography and hydrometeorology. Sphere of scientific interests: organization of marine engineering investigations, influence of environment on the construction and exploitation of hydrotechnical structures. Author of more than 20 publications.

**Yuri N. ZHUKOV**, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, DSc. Graduated from Leningrad Hydrometeorological Institute. Speciality: hydrometeorology. Author of more than 30 publications.

**Boris M. Zolotaikin**, writer (military topics). Captain 1-st rank (Ret.). Graduated from Baku Naval Preparatory School and Frunze Naval College. Sphere of scientific interests: hydrography, history of the Navy. Author of more than 70 publications.

**Boris E. IVANOV**, chief researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD, Captain 1-st rank (Ret.), DSc, professor, RF State Prize Winner, Honoured Scientist, chairman of Krylov STO section. Graduated from Baltic Naval College and Naval Academy. Speciality: marine geodesy, gravimetry, hydrography, navigation. Author of about 200 publications.

**Vladimir A. KATENIN**, scientific secretary, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, DSc, Captain 1-st rank (Ret.), Graduated from Caspian Naval College. Speciality: military cybernetics. Author of more than 200 publications.

**Anatoly V. LAVRENTYEV**, chief researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute; professor, St. Petersburg Naval Institute, Captain 1-st rank (Ret.), DSc, member of the Academy of Military Sciences and International Academy of Informatization; Honorary Academician of the Russian Academy of Natural Sciences; Honorary professor of Naval Institute and Honorary member of the Scientific Council of the Naval Institute; Honorary chief of department. Graduated from the Pacific Naval College. Sphere of scientific interests: military navigation and methodology of training the specialists for the Navy. Author of more than 350 publications.

**ЛОБОЙКО Борис Иванович**, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга в запасе, докт. техн. н., академик Академии военных наук, почётный радист. Окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники им. С. Попова. Специализация – радиосвязь, навигация. Автор более 70 печатных трудов.

**НИКИФОРОВ Александр Иванович**, заведующий кафедрой Санкт-Петербургского государственного морского университета, докт. техн. наук. Окончил Ленинградский кораблестроительный институт. Специалист в области минно-торпедного оружия с авиационной постановкой. Автор более 90 опубликованных работ.

**МАСТРЮКОВ Сергей Иванович**, начальник отдела ГНИНГИ МО РФ, полковник в запасе, канд. техн. н. Окончил Ленинградский гидрометеорологический институт. Специализация – океанология. Автор около 100 печатных трудов.

**МИРОШНИКОВ Игорь Михайлович**, старший редактор морских карт Центрального картографического производства ВМФ, капитан 1-го ранга в отставке. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе. Специализация – военный гидрограф. Автор 60 опубликованных работ.

**МИХАЛЬСКИЙ Виталий Александрович**, старший научный сотрудник ГНИНГИ, капитан 1-го ранга в отставке, канд. техн. н., доцент. Окончил Высшее военно-морское училище подводного плавания. Специализация: прикладная теория вероятностей и метрология в задачах кораблевождения. Автор более 180 печатных трудов.

**ОПАРИН Александр Борисович**, начальник НИЦ ГНИНГИ МО РФ, капитан 1 ранга в запасе, докт. техн. н., старший научный сотрудник. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе и Высшие специальные офицерские классы. Специализация – военный инженер-гидрограф. Автор около 60 печатных трудов.

**ПЕТРОВА Юлия Олеговна**, старший редактор морских карт ЦКП ВМФ. Окончила Ленинградский государственный университет. Специализация – английский язык и литература. Автор 5 печатных трудов.

**Boris I. LOBOIKO**, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD. Captain 1-st rank (Ret.), DSc, academician of the Academy of Military Sciences, Honoured Radio Specialist. Graduated from Popov Naval College of Raioelectronics. Speciality: radio communications, navigation. Author of more than 70 publications.

**Alexander I. NIKIFOROV**, head of department St. Petersburg State Marine Technical University, DSc. Graduated from Leningrad Shipbuilding Institute. Speciality: mine and torpedo weapons used from aircraft. Author of more than 90 publications.

**Sergei I. MASTRYUKOV**, chief of division, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD, Colonel (Ret.), CandSc. Graduated from St. Petersburg Hydrometeorological Institute. Speciality: oceanology. Author of about 100 publications.

**Igor M. MIROSHNIKOV**, senior editor of nautical charts, the 280 Central Chart Division of the Navy. Captain 1-st rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College. Speciality: naval hydrographer. Author of 60 publications.

**Vitaly A. MIKHALSKY**, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD. CandSc, Senior reader, Captain 1-st rank (Ret.). Graduated from Naval College of Submerged Sailing. Speciality: applied probabilities theory and metrology used for ship navigation. Author of more than 180 publications.

**Alexander B. OPARIN**, chief of Research Centre, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, MoD RF, Captain 1-st rank (Ret.), senior researcher, DSc. Graduated from Frunze Naval College and Higher Officers' Classes. Speciality: military engineer-hydrographer. Author of about 60 publications.

**Julia O. PETROVA**, senior editor of nautical charts, the 280 Central Chart Division of the Navy. Graduated from Leningrad State University. Speciality: the English language and literature. Author of more than 5 publications.

**ПЫЛАЕВ Андрей Александрович**, зав. лабораторией НИИ Радиофизики Санкт-Петербургского Госуниверситета, канд. физ.-мат. наук. Окончил Ленинградский государственный университет. Специализация – радиофизика. Автор 24 научных работ.

**ТЕЗИКОВ Александр Львович**, начальник кафедры Государственной морской академии им. адм. С. О. Макарова, докт. техн. н., профессор. Окончил Ленинградское высшее инженерное морское училище им. адм. С. О. Макарова. Область научных интересов – гидрографические исследования в Арктике. Автор 90 научных публикаций.

**ТРЕГУБОВ Виктор Свиридович**, старший научный сотрудник ГНИНГИ МО РФ. Окончил Государственную морскую академию им. адм. С. О. Макарова. Область научных интересов – радионавигация. Автор 80 печатных трудов.

**УСТИМЕНКО Алексей Юрьевич**, начальник лаборатории ГНИНГИ, капитан 3 ранга в запасе. Окончил Севастопольский государственный технический университет. Специализация – инженер-системотехник. Автор более 10 печатных трудов.

**ФРОЛОВ Дмитрий Александрович**, начальник лаборатории капитан-лейтенант в запасе Окончил Санкт-Петербургский Военно-Морской Институт. Специализация – навигация. Автор одной научной публикации.

**ЯКУШЕВ Артем Анатольевич**, начальник лаборатории ГНИНГИ МО РФ, капитан-лейтенант в запасе. Окончил Санкт-Петербургский Военно-Морской Институт, ВСОК ВМФ. Специализация – штурман.

**Andrey A. PYLAEV**, head of laboratory, Research Institute of Radiophysics, St. Petersburg State University, CandSc. Graduated from Leningrad State University, majoring in radiophysics. Author of 24 publications.

**Alexander L. TEZIKOV**, Chief of department «Hydrography of Sea», Makarov State Maritime Academy, DSc, professor. Graduated from Leningrad Higher Engineering Marine College. Speciality: engineer-hydrographer. Sphere of scientific interests: hydrographic explorations in the Arctic. Author of 90 publications.

**Victor S. TREGUBOV**, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD. Graduated from Makarov State Maritime Academy. Speciality: radionavigation. Author of 80 publications.

**Aleksei Y. USTIMENKO**, chief of laboratory, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD, Captain 3-rd rank (Ret.). Graduated from Sevastopol State Technical University. Speciality: design engineering. Author of more than 10 publications.

**Dmitry A. FROLOV**, chief of laboratory, the State Research Navigation-Hydrographic Institute. Graduated from St. Petersburg Naval Institute. Speciality: navigation. Author of one scientific publication.

**Artem A. YAKUSHEV**, chief of laboratory, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, RF MoD. Graduated from St. Petersburg Naval Institute, Higher Officers Classes. Speciality: navigator.