

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

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

ИЗДАЕТСЯ С 1995 ГОДА

**16
2003**

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Санкт-Петербург

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

Редакционная коллегия:

В. А. Авдонушкин, к. т. н. С. П. Баринов, д. т. н. Б. Н. Беляев,
М. Л. Богданович, д. в. н. П. Г. Бродский (заместитель главного редактора),
к. г.-м. н. И. Ю. Бугрова (редактор), к. в.-м. н. А. А. Дадашев,
д. т. н. А. Н. Добротворский (первый заместитель главного редактора),
д. т. н. Б. Е. Иванов, к. т. н. И. В. Капустин, к. т. н. А. А. Лакунин,
Н. И. Леденев, д. ф.-м. н. П. И. Малеев, к. т. н. С. И. Мاستрюков,
д. в.-м. н. А. П. Михайловский, д. т. н. Н. Н. Неронов,
А. Ю. Обухов (ответственный за выпуск), к. т. н. А. Б. Опарин,
д. т. н. В. И. Пересыпкин, акад. РАН В. Г. Пешехонов, к. т. н. Ю. В. Румянцев,
чл.-кор. РАН А. Е. Сазонов, чл.-кор. РАН А. И. Сорокин

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

2003

**THE STATE RESEARCH NAVIGATION-HYDROGRAPHIC
INSTITUTE**

NAVIGATION AND HYDROGRAPHY

PUBLISHED SINCE 1995

**16
2003**

RUSSIAN FEDERATION MINISTRY OF DEFENCE

Saint-Petersburg

Editor-in-chief

S. P. Alekseyev, DSc

Editorial board

V. Avdonyushkin; S. Barinov, CandSc; B. Belyaev, DSc; M. Bogdanovich;
P. Brodsky (vice-editor-in-chief), DSc; I. Bugrova, CandSc (editor);
A. Dadashev, CandSc; A. Dobrotvorsky (first vice-editor-in-chief),
DSc; B. Ivanov, DSc; I. Kapustin, CandSc; A. Lakunin, CandSc; N. Ledenev;
P. Maleyev, DSc; S. Mastryukov, CandSc; A. Mikhaylovsky, DSc;
N. Neronov, DSc; A. Obukhov (the issue manager); A. Oparin, CandSc;
V. Peresyarkin, DSc; V. Peshekhonov DSc, Acad. RAS; Yu. Rumyantsev, CandSc;
A. Sazonov, CM RAS; A. Sorokin, DSc, CM RAS

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

2003

СОДЕРЖАНИЕ

С. П. Алексеев Актуальные проблемы повышения эффективности процессов освоения и эксплуатации морских нефтегазовых месторождений	8
А. И. Исмаилов Использование вариационного метода в задаче определения коэффициентов важности перспективных средств НГО и ГМО	16
НАВИГАЦИЯ	19
Б. Е. Иванов О рисках разработчика и заказчика при испытании средств навигации и океанографии	19
Б. Н. Беляев О точности счислимого места.....	23
Б. Е. Иванов, Р. А. Андреюк О влиянии течения на точность определения поправки лага.....	28
А. В. Лаврентьев Методы освоения перспективных навигационных комплексов	32
П. И. Малеев Акселерометрическая стабилизированная платформа.....	35
П. И. Малеев Повышение точности гироскопа за счет дополнительного медленного вращения его ротора в ортогональной плоскости.....	39
Б. И. Лобойко Погрешности выработки временной информации при приеме сигналов пульсаров	44
Б. И. Лобойко, В. Н. Баринов Средства и методы сличения и коррекции шкал времени и частоты	52
В. И. Резниченко, В. И. Лапшина Комплексование спутниковых и автономных навигационных средств морских объектов.....	58
В. А. Катенин Особенности навигационного обеспечения плавания судов смешанного («река-море») типа по международному транспортному коридору «Север-Юг»	63
ГИДРОГРАФИЯ	72
Н. Н. Неронов Принципы создания системы технических средств для гидрографии.....	72
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ОКЕАНОГРАФИЯ	81
Б. Н. Беляев, Е. С. Самыгина Основные особенности технологической схемы информационного процесса в автоматизированной системе ГМО ВМФ	81
А. Н. Другов Гравитация	87
ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ	89

CONTENTS

S. P. Alekseyev The Most Significant Problems of Enhancing the Effectiveness of the Development and Exploitation Processes at the Marine Oil and Gas Fields	8
A. I. Ismailov Employment of Variation Method in the Problem of Determining the Importance Coefficients for the Promising Means and Facilities of Navigation-Hydrographic and Hydrometeorological Support	16
NAVIGATION	19
B. E. Ivanov On the Risks of Developer and Client when Testing the Means and Facilities of Navigation and Oceanography	19
B. N. Belyaev On the Accuracy of Dead-Reckoning Position	23
B. E. Ivanov, R. A. Andreyuk On the Influence of Current on the Accuracy of Determining the Log Correction	28
A. V. Lavrentyev Methods of Mastering the Promising Navigation Integrated Systems	32
P. I. Maleyev Accelerometric Stabilized Platform	35
P. I. Maleyev Increase of Gyroscope Accuracy Due to the Additional Slow Rotation of its Wheel in Orthogonal Plane	39
B. I. Loboiko Errors of Obtaining the Time Information when Receiving the Pulsar Signals	44
B. I. Loboiko, V. N. Barinov Means and Methods Used to Compare and Correct the Time and Frequency Scales	52
V. I. Reznichenko, V. I. Lapshina Integration of Satellite and Self-Contained Navigation Aids of the Marine Objects	58
V. A. Katenin Features of the Navigation Support for the River-Sea Type Vessels Sailing Along the International "North-South" Transport Corridor	63
HYDROGRAPHY	72
N. N. Neronov Principles of Creating the System of Technical Means and Facilities for Hydrographic Surveys	72
HYDROMETEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY	81
B. N. Belyaev, E. S. Samygina Main Features of the Technological Diagram of Information Process in the Automated System of the Hydrometeorological Support for the Navy	81
A. N. Drougov Gravitation	87
INFORMATION ABOUT AUTHORS	89

Уважаемый читатель!

В год 300-летия Санкт-Петербурга многие научно-исследовательские организации города выпускают специальные издания, которые отражают наиболее значительные результаты исследований, полученные их сотрудниками. Таким изданием является и юбилейный номер журнала «Навигация и гидрография», изданный Государственным научно-исследовательским навигационно-гидрографическим институтом Министерства обороны РФ. Институт является ответственным в Российской Федерации за обоснование и разработку технической политики в области навигации, гидрографии, морской картографии, океанографического обеспечения обороны и экономики страны, что и определило содержание данного номера. Обычно в журнале публикуются не только сотрудники института, но и авторы, представляющие другие научно-исследовательские и прочие организации различных регионов страны. Но на этот раз, имея в виду своего рода отчетный характер юбилейного издания, было решено ограничить материалы номера помещением в журнале статей только ведущих сотрудников института, дающих представление о направленности наиболее значимых исследований коллектива, научный потенциал которых достаточно высок; в институте трудятся свыше восьмидесяти докторов и кандидатов наук. Все это позволяет надеяться, что представленные в этом номере журнала статьи найдут своих заинтересованных читателей.

Главный редактор

С. П. Алексеев

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССОВ
ОСВОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

С. П. АЛЕКСЕЕВ

Рассматриваются проблемы национальной морской политики в области освоения и сохранения ресурсов Мирового океана. С учетом мирового опыта излагаются научно-технические проблемы практической реализации крупномасштабных проектов нефтегазовых компаний по освоению морских нефтегазовых месторождений, находящихся в шельфовой зоне и в районах с большими глубинами залегания сырья. Обосновывается целесообразность участия Военно-Морского Флота и использования двойных технологий при практической реализации задач национальной морской политики. Предлагаются основные направления участия научных организаций, структур ВМФ, промышленных предприятий в работах по обеспечению освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа.

Освоение пространств и ресурсов Мирового океана становится одним из главных направлений развития мировой цивилизации в третьем тысячелетии.

Благодаря своему географическому положению, месту и роли в глобальных и региональных международных отношениях, а также огромному вкладу в изучение Мирового океана и развитие судоходства, Россия как исторически ведущая морская держава сформировала и последовательно осуществляет государственную политику в области морской деятельности, призванную стать одним из основных факторов перехода к устойчивому экономическому развитию страны, и способствовать укреплению ее национальной безопасности и международного авторитета.

Одним из ведущих функциональных направлений национальной морской политики в области морской деятельности является освоение и сохранение ресурсов Мирового океана, долгосрочные задачи которого определены Морской доктриной Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденной Президентом страны В. В. Путиным 27 июля 2001 г. [1].

Перспектива истощения запасов углеводородного сырья и других минеральных ресурсов в континентальной части страны предопределяет переориентацию разведки и добычи полезных ископаемых на континентальный шельф, а в перспективе – и на океанские склоны и ложа океанов.

Отечественные и зарубежные специалисты в области морской нефтегазовой промышленности накопили большой опыт по освоению шельфа морей с умеренным климатом, но, к сожалению, они еще не располагают отработанной технологией и необходимыми техническими средствами для организации в широких масштабах эксплуатационных работ, особенно в арктических условиях. Так, имеющийся канадско-американский опыт строительства нефтегазопромысловых гидротехнических сооружений в море Бофорта и заливе Кука на Аляске не является безусловно приемлемым в условиях региона Российского Севера.

Учитывая мировой опыт эксплуатации промыслов, практическая реализация крупномасштабных проектов ОАО «Газпром», других нефтегазовых компаний по освоению морских нефтегазовых месторождений, находящихся в шельфовой зоне и в районах с большими глубинами залегания сырья, пред-

полагает решение следующих крупных научно-технических проблем, признанных специалистами.

1. Использование принципов комплексного обустройства месторождений, что является одним из вопросов концептуальной стратегии освоения шельфа.

2. Создание современных технологий, технических средств и оборудования, необходимых для обустройства месторождений и их эксплуатации, которые бы отвечали требованиям суровых природных условий.

Следует отметить, что освоение морских месторождений нефти и газа связано со строительством различных морских инженерных сооружений в шельфовой зоне морей. Технологии и технические средства обеспечения этих работ являются чрезвычайно сложными, многие из них не имеют аналогов в мире и будут создаваться впервые. Проблема заключается в том, что для создания этой разнообразной техники необходимо привлечение большого научно-технического потенциала и значительных материальных средств. Наиболее сложные из них, такие как, например, ледостойкие платформы, могут быть созданы только объединенными усилиями отечественных и зарубежных компаний. Планируемые объемы строительства технических средств на ближайшую перспективу могут быть решены путем размещения заказов на существующих предприятиях судостроительной и оборонной промышленности.

3. Создание единой научно-производственной базы по разработке проектов, изготовлению и строительству морских инженерных сооружений для бурения и добычи углеводородов.

4. Поиск и освоение супергигантских месторождений, в первую очередь нефтяных.

5. Необходимость международного объединения научно-производственных и финансовых усилий при разработке сложных проектов на шельфе.

Мировой опыт показывает, что проекты освоения шельфа должны осуществляться объединенными усилиями мощных международных компаний, как, например, это имело место при освоении шельфа Северного моря. Международное участие позволяет привлечь новейший научно-производственный потенциал и значительные инвестиции. Именно этим путем осуществляются разработки проектов «Сахалин-1», «Сахалин-2», «Сахалин-3» и др.

6. Бурение наклонно-направленных и горизонтальных скважин.

В качестве примера отметим, что в США с 1989 по 1990 гг. количество наклонно-направленных (НН) и горизонтальных скважин (ГС) увеличилось с 257 до 1290. Помимо своего основного назначения – повышения нефтеотдачи пластов, – применение НН и ГС приобретает дополнительное, очень важное преимущество, так как напрямую влияет на количество дорогостоящих платформ, используемых при обустройстве месторождений. Задача заключается в том, чтобы добиться в этом деле коренного перелома и обеспечить широкое применение НН и ГС в работах на шельфе. Успешное и эффективное освоение нефтегазовых месторождений в шельфовой зоне связано с применением современных технологий бурения. В наибольшей степени это относится к российскому океаническому шельфу, расположенному в замерзающих арктиче-

ских и приполярных морях, где выбор места расположения буровой платформы во многом определяется ледовой обстановкой.

Сегодня, к сожалению, практически вся применяемая российскими нефтегазодобывающими компаниями техника для обеспечения горизонтального направленного бурения является импортной (главным образом производства США). Создание и применение отечественных буровых комплексов при освоении шельфа имеет стратегическое значение для развития основной бюджетобразующей отрасли российской экономики, так как при этом обеспечиваются:

- технологическая независимость отрасли от импорта оборудования и запасных частей к нему, в силу чего ослабляется влияние политических конъюнктур на развитие экономики России;
- повышение рентабельности добычи российских углеводородов за счет применения более современных и эффективных технологий (сегодняшняя практика показывает, что поставляемое в Россию оборудование относится по крайней мере к предыдущему поколению техники по сравнению с аналогами, применяемыми для собственных нужд западными конкурентами российских нефтегазодобытчиков), а также за счет снижения затрат на приобретение оборудования при импортозамещении;
- выполнение одного из главных условий Закона «Соглашения о разделе продукции» [2] – 70-ти процентное наполнение оборудованием отечественного производства, что, естественно, дает мощный импульс развитию целому ряду отраслей российской промышленности; анализ текущего состояния разработки и внедрения передовых российских разработок в области нефтегазодобычи показывает, что решение в ближайшее время задачи полного (или, во всяком случае, преимущественного) импортозамещения комплекса основных технических средств обеспечения бурения нефтегазовых скважин на шельфе вполне реально.

7. Создание нормативной базы обеспечения работ на шельфе.

К создаваемой технике и технологиям предъявляются повышенные требования по технической и экологической безопасности в связи с жесткими условиями эксплуатации, которыми характеризуются Северные и Дальневосточные регионы с замерзающими морями. В отечественной практике для проектирования морской нефтегазопромысловой техники в основном для незамерзающих морей используется более 1000 нормативно-технических документов всех уровней, разработанных в разное время организациями более 10 министерств и ведомств. Проблема заключается в том, что существующая в данной области Российская нормативно-техническая документация не удовлетворяет требованиям создаваемой продукции, так как не учитывает новых условий строительства и эксплуатации. Проблема в особенности обострилась после того, как в работах по освоению шельфа стали активно участвовать многочисленные зарубежные компании, пользующиеся в своей практической работе международными нормативными документами.

Эти задачи требуют поиска новых решений с учетом положительных и отрицательных результатов, полученных при эксплуатации нефтегазовых промыслов.

В настоящее время, учитывая экономическое положение страны, ограниченные финансовые ресурсы и опыт использования двойных технологий в

плане практической реализации указанных задач национальной морской политики, существенное значение в этом процессе может иметь участие Военно-Морского Флота, поскольку деятельность и развитие ВМФ тесно увязываются и согласовываются с решением всего комплекса проблем, связанных с изучением, освоением и эффективным использованием ресурсов и пространств Мирового океана в интересах обеспечения устойчивого экономического развития государства.

В частности Военно-Морской Флот призван осуществлять [3]:

- обеспечение навигационной безопасности мореплавания;
- участие в океанографическом, гидрометеорологическом, картографическом обеспечении деятельности на море соответствующих государственных органов и иных организаций;
- создание и поддержание условий для безопасности экономической и других видов деятельности РФ в ее территориальных морях, исключительной экономической зоне, на континентальном шельфе, а также в удаленных районах Мирового океана.

В настоящее время деятельность на основе использования части средств, ресурсов и потенциала ВМФ обеспечивает возможность значительного изменения уровня и масштабы данного процесса.

Исходя из обобщения накопленного опыта участия ГНИНГИ Минобороны в изучении и освоении ресурсов Мирового океана, участия в реализации отдельных проектов ОАО «Газпром» и других компаний и фирм по обустройству и эксплуатации месторождений углеводородного сырья могут быть решены научно-технические задачи, связанные с изучением природных условий шельфа России, с созданием транспортных систем, портовой инфраструктуры, с необходимостью осуществления многопланового экологического мониторинга, комплексного обеспечения безопасности и др.

По оценке ученых и специалистов института, к проблемам, требующим первоочередного решения, следует отнести:

1. *Разработку методов, создание средств, совершенствование нормативной базы и технологий специальных исследований природных процессов (геологических, геофизических, гидрометеорологических, ледовых, литодинамических) для обеспечения процессов проектирования строительства и эксплуатации объектов обустройства морских нефтегазовых месторождений.*

Имеющиеся базы стандартных гидрометеорологических наблюдений и стандартные процедуры их режимного обобщения, равно как и стандартные прогнозы гидрометеорологических условий, не обеспечивают требования нормативных документов по составу и точности исходных данных о состоянии природной среды. С целью обеспечения процессов освоения морских нефтегазовых месторождений специализированной информацией, отвечающей необходимым требованиям, необходимо производство специализированных наблюдений и выполнение специализированных расчетов, которые в ряде случаев требуют применения уникального оборудования, совершенных моделей и мощных вычислительных комплексов.

2. Создание целостной системы обеспечения объектов обустройства морских нефтегазовых месторождений глубоководными технологиями и оборудованием для производства подводно-технических и водолазных работ.

Важность указанных технологий и оборудования, как и всей системы в целом, определяется тем, что они:

- входят в состав технологических процессов производства работ не всех объектах обустройства морских нефтегазовых месторождений;
- являются обязательными на всех этапах жизненного цикла объектов обустройства морских нефтегазовых месторождений.

Недостаточный уровень развития отечественной техники и оборудования, несовершенная нормативная база, необходимость существенных финансовых затрат, малая привлекательность вложения средств для каждой нефтедобывающей компании и другие причины приводят к тому, что этот российский сектор рынка, обладающий потенциально исключительно высоким коммерческим эффектом, постепенно занимают зарубежные фирмы;

3. Реализация технологий морской транспортировки сжатого природного газа (CNG) с использованием специально оборудованных судов-газовозов.

Географическая удаленность от потребителя морских шельфовых месторождений углеводородов и геополитические изменения, которые привели к нарушению газоснабжения удаленных областей Российской Федерации (Калининградская область, Приморский край, Мурманск и т. д.) и объектов Министерства обороны требуют немедленной организации транспортировки добытого продукта.

Рассматриваемые проекты газоснабжения прибрежных районов требуют существенных капиталовложений в строительство линейной части газопроводов и инфраструктуры при отсутствии потребителей вдоль трасс, которые проходят в сложных условиях.

Изучение альтернативных вариантов транспортировки газа показывает, что возможным способом решения проблемы может быть использование технологии морской транспортировки сжатого газа (CNG) с применением специально оборудованных судов-газовозов. Способ заключается в использовании на судах танкерного типа системы резервуаров различной конфигурации с заданным уровнем давления. Транспорт газа в отдаленные регионы РФ (что особенно актуально для региона Калининградской области) на специально оборудованном судне может быть осуществлен от загрузочного терминала через морскую акваторию до приемного терминала.

Схема морской транспортировки сжатого газа на судах-газовозах представляет собой интеграцию существующих в мире и экспериментально апробированных технологий. По оценкам специалистов компании DNV (Норвегия) судно-газовоз, использующее технологию CNG не более опасно, чем другие газовые суда.

Конструкция и местоположение сооружений загрузочного и приемного терминалов зависят от природных, навигационных и существующих портовых условий выбранных акваторий. Альтернативой использованию существующих или строительству новых причальных сооружений является применение морских беспричальных швартово-загрузочных систем.

Преимуществом такой системы является то, что суда-газовозы могут доставлять газ в любое место, минуя природные преграды и политические границы, при этом транспортировку можно начать сразу после освоения месторождения. Морская трасса начинается и заканчивается в территориальных водах России, проходит в коридорах международного фарватера вдоль границ эксклюзивных экономических зон иностранных государств.

Технология CNG позволяет переоборудовать существующие суда или строить новые с широким диапазоном емкостей от 8,5 до 56,5 млн. куб. м сжатого природного газа и обеспечивать перевозку газа на расстояние до 4000 миль (7400 км) с меньшими затратами по сравнению с широко используемой технологией LNG. Это дает возможность производителям согласовать характеристики CNG транспортной системы с производительностью месторождений и таким образом оптимизировать инвестиции в инфраструктуру проекта.

На перевозку морем российского газа отрицательно влияет сезонный доступ по морю к местам добычи газа. Полуостров Ямал, например, большую часть года окружен льдом, не являются исключением и месторождения Приразломное и Штокмановское. Месторождения на Дальнем Востоке закрываются льдом частично, однако в зимние месяцы из-за сложных гидрометеорологических условий интенсивность морских перевозок газа может существенно снизиться. Российские месторождения в период повышенного спроса на энергоносители (зимой) недоступны или труднодоступны с моря.

Способы навигации, методы снижения навигационного риска для коммерческого мореплавания существенно зависят от районов плавания, способов перегрузки газа и целей морской транспортировки газа.

Важная группа данных – возможные пункты перегрузки газа, включая месторождения, промежуточные перегрузочные пункты временного хранения газа и пункты доставки газа потребителю. Следует учитывать возможности ВМФ по строительству или модернизации судов, перевозящих газ, технические характеристики судов, привлекаемых к морским перевозкам как в настоящее время, так и в будущем.

Актуальным вопросом является и определение на основании исходных данных наиболее эффективных (с точки зрения снижения навигационного) риска коммерческих перевозок газа морем) методов организации транспортировки газа для каждого направления.

При выработке этих методов решается большой комплекс научно-технических задач, важнейшими из которых являются:

- определение возможных способов транспортировки газа для каждого из направлений;
- определение (по имеющимся материалам гидрографических работ) достаточности изученности районов плавания для судов, перевозящих сжатый газ высокого давления;
- разработка программы гидрографических исследований в наиболее перспективных районах прокладки маршрутов и путей движения судов;
- разработка маршрутов и путей движения судов и требований к дооборудованию их в навигационном отношении;

- разработка документов для подготовки и издания Извещений Мореплавателям по организации и использованию рекомендованных путей движения судов;
- разработка предложений по обеспечению навигационной безопасности швартовки судов в портах (отгрузочных терминалах);
- разработка рекомендаций для Морских администраций портов по корректуре Обязательных постановлений;
- разработка вариантов бортового навигационного оборудования судов, осуществляющих перевозку опасных грузов с учетом требований ИМО (Конвенция СОЛАС-74, глава 5);
- оценка навигационной безопасности плавания судов рекомендованными маршрутами на основе результатов моделирования движения судов;
- разработка предложений по организации движения судов, обеспечивающих наибольшее снижение навигационного риска (например, вывоз газа в летнее время в места временного хранения потребует максимальной интенсивности движения судов в короткий период времени, что может создать предпосылки столкновения судов в местах схождения путей движения);
- разработка методов гидрометеорологического обеспечения морских перевозок газа и требований к техническим средствам мониторинга состояния среды на маршрутах транспортировки газа;
- разработка требований и предложений по реализации экологического мониторинга мест перегрузки газа и маршрутов движения судов.

4. Создание комплексной системы транспортного обслуживания месторождений углеводородного сырья.

Мощность создаваемой транспортной системы должна быть ориентирована на экспорт нефти и нефтепродуктов и завоз грузов снабжения в ближайшие 10–15 лет из регионов Северной части РФ. Создание эффективно действующей транспортной системы в суровых условиях Крайнего Севера и Заполярья является достаточно сложной технической задачей, связанной со строительством подводных и наземных трубопроводов значительной протяженности, перегрузочных терминалов, нефте- и газохранилищ, швартовных устройств, морских транспортных судов и других технических средств.

Решение вопросов повышения энергетической безопасности стратегических объектов России, имеющих в силу природных или политических причин, сложное расположение, а также необходимость обеспечения возрастающих объемов перевозок грузов всеми видами транспорта в регионах с экстремальными природно-климатическими условиями требует создания адекватной транспортной системы.

Как показал опыт, эффективным способом решения проблем подобного рода является использование морского потенциала [4], [5], [6]:

- сил и средств двойного назначения;
- части научно-технического потенциала проектных организаций и потенциала военной навигации, гидрографии и океанографии, сконцентрированного главным образом на базе подразделений Главного управления навигации и океанографии Министерства обороны (ГУНиО МО);

- хорошо отлаженной кооперации предприятий Министерства обороны, промышленности, институтов РАН и учреждений других ведомств.

Проблема создания кооперации российских научных и производственных организаций для выполнения комплексных работ в интересах освоения шельфовых месторождений России является весьма актуальной. Государственным научно-исследовательским навигационно-гидрографическим институтом МО РФ в этом направлении проводится большая работа. Установлены рабочие контакты с Правительством Чувашской республики, Администрацией Сахалинской области. Президентом РФ оказана поддержка инициативам ГНИНГИ.

В современных условиях использование ресурсов ВМФ значительно повышает эффективность решения задач по освоению нефтегазового потенциала континентального шельфа. Проверенный на практике опыт выполнения работ с привлечением ведущих научных организаций ВМФ подтверждает правильность выбранного курса на активизацию деятельности ГНИНГИ в интересах нефтегазового комплекса страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морская доктрина РФ на период до 2020 г. // Красная звезда. –23.08.2001
2. Федеральный закон от 30.12.95 «О соглашениях о разделе продукции» № 225-93 (утвержден 27.07.01. Приказом ПР-1387) [Федеральный закон](#).
3. Основы политики Российской Федерации в области военно-морской деятельности на период до 2010 г. (утверждены Указом Президента РФ от 4 марта 2000 г.). – Москва, 2000. – 12 с.
4. Алексеев С. П., Бродский П. Г., Добротворский А. Н. Научно-технический потенциал военной навигации, гидрографии и океанографии на службе национальной экономики // Навигация и гидрография. – 2001. № 12. – С. 14–28.
5. Комарицын А. А., Алексеев С. П., Бродский П. Г., Дмитриев В. Г., Добротворский А. Н. Навигационно-гидрографическое и гидрометеорологическое обеспечение морской деятельности в аспектах устойчивого развития. // Навигация и гидрография. – 2001. № 13. – С. 9–17.
6. Алексеев С. П., Добротворский А. Н., Бродский П. Г. НГО и ГМО морской деятельности в контексте выработки стратегии изучения и освоения нефтегазового потенциала континентального шельфа России // Навигация и гидрография. – 2002. № 14. – С. 9–13.

S. P. Alekseyev

The Most Significant Problems of Enhancing the Effectiveness of the Development and Exploitation Processes at the Marine Oil and Gas Fields

Problems of the national maritime policy in the area of development and conservation of the World ocean resources are considered.

Taking the world experience into account, the scientific-technical problems of implementing the large-scale tasks of oil and gas companies intended to develop the marine oil and gas fields in the shelf zone and in the areas of the great occurrence depth of the raw materials, are set forth.

The feasibility of participation of the Navy and employment of dual technology in fulfilling the tasks of the national maritime policy is substantiated.

The main directions for participation of the scientific organizations, structures of the Navy, and industrial enterprises in the work intended to provide the development of the oil and gas potential on the continental shelf are proposed.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВАРИАЦИОННОГО МЕТОДА В ЗАДАЧЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ВАЖНОСТИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СРЕДСТВ НГО И ГМО

А. И. ИСМАИЛОВ

Дан подход к использованию вариационного метода теории функции нескольких переменных к определению коэффициентов важности перспективных средств НГО и ГМО. Использование предложенного метода в значительной мере снижает субъективизм в определении указанных коэффициентов за счет исключения экспертов из процесса их формирования.

В современной практике определения приоритетности создания перспективных средств навигационно-гидрографического (НГО) и гидрометеорологического (ГМО) обеспечения наиболее широко используются эвристические методы определения коэффициентов важности планируемых работ по их созданию. По сравнению со строгими математическими методами такие методы имеют два основных преимущества: они хорошо интерпретируются с технико-экономической точки зрения и сравнительно просты, если говорить об их математическом аппарате.

В рассматриваемом процессе широкое применение эвристических методов, из которых наиболее часто применяется метод экспертных оценок, объясняется, наряду с указанными причинами, и тем, что они являются наиболее универсальными из всех методов прогнозирования и практически не имеют ограничений ни по объектам прогнозирования, ни по времени упреждения. Однако эти преимущества не компенсируют того факта, что при помощи эвристических методов технико-экономические процессы могут быть отражены лишь более или менее приближенно. Кроме того, кажущаяся универсальность и простота базируются на одном из существенных недостатков эвристических методов: экстраполяция в будущем происходит по интуитивной модели объекта прогноза, сложившейся у специалиста в исследуемой области на основе его знаний и личных качеств.

Уровень объективности принимаемых решений может быть в значительной мере повышен за счет использования аналитических методов прогнозирования.

Ниже предлагается один из возможных подходов по применению аналитических методов для определения приоритетности в создании перспективных средств НГО и ГМО, основанный на использовании вариационного метода в задаче определения коэффициентов важности указанных сил и средств.

Суть предлагаемого подхода состоит в следующем.

1. Пусть в рассматриваемый плановый период (T) предполагается создать N средств НГО и ГМО:

$$N(T) = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{ij}, \quad (1)$$

где n_{ij} – количество средств НГО и ГМО i -го вида j -го типа; $i = \overline{1, I}$; $j = \overline{1, J}$;

I, J – общее количество видов и типов средств НГО и ГМО соответственно.

2. Для каждого j -го типа средств НГО и ГМО i -го вида известен обобщенный показатель эффективности. При этом рассматриваемые варианты указанных сил

и средств формируются из различной совокупности их тактико-технических (технических) характеристик и соответствующих экономических показателей.

3. Тогда согласно работе [1] может быть получена система уравнений, определяющих эффективность k -го варианта состава средств НГО и ГМО, входящих в систему навигационно-гидрографического и гидрометеорологического обеспечения (НГГМО) ВМФ:

$$F = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \alpha_{ij} W_{ijk}, \quad (2)$$

где α_{ij} – коэффициент важности j -го типа средств НГО и ГМО i -го вида;

W_{ijk} – эффективность средств НГО и ГМО j -го типа i -го вида в k -ом варианте состава системы НГГМО ВМФ.

Отличительной особенностью системы уравнений (2) является то, что в ней число неизвестных (в данном случае – коэффициентов важности α) меньше или равно числу уравнений, т. е. $\kappa \geq (I, J)$.

4. Задача состоит в определении α_{ij} .

Для решения поставленной задачи необходимо определить такие α_{ij} , для которых выражение

$$\sum_{k=1}^K (F_k - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \alpha_{ij} W_{ijk})^2 = Y(\alpha_{11}, \alpha_{12}, \dots, \alpha_{IJ}) \quad (3)$$

достигает своего наименьшего значения.

Такой подход обусловлен тем, что в силу особенностей получения общих эффективностей F_k , не может быть гарантированно точное решение уравнения (2), а коэффициенты α_{ij} , удовлетворяющие уравнению (3), дадут минимальное отклонение полученных уравнений от заданных.

Для решения уравнения (3) следует отметить, что при бесконечном росте α_{ij} функция $Y(\alpha_{11}, \alpha_{12}, \dots, \alpha_{IJ}) \rightarrow \infty$. Таким образом, можно утверждать, что

$$Y(\alpha_{11}, \alpha_{12}, \dots, \alpha_{IJ}) = \min \Leftrightarrow \frac{1}{2} \frac{\partial Y}{\partial \alpha_{ij}} (\alpha_{11}, \alpha_{12}, \dots, \alpha_{IJ}) = 0 \quad \forall_{ij}, \quad (4)$$

где $\frac{\partial Y}{\partial \alpha_{ij}}$ – вариация функционала Y ;

\forall_{ij} – квантор всеобщности (для всех i и j).

С учетом (4) уравнение (3) можно преобразовать в вид

$$\frac{1}{2} \frac{\partial Y}{\partial \alpha_{ij}} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \alpha_{ij} \cdot \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J W_{ijk} \cdot W_{ijk} - \sum_{l=1}^I \sum_{m=1}^J W_{lmR} \cdot F, \quad (5)$$

где: l, m – индексы суммирования.

Следовательно, задача состоит в отыскании решения системы

$$\sum_{j=1}^J \sum_{q=1}^J \left(\sum_{q=1}^J W_{jq} \cdot W_{ijk} \right) \cdot \alpha_{ij} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J W_{ijk} \cdot F_k \quad \forall_{k \in [1, K]}. \quad (6)$$

Обозначив $A_{ijk} = (\sum_{q=1}^K W_{ijk} \cdot W_{ijk})$, а $B_k = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J W_{ijk} \cdot F_k$, получим следующую

систему уравнений:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J A_{ijk} \cdot \alpha_{ij} = B_k \text{ или } A \cdot \alpha = B, \quad (7)$$

где: A, α, B – матрицы, имеющие вид:

$$A = \begin{pmatrix} A_{111} & A_{112} & \dots & A_{11k} \\ A_{121} & A_{122} & \dots & A_{12k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{IJ1} & A_{IJ2} & \dots & A_{IJK} \end{pmatrix}; \quad \alpha = \begin{pmatrix} \alpha_{11} \\ \alpha_{12} \\ \dots \\ \alpha_{IJ} \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \dots \\ B_K \end{pmatrix}. \quad (8)$$

Необходимо отметить, что полученная матрица A симметрична, т. к.

$$\sum_{q=1}^K W_{ijq} \cdot W_{ijk} = A_{ijk} = A_{kij}. \quad (9)$$

Таким образом, задача сводится к отысканию корней матричного уравнения (7). При этом, если уравнение (2) практически не имеет решения, так как в нем число переменных больше, чем число уравнений, то матричное уравнение (7) решение имеет.

Если матрица A невырождена, т. е. $\det A \neq 0$, то у уравнения (7) есть корень. Поскольку этот корень (α) единственный, то в силу коарцетивности функционала Y можно утверждать, что его минимум достигается именно при таком α_{ij} , который формирует корень α .

Рассмотренный подход к определению коэффициентов важности перспективных средств НГО и ГМО, основанный на вариационном методе теории функций нескольких переменных [2], достаточно легко реализуется в виде машинной методики для ПЭВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов Ю. Г., Чуев Ю. В. Прогнозирование в военном деле. – М.: Воениздат, 1975. – 323 с.
2. Свешников А. Г., Тихонов А. Н. Теория функций комплексного переменного. – М.: Наука, 1970. – 246 с.

A. I. Ismailov

Employment of Variation Method in the Problem of Determining the Importance Coefficients for the Promising Means and Facilities of Navigation-Hydrographic and Hydrometeorological Support

The approach to employment of the variation method for function theory of several variables in order to determine the importance coefficients for the promising forces, means and facilities of navigation-hydrographic and hydrometeorological support is presented. The employment of the proposed method considerably reduces the subjectivism in determining the above-mentioned coefficients by excluding the experts from the process of their formation.

НАВИГАЦИЯ

ГРНТИ 78.21.41:78.21.37

О РИСКАХ РАЗРАБОТЧИКА И ЗАКАЗЧИКА ПРИ ИСПЫТАНИИ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ И ОКЕАНОГРАФИИ

Б. Е. ИВАНОВ

В статье приводятся зависимости для оценки рисков разработчика и заказчика при испытании технических средств навигации и океанографии.

В заданиях на разработку технических средств навигации и океанографии часто указывается допустимая погрешность x_δ и вероятность P события, при котором модуль случайной погрешности x не превысит x_δ . Если погрешность x подчиняется нормальному распределению, то в случае абсолютно точного выполнения указанных требований в соответствии с работой [1] соотношение между x_δ и P будет выражаться зависимостью

$$P = 2 J(x_\delta / m_0), \quad (1)$$

где $J(x_\delta / m_0)$ – интеграл вероятностей, выражение которого соответствует формуле (5.1.7) в работе [1];

m_0 – средняя квадратическая погрешность (СКП), соответствующая x_δ и P .

При испытании технических средств с ограниченным числом сравнения измеренных значений параметра с эталонными значениями возникает риск неверной оценки результатов испытаний. При этом риск разработчика и риск заказчика не соответствуют друг другу. Риск разработчика оценивается вероятностью α ошибочно забраковать изделие с допустимым уровнем погрешности, а риск заказчика – вероятностью β ошибочно признать годным изделие с недопустимо высоким уровнем погрешности [2].

Получим выражения для α и β в зависимости от числа n сравнений измеренных значений параметра с эталонными значениями. Поскольку допустимая погрешность x_δ соответствует наибольшему модулю погрешности, то для решения поставленной задачи будет применяться теория статистики экстремальных значений, которая изложена в работе [3]. В соответствии с этой работой плотность распределения φ наибольшего модуля погрешности x равна

$$\varphi(x) = 2^n n J(x/m)^{n-1} f(x/m), \quad (2)$$

где $f(x/m)$ – плотность нормального распределения при $x \geq 0$ и СКП, равной m .

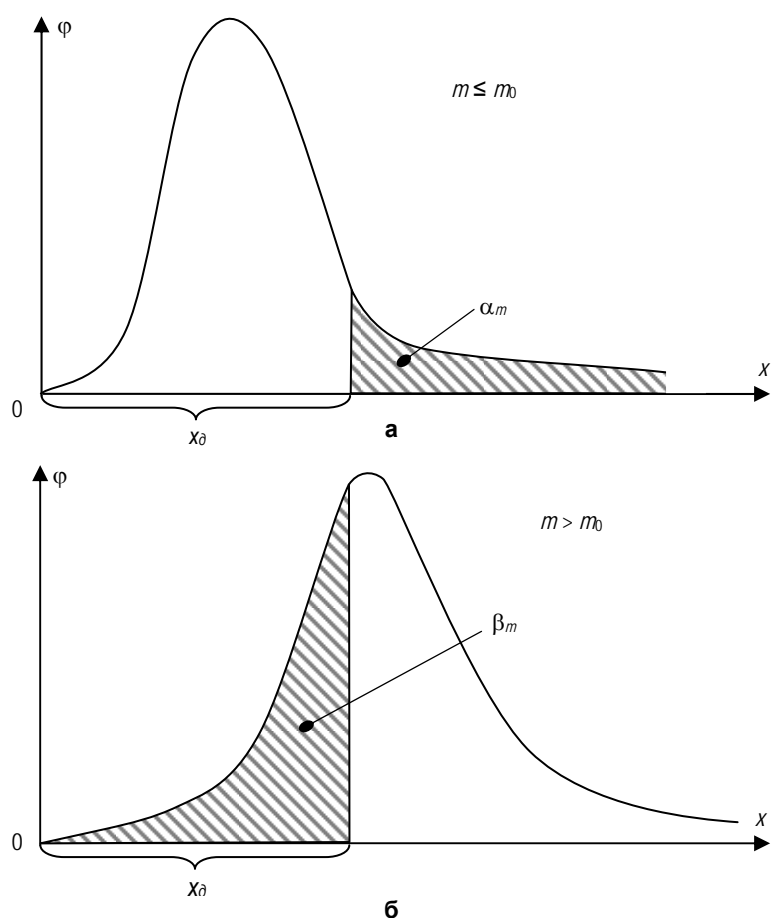


Рис. 1. Изменение плотности распределения φ наибольшего модуля погрешности x
 а – риск разработчика; б – риск заказчика; x_δ – допустимая погрешность, α_m и β_m – вероятности рисков разработчика и заказчика соответственно, m и m_0 – фактическая и заданная СКП соответственно.

Характер изменения функции (2) показан на рис. 1 для двух вариантов, где первый вариант (рис. 1а) относится к риску разработчика, а второй вариант (рис. 1б) – к риску заказчика.

Риск разработчика соответствует событию, при котором фактическая СКП m будет меньше или равна m_0 , а полученный в результате испытаний наибольший модуль погрешности x будет больше x_δ . В этом случае кривая плотности распределения наибольшего модуля погрешности будет смещаться в сторону оси ординат (рис. 1а). Вероятность α_m того, что x будет больше x_δ , численно равна заштрихованной фигуре на рис. 1а и выражается формулой

$$\alpha_m = 1 - \Phi(x_\delta / m), \quad (3)$$

где $\Phi(x_\delta / m)$ – функция распределения наибольшего модуля погрешности.

На основании работы [3] найдем выражение для функции распределения наибольшего модуля погрешности. Подставив его в равенство (3), получим

$$\alpha_m = 1 - [2 J(x_\delta / m)]^n.$$

Фактическое значение СКП m неизвестно. Если бы оно было известно, то не было бы никакой необходимости проводить испытания. В связи с этим целесообразно фактическую СКП представить случайной величиной с плотностью распределения $\psi(m)$. Тогда риск разработчика можно оценить по формуле

$$\alpha = \int_{m_1}^{m_0} \{1 - [2J(x_\delta / m)]^n\} \psi(m) dm, \quad (4)$$

где m_1 – возможное наименьшее значение фактической СКП.

Риск заказчика соответствует событию, при котором фактическая СКП m будет больше m_0 , а полученный в результате испытаний наибольший модуль погрешности x будет меньше или равен x_δ . В этом случае кривая плотности распределения наибольшего модуля погрешности смещается от оси ординат (рис. 1б). Вероятность β того, что x будет меньше или равен x_δ , численно равна площади заштрихованной фигуры на рис. 1б и выражается формулой

$$\beta_m = \Phi(x_\delta / m).$$

Тогда, аналогично риску разработчика, можно получить зависимость для оценки риска заказчика

$$\beta = \int_{m_0}^{m_2} [2J(x_\delta / m)]^n \psi(m) dm, \quad (5)$$

где m_2 – возможное наибольшее значение фактической СКП.

Вид функции $\psi(m)$ в настоящее время не определен. Определение его представляет собой сложную задачу, решение которой может быть выполнено путем теоретических и экспериментальных исследований точностных характеристик технических средств навигации и океанографии. Основываясь на работе [4], в данной статье распределение фактической СКП принимается соответствующим распределению Рэлея с плотностью

$$\psi(m) = \frac{\pi}{2} \frac{m}{m_0^2} \exp\left(-\pi \frac{m^2}{m_0^2}\right). \quad (6)$$

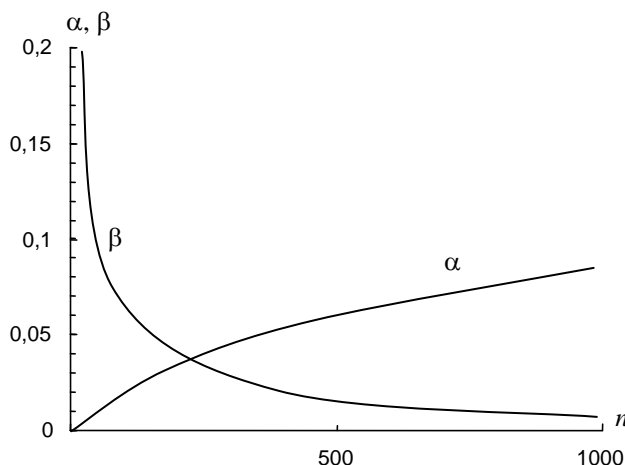


Рис. 2. Изменение вероятностей риска разработчика α и риска заказчика β в зависимости от числа n сравнений измеренных значений параметра с эталонными значениями

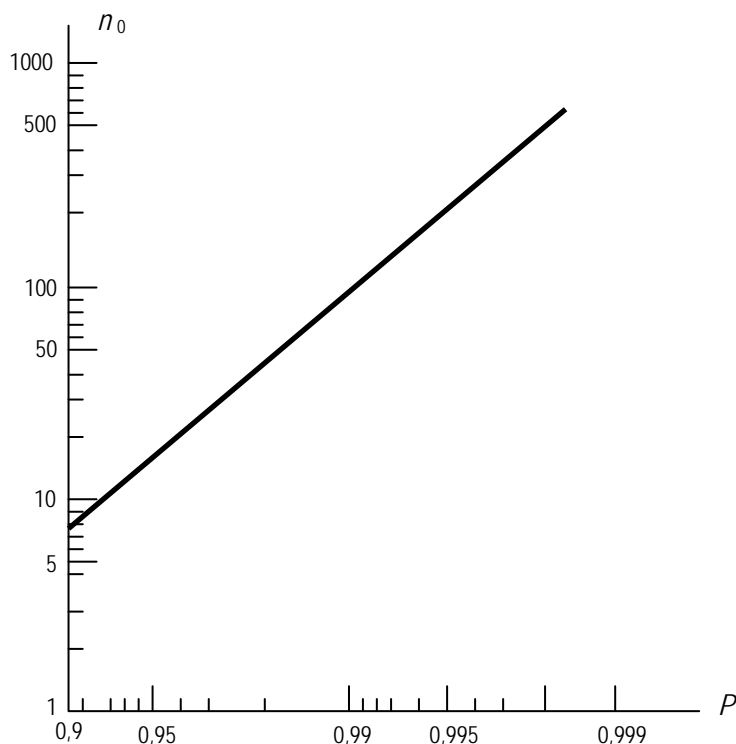


Рис. 3. Изменение числа n_0 сравнений измеренных значений параметра с эталонными значениями при $\alpha = \beta$ в зависимости от заданной вероятности P

По формулам (1), (4), (5) и (6) выполнены вычисления. Изменение α и β в зависимости от n показано на рис. 2 для $P = 0,997$. Из этого рисунка видно, что с увеличением n вероятность α риска разработчика возрастает, а вероятность β риска заказчика уменьшается. Эти вероятности становятся равными друг другу при некотором значении n , которое обозначим n_0 . Изменение n_0 в зависимости от P показано на рис. 3. Из этого рисунка видно, что незначительное увеличение P приводит к существенному увеличению n_0 .

В заключение следует отметить, что оценка вероятности рисков разработчика и заказчика может позволить не только определить качество испытаний технических средств навигации и океанографии, но и обосновать допустимую погрешность x_δ и вероятность P , а также число n сравнений измеренных значений параметра с эталонными значениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по вероятностным расчетам. 2-е изд., доп. и испр.// Г. Г. Абезгауз, А. П. Тронь, Ю. Н. Копенкин, И. А. Коровина. – М.: Воениздат, 1970. – 536 с.
2. Техника навигационная судовая. Требования к точности выработки навигационных параметров и методы контроля выполнения заданных требований в процессе испытаний. Стандарт отрасли ОСТ5Р.8872-93. – ЦНИИ «Лот», 1995. – 23 с.
3. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. Пер. с англ. – М.: Мир, 1965. – 450 с.
4. Мудров В. И., Кушко В. Л. Методы обработки измерений (квазиравдоподобные оценки). – М.: Советское радио, 1976. – 192 с.

B. E. Ivanov

On the Risks of Developer and Client when Testing the Means and Facilities of Navigation and Oceanography

The relationships that can be used to evaluate the risks for developer and client when testing the technical means and facilities of navigation and oceanography are presented.

ГРНТИ 79.29.41.19

О ТОЧНОСТИ СЧИСЛИМОГО МЕСТА

Б. Н. БЕЛЯЕВ

Анализируется современное состояние оценки точности счислимого места разными методами.

До середины прошлого века считалось, что средняя квадратическая невязка M (позже названная радиальной средней квадратической погрешностью – РСКП) с увеличением длительности плавания по счислению T растет по линейному закону:

$$M(T) = kT, \quad (1)$$

где k – постоянный коэффициент.

Однако практика кораблевождения показала, что закономерность (1) соблюдается только при небольших значениях T , в то время как при большей длительности плавания по счислению возрастание РСКП M происходит медленнее. В результате рассмотрения фактических невязок была предложена эмпирическая зависимость:

$$M(T) = \begin{cases} KT \text{ при } T \leq T_0 \\ K\sqrt{T} \text{ при } T \geq T_0. \end{cases} \quad (2)$$

Методология научных исследований требует, чтобы до признания эмпирической зависимости выражением некоторой закономерности был раскрыт формирующий ее механизм, и было дано теоретическое объяснение этой зависимости. К сожалению, в данном случае все внимание было направлено не на объяснение обнаруженной зависимости, а на ее «уточнение» путем аппроксимации графиков, описывающих изменение в среднем наблюдающихся невязок в зависимости от длительности T . Появились публикации, в каждой из которых авторы предлагали свою аппроксимацию, несколько отличную от той, которая предлагалась другими. Отличиям между результатами, полученными различными авторами, а также вполне объяснимым ограниченным объемом научных данных и случайными погрешностями в них, придавался закономерный характер. При этом чтобы объяснить несколько различную скорость нарастания РСКП у различных авторов, в формулу (2) был введен параметр Θ , принимавший значения в диапазоне от 0,3 до 0,7.

Но на этом процесс «уточнения» зависимости (2) не закончился. Поскольку в этой зависимости коэффициент K в верхней и нижней строках име-

ет разную размерность, в верхнюю строку был введен множитель $T_0^{\Theta-1}$. Понятно, что такая операция была полностью произвольной.

Казалось очевидным, что при получении оценок величины $M(T)$ на основе обработки и анализа фактических невязок следует оперировать квадратами их значений, поскольку $M^2(T)$ является их средним квадратом (квадратом РСКП). По непонятным причинам в работах [1, 2] и других предлагается усреднять значение не квадратов, а модулей невязок, из-за чего в итоге получается не значение РСКП $M(T)$, а средний модуль невязки $\Delta(T)$. Для того, чтобы перейти к искомому значению $M(T)$, принимается, что погрешности счисления распределяются практически по круговому закону Релея [2]. Такое допущение не только произвольно, но в общем случае неверно, что, естественно, сказывается на обоснованности и точности базирующихся на нем соотношений.

В итоге всех «уточнений» и допущений окончательное выражение для РСКП $M(T)$ приобрело вид:

$$M(T) = \begin{cases} K_c T_0^{\Theta-1} \text{ при } T \leq T_0 \\ K_c T^{\Theta} \text{ при } T \geq T_0. \end{cases} \quad (3)$$

Здесь коэффициент точности счисления $K_c = 1,13 K$.

Из соотношения (3) следует, что этот коэффициент меняет свою размерность с изменением параметра Θ . Казалось бы, что столь странное свойство коэффициента точности счисления K_c должно насторожить его авторов, однако этого не произошло. Впрочем, возможно, именно поэтому наибольшее распространение приобрел частный случай, который получается из формулы (3) при $\Theta=0,5$ и $T_0=2$ ч:

$$M(T) = \begin{cases} 0,7 K_c T_0 \text{ при } T \leq T_0 \\ K_c \sqrt{T} \text{ при } T \geq T_0. \end{cases} \quad (4)$$

Хотя в работе [2] последние выражения относят к случаю отсутствия «систематической составляющей течения» (что это такое – не ясно), судя по многим публикациям, выражению (4) придается общий смысл.

Но не только самому понятию коэффициента точности счисления и основанным на нем формулам присущ не слишком четкий смысл. Не большей четкостью отличаются и рекомендации по способам его оценки, противоречивость которых доходит до того, что, например, в работе [1] на стр.100 приведены две различные формулы для расчета одной и той же величины K_c при $T \leq 2$ ч (то же – на стр. 101 для случая $T > 2$ ч).

В 1969 году в ГосНИНГИ МО РФ впервые были выполнены исследования, позволившие разработать теоретические основы оценки точности счисления места. При этом имелось в виду, что «главным фактором, формирующим погрешности счисления, является неточность знания элементов течения» [1], другими факторами (погрешности системы курсоуказания, лагов, учета дрейфа) можно пренебречь. Основные результаты выполненных исследований позже были опубликованы в учебном пособии [4]. К числу этих результатов относится следующее соотношение для оценки РСКП $M(T)$ при неучете течения:

$$M(T) = \sqrt{2 \sum_{i=1}^2 \sigma_i^2 \frac{\alpha_i T - (1 - e^{-\alpha_i T})}{\alpha_i^2}} \quad (5)$$

Здесь σ_i^2 – сумма дисперсий проекций вектора скорости «постоянного» ($i=1$) и переменного ($i=2$) течения на меридиан ($\sigma_{U_i}^2$) и параллель ($\sigma_{V_i}^2$). «Постоянное» течение – это усредненное за определенный период течение в данной географической точке и на определенной глубине, воспринимаемое на движущемся корабле как изменяющееся во времени.

α_i – параметры корреляционных функций течения, значения которых в размерности ч^{-1} находятся по эмпирическим формулам:

$$\alpha_1 = 0,02 V, \quad (6)$$

$$\alpha_2 = 0,1 + (0,1 V)^{2/3},$$

где V – скорость хода корабля в узлах.

Из соотношения (5) можно получить приближенные соотношения (4):

$$\begin{aligned} M(T) &= K_1 T \text{ при } T < T_1, \\ M(T) &= K_2 \sqrt{T} \text{ при } T > T_2. \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь длительность T_1 достаточно мала, а длительность T_2 , наоборот, достаточно велика. Для коэффициентов K_1 и K_2 справедливы следующие выражения:

$$K_1 = \sqrt{\sum_{i=1}^2 \sigma_i^2}, \quad (8)$$

$$K_2 = \sqrt{2 \sum_{i=1}^2 \sigma_i^2 / \alpha_i}. \quad (9)$$

Очевидным является сходство между формулами (2), (3), (4) и формулой (5). Но не менее очевидно и различие между ними. Поскольку соотношение (5) получено из анализа физического механизма возникновения невязки при неучете течения с использованием современных представлений о морских течениях, эту разницу нельзя рассматривать иначе, как следствие произвольных и ошибочных допущений в формулах (2), (3) и (4). В частности:

- параметр Θ в выражении (3) не может принимать иных значений, кроме $\Theta=0,5$;

- постоянная величина T_0 в качестве границы, разделяющей области применения верхней и нижней формул в соотношениях (2), (3), (4), в действительности не может существовать, поскольку в интервале T_2-T_1 несправедливы как верхняя, так и нижняя формулы указанных соотношений; при этом значения T_1 , T_2 непостоянны и определяются прежде всего скоростью хода;

- коэффициенты точности счисления K_c в выражениях (3) и (4) при малых и больших длительностях T не могут быть одинаковыми.

Хотя в ряде изданий, наряду с этими и другими ошибочными положениями, излагается правильный подход, приводящий к соотношению (5), такое изложение зачастую сопровождается неточными и даже ошибочными утверждениями. Так, в работе [3] сообщается, что «в скорости морского течения выделяют две составляющие, – низкочастотную и высокочастотную», что не соответствует действительности. Вместо корреляционной функции течения,

воздействующего на корабль, перемещающийся из одной точки в другую, используется корреляционная функция в фиксированной точке [2, 3] и т. д.

Совершенно необоснованным является распространение понятия коэффициента точности счисления на случай дискретного учета течения по данным гидроакустического лага, пособия и т. п. [2, 3]. В таком случае вместо соотношения (5) необходимо использовать другое выражение [4, 5], которое при малых и больших длительностях T не приводит к форме вида (7), т. е. понятие коэффициента точности счисления просто теряет смысл. Существенно также, что при дискретном учете течения РСКП $M(T)$, помимо прочего, зависит от темпа учета (дискретности измерений) и способа численного интегрирования (прямоугольников, трапеций и т. п.), и отсутствие в относящихся к данному случаю формулах соответствующих величин [2] делает эти формулы заведомо ошибочными.

Необходимо также отметить, что формула (5) и, следовательно, все другие приведенные выше формулы относятся к случаю, когда курс и скорость корабля постоянны. Если во время плавания по счислению курс и скорость изменяются, то процесс воздействия течения на перемещение корабля перестает быть хотя бы приближенно стационарным (в смысле Хинчина). В принципе эту нестационарность можно учесть, однако это приводит к громоздким выкладкам [7]. Альтернативой может быть расчет $M(T)$ по формулам (5), (6) или (7), (8), если принять за элементы движения корабля средний (генеральный) курс и среднюю скорость корабля за время T , что, естественно, снизит точность расчетов, которая и так не слишком высока в силу принципиальной приближенности формул (5), (6) и (7), не строгой однородности и изотропности реального поля морского течения и т. п. Вообще рассматриваемая задача относится к числу сугубо приближенных, в связи с чем вычисление РСКП $M(T)$ с точностью до второго знака после запятой [2, 6] лишено всякого смысла: даже первый знак после запятой малонадежен.

Заметим, что точность расчетного значения величины $M(T)$ практически не может быть оценена путем сопоставления с фактическими данными, поскольку РСКП определяет лишь вероятностную границу области, в которой может находиться невязка, а не конкретное значение последней. А набрать достаточно представительную статистику фактических невязок, полученных в одинаковых условиях, нереально.

Таким образом, любая оценка РСКП, даже полученная по верным формулам, может считаться сугубо приближенной. В связи с этим практический интерес имеют упрощенные формулы, полученные из основного соотношения (5). Точным эквивалентом последнего является [5] выражение

$$M(T) = \gamma KT, \quad (10)$$

где коэффициент k вычисляется по формуле

$$K = \sqrt{\frac{(H-h)}{H} \{0,12 + [\sigma_u^2(T) + \sigma_v^2(T)]\}}. \quad (11)$$

Здесь H – глубина моря, h – глубина погружения. Для величины γ справедливо равенство

$$\gamma(T) = e^{-aTp}, \quad (12)$$

причем зависимость величин a и p от скорости хода V задается таблицей:

$V, \text{уз}$	5	10	15	20	25	30
a	0,062	0,105	0,134	0,162	0,186	0,211
p	0,86	0,75	0,72	0,69	0,67	0,65

Значения a и p для промежуточных величин скорости V находятся интерполяцией.

Учитывая приближенный характер вычислений, выражение (11) можно упростить, положив в нем сумму дисперсий $\sigma_U^2 + \sigma_V^2$ равной ее среднему значению для Мирового океана, поскольку в большинстве районов эти суммы мало отличаются от среднего значения [4]. Тогда имеем:

$$K \approx 0,6 \sqrt{(H-h)/H}. \quad (13)$$

Неизбежно невысокая точность расчета величины $M(T)$ не мешает, как правило, ее практическому применению. Например, при выборе расстояния до опасности $S=n M(T)$, обеспечивающего безопасное плавание, обычно принимают $n=3$ или даже $n=4$. Анализ показывает [8], что вероятность безаварийного прохода опасности в этом случае практически равна 1 при погрешности в величине $M(T)$, доходящей до 40% расчетного значения последней. Можно предположить, что в такой диапазон укладываются даже погрешности, допущенные при нахождении РСКП $M(T)$ при использовании формул (3) и (4), хотя это не может быть оправданием их практического применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Груздев Н. М. Математическая обработка и анализ навигационной информации. – М.: Воениздат, 1979. – 224 с.
2. Груздев Н. М. Оценка точности морского судовождения. – М.: Транспорт, 1989. – 192 с.
3. Груздев Н. М. Навигационная безопасность плавания. – СПб, Изд-во ГУНиО МО, 2002. – 222 с.
4. Беляев Б. Н. Влияние переменного течения на точность плавания судна. – Л.: ЛПИ, 1977. – 48 с.
5. Беляев Б. Н. Анализ свойств показателей точности счисления пути и некоторые практические выводы // Записки по гидрографии. – 1996. – №239. – С. 21–28.
6. Методики вероятностных расчетов при решении навигационных задач на кораблях и судах ВМФ. – Л.: Изд-во ГУНиО МО, 1999. – 217 с.
7. Беляев Б. Н. Факторы, вызывающие нестабильность коэффициентов точности счисления // Записки по гидрографии. – 1994. – №232. – С. 14–20.
8. Беляев Б. Н., Сорокин А. И. Некоторые свойства оценок среднеквадратичеких погрешностей места корабля // Навигация и гидрография, 1996. – №2. – С.56–58.

B. N. Belyaev

On the Accuracy of Dead-Reckoning Position

The present-day state of evaluation of the dead-reckoning position accuracy by different methods is analysed.

О ВЛИЯНИИ ТЕЧЕНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОПРАВКИ ЛАГА**Б. Е. ИВАНОВ,
Р. А. АНДРЕЮК**

В статье выводятся зависимости для оценки средней квадратической погрешности определения поправки лага вследствие влияния течения при двух, трёх и четырёх пробегах на мерной линии.

Влияние течения на точность определения поправки лага на мерной линии рассмотрено в работах [1, 2]. Однако в этих работах использовалась модель течения, в которой не учитывалось движение корабля. Представляется целесообразным рассмотреть указанное влияние с использованием современной модели течения, учитывающей движения корабля на разных курсах.

Современную модель течения, предназначенную для оценки точности навигации, разработал Б. Н. Беляев [3, 4]. Он обосновал необходимость учитывать не непосредственное поле течения, которое наблюдается в океанографии (так называемое «природное» течение), а преобразованное поле течения, которое является продуктом взаимодействия «природного» течения и перемещающегося в нем корабля. При этом скорость преобразованного течения будет представлять собой сумму скоростей «постоянного» течения, которое постоянно для заданной точки и изменяется при переходе в другую точку, и скорости переменного течения, которое изменяется как во времени, так и в пространстве.

Корреляционные функции скоростей «постоянного» и переменного течений выражаются одной и той же зависимостью от промежутка времени τ [3]

$$K_V(\tau) = \sigma_V^2 e^{-\alpha |\tau|} \quad (1)$$

где: σ_V^2 – дисперсия скорости соответствующей составляющей течения;

α – коэффициент затухания корреляционной функции.

Коэффициент затухания [3] для «постоянного» течения равен

$$\alpha = 0,02V, \quad (2)$$

для переменного течения –

$$\alpha = 0,1 + (0,1V)^{\frac{2}{3}}, \quad (3)$$

где V – скорость корабля в узлах.

Модель, выраженная формулами (1)-(3), соответствует стационарному процессу и может использоваться при постоянном курсе корабля. В случае, если корабль изменяет курс, условие стационарности нарушается. Тогда в формуле (1) промежуток времени будет равен [5]:

$$\tau = t_2 - t_1, \quad (4)$$

где t_1 и t_2 – время прохода корабля через первую точку, расположенную до поворота, и через вторую точку, расположенную после поворота на новый курс, соответственно.

При этом в формулы (2) и (3) вместо скорости V должна подставляться гипотетическая скорость V_0 , которая вычисляется по формуле [5]:

$$V_0 = \frac{S_0}{S} V, \quad (5)$$

где S_0 – расстояние по прямой линии между первой и второй точками, которые корабль проходит в моменты t_1 и t_2 ;

S – расстояние, пройденное кораблём за промежуток времени τ от первой точки до поворота и от поворота до второй точки.

Не нарушая общности рассуждений, в целях упрощения выкладок ниже будем рассматривать только одну составляющую скорости преобразованного поля течения.

Для уменьшения влияния течения поправка лага определяется при n пробегах корабля на контркурсах, а относительная скорость корабля V_n при n , равном 2, 3 и 4, рассчитывается по формулам:

$$\left. \begin{aligned} V_2 &= \frac{1}{2} (V_{П1} + V_{П2}) \\ V_3 &= \frac{1}{4} (V_{П1} + 2V_{П2} + V_{П3}) \\ V_4 &= \frac{1}{8} (V_{П1} + 3V_{П2} + 3V_{П3} + V_{П4}) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где V_{Pi} – средняя относительная скорость корабля на i -ом пробеге ($i=1,2,3,4$).

Скорость V_{Pi} равна (см. рисунок).

$$V_{Pi} = \frac{1}{T} \int_{t_i}^{t_i+T} [V - (-1)^i v(t)] dt, \quad (7)$$

где: t_i – время начала i -го пробега;
 T – продолжительность пробега;
 $v(t)$ – скорость течения в момент t .

Подставим формулу (7) в равенства (6). В полученном выражении перегруппируем величины $v(t)$ так, чтобы образовались суммы для точек, равноудалённых от начала пробегов (см. рисунок). Учитывая, что случайная погрешность δV_n определения поправки лага за счёт влияния течения равна разности $V_n - V$, получим

$$\delta V_n = \frac{1}{T} \int_0^T F_n(t) dt, \quad (8)$$

где $F_n(t)$ – алгебраическая сумма соответствующих скоростей течения при n , равном 2, 3 и 4.

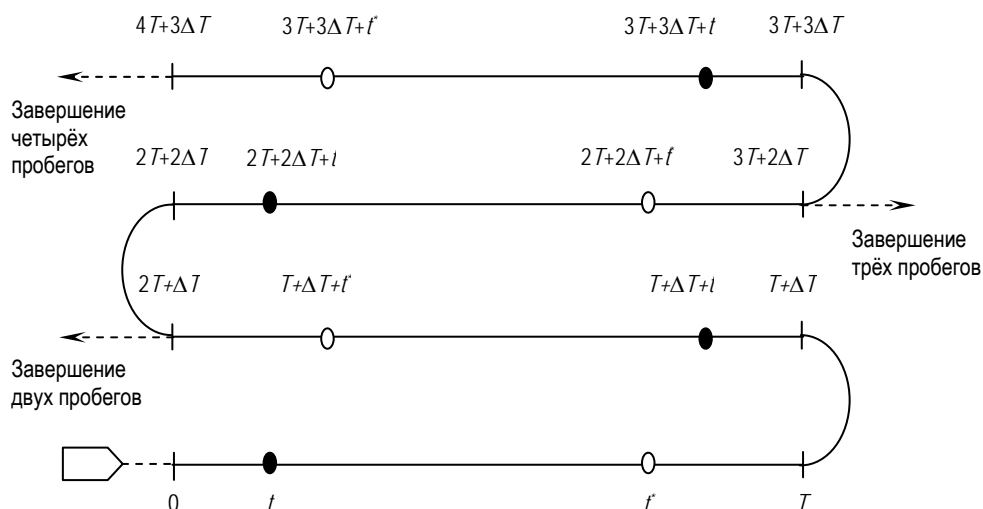


Схема пробегов при определении поправки лага на мерной линии

T – продолжительность пробега;

ΔT – время между окончанием предыдущего и началом последующего пробегов;

t и t' – время от момента начала пробега до двух текущих моментов.

В соответствии с формулами (6) и (7) и с учётом рисунка величина $F_n(t)$ выражается зависимостями:

$$\left. \begin{aligned} F_2(t) &= \frac{1}{2} [v(t) - v(T + \Delta T + t)]; \\ F_3(t) &= \frac{1}{4} [v(t) - 2v(T + \Delta T + t) + v(2T + 2\Delta T + t)]; \\ F_4(t) &= \frac{1}{8} [v(t) - 3v(T + \Delta T + t) + 3v(2T + 2\Delta T + t) - v(3T + 3\Delta T + t)]; \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

где ΔT – время между окончанием предыдущего и началом последующего пробегов.

На основании работы [6] средняя квадратическая погрешность $m_{v_n} m_{v_n}$ в общем виде может представляться зависимостью:

$$m_{v_n}^2 = \frac{1}{T^2} \int_0^T \int_0^T E_n [F_n(t) F_n(t')] dt dt', \quad (10)$$

где E_n – оператор определения математического ожидания;

$F_n(t')$ – величина, выражающаяся формулами (9) при подстановке в них переменной t' взамен t .

Подставив формулы (9) в равенство (10) получим выражения подинтегральной функции J_n при n , равном 2, 3 и 4:

$$\left. \begin{aligned} J_2 &= \frac{1}{2} K_V(t, t^*) - \frac{1}{4} K_V(t, T + \Delta T + t^*) - \frac{1}{4} K_V(t^*, T + \Delta T + t); \\ J_3 &= \frac{3}{8} K_V(t, t^*) - \frac{1}{4} K_V(t, T + \Delta T + t^*) - \frac{1}{4} K_V(t^*, T + \Delta T + t) + \frac{1}{16} K_V(t, 2T + 2\Delta T + t^*) + \\ &+ \frac{1}{16} K_V(t^*, 2T + 2\Delta T + t); \\ J_4 &= \frac{5}{32} K_V(t, t^*) - \frac{9}{64} K_V(t, T + \Delta T + t^*) - \frac{9}{64} K_V(t^*, T + \Delta T + t) + \frac{3}{32} K_V(t, 2T + 2\Delta T + t^*) + \\ &+ \frac{3}{32} K_V(t^*, 2T + 2\Delta T + t) - \frac{1}{64} K_V(t, 3T + 3\Delta T + t^*) - \frac{1}{64} K_V(t^*, 3T + 3\Delta T + t); \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где $K_V(t_1, t_2)$ – корреляционная функция скорости течения с аргументами t_1 и t_2 , соответствующими моментам времени, указанным в скобках слагаемых формулы (11).

Первое слагаемое в формулах (11) соответствует условию стационарного процесса, так как моменты времени t и t^* относятся к одному и тому же пробегу. Подставив это слагаемое в равенство (10) с учётом формул (1) и (4), после преобразования найдём выражение для частной дисперсии D_n искомой погрешности:

$$D_n = \frac{2k_n \sigma_V^2}{T^2} \left(\frac{T}{\alpha} - \frac{1}{\alpha^2} + \frac{1}{\alpha^2} e^{-\alpha T} \right), \quad (12)$$

где k_n – коэффициент при первом слагаемом в формулах (11).

Остальные слагаемые в формулах (11) не соответствуют условию стационарного процесса, так как являющиеся их аргументами моменты времени t_1 и t_2 относятся к разным пробегам. Подставив эти слагаемые в равенство (10) с учётом формул (1) и (4), можно определить оставшуюся дисперсию искомой погрешности путём численного интегрирования. Сложив эту дисперсию с D_n получим m^2_{vn} .

При нестационарном процессе должна учитываться гипотетическая скорость V_0 . Для этого предварительно определяются расстояния S_0 и S , которые с учётом рисунка равны

$$\left. \begin{aligned} S_0 &= |T - t - t^*| V_0; \\ S &= (t_2 - t_1) V_0. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Подставив формулы (13) в равенство (5), получим выражение для гипотетической скорости:

$$V_0 = \frac{|T - t - t^*|}{t_2 - t_1} V. \quad (14)$$

Подставив выражение (14) для V_0 в формулы (2) или (3) вместо V , можем получить коэффициенты затухания, после чего оценить корреляционную функцию, которую затем использовать при численном интегрировании.

Таким образом, можно определить среднюю квадратическую погрешность определения поправки лага вследствие влияния одной из составляющих скорости преобразованного течения. Аналогичным образом можно найти среднюю квадратическую погрешность вследствие влияния другой составляющей. При этом различие заключается только в использовании разных формул коэффициента затухания, – формулы (2) или (3). Складывая квадра-

точно полученные погрешности, можно найти искомую среднюю квадратичную погрешность определения поправки лага вследствие влияния скорости переносного течения. Эта погрешность будет зависеть от скорости корабля, дисперсий скоростей «постоянного» и переменного преобразованного течения, продолжительности и числа пробегов, а также времени между окончанием предыдущего и началом последующего пробегов.

Полученные в данной статье зависимости совместно с зависимостями, отражающими влияние точности координирования на точность определения поправки лага, могут использоваться для выбора числа и продолжительности пробега на мерной линии, а также выбора района для её создания и обоснования требований к средствам навигационного оборудования и их размещению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болдырев В. С., Беляев Б. Н. Влияние изменчивости течения на точность определения скорости корабля // Морской сборник. – 1967. – №1. – С. 58–60.
2. Иванов Б. Е. Выбор числа и продолжительности пробегов при определении поправки лага на мерной линии // Записки по гидрографии. – 1970. – №2(183). – С. 3–11.
3. Беляев Б. Н. Влияние переменного течения на точность плавания судна. Учебное пособие. –Л.: Ленинградский политехнический институт, 1977. – 48 с.
4. Беляев Б. Н. Некоторые особенности использования в кораблевождении статистической информации о морских течениях // Записки по гидрографии. – 1993. – №229. – С. 8–13.
5. Беляев Б. Н. Факторы, вызывающие нестабильность коэффициентов точности счисления // Записки по гидрографии. – 1994. – №232. – С. 14–20.
6. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Физматгиз. 1962. – 564 с.

B. E. Ivanov, R. A. Andreyuk

On the Influence of Current on the Accuracy of Determining the Log Correction

The relationships that can be used to evaluate the rms error in determining the log correction due to the influence of current at two, three and four runs along the measured mile, are derived.

ГРНТИ 733.34.37.17

МЕТОДЫ ОСВОЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

А. В. ЛАВРЕНТЬЕВ

Обсуждаются вопросы повышения качества подготовки выпускников штурманских факультетов военно-морских институтов. Предлагаются методы, интенсифицирующие процесс освоения навигационно-ракетных комплексов четвертого поколения.

История развития вооружения и техники убедительно свидетельствует: повышение требований к точности и надежности выработки навигационных параметров неизбежно приводит к существенному усложнению навигационной техники, ее алгоритмического, программного и конструктивного исполнения. При этом возникает противоречие между потенциальными возможностями новой техники и подготовленностью личного состава (в первую очередь, офицерского) штурманской боевой части (БЧ-1) к реализации этих возможностей. Недостатки в специальной подготовке штурманских боевых частей, как

показал опыт освоения первых навигационных комплексов, отрицательно сказывались на качестве выполнения учебно-боевых задач и поддержании технических средств навигации в постоянной боевой готовности. Тогда в начале 60-х годов XX века для исправления сложившегося положения были выполнены исследования проблем освоения новой навигационной техники, написаны учебники и учебные пособия по состоявшим на вооружении подводных лодок навигационным комплексам «Плутон» и «Сила-Н». По решению ГК ВМФ при ВВМУ им. М. В. Фрунзе были созданы постоянно действующие курсы по подготовке и переподготовке офицерского состава подводных лодок по новой навигационной технике. Появились прогрессивные методы и приемы обучения, интенсифицирующие учебный процесс и повышающие качество подготовки специалистов. Подобное повторялось и при принятии на вооружение нового поколения навигационных комплексов.

Навигационные комплексы четвертого поколения не являются исключением. Они построены на базе инерциальных навигационных систем аналитического типа, что предъявляет к математической подготовке выпускников штурманских факультетов военно-морских институтов повышенные требования. В складывающихся условиях офицерский состав БЧ-1 должен уметь свободно анализировать алгоритмические задачи, реализованные в программном обеспечении навигационных комплексов, и на этой основе принимать оперативные управленческие решения по выбору и переключению режимов и вариантов использования навигационных систем и приборов.

Разработанная эксплуатационная документация, как показывает анализ ее содержания, не помогает решению этой проблемы в сжатые сроки. В ней много внимания уделяется второстепенным вопросам, тогда как принципы и физические основы построения и эксплуатации сложной техники раскрываются недостаточно наглядно, что, естественно, значительно усложняет ее освоение. Нам представляется, что к разработке эксплуатационной документации, учебников и учебных пособий по новой технике должны привлекаться опытные методисты из числа профессорско-преподавательского состава Военно-морских учебных заведений, а также специалисты ГНИНГИ МО России. Организация этой работы не терпит отлагательства. Можно учесть опыт взаимодействия промышленности и Военно-морского училища имени М.В. Фрунзе при создании, например, электромеханического тренажера «Крюйс», или при разработке наглядных графических инструкций по эксплуатации навигационного комплекса «Медведица» и спутниковой аппаратуры АДК-3М.

При освоении перспективных навигационных комплексов и систем полезно применять апробированные методы обучения, которые получили распространение в военно-морских заведениях и на флотах при изучении навигационных комплексов второго и третьего поколений. К ним прежде всего относятся структурно-функциональный метод и метод смысловых структур, а также комплексный метод, метод опорных сигналов и др.

Структурно-функциональный метод предусматривает представление сложных комплексов и систем в виде простых структурных, структурно-логических, структурно-функциональных и комбинированных схем, наглядно представляющих принципы построения и функционирования систем и приборов навигационных комплексов, а также последовательность действий лично-

го состава БЧ-1 при подготовке к работе, включении, выполнении необходимых проверок, калибровок и технологического обслуживания техники.

Метод смысловых структур позволяет представить сложные комплексы вооружения и техники в виде последовательности логически завершенных узлов – функциональных логических смысловых структур, или информационных модулей, связанных между собой и раскрывающих последовательность действий составных частей комплекса (системы), направленность прохождения сигналов управления и информационных сигналов.

Комплексный метод предполагает комбинированное использование при обучении совокупности таких методов, как поисковый метод (частный случай – проблемное обучение), структурно-функциональный метод, метод опорных сигналов и метод массового контроля знаний. Он позволяет повысить эффективность обучения за счет рационального учета достоинств каждого из применяемых методов.

Ограничившись представлением трех наиболее эффективных методов изучения сложных комплексов вооружения и техники, применявшихся при изучении навигационных и ракетных комплексов второго и третьего поколений, обратим внимание на развивающийся компьютерный метод обучения, который завоевывает в последние годы все новые и новые позиции.

Компьютерный метод основан на широком использовании компьютерной техники и автоматизированных обучающих систем. Он дает возможность представить изучаемую сложную технику в упрощенном, наглядном и динамически развивающемся виде. При этом необходимо иметь учебные компьютерные программы. Как нам представляется, программы эти могут разрабатываться представителями промышленности (желательно с участием опытных методистов военно-морских институтов и специалистов ГНИНГИ МО России) и поставляться вместе с образцами техники в военно-морские учебные заведения, в качестве составной части эксплуатационной документации. Задание на разработку компьютерных учебных программ следует помещать в технических условиях, содержащих требования к проектированию навой техники.

Автоматизированные перспективные комплексы вооружения и техники изменяют характер деятельности специалистов-операторов. Возрастает интеллектуальная деятельность операторов взамен моторной. Главным в практической деятельности специалистов, эксплуатирующих сложные комплексы, становится оперативное мышление, анализ обстановки и принятие решений в нестандартных ситуациях. Для подготовки специалистов с развитым оперативным мышлением необходимы новые тренажерные средства и новые технологии освоения сложной техники.

Подходящей базой для формирования новых технологий освоения перспективных навигационных комплексов и систем могут служить проверенные на практике и имеющие много общего структурно-функциональный метод и метод смысловых структур, которые должны быть реализованы на компьютерной технике с учетом развивающейся прогрессивной технологии подготовки специалистов.

A. V. Lavrentyev

Methods of Mastering the Promising Navigation Integrated Systems

The problems of improving the quality of training the students of the navigation faculties at the naval institutes are discussed. Methods to be used to intensify the process of mastering the fourth-generation navigation systems are suggested.

ГРНТИ 78.25.31

АКСЕЛЕРОМЕТРИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗИРОВАННАЯ ПЛАТФОРМА

П. И. МАЛЕЕВ

Рассмотрена принципиальная схема стабилизированной платформы, построенной не на гироскопических (как обычно), а на акселерометрических чувствительных элементах. Оценены ожидаемые точностные и другие параметры.

В существующих гиростабилизированных платформах в качестве индикаторов отклонения платформы от стабилизированного положения обычно используются функционально сложные и дорогостоящие гироскопы [1, 2]. Несовершенство таких чувствительных элементов, а также используемых при этом датчиков углов поворота гироскопов относительно платформы, усилителей, датчиков моментов и других элементов приводят к дрейфу платформы. Стремление уменьшить этот дрейф ведет к большим трудностям и затратам, связанным с использованием более совершенных гироскопов и более сложных цепей управления.

Предпринимавшиеся ранее попытки создания стабилизированных платформ без использования гироскопов – на акселерометрах – не приводили к успеху из-за чрезвычайно высоких требований к последним [1, 3]. Для обеспечения точности, достигнутой гироскопическими платформами, чувствительность акселерометров должна находиться на уровне 10^{-10} g. Исследования показали, что требования к точности акселерометров значительно (на порядки) снижаются если в стабилизаторе на их основе использовать предлагаемые нами акселерометрические датчики абсолютной угловой скорости [4, 5]. Схема такого датчика приведена на рис.1. Две пары акселерометров 1 и 2, 3 и 4 со взаимно ортогональными осями чувствительности монтируются на площадке с возможностью вращения вокруг пересекающихся под острым углом δ внутренней 7 и внешней 5 осей подвеса. Акселерометры размещаются симметрично на равном расстоянии l от внутренней оси 7 в одной плоскости, перпендикулярной этой оси. Разность сумм сигналов первой и второй пары акселерометров подается на вход частотно-фазового фильтра, обеспечивающего эффективное выделение полезного сигнала, пропорционального двум составляющим абсолютной угловой скорости, лежащим в плоскости, перпендикулярной внешней оси 5.

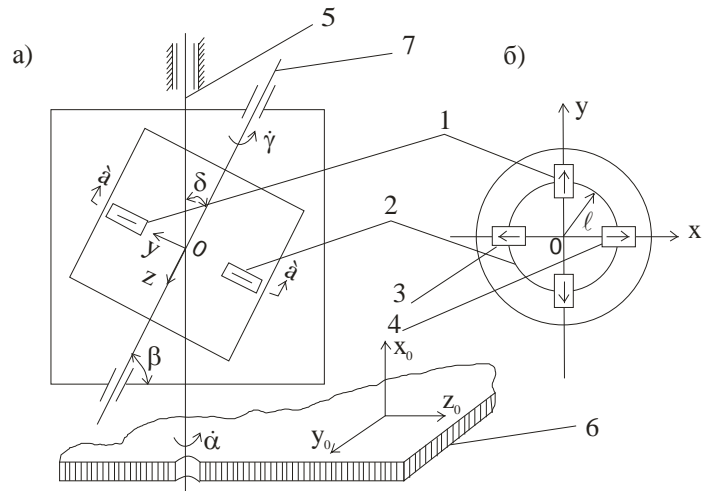


Рис. 1. К способу измерения абсолютной угловой скорости линейными акселерометрами
1 – 4 акселерометры; 6 – основание; 5, 7 – оси подвеса (другие объяснения в тексте)

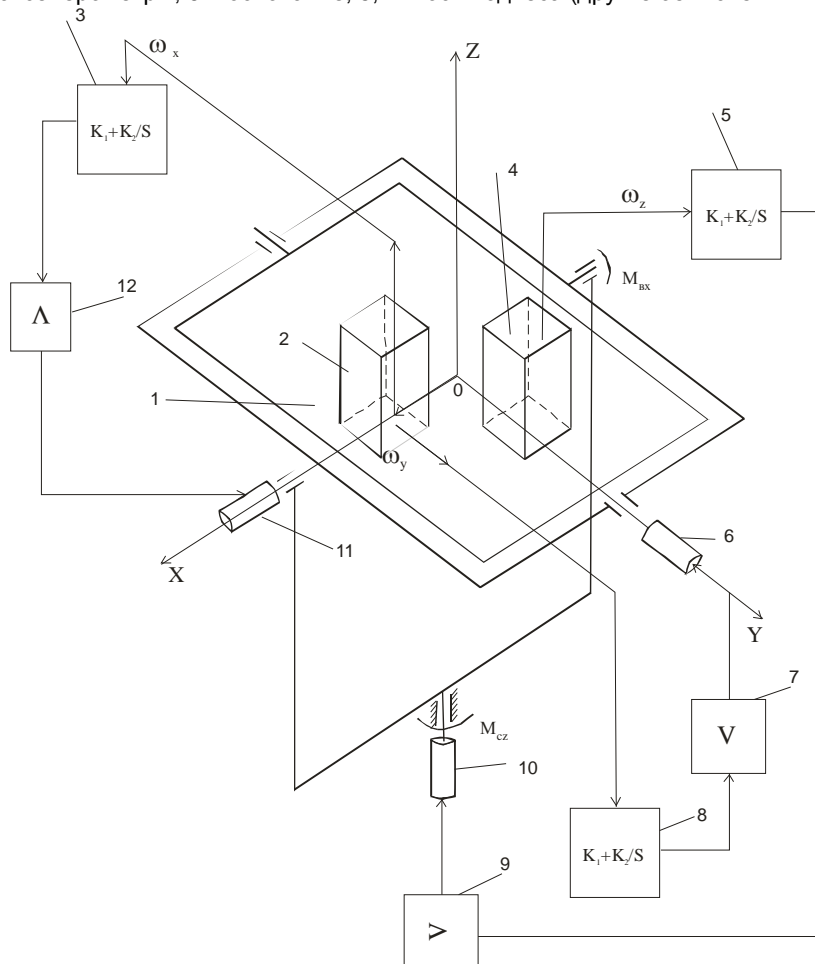


Рис. 2. Принципиальная схема построения акселерометрической стабилизированной платформы (объяснения в тексте)

Принципиальная схема построения акселерометрической стабилизированной платформы на рассмотренных датчиках приведена на рис. 2 [6].

На платформе 1, подвешенной в кардановом подвесе, установлены два рассмотренных выше акселерометрических датчика 2 и 4 с взаимно перпендикулярными внешними осями OZ_1 и OY_2 , при этом одна из осей, например, внешняя ось датчика 2 OZ_1 ортогональна плоскости платформы. На рис. 2 оси координатной системы $OXYZ$ жестко связаны с платформой, а координатные системы $O_1X_1Y_1Z_1$ и $O_2X_2Y_2Z_2$ соответственно с датчиками 2 и 4.

Как следует из рис. 2, сигналы с выхода датчика 2, пропорциональные проекциям ω_x, ω_y угловой скорости платформы, подаются на вход звеньев 3 и 8. Сигнал с выхода датчика 4, пропорциональный ω_z угловой скорости платформы, также подается на вход звена 5. Выходные сигналы со звеньев 3, 5 и 8 усиливаются в усилителях 12, 7 и 9 и подаются на разгрузочные устройства 11, 6 и 10 соответственно, создающие стабилизирующие моменты M_{cx}, M_{cy}, M_{cz} , компенсирующие вредные возмущающие моменты M_{bx}, M_{by}, M_{bz} и обеспечивающие тем самым неподвижную ориентацию платформы в пространстве. Учитывая идентичность всех трех каналов управления платформы, достаточно рассмотреть один из них, например по оси OX .

В соответствии с рис. 2 уравнение движения по этому каналу можно записать в виде:

$$J_x \ddot{\alpha} = K_1 K_\omega \dot{\alpha} + K_2 K_\omega \alpha - M_{\text{вх}}, \quad \text{где} \quad (1)$$

α – угол отклонения платформы по оси OX относительно неподвижного пространства;

$\dot{\alpha}, \ddot{\alpha}$ – соответственно угловая скорость ($\dot{\alpha} = \omega_x$) и угловое ускорение платформы по оси OX ;

J_x – момент инерции платформы по оси OX ;

K_1 – коэффициент, обеспечивающий демпфирование колебаний платформы;

K_2 – коэффициент усиления цепи управления по оси OX ;

K_ω – масштабный коэффициент акселерометрического датчика по угловой скорости.

Разделив уравнение (1) на K_ω , получим:

$$\frac{J_x}{K_\omega} \ddot{\alpha} + K_1 \dot{\alpha} + K_2 \alpha = - \frac{M_{\text{вх}}}{K_\omega}. \quad (2)$$

Из выражения (2) следует, что устойчивость платформы обеспечивается при положительных коэффициентах уравнения. Вместе с тем имеет место статическая ошибка стабилизации, равная

$$\alpha_0 = -M_{\text{вх}} / K_2 K_\omega.$$

Из уравнения (3) следует, что соответствующим выбором общего коэффициента усиления всей цепи управления $K_p = K_2 K_\omega$ (в том числе и коэффициента усиления усилителя) статическая ошибка α_0 может быть сведена к

пренебрежимо малой величине. В силу абсолютной устойчивости системы легко обеспечить, например, $K_p \geq 10^6$ г·см/дуг. сек.

Для малогабаритных платформ с безредукторными двигателями (датчиками момента) при возмущающем моменте $M_{вх} = 10^2$ г·см, статическую ошибку стабилизации можно свести к величине $\alpha_0 \leq 0,1$ дуг. сек.

При реально достижимых значениях параметров акселерометрических датчиков $l=10$ см., $\delta=15$, $\alpha=10$ 1/с точность измерения абсолютной угловой скорости, а, следовательно, и скорость дрейфа ω платформы, будут составлять величины порядка 10^{-3} градус/ч, что сравнимо с точностью лучших образцов современных гиросtabilизированных платформ.

Действительно, амплитуда фиксируемого акселерометрами кориолисова ускорения, порождаемая абсолютной угловой скоростью платформы, составляет

$$a_m = 100 \omega \text{ см/с.}$$

При $\omega=10^{-3}$ градус/ч, $a_m = 0,5 \cdot 10^{-6}$ см/с² ($5 \cdot 10^{-10}$ g) регистрация колебаний с известной частотой и фазой при амплитудах порядка $0,5 \cdot 10^{-10}$ g особой проблемы не представляет. Это подтверждается и работой [7], где показано, что регистрация ускорения тел, подверженных колебаниям с известной частотой и фазой, может быть осуществлена на уровне 10^{-10} g при помощи акселерометров чувствительностью порядка 10^{-5} g.

Исследование акселерометрических датчиков, используемых в рассматриваемой стабилизированной платформе, показывают, что помехи, обусловленные зоной нечувствительности и дрейфом нуля акселерометров, а также неравенством их масштабных коэффициентов, оказываются промодулированными частотами, отличными от частот полезных сигналов.

Существенно отметить, что помехи, вызываемые нестабильностью параметров δ , α , l самого акселерометрического датчика носят мультипликативный характер, что снимает особо жесткие требования к конструкции и приводу устройства при работе его в качестве датчика (нуль-индикатора) системы стабилизации платформы. При этом нечувствительность и дрейф нуля самих акселерометров не приводят к погрешностям стабилизации платформы, что позволяет проектировать стабилизированные платформы на базе современных акселерометров.

Весьма важным преимуществом рассматриваемой стабилизированной платформы перед гироскопическими платформами является независимость ее работы от ориентации объекта в поле силы тяжести. Известно, что изменение положения гироскопов в гравитационном поле приводит к дополнительному дрейфу платформы.

Следует отметить также, что по одной из составляющих угловой скорости рассматриваемая схема платформы обладает избыточностью, что является резервом повышения точности.

Существенно и то, что стоимость производства акселерометров в 10–100 раз ниже по сравнению с гироскопами. Кроме того, технология их более проста, а габариты и вес значительно меньше, чем у гироскопов. Следовательно, и рассматриваемая акселерометрическая стабилизированная платформа может быть значительно дешевле и проще, чем гироскопическая.

Таким образом, стабилизированная платформа на акселерометрах выгодно отличается от гироскопической платформы в силу ряда отмеченных ранее достоинств акселерометрических датчиков. Использование вращения акселерометров с последующей частотно-фазовой фильтрацией освобождает полезный сигнал от целого ряда постоянных и переменных составляющих помехи.

Такая платформа может найти применение в инерциальных навигационных системах и системах управления объектами, движущимися в околоземном и космическом пространстве, в том числе и в средствах навигации морских объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев В. Д. Теория инерциальной навигации. Автономные системы. – М.: Наука. 1966. – 256 с.
2. Рывкин С. С. Теория гироскопических устройств. Часть 2. – Л.: Судостроение, 1988. – 290 с.
3. Захарин М. И. Захарин Ф. М. Кинематика инерциальных систем навигации. М.: Машиностроение, 1968. – 156 с.
4. А. С. N 90211 (СССР) Способ измерения абсолютной угловой скорости. Малеев П. И., Голован А. А. Приоритет от 21.11.1974 г.
5. А. С. –N 57987 (СССР) Способ измерения абсолютной угловой скорости. Малеев П. И., Голован А. А., Сидоров Ю. М. Приоритет от 12.12.1980 г.
6. А. С. N 116036 (СССР) Трехосный стабилизатор. Малеев П. И., Гиршов И. А. и др. Приоритет от 7.07.1977 г.
7. Метод тарирования акселерометров при малых ускорениях. Journal Spacecrafts, Rockets. – 1971. – Vol. 18. – N 7.

P. I. Maleyev

Accelerometric Stabilized Platform

The basic diagram of stabilized platform that is not composed of the gyroscopic (which is the usual practice) but of the accelerometric sensors, is considered. The expected precision and other parameters are evaluated.

ГРНТИ 78.25.31

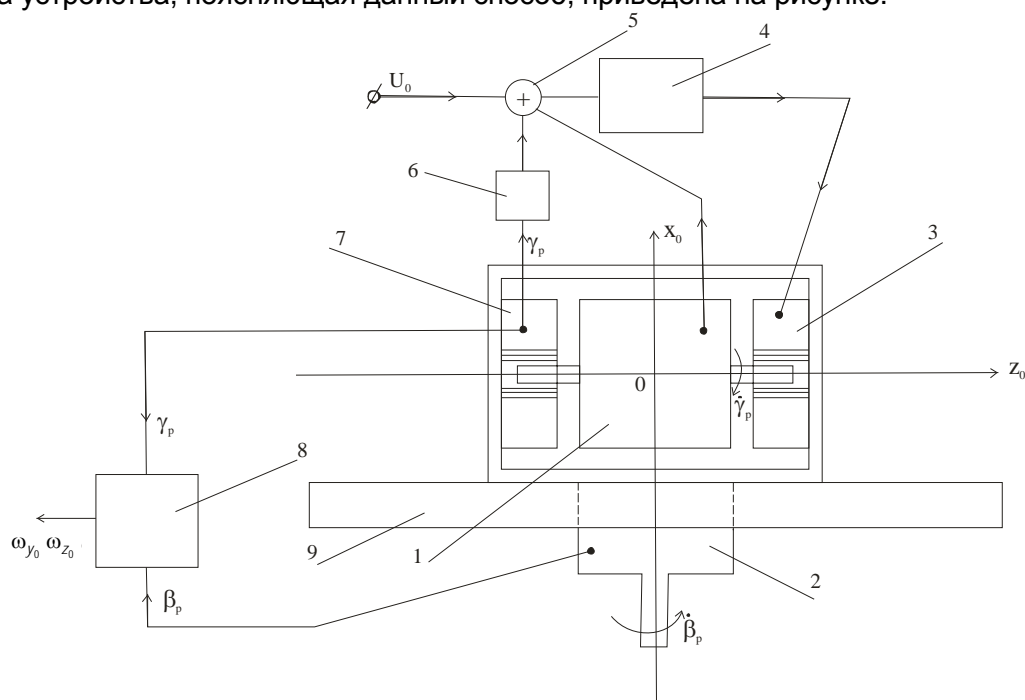
ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ГИРОСКОПА ЗА СЧЕТ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕДЛЕННОГО ВРАЩЕНИЯ ЕГО РОТОРА В ОРТОГОНАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

П. И. МАЛЕЕВ

Предложен способ автокомпенсации помех гироскопа, обеспечивающий значительное снижение влияния на него гравитационных сил, переносных ускорений и изменения ориентации его осей чувствительности.

В прецизионных инерциальных навигационных системах для повышения точности выработки навигационных параметров широко используют вращение корпуса гироскопа относительно оси, совпадающей с осью вращения его ротора [1, 2]. Вращение корпуса усредняет возмущающие моменты, связанные с корпусом. Скорость вращения составляет обычно 0,2–1,0 оборота в минуту. Такой способ повышения точности гироскопов называется автокомпенсационным. Автокомпенсационным является и способ реверсирования ротора или корпуса гироскопа. В этом случае усредняются вредные моменты, связанные не только с подвесом ротора и зависящие от направления его вращения, но и моменты, обусловленные его неидеальностью. В развитие этих способов авто-

компенсации для повышения точности нами предложен новый, при котором ротор гироскопа дополнительно медленно вращают вокруг оси, лежащей в плоскости ортогональной к его основному вращению [3]. Принципиальная схема устройства, поясняющая данный способ, приведена на рисунке.



Принципиальная схема устройства автокомпенсации погрешностей гироскопа за счет вращения его ротора в двух ортогональных плоскостях

Ротор 1 гироскопа, установленного на основании 9, вместе с совмещенным с ним датчиком абсолютного углового ускорения (ДАУУ) (на рисунке не показан) приводится во вращение двигателем 3. Угол собственного поворота ротора 1 и ДАУУ регистрируется датчиком угла (ДУ) 7. Ротор, в свою очередь, принудительно медленно вращают с угловой скоростью $\dot{\beta}_p$ вокруг ортогональной ей оси OX_0 . Угол принудительного поворота ротора регистрируется ДУ 2. При помощи дифференцирующего блока 6 сигнал ДУ 7 дифференцируется. При этом формируют сигнал:

$$\lambda_1 \left(\dot{\gamma}_p + \Delta \dot{\gamma}_p \right) \quad (1)$$

пропорциональный угловой скорости собственного вращения ротора. В этом сигнале: λ_1 – масштабный коэффициент;

$\dot{\gamma}_p$ – угловая скорость собственного вращения ротора;

$\Delta \dot{\gamma}_p$ – погрешность дифференцирующего блока 6.

Этот сигнал суммируется в блоке 5 с сигналом ДАУУ:

$$\lambda_2 \left(\ddot{\gamma}_p + \varepsilon_z + \Delta \varepsilon_z \right), \quad (2)$$

где λ_2 – масштабный коэффициент;

ε_z – проекция АУУ основания на ось собственного вращения ротора OZ_0 ;

$\Delta \varepsilon_z$ – погрешность ДАУУ,

и эталонным сигналом уставки U_0 . Выходной сигнал сумматора интегрируется интегратором 4 и обнуляется путем подачи интегрированного сигнала на обмотки управления двигателя 3, в результате чего устанавливается соотношение

$$\lambda_1 \left(\dot{\gamma}_p + \Delta \dot{\gamma}_p \right) + \lambda_2 \left(\ddot{\gamma}_p + \varepsilon_z + \Delta \varepsilon_z \right) = -U_0, \quad (3)$$

где $\Delta \varepsilon_{z_0}$ – приведенное значение погрешности АУУ;

$(\ddot{\gamma}_p + \varepsilon_z)$ – проекция АУУ ротора на ось его собственного вращения.

В силу дополнительного вращения оси собственного вращения ротора справедливо соотношение

$$\varepsilon_z = \frac{d}{dt} (\omega_{x_0} \cos \beta + \omega_{z_0} \sin \beta) = \left(\dot{\omega}_{y_0} \cos \beta_p + \dot{\omega}_{z_0} \sin \beta_p \right) + \beta_p \left(-\omega_{y_0} \sin \beta_p + \omega_{z_0} \cos \beta_p \right), \quad (4)$$

где $(\omega_{x_0} \cos \beta + \omega_{z_0} \sin \beta)$ – проекция горизонтальных составляющих АУС на ось OZ_0 ;

$\omega_{y_0}, \omega_{z_0}$ – взаимно ортогональные проекции АУС принудительного вращения оси ротора.

Согласно выражениям (3) и (4)

$$\lambda_2 \ddot{\gamma}_p + \lambda_1 \dot{\gamma}_p = -U_0^* - \lambda_2 \left[\left(\dot{\omega}_{y_0} \cos \beta_p + \dot{\omega}_{z_0} \sin \beta_p \right) + \beta_p \left(-\omega_{y_0} \sin \beta_p + \omega_{z_0} \cos \beta_p \right) \right], \quad (5)$$

где: $U^* = - \left(U_0 + \lambda_1 \Delta \dot{\gamma}_p + \lambda_2 \varepsilon_{z_0} \right).$ (6)

В правой части уравнения (5) фигурирует U_0^* – аperiodическая медленно меняющаяся величина и модулированные величины, пропорциональные

$\dot{\omega}_{y_0}, \dot{\omega}_{z_0}, \omega_{y_0}, \omega_{z_0}$.

В силу того, что $\omega_{x_0}, \omega_{y_0}$ – сравнительно медленно меняющиеся функции времени, при $\lambda_2 * \beta_p \gg \lambda_1; \varpi_{y_0} \ll \beta_p * \varpi_{z_0}; \varpi_{z_0} \ll \beta_p * \varpi_{y_0}$ решение уравнения (5) можно представить [3] в виде

$$\dot{\gamma}_p = \frac{U_0^*}{\lambda_1} + (\varpi_{y_0} \cos \beta_p + \varpi_{z_0} \sin \beta_p). \quad (7)$$

Отсюда следует, что угловая скорость собственного вращения ротора несет информацию об искомом векторе абсолютной угловой скорости $(\overline{\omega_{y_0}}, \overline{\omega_{z_0}})$. При этом полезная составляющая сигнала наделена отличительным признаком (модулирована), который позволяет выделить ее посредством соответствующих фазочастотных фильтров на фоне помехи.

Другими принципиально важными обстоятельствами, обеспечивающими повышение точности измерения АУС в данном случае, являются:

- малое влияние собственной погрешности ДАУУ ε_{z_0} , что объясняется вынесением за счет модуляции спектра полезного сигнала из области характерных частот изменения ε_{z_0} ;
- пренебрежимо малое влияние (наиболее существенной) погрешности ДАУУ, связанной с воздействием гравитационных сил, переносных ускорений и изменения ориентации оси ротора в пространстве.

Действительно, погрешность ДАУУ ε_{z_0} может быть уточнена следующим образом:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{z_0} &= \varepsilon_{z_0}^* + \frac{\mu}{2} ml (W_{x_0} \cos \gamma_p + W_{z_0} \sin \gamma_p) \cos \beta_p = \\ &= \varepsilon_{z_0}^* + \frac{\mu}{2} ml \{ W_{x_0} [\cos (\gamma_p - \beta_p) + \cos (\gamma_p + \beta_p)] + \\ &\quad + W_{z_0} [\sin (\gamma_p - \beta_p) + \sin (\gamma_p + \beta_p)] \} \end{aligned} \quad (8)$$

где $\varepsilon_{z_0}^*$ – составляющая погрешности ДАУУ, не зависящая от кажущихся ускорений;

m – масса ротора;

l – расстояние от центра ротора до его торца;

W_{x_0}, W_{z_0} – проекции кажущегося ускорения ДАУУ на оси ортогональные оси его вращения;

μ – постоянный коэффициент, определяемый точностью балансировки ДАУУ;

$$\begin{aligned} \frac{\mu}{2} ml \{ W_{x_0} [\cos (\gamma_p - \beta_p) + \cos (\gamma_p + \beta_p)] + \\ + W_{z_0} [\sin (\gamma_p - \beta_p) + \sin (\gamma_p + \beta_p)] \} \end{aligned} \quad (9)$$

– составляющая погрешности, связанная с переносными ускорениями и гравитационными силами.

Таким образом, помехи, вызываемые несовершенством ДАУУ, группируются в диапазоне частот

$$\left(\dot{\gamma}_p \pm \beta_p \right) \text{ и } 0 \quad (10)$$

В то же время, согласно (7), центральная частота спектра равна $\dot{\beta}_p$. В этом случае при легко достижимом соотношении

$$\dot{\beta}_p \ll \dot{\gamma}_p; \quad (11)$$

надежно обеспечивается фазочастотная отстройка полезного сигнала как от апериодических помех типа $\varepsilon_{z_0}^*$, так и от помех, связанных с кажущимся ускорениями, что имеет принципиальное значение для достижения высокой точности и решает проблему частотно-фазовой фильтрации рассматриваемых помех.

Заключительную процедуру формирования сигналов искомой АУС $\omega_{y_0}, \omega_{z_0}$ можно осуществить посредством процессора 8 (см. рисунок), реализующего операцию двухканального фазового детектирования и цифровой фильтрации сигналов датчиков угла 2 и 7.

Таким образом, одновременное вращение ротора гироскопа относительно двух взаимно ортогональных осей с формированием сигнала абсолютного углового ускорения ротора путем суммирования этого сигнала с сигналом эталонной установки и сигналом датчика угла собственного вращения ротора с последующим обнулением суммы сигналов посредством процедуры ее интегрирования, обеспечивает измерение абсолютной угловой скорости практически без погрешностей, связанных с влиянием гравитационных сил, переносных ускорений, нестабильностью и нелинейностью промежуточных преобразований сигналов. Это позволяет использовать такие гироскопы в различных системах стабилизации и ориентации, в том числе – и в платформенных и в бесплатформенных инерциальных навигационных системах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зельдович С. М., Малтинский М. И. и др. Автокомпенсация инструментальных погрешностей гиросистем. – Л.: Судостроение, 1970. – 225 с.
2. Сломьянский Г. А., Прядилов Ю. Н. Поплавковые гироскопы и их применение. – М.: Оборонгиз, 1958. – С. 35–40.
3. Малеев П. И., Голован А. А., Бодунов М. П. Способ измерения абсолютной угловой скорости. Положительное решение ВНИИ ГПЭ по заявке на ИЗО - предложение № 4529545 от 2.04.1991 г.

P. I. Maleyev

Increase of Gyroscope Accuracy Due to the Additional Slow Rotation of its Wheel in Orthogonal Plane

The method of autocompensation of the gyroscope errors, providing considerable reduction of the influence of gravitational forces, accelerations connected with the movement of object and change of orientation of the gyroscope sensing axes, is suggested.

ПОГРЕШНОСТИ ВЫРАБОТКИ ВРЕМЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРИЕМЕ СИГНАЛОВ ПУЛЬСАРОВ

Б. И. ЛОБОЙКО

Изложена методика выявления погрешностей выработки временной информации при использовании импульсного радиоизлучения пульсаров. Определен бюджет погрешностей, влияющих на точность формирования шкалы времени.

Внедрение шкал времени путем использования для этих целей строго периодического радиоизлучения пульсаров приводит к необходимости точного определения временного положения импульсов этих галактических источников.

Реальный импульс пульсара всегда представляет собой некоторую совокупность n дискретных отсчетов, снятых с поступающего сигнала через строго одинаковые интервалы времени. Центр тяжести положения импульса, выраженный в единицах интервала, представляет собой функцию вида

$$C_T = \frac{\sum_{k=1}^n k S_k}{\sum_{k=1}^n S_k + k_0}, \quad (1)$$

где S_k – отсчеты сигнала;
 n – количество отсчетов на импульсе;
 k_0 – начальная точка отсчета.

Каждый из отсчетов является суммой «сигнал + шум», поэтому C_m – это функция многих приближенных аргументов.

Как известно из теории ошибок (см. например, работы [1, 2, 3]), погрешность функции при выполнении условий ее дифференцируемости может быть выражена через ее частные производные $\partial C_T / \partial S_k$ и величину погрешности каждого из аргументов, если последняя достаточно мала. Условие незначительной погрешности аргументов выполняется при отношениях сигнал-шум ≥ 10 , что должно иметь место в рассматриваемой задаче высокоточной привязки импульса. Предполагаем, что погрешности в отсчетах статистически независимы и их среднеквадратические величины одинаковы и равны $\sigma_{ш}$, тогда погрешность величины C_T , выраженная в единицах интервала, будет определяться выражением:

$$S_k = \sigma_{ш} \left[\sum \left(\frac{\partial C_T}{\partial S_k} \right)^2 \right]^{1/2}. \quad (2)$$

Проводя частное дифференцирование $C_T(S_k)$ нетрудно получить выражение для δC в виде:

$$\delta C = \frac{\left[\sum_{k=1}^n (k - C_0)^2 \right]^{1/2}}{\sum_{k=1}^n} \sigma_{\text{ш}}, \quad (3)$$

где C_0 – центр тяжести импульса при $k = 0$.

Известно, что ошибка δC получается минимальной при симметричной форме импульса. При этом, если асимметрия не очень велика, т. е. отличается от положения центрального отсчета не более чем на 30%, то различие в ошибке по сравнению с симметричным случаем незначительно и не превышает 10%. Поэтому можно считать симметричной форму импульса, при которой $C_0 = (n+1)/2$. В этом случае с точностью выше 10% выполняется простое соотношение:

$$\left[\sum_{k=1}^n (k - C_0)^2 \right]^{1/2} = \frac{n\sqrt{n}}{2\sqrt{3}}, \quad (4)$$

с учетом которого получается

$$\delta C \approx \frac{0,3\sqrt{n}}{\mathfrak{E}\sigma_{\text{ш}}}. \quad (5)$$

Здесь \mathfrak{E} – средняя амплитуда импульса в пределах выбранных отсчетов. Если предположить, что интервал между отсчетами равен Δt , то ошибка $\sigma_{t_{\text{ш}}} = \delta C \Delta t$, а ширина импульса $W = (n-1)\Delta t$. В результате получается следующая простая, но достаточно точная формула для определения среднеквадратической величины погрешности привязки:

$$\delta t_{\text{ш}} \approx \frac{0,3\sqrt{W\Delta t}}{\mathfrak{E}\sigma_{\text{ш}}} \text{ или } \delta t_{\text{ш}} \approx \frac{0,3W}{(C/\text{Ш})}, \quad (6)$$

при условии, что проведено усреднение шумов в пределах всего импульса, т. е.

$$\text{Ш} = \frac{\sigma_{\text{ш}}}{\sqrt{W/\Delta t}}, \text{ а } C \approx \mathfrak{E}.$$

В этом выражении величина отношения «сигнал-шум» (С/Ш) определяется как максимально достижимая при регистрации импульса, т. е. когда постоянная времени интегрирования τ равна длительности импульса. Следовательно надо делать $\tau = W$ только при вычислении отношения С/Ш, но отнюдь не обязательно при регистрации импульса.

Дисперсионное запаздывание импульсов радиоизлучения пульсаров в межзвездной и межпланетной средах, ионосфере и атмосфере Земли составляет:

$$\Delta t_3 = \Delta t_{\text{змп}} + \Delta t_{\text{зион}} + \Delta t_{\text{зп}} = \frac{10^2}{2,41F^2} [\text{ДМ}_{\text{мз}} + \text{ДМ}_{\text{мп}} + \text{ДМ}_{\text{ион}}] + \frac{10^{-6} N H \cos Z}{C} \quad (7)$$

Дифференцируя (7.) в частных производных, получим погрешность запаздывания в межзвездной и межпланетной средах и в ионосфере

$$\delta \Delta t_3 = \frac{10^{-2}}{2,41F^2} \left(\text{ДМ} - 2 \text{ДМ} \frac{\delta F}{F} \right). \quad (8)$$

Здесь первый член отражает погрешность за счет вариаций меры дисперсии ДМ, второй – погрешность измерения частоты. Погрешность же запаздывания в атмосфере будет иметь вид

$$\delta \Delta t_{\text{за}} = \Delta t_{\text{а}} \left(\frac{\delta T}{T} + \frac{\delta p}{p} + \frac{\delta H}{H} \right). \quad (9)$$

Таким образом, одним из критериев выбора пульсаров для формирования высокоточной шкалы времени являются погрешности измерения времени прихода импульсов, обусловленные шумами приемной аппаратуры. Приведенный выше анализ влияния шумов на точность измерений показывает, что шумовая погрешность пропорциональна отношению $W\sqrt{W}/S\sqrt{P}$.

Из рассмотренной совокупности высокостабильных пульсаров наименьшим отношением $W\sqrt{W}/S\sqrt{P}$ обладает миллисекундный пульсар PSR 1937+21. Основные параметры его радиоизлучения приведены ниже и в табл. 1.

Период P , с	0,001 557806 448 872 4±2
Производная периода \dot{P} , с/с	$(1,051110 \pm 0,00008) \cdot 10^{-19}$
Прямое восхождение α (1950,0)	$19^{\text{h}}37^{\text{m}}28^{\text{s}}, 74600 \pm 3$
Склонение δ (1950,0)	$21^{\circ}28'01'', 4606 \pm 10$
Эпоха (в барицентре)	JD 2 445 303, 273 165 8
Мера дисперсии ДМ, пк. см ⁻³	$71,0440 \pm 0,0002$

Таблица 1

Параметры радиоизлучения PSR 1937+21

Частота, Гц	Длина волны, см	Плотность потока, мЯн	Ширина импульса, мс	Уширение импульса из-за рассеяния, мс
032	94	600	160±10	95
043	70	300	90±10	25
1390	21,5	18	65±10	0,14
1667	18,0	11	40±10	0,07
2380	12,6	5	43±4	0,01

Из рассмотренного бюджета погрешностей следует, что три из них $\delta t_{\text{ш}}$, $\delta t_{\text{рас}}$, $\delta t_{\text{ион}}$, зависят от частоты. Для возможной реализации наземного антенно-аппаратурного комплекса с параметрами (антенна 60 м, полоса принимаемых частот $\Delta f = 0,05 F$, время наблюдения 6 часов) результаты расчетов применительно к пульсару PSR 1937±21 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Оценка достижимой точности временной привязки импульсов пульсара PSR 1937+21

Частот, Гц	$T_{\text{ш}}$	S , мЯн	W , мкс	Δf_s , кГц	t_p , с	С/Ш	$\delta t_{\text{ш}}$, мс	δt , нс
0,2	650	1850	780	0,22	43	715	320	2,
0,32	300	600	160	1,72	68	1400	35	28
0,4	190	350	90	4,6	86	1900	15	30
0,6	120	130	80	27	128	1500	16	8
0,8	100	66	70	97	170	1100	18	3,4
1,0	90	39	60	260	214	900	21	1,2
1,4	90	17	50	1135	300	500	30	0,7
2,3	90	5	40	10075	490	210	57	0,3

Следует иметь в виду, что согласно (7)

$$\Delta t_{\text{ион}} = \frac{10^{-2}}{2,41 F^2} \delta \text{ДМ}_{\text{ион}}.$$

Суть ДМ – полное содержание электронов в столбе сечением 1 см^2 по лучу зрения.

$$\text{ДМ}_{\text{ион}} = \int_{h_1}^{h_2} n_e \sec Z dh = n_{e\text{max}} \Delta h \sec Z.$$

Здесь h_1 и h_2 – высота верхней и нижней границ ионосферы;

$n_{e\text{max}}$ – электронная концентрация в максимуме ионизации;

Δh – эффективная толщина ионосферы.

Принимая $n_{e\text{max}} = 10^6 \text{ см}^{-3}$, $\Delta h = 300 \text{ км}$, погрешность в определении этих параметров $\delta \text{ДМ}_{\text{ион}} = 0,2 \text{ ДМ}_{\text{ион}}$, получим

$$\Delta t_{\text{ион}} = \frac{8,3 \cdot \sec Z}{F^2},$$

при $Z = 60^\circ$, $\delta t_{\text{ион}} = 16/F^2$.

Совместное рассмотрение частотных зависимостей погрешностей $\delta t_{\text{ш}}$, $\delta t_{\text{рас}}$, $\delta t_{\text{ион}}$, показывает, что для принятых параметров антенно-аппаратурного комплекса результирующая погрешность является наименьшей в диапазоне ~ 600–1000 МГц, а величина ее равна примерно 20 нс. Решение этой задачи методом вычисления функции взаимной корреляции между измеряемым средним импульсом $x(t)$ и эталонным профилем $E(t)$, разработанным на РАС ФИАН показывает, что достижимые точности при использовании антенн с эффективной площадью 500 м^2 ($\varnothing = 30 \text{ м}$), полосе приема 20 МГц и времени накопления импульсов 2 часа составляют 150 нс, что не всегда удовлетворяет потребностям при решении некоторых прикладных задач. При этом считается, что в заданном временном интервале T (априорном интервале) присутствует лишь интересующий исследователя импульс, который может быть либо одиночным, либо повторяющимся, а также аддитивная помеха типа белого шума. Кроме того, предполагается, что сигнал уже найден, т. е. временное положение импульса установлено с точностью до его длительности и, следовательно, задачей является уточнение положения сигнала.

Приведенный метод для временной привязки предопределяет необходимость выбора на импульсе определенной реперной точки и измерения в дальнейшем ее временного положения. В качестве такой точки выбран центр тяжести усредненного импульса, ограниченного снизу некоторым уровнем для отсекаания шумов вне импульса. Усреднение импульсов осуществляется синхронным накоплением на ЭВМ, запускаемой в известный момент местного времени. Тогда время реперной точки относительно времени запуска и определит временное положение импульса в местной шкале времени.

Для проведения наблюдений пульсаров в режиме синхронного накопления, а также для последующей обработки результатов наблюдений в работе [4] приведен ряд программ. Часть из этих программ широко используется наблюдателями при проведении экспериментов по исследованию различных параметров радиоизлучения пульсаров, а часть представляет интерес при

обработке результатов наблюдений. Например, программа «PULSAR» позволяет проводить совместную обработку длительного ряда временных наблюдений пульсаров с целью определения периода, производной периода, координат пульсаров, а также получения остаточных уклонений наблюдаемого времени прихода импульсов от расчетного. Вычисления основаны на использовании квадратичной зависимости между номером импульса и его барицентрическим временем прихода [5]

$$N_k = P(t_k - t_0) + 0,5\dot{P}(t_k - t_0)^2. \quad (10)$$

Из-за неточного знания параметров пульсара P , \dot{P} , а также координат (α, δ) , числа N_k не будут целыми. Образуя остаточные уклонения в виде разности между вычисленным значением и ближайшим целым из решения системы условных уравнений вида

$$R_k = R_0 + \Delta P(t_k - t_0) + 0,5\Delta\dot{P}(t_k - t_0)^2 + A\Delta\alpha + B\Delta\delta \quad (11)$$

методом наименьших квадратов находятся поправки ΔP , $\Delta\dot{P}$, $\Delta\alpha$, $\Delta\delta$ к уточняемым параметрам P , \dot{P} , α , δ .

Редукция наблюдаемого времени прихода импульсов к барицентру Солнечной системы осуществляется путем введения в моменты прихода поправки:

$$\Delta T = 499,012 R_E [\sin\delta_E \cdot \sin\delta_J + \cos\delta_J \cdot \cos\delta_E \cdot \cos(\alpha_J - \alpha_E)] \quad (12)$$

Откуда получаются выражения для коэффициентов A и B , определяющих поправку за координаты:

$$A = -499,012 R_E (\cos\delta_E \cdot \cos\delta_J \cdot \sin(\alpha_J - \alpha_E)) \quad (13)$$

$$B = -499,012 R_E [\cos\delta_E \cdot \sin\delta_J \cdot \cos(\alpha_J - \alpha_E) - \sin\delta_E \cdot \cos\delta_J]$$

Релятивистская поправка, учитывающая изменение хода часов при движении Земли в переменном поле тяжести Солнца, вводится в наблюдаемые моменты в виде:

$$REL = 0,001661 [\sin i + 1/2 e \sin 2i + 1/8 e^2 (3 \sin 3i - \sin i)]. \quad (14)$$

Учитывается влияние движения наблюдателя на частоту приема излучения f_H , которая связана с барицентрическим значением частоты f_B согласно формуле Доплера соотношением

$$f_B = f_H (1 - A_\odot),$$

где $A_\odot = 499,012 \frac{2\pi}{P} \cdot \frac{[1 + e \cos(\lambda_0 - U)]}{\sqrt{1 - e^2}} \cdot \frac{1}{\cos i} \cdot \cos\beta_x \cdot \sin(\lambda_0 - \lambda_{xj}). \quad (15)$

Исключение влияния меры дисперсии на время прихода импульса производится путем пересчета времени на бесконечную частоту приема:

$$\Delta T_\infty = \frac{0,415 \text{ МД}}{f_B^2}. \quad (16)$$

Известно [1], что многоканальный оптимальный корреляционный приемник реализует выделение максимума корреляционной функции с дисперсией погрешности:

$$D_{\tau_m} = -1/(2E/N_0) [\partial^2 S / \partial \tau^2] \tau_m, \quad (17)$$

где $2E/N_0$ – отношение сигнал-шум по мощности ($2E$ – удвоенная энергия сигнала, N_0 – спектральная плотность шума);

$[\partial^2 \mathcal{E} / \partial \tau^2]_{\tau_m}$ – кривизна нормированной корреляционной функции сигнала по оцениваемому параметру в ее максимуме.

В литературе обычно приводится средняя плотность потока от пульсара на частоте 400 МГц S_{400} , определяемая как энергия в единичном импульсе, деленная на период и представляемая в размерности ватт на квадратный метр на герц – Вт/м.Гц.

Поэтому $2E = 2S_f PA_{эф} \Delta f N_{имп} (Вт \cdot с)$,

где $S_f = S_{400} (f/400)^\alpha$ – средняя плотность потока на выбранной рабочей частоте f ;

α – спектральный индекс пульсара;

P – период излучения пульсара;

$A_{эф} = \frac{k\pi d^2}{4}$ – эффективная площадь приемной антенны;

k – коэффициент использования антенны, который обычно полагают равным 0,6 .

$A_{эф} = 0,471 d^2$;

Δf – принимаемая полоса частот;

$N_{имп}$ – число единичных импульсов, формирующих средний профиль.

Без учета потерь между антенной и приемником мощность шумов на входе приемника P выражается формулой [1]

$P_n = kT_0 \Delta f_3 (k_n + t_A - 1)$,

где $k = 1,38 \cdot 10^{-26}$ Дж/г – постоянная Больцмана;

$T_0 = 290^\circ K$ – стандартная комнатная температура Кельвина;

Δf_3 – эффективная полоса пропускания линейной части приемника до детектора;

k_n – коэффициент шума;

$t_A = T_A / T_0$ – относительная шумовая температура приемной антенны, имеющей абсолютную шумовую температуру измерения T_A .

Очевидно, что спектральная мощность шума будет выражаться формулой

$N_0 = P_n k T_0 (k_n + t_A - 1) / \Delta f_3$.

Аналитическое выражение кривизны нормированной корреляционной функции сигнала выведем из следующих соображений.

Импульсы некоторых пульсаров, к которым принадлежит и пульсар PSR 1937+21, хорошо описывается кривой Гаусса. Взаимная корреляционная функция среднего и эталонного импульса («паспорта» пульсара) в этом случае также будет иметь вид кривой Гаусса с шириной на полувысоте $\tau_{0,5} = \sqrt{2} \tau_{0,5}$, где $\tau_{0,5}$ – ширина импульса пульсара на полувысоте, т. е. взаимная корреляционная функция $f(x)$ может быть представлена как огибающая отдельных отсчетов, разнесенных на величину дискретности Δ , равной ширине импульса, деленного на число n каналов многоканального оптимального корреляционного приемника. Для вычисления второй производной от $f(x)$ обратимся к алгоритму интерполяционного многочлена Ньютона [6]:

$$F(x) \cong L = f(x_1) + f(x_1; x_2)(x - x_1) + f(x_1; x_2; x_3)(x - x_1)(x - x_3), \quad (18)$$

где $f(x_1; x_2) = [f(x_2) - f(x_1)] / (x_2 - x_1)$ – так называемая разделенная разность первого порядка;

$f(x_1; x_2; x_3) = [f(x_2; x_1) - f(x_1; x_2)] / (x_3 - x_1)$ – разделенная разность второго порядка.

Поскольку понятие разделенной разности является обобщением понятия производной, то, интерполируя значение функции (18), ее можно привести к так называемому интерполяционному многочлену Ньютона с разделенными разностями:

$$L = f(x_1; x_2; x_3) \sum f(x_j) / \prod_{i \neq j} (x_j - x_i).$$

Очевидно, для нашей функции по меньшей мере характерно

$$f(x_{m-\Delta}) = f(x_{m+\Delta}),$$

т. е. значения функции в точках, равноотстоящих на один шаг дискретности от ее максимума, равны.

Предположив, что форма нашего импульса описывается кривой Гаусса, а для точки максимума гауссианы справедливо выражение:

$$f(x) = P \cdot \exp(-x^2 / 2\sigma^2) \Rightarrow f(x) = 1 \text{ т. е.}$$

$$L'' = [f(x_{m-\Delta}) - f(x_{m+\Delta})] / \Delta^2. \quad (19)$$

Нормировка функции приводит к конечному выражению

$$\left[\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right]_{\tau_m} = \frac{\left\{ \exp \left[\frac{-2\Delta^2}{(\tau_{0,5})^2} \right] - 1 \right\}}{\Delta^2}. \quad (20)$$

На основании выражений (17), (18), (20) средняя квадратическая погрешность привязки среднего импульса выразится формулой:

$$\sigma_{\tau_m} = \Delta \sqrt{\frac{kT_0(k_n + t_A - 1)}{0,994 S_f t_H \Delta f [1 - \exp(-2\Delta^2 / (\tau_{0,5})^2)]}}, \quad (21)$$

где t_H – время накопления импульсов.

Из формулы (21) следует, что точность временной привязки обратно пропорциональна диаметру приемной антенны. Точность привязки сложным образом зависит от величины дискретности разбиения импульса. Из выражения (20) следует также, что при выбранных частоте, полосе приема и времени накопления импульсов повышать точность временной привязки можно, увеличив точность интерполяции функции взаимной корреляции.

Предположив, что $\tau_{0,5} = 50$ мкс, для $F = 400$ МГц, $\Delta f = 0,05 F$, $T_0 = 300^\circ \text{ K}$, $T_A = 450^\circ \text{ K}$.

В табл. 3 представлена рассчитанная по формуле (20) при данных начальных условиях $k_n = 1$ и рабочей частоте 400 МГц потенциальная точность привязки среднего импульса.

Анализ данных таблицы показывает, что на частоте 400 МГц достигается наибольшая точность привязки среднего импульса. Увеличивать число разбиения каналов более 10 нерационально, так как точность второй производной при увеличении количества отсчетов остается без изменения. Этот вывод следует из того, что при $\Delta \ll \tau_{0,5}$

$$1 - \exp[-2\Delta^2 / (\tau_{0,5})^2] \approx -2\Delta^2 / (\tau_{0,5})^2.$$

Таблица 3

Потенциальная точность привязки среднего импульса на частоте 400 МГц

Диаметр антенны, м		Время накопления, ч		Потенциальная точность привязки среднего импульса для числа каналов разбиения	
		100	50	10	5
30	2	5,83	5,83	5,84	6,02
	24	1,68	1,68	1,69	1,74
20	2	8,75	8,75	8,76	9,03
	24	2,52	2,52	2,54	2,64
15	2	11,66	11,67	11,68	12,04
	24	3,36	3,36	3,38	3,48
10	2	17,49	17,49	17,52	18,07
	24	5,04	5,94	5,07	5,22

Данные таблицы отражают потенциальную точность привязки при условии устранения влияния межзвездного рассеяния.

Хотя приемная аппаратура дает возможность принять эффективные меры по устранению этого явления, тем не менее этот вопрос пока теоретически исследован не до конца и, что самое главное, не полностью решен для пульсара PSR 1937+21. По этой причине, а также для повышения отношения сигнал – шум, целесообразно диаметр приемной антенны брать больше расчетного в 1,5 раза, т. е. для реального достижения точности $\sigma_{\tau_m} = 4,3$ нс он должен быть выбран в пределах 15–20 м.

Вышеизложенный способ временной привязки импульса учитывает более точную интерполяцию функции и, как следствие, более точно определяет ее кривизну, что позволяет с требуемой точностью осуществлять временную привязку.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Книга первая. – М.: Сов. радио, 1969. – 752 с.
2. Тихонов В. И. Оптимальный прием сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. – 319 с.
3. Щиголов Е. М. Математическая обработка наблюдений. М.: Физматгиз, 1969. – С. 344.
4. Шабанова Т. В. Редукция временных наблюдений импульсов пульсара к барицентру Солнечной системы. – М.: 1972. – 14 с. Препринт / Физический ин-т им. П. Н. Лебедева АН СССР. – №27.
5. Манчестер Р., Тейлор Д., Пульсары. Под ред. Кузьмина А. Д. – М.: Мир, 1980, – 292 с.
6. Бахвалов Н. С. Численные методы. -М.: Наука, 1973. – 631 с.

B. I. Loboiko**Errors of Obtaining the Time Information when Receiving the Pulsar Signals**

The methods used to find the errors of obtaining the time information when using the pulse radiation of pulsars are set forth. The budget of errors influencing the precision of forming the time scale is determined.

СРЕДСТВА И МЕТОДЫ СЛИЧЕНИЯ И КОРРЕКЦИИ ШКАЛ ВРЕМЕНИ И ЧАСТОТЫ**Б. И. ЛОБОЙКО,
В. Н. БАРИНОВ**

Представлены характеристики существующих средств передачи сигналов времени. Рассмотрены классические методы синхронизации шкал времени с помощью космических навигационных систем.

Решение большого числа научно-технических задач связано с необходимостью сопоставления во времени событий, происходящих в пространственно-разнесенных точках, т. е. с необходимостью обеспечения синхронизации хода часов в этих точках. Для сличения и коррекции пространственно-разнесенных часов используются сигналы точного времени, передаваемые с помощью различных средств.

В табл. 1 представлены характеристики существующих в настоящее время средств передачи точного времени.

Для сличения и коррекции шкал эталонов с метрологическим уровнем точности сейчас используется передача сигналов времени в низкочастотном диапазоне, через телевизионную сеть, а также – космические аппараты и такие специальные средства, как радиометеорные линии и перевозимые квантовые часы [1, 2, 3].

На протяжении многих лет сигналы радионавигационных станций, работающих в низкочастотном диапазоне в полосах 4 и 5, применяются для сличения эталонов. В частности, этот метод рекомендован Международным консультационным комитетом по радиосвязи (МККР) для сличения размеров единиц времени и частоты воспроизводимых национальными эталонами по набегу фазы несущей частоты. Сегодня он практически является основным для сличения эталонов Западной Европы и Америки (система Лоран-С).

Таблица 1

Характеристики средств передачи точного времени

Используемые средства	Погрешность синхронизации, мкс	Зона обслуживания или дальность действия, км	Стоимость приемной аппаратуры, тыс. долл.
КВ радиостанции	100–2000	10000	0,1
РНС Лоран-С	0,1–2	2000	7
Телевидение	0,001–1	100-1000	0,5
СВЧ радиорелейные и кабельные линии	0,001–1	1500	200
Радиоинтерферометры со сверхдлинными базами	0,001	15000	200
Транспортируемые часы	0,001–0,3	Глобальная	–
КА связи	0,01–0,05	Региональная	500
КА Шаттл	0,001	± 57° по широте	–
Метеорологические КА	0,5	Региональная	1
КНС Навстар	0,01–0,1	Глобальная	40

Погрешность сличения зависит от многих факторов (характера и протяженности радиотрасс, применяемых антенн, радиоприемных устройств) и в среднем составляет 0,5 мкс. Исследования, проведенные в различных странах, показывают, что существенное влияние на погрешность приема сигнала РНС Лоран-С оказывает конструкция радиоприемного устройства. Применение специальных помехоподавляющих фильтров позволяет в несколько раз улучшить условия приема, а использование специальных систем с автоподстройкой и большой постоянной времени – снизить случайные фазовые вариации частоты.

По данным NRLM (Япония) [4] отдельные среднегодовые результаты приема сигналов Лоран-С характеризуются погрешностью $\pm 0,3$ мкс, что соответствует погрешности сличения частот эталонов за этот интервал в $1 \cdot 10^{-14}$ и $2 \cdot 10^{-13}$ в месяц. Вместе с тем в распространении сигналов системы Лоран-С наблюдаются медленные флуктуации фазы порядка 0,2 мкс, а в некоторых случаях достигающие и существенно больших значений.

Недостатком метода сличений эталонов с использованием низкочастотных передач является ограниченность зоны приема. Земная волна, используемая для сличения, с высокой точностью распространяется на расстояния порядка 1,5 тыс. км.

Достоинством методов сличения с использованием телевизионной сети является относительная стабильность и широкополосность радиоканалов, использующих кабельные и радиорелейные линии. Потенциальную точность телевизионных методов можно оценить в среднем в 0,1 мкс.

Радиорелейные линии сличений характеризуются погрешностью порядка 0,2 мкс [4] и имеют перспективы для ее снижения до величины порядка 50 нс. Их недостатками являются ограниченность зоны действия (примерно 1500 км) и высокая стоимость. Поэтому широкое применение таких средств в настоящее время нельзя считать целесообразным, но в ближайшей перспективе использование их может быть расширено.

Метод сверки эталонов, основанный на использовании перевозимых квантовых часов, также получил широкое распространение, несмотря на высокую стоимость. По сравнению с перечисленными выше каналами сравнения частот и шкал времени эталонов, этот метод обладает наивысшей метрологической точностью и, кроме того, имеет практически неограниченную зону действия.

Эффективным средством сличения и коррекции шкал времени являются космические системы различных назначений (навигационные, связные, геодезические, телевизионные и другие), которые подразделяются по:

- виду орбиты (низкая круговая – до 1500 км, средняя – до 20000 км, дальняя – высокоэллиптическая или геостационарная – до 40000 км);
- составу бортовой аппаратуры (активные КА с хранителем шкалы времени на борту или КА-ретрансляторы);
- излучаемым несущим частотам (в диапазонах 0,1–0,4 ГГц; 0,6–0,9 ГГц; 4,0–6,0 ГГц; 12–14 ГГц).

В настоящее время применяют две группы методов, первая объединяет двусторонние приемопередатки с использованием КА в качестве ретранслятора, вторая – точное измерение величины задержки на трассах распространения КА – пункты приема.

Для первой группы характерным является исключение величины задержки сигнала на трассе в процессе сличений. Недостаток связан с необходимостью наличия в пунктах сличений оборудования, обеспечивающего работу КА в режиме передачи-приема. Это накладывает ограничения на широкое применение двухсторонних методов в метрологической практике. Основные результаты таких экспериментов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты двухсторонних сличений шкал времени через КА

Страны	Сличаемые эталоны	Характеристика и тип КА	Погрешность сличения $\times 10^{-9}$
США ЯПОНИЯ	USNO CIIIА RRL Япония	RELAY-11, эллиптическая орбита, А-4800, А-1400	100
США	Группа эталонов США	ATS-3, синхронная орбита, частоты 4 - 6 ГГц	50
США ЯПОНИЯ	NASA, USNO, RRL	ATS-1, синхронная орбита, частоты 4 - 6 ГГц	10
США	Группа эталонов США	DSCS - синхронная орбита, частоты СВЧ	50
США Канада	NBS, Boulder, NRC, Ottawa, USNO, Washing	HERMES STS	20
США, ФРГ, Англия, Франция и др.	DNM, NRC, RGO, IFAG, NBC, NRL, USNO, GSFG	NTS синхронная орбита	~ 10
США	Группа специальных эталонов	TDR геоцентрическая орбита	17 (σ)

Для двухсторонних методов сличения основные источники погрешности связаны с различием трассы прохождения сигналов при переизлучениях, различием и непостоянством задержек в аппаратуре, уровнем шумов. Так, в эксперименте по групповому сличению эталонов через ATS-3 (NASA, USA) при разрешающей способности метода 1 нс, погрешность из-за шумов и помех оценивалась в 20 нс.

Вторая группа методов успешно развивается в последние годы. Их особенностью является точное измерение местоположения КА на моменты сличений и передача этих данных потребителю. Наиболее точные из этих методов обеспечивают в настоящее время погрешность сличения порядка 50 нс. Существуют проекты экспериментов по сличению эталонов с применением лазерной локации КА с ожидаемой погрешностью порядка единиц наносекунд.

Как классический вариант синхронизации шкал времени потребителя при помощи космических навигационных аппаратов рассмотрим среднеорбитную систему НАВСТАР.

Погрешности передачи временной информации в этой системе складываются из погрешностей формирования и излучения метки времени КА, знания эфемерид, определения времени распространения радиосигнала, опре-

деления задержки в приемнике, определения координат потребителя и шумовых погрешностей.

Погрешность формирования и излучения метки времени КА обусловлена случайным смещением шкалы времени КА, групповой задержкой в его аппаратуре, неточным знанием времени смещения его шкалы в подсистеме контроля и управления.

Смещение шкалы времени КА определяется бортовыми стандартами частоты. На космических аппаратах первой фазы развертывания системы НАВСТАР используются два типа стандартов частоты: рубидиевые и цезиевые. Дисперсия погрешности формирования шкалы времени, вызванная смещением частоты между моментами коррекции, описывается следующими уравнениями.

Для рубидиевых стандартов частоты:

$$\sigma^2(t) = 10^{-20}(t-t_k) + 1,44 \cdot 10^{-24}(t-t_k)^2 \cdot C^2 ;$$

для цезиевых стандартов частоты:

$$\sigma^2(t) = 2,5 \cdot 10^{-21}(t-t_k) + 5,76 \cdot 10^{-26}(t-t_k)^2 \cdot C^2 ,$$

где t – текущее время;

t_k – момент времени коррекции стандарта частоты.

При этом среднеквадратическая погрешность распространения времени составляет около 9 нс через 2 часа и 25,5–108 нс через 24 часа после коррекции (25,5 нс для цезиевых и 108 нс для рубидиевых стандартов). Подсистема контроля и управления системы НАВСТАР корректирует шкалу времени КА с таким интервалом, что среднеквадратическая погрешность бортового хранителя времени не превосходит 12 нс.

Погрешности знания эфемерид вызваны ограниченной точностью определения эфемерид КА подсистемой контроля и управления, а также непредсказуемыми смещениями КА при движении по орбите. Текущее значение эфемеридных погрешностей для КА системы НАВСТАР по касательной к орбите КА не превосходит 10 м, перпендикулярно к плоскости орбиты КА – 7 м, и в радиальном направлении – 2 м.

Следует отметить, что составляющие погрешностей по касательной к орбите и перпендикулярно к плоскости орбиты входят в погрешность вычисления дальности с коэффициентом, не превышающим 0,25. При этом влияние радиальной погрешности практически не зависит от угла возвышения КА (изменение составляет около 3%), и эта составляющая почти полностью входит в погрешность вычисления дальности.

Погрешности определения времени распространения радиосигнала разделяются на погрешности определения дополнительных задержек сигнала в ионосфере и в тропосфере. Эти погрешности не зависят одна от другой, однако возрастают при малых и минимизируются при больших углах возвышения КА.

Дополнительная задержка в ионосфере $\Delta t_u = 40,3/Cf^2 N$,

где N – общее число электронов на трассе от передатчика до приемника в столбе единичного сечения;

f – несущая частота;

C – скорость света.

Величина N обычно лежит в пределах 10^{16} – 10^{19} электронов/м². При несущей частоте 1,575 ГГц, используемой в системе НАВСТАР, и для $N=10^{18}$ электронов/м², что возможно для низкоширотных областей, $t_{\nu}=54$ нс. Для низких широт и районов Земного шара, подверженных воздействию солнечной радиации, дополнительные задержки в ионосфере могут превышать 100 нс, особенно в периоды максимальной солнечной активности. В работе [5] приведены данные ионосферной задержки в год максимальной солнечной активности: величина задержки изменялась от 5 до 40 нс, максимум наблюдался у экватора в полдень. Если полностью доступны результаты измерений концентрации электронов, то ионосферную задержку можно рассчитать. Модель ионосферы, передаваемая в составе навигационного сообщения системы НАВСТАР, уменьшает ионосферную погрешность на 50% [6]. Использование приемоиндикаторов, способных проводить измерения на частотах f_1 и f_2 , также позволяет вычислить величину ионосферной задержки и уменьшить погрешность до единиц наносекунд.

Дополнительная задержка сигнала в тропосфере зависит от взаимного положения КА и потребителя, от влажности, давления и температуры воздуха. Она может меняться от 3 до 300 нс. При использовании приемлемых (достоверных) моделей и больших углах возвышения эта погрешность может быть уменьшена до 1 нс [5, 7].

Задержка сигнала в приемнике полностью входит в величину измеряемой псевдодальности. Необходимо, чтобы эта задержка была очень стабильной (порядка 1 нс). Это требование выполняется, если общая задержка в приемнике сводится к минимуму. Задержка от антенны до входа измерителя интервалов времени определяется в режиме калибровки, что позволяет свести рассматриваемую погрешность к погрешности калибровки и нестабильности задержки в приемнике, составляющих в сумме 1–2 нс [6].

Для неподвижных потребителей, координаты которых могут быть определены посредством геодезической привязки с достаточно высокой точностью (1–2 м), эта погрешность не превосходит 6 нс. Для подвижных потребителей, использующих для определения своих координат точный код системы, погрешность составляет 30 нс.

Источником шумовых погрешностей в основном являются тепловые шумы.

В работе [6] рассматриваются три классических метода синхронизации шкал времени с помощью системы НАВСТАР.

Первый метод предполагает использование одного приемника сигналов КА, по которым потребитель определяет расхождения собственной шкалы времени и шкалы времени КА. Погрешность метода при использовании (грубого кода) оценивается в 100 нс. Метод прост в практической реализации, его достоинства состоят в том, что он обладает глобальной рабочей зоной, работа идет только в режиме приема, требуется сравнительно дешевая аппаратура потребителя, возможно обслуживание неограниченного числа потребителей.

Второй метод предполагает сравнение показаний часов в двух разных пунктах земной поверхности путем последовательного наблюдения за часами одних и тех же КА. При использовании этого метода погрешности, связанные с прогнозированием ухода бортовой шкалы времени КА, уменьшаются. Уменьшаются также погрешности, вызванные неточностью знания

эфемерид. В зависимости от взаимного расположения пунктов этот метод позволяет осуществлять привязку их шкал с погрешностью 10–50 нс. Недостатком метода является необходимость обмена данными между пунктами, т. е. возникает необходимость организации дополнительных линий связи, что ограничивает число потребителей.

Третий метод основан на одновременном приеме сигналов одного и того же КА в двух пространственно-разнесенных пунктах A и B , причем в каждом пункте регистрируется местное время прихода этого сигнала. Зная координаты пункта и КА, можно рассчитать расстояние между КА и каждым из этих пунктов. Этим расстояниям соответствуют времена распространения сигналов τ_A и τ_B . Расхождение временных шкал τ_{AB} пунктов A и B вычисляются по формуле:

$$\tau_{AB} = (T_{\text{пр}A}^{\text{п}} - \tau_A) - (T_{\text{пр}B}^{\text{п}} - \tau_B) = (T_{\text{пр}A}^{\text{п}} - T_{\text{пр}B}^{\text{п}}) - (\tau_A - \tau_B),$$

из которой видно, что при одновременном приеме сигнала одного КА в двух пунктах на погрешность определения расхождения шкал времени оказывает влияние не погрешность вычисления дальности до отдельных пунктов, а разность двух погрешностей определения дальности, и большая часть общих погрешностей исключается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мазур В. Е. Временная синхронизация в С-диапазоне с помощью двух каналов спутника АТ / «Время и частота» (пер.). – М.: Мир, 1973. – С. 204–205.
2. Служба и средства измерения времени. МО СССР, 1988. – 152 с.
3. Палий Г. Н., Артемьева Е. В. Синхронизация высокоточных мер времени и частоты. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 212 с.
4. Сажин В. В., Ильин В. Г., Пушкин С. Б. Метрологический уровень службы времени и частоты и пути его повышения. // Измерительная техника. – 1979. – № 9. – С. 28.
5. Чуров Е. П., Суворов Е. Ф. Космические средства судовождения. – М.: Транспорт, 1979. – 287 с.
6. Новиков И. А., Рабкин В. С., Филатченко С. В. и др. Использование спутниковой радионавигационной системы для синхронизации шкал времени. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1985. – № 11. – С. 3.
7. Корсунский А. Н. Распространение радиоволн при связи с искусственными спутниками Земли. – М.: Сов. радио, 1971 – 282 с.

B. I. Loboiko, V. N. Barinov

Means and Methods Used to Compare and Correct the Time and Frequency Scales

The characteristics of the existing means of time signal transmission are presented. The classical methods used to synchronize the time scales by means of space navigation systems are considered.

**КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ И АВТОНОМНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ
СРЕДСТВ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ**

**В. И. РЕЗНИЧЕНКО,
В. И. ЛАПШИНА**

В предлагаемой статье отмечаются возможность и эффективность комплексирования спутниковых и автономных средств морских объектов и называются основные преимущества комплексных (интегрированных) навигационных систем. Особое внимание уделено анализу наблюдаемости интегрированной инерциально-спутниковой навигационной системы, обеспечивающей функционирование в условиях сокращенной орбитальной группировки спутниковой навигационной системы.

Разработка и развертывание среднеорбитных спутниковых навигационных систем (СНС) создали предпосылки для существенного повышения эффективности функционирования навигационных средств морских объектов. Возможность непрерывного определения с высокой точностью координат места, составляющих вектора скорости и курса корабля не только обеспечивает повышение эффективности судовождения, но и способствует улучшению точностных характеристик автономных навигационных средств. Это улучшение достигается в процессе осуществления коррекции и калибровки гироскопических навигационных приборов и судовых измерителей скорости. Решение этих задач по сигналам среднеорбитных СНС способно обеспечить повышение эксплуатационных характеристик навигационных средств при рациональной организации взаимодействия (комплексировании) спутниковой и автономной аппаратуры.

Например, анализ состава автономных средств навигационного оборудования подавляющего большинства малых и средних надводных кораблей и судов свидетельствует о широком использовании на них относительных лагов и гирокомпасов. Среди курсоуказателей заметное место занимают отечественные гирокомпасы с косвенным управлением. В качестве спутниковой аппаратуры используются отечественные и зарубежные комплектации аппаратуры среднеорбитных СНС.

Однако независимое использование навигационных измерителей в условиях качки и маневрирования морского объекта сопровождается существенным снижением точности определения навигационных параметров. Избежать этого как в отношении скорости, так и в отношении курса морского объекта позволяет комплексирование навигационных средств [1].

Аналогичная потребность возникает на кораблях и судах, оснащённых инерциальными навигационными системами. Необходимость осуществлять начальную выставку, калибровку и коррекцию инерциальных данных побуждает широко использовать информацию СНС для повышения эффективности функционирования навигационных комплексов (НК) морских объектов [2].

Проблема комплексирования навигационных средств (НС) возникла в связи с необходимостью повышения эффективности использования бортового оборудования подвижных объектов. Она решается путём организации взаимодействия НС в составе навигационного комплекса. При объединении

навигационных средств в НК решаются задачи определения состава функциональных элементов, связей между ними и алгоритмов взаимодействия, обеспечивающих реализацию требуемых свойств комплексной (интегрированной) навигационной системы.

В случаях совместного использования спутниковой аппаратуры и автономных навигационных приборов при построении алгоритмов взаимодействия используют методы оптимального оценивания погрешностей НС и управления с целью коррекции погрешностей. При решении задач определения оптимальных значений параметров алгоритмов выделяются два направления. Для первого характерно формирование фильтра погрешностей измерений, оптимального в каждый данный момент времени. Второе состоит в построении фильтра, обеспечивающего оптимальное сглаживание в установившемся режиме.

Названные алгоритмы имеют свойственные им особенности, достоинства и недостатки, но их функционирование в первую очередь зависит от наблюдаемости погрешностей автономной навигационной системы на выходе. Для осуществления коррекции автономных средств по данным измерений требуется убедиться в возможности компенсации погрешностей (управления). Это обуславливает необходимость анализа структуры интегрированной навигационной системы, использующей алгоритмы оценивания и управления.

При комплексировании аппаратуры достигается существенный эффект. Использование вспомогательных сигналов от ИНС снижает динамику сигналов, отслеживаемых приёмными каналами аппаратуры (ПА СНС), что позволяет реализовать более узкие полосы пропускания контуров слежения. Это обеспечивает повышение помехоустойчивости радиоканалов спутниковой аппаратуры. В случаях когда происходит временное прерывание приёма сигналов СНС, автономная информация обеспечивает прогнозирование текущих значений частоты и фазы сигналов. Это способствует быстрому восстановлению функционирования ПА СНС при прекращении действия помех.

Наряду с повышением надёжности функционирования ПА СНС, наличие информации автономных навигационных средств позволяет расширить функциональные возможности спутниковой аппаратуры. В дополнение к традиционной для СНС задаче определения координат места, аппаратура потребителя (АП СНС) может вырабатывать данные о курсе, углах качки и скорости заданной точки корабля. На этой базе возникает возможность непрерывной коррекции автономных навигационных средств, вырабатывающих координаты места, составляющие вектора скорости и параметры ориентации объекта.

Таким образом, комплексирование спутниковых и автономных навигационных средств корабля обеспечивает:

- повышение точности и надёжности навигационных определений по сигналам среднеорбитных СНС в условиях качки, маневрирования, воздействия естественных и организованных помех;
- расширение функциональных возможностей корабельной аппаратуры СНС в части выработки составляющих вектора скорости заданной точки и параметров ориентации корабля;
- коррекцию автономных навигационных средств корабля.

Наибольший эффект от комплексирования имеет место при объединении спутниковых и инерциальных навигационных средств. В настоящее время на-

блюдается интерес к инерциально-спутниковым навигационным системам, обеспечивающим эффективное функционирование в условиях сокращённой орбитальной группировки космических аппаратов (ОГ КА) среднеорбитальных СНС [3, 4]. Наряду со штатным режимом работы по сигналам трёх-четырёх КА, в интегрированной инерциально-спутниковой системе существует возможность работы по сигналам двух КА. Ниже даётся обоснование такой возможности.

Структура взаимодействия навигационных средств в инерциально-спутниковой системе, обеспечивающей функционирование в условиях сокращённой ОГ СНС по сигналам разности псевдодальностей двух КА, приведена в работе [4].

Линейная модель ошибок инерциального модуля этой системы

$$\frac{dx}{dt} = Ax + Bu, y = Cx, x(0) = x(t_0) \quad (1)$$

содержит следующие элементы:

$$x^T = [\Delta\omega_\eta \Delta\omega_\xi \Delta\Phi \Delta\alpha \Delta\beta \Delta\psi], \quad C = [00c_\Phi c_\Lambda 000],$$

$$A = \begin{bmatrix} -\omega_\xi \operatorname{tg}\Phi & -\omega_\zeta & -\omega_\xi \omega_\eta \sec^2 \Phi & 0 & 0 & -\frac{W_\zeta}{R} & \frac{W_\eta}{R} \\ \omega_\eta \operatorname{tg}\Phi + \omega_\zeta & 0 & \omega_\eta^2 \sec^2 \Phi & 0 & -\frac{W_\xi}{R} & 0 & \frac{W_\xi}{R} \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sec \Phi & 0 & \omega_\eta \sin \Phi \sec^2 \Phi & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \omega_\zeta & -\omega_\eta \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -\omega_\zeta & 0 & \omega_\xi \\ \operatorname{tg}\Phi & 0 & \omega_\eta \sec^2 \Phi & 0 & \omega_\eta & -\omega_\xi & 0 \end{bmatrix}.$$

Здесь x – вектор погрешностей ИНС;

y – вектор выхода;

A – матрица динамики ИНС.

Алгоритм оценивания погрешностей ИНС по сигналу разности псевдодальностей двух КА имеет вид

$$\frac{d\hat{x}}{dt} = A\hat{x} + K(z - \hat{y}), \quad (2)$$

где \hat{x} – вектор оценок погрешностей ИНС;

$z = (L_1^* - L_2^*)$ – сигнал измерений СНС;

\hat{y} – оценка сигнала измерений;

K – матрица коэффициентов.

Необходимым условием работоспособности алгоритма оценивания является наблюдаемость вектора погрешностей на выходе сигнала разности дальностей двух КА, вычисляемых по данным ИНС. Однако оценка наблюдаемости системы высокого порядка представляет собой весьма сложную трудоёмкую задачу. Для ее решения разработана компьютерная программа автоматизации процесса исследований [3]. Программа создана для аналитических преобразований матричных зависимостей и обеспечивает построение матричных передаточных функций многомерной динамической системы в ви-

де формульных выражений характеристического полинома и транспонированной матрицы алгебраических дополнений. Далее элементы передаточной функции используются для оценки наблюдаемости.

Поскольку наблюдаемость погрешностей ИНС зависит от местоположения объекта, процедура оценки наблюдаемости иллюстрируется примером, соответствующим наиболее критическому случаю расположения объекта в плоскости земного экватора. В этом случае связи компонент вектора погрешностей системы минимальны.

При расположении объекта в плоскости экватора матрица A принимает вид

$$A(\Phi=0) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{W_\zeta}{R} & 0 \\ 0 & 0 & \omega_\eta^2 & 0 & -\frac{W_\zeta}{R} & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\omega_\eta \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \omega_\eta & 0 & \omega_\eta & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Обращение к программе аналитических преобразований с линейной моделью динамической системы в случае расположения объекта в плоскости экватора ($\Phi=0$) при $W_\xi, W_\eta, \omega_\xi, \omega_\zeta = 0$ даёт матрицу алгебраических дополнений в виде

$$D_{ij}(s) = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & A_{61} & 0 \\ 0 & A_{22} & A_{32} & 0 & A_{52} & 0 & A_{72} \\ 0 & A_{23} & A_{33} & 0 & A_{53} & 0 & A_{73} \\ A_{14} & 0 & 0 & A_{44} & 0 & A_{64} & 0 \\ 0 & A_{25} & 0 & 0 & A_{55} & 0 & A_{75} \\ A_{16} & 0 & 0 & 0 & 0 & A_{66} & 0 \\ 0 & 0 & A_{37} & 0 & A_{57} & 0 & A_{77} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Таким образом, в случае неподвижного объекта, расположенного в экваториальной плоскости Земли, транспонированная матрица алгебраических дополнений передаточной матрицы системы имеет ненулевые элементы. Матрица выхода также имеет ненулевые элементы $c_{31} = c_\Phi, c_{41} = c_\Lambda$ при соответствующем расположении КА.

Для проверки факта наблюдаемости компоненты x_k вектора состояния системы достаточно убедиться в отличии от нуля числителя матричной передаточной функции системы, аналитическое выражение которого имеет вид

$$\left(\sum_{i=1}^n D_{ki}(s) \sum_{j=1}^r c_{ji} \right), \quad (5)$$

где k – индекс строки исследуемой компоненты вектора состояния;

D_{ki}, c_{ji} – элементы, соответствующие матрицам A^T и C^T .

Применительно к рассматриваемому случаю ненулевые значения числителя матричной передаточной функции имеют место в произведениях $A_{14}c_\Lambda, A_{23}c_\Phi, A_{44}c_\Lambda, A_{33}c_\Phi, A_{53}c_\Phi, A_{64}c_\Lambda, A_{73}c_\Phi$.

Это означает, что на выходе инерциальной системы наблюдаемы погрешности всех рассматриваемых параметров ИНС: $\Delta\omega_\eta, \Delta\omega_\xi, \Delta\Phi, \Delta\Lambda, \Delta\alpha, \Delta\beta, \Delta\psi$. Таким образом, при ненулевых значениях c_Φ, c_Λ все компоненты вектора ошибок ИНС могут быть оценены и скорректированы по данным о разности псевдодальностей двух КА СНС.

Здесь уместно задать вопрос, какие физические факторы обеспечивают наблюдаемость погрешностей ИНС на выходе сигнала разности дальностей двух КА.

Программа аналитических преобразований матричных зависимостей выдаёт результаты преобразования в виде формул:

$$\begin{aligned}
 A_{14} &= -S^5 - \frac{W_\xi}{R} S^3 + \omega_\eta^2 \frac{W_\xi}{R} S + \omega_\eta^4 S, \\
 A_{44} &= S^6 + 2 \frac{W_\xi}{R} S^4 + \left(\frac{W_\xi^2}{R^2} - \omega_\eta^2 \frac{W_\xi}{R} - \omega_\eta^4 \right) S^2 - \frac{W_\xi}{R} \omega_\eta^2 \left(\frac{W_\xi}{R} + \omega_\eta^2 \right), \\
 A_{64} &= -\frac{W_\xi}{R} S^4 - \frac{W_\xi^2}{R^2} S^2 + \frac{W_\xi}{R} \omega_\eta^2 \left(\frac{W_\xi}{R} + \omega_\eta^2 \right), \\
 A_{23} &= S^5 + \left(\frac{W_\xi}{R} - \omega_\eta^2 \right) S^3 - \omega_\eta^2 \frac{W_\xi}{R} S, \\
 A_{33} &= S^6 + \left(2 \frac{W_\xi}{R} - \omega_\eta^2 \right) S^4 + \frac{W_\xi}{R} \left(\frac{W_\xi}{R} - \omega_\eta^2 \right) S^2, \\
 A_{53} &= \frac{W_\xi}{R} S^4 + \frac{W_\xi^2}{R^2} S^2, \\
 A_{73} &= -\frac{W_\xi}{R} \omega_\eta S^3 - \frac{W_\xi^2}{R^2} \omega_\eta S.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Выражения (6) представляют все ненулевые элементы числителя матричной передаточной функции. Все они содержат реальные геофизические параметры (ускорение силы тяжести и угловую скорость вращения Земли), наличие которых обеспечивает наблюдаемость погрешностей ИНС на рассматриваемом выходе. Это позволяет решать задачу оценивания и коррекции погрешностей при наличии в зоне радиовидимости двух КА, расположенных так, что c_Φ, c_Λ не равны нулю.

Анализируя выражения (6) можно сделать вывод, что наблюдаемость погрешностей $\Delta\omega_\eta, \Delta\omega_\xi, \Delta\Phi, \Delta\Lambda, \Delta\alpha, \Delta\beta$ обеспечивается наличием любого из двух геофизических параметров или их совместным влиянием. На этом основании можно сделать вывод о возможности оценивания отмеченных погрешностей в любой точке Земли, включая её полюса, где $\omega_\eta = 0$.

В то же время для наблюдаемости погрешности курсоуказания $\Delta\psi$ необходимо одновременное наличие обоих геофизических параметров. Это обстоятельство даёт основание предположить трудности выработки поправки курсоуказания по сигналам двух КА в высоких широтах Земли.

Проведённый анализ задачи комплексирования ИНС и СНС в условиях сокращённой орбитальной группировки космических аппаратов свидетельствует о возможности повышения точности и надёжности навигационных определений не только в штатном режиме, но и на этапе развёртывания системы, при воздействии естественных и организованных помех. Это способствует улучшению эксплуатационных характеристик автономных навигационных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макода В. С., Резниченко В. И. Использование спутниковых навигационных систем на кораблях и судах морского флота. – СПб.: Гос.НИНГИ МО РФ, 1999. – 91 с.
2. Анучин О. Н., Емельянцева Г. Н. Интегрированные навигационные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов – СПб.: ГЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 1999. – 356 с.
3. Резниченко В. И., Лапшина В. И. Оценка возможности коррекции ИНС по сигналам двух навигационных спутников. Сб. докл. Четвертой Российской н.-техн. конф. «Современное состояние, проблемы навигации и океанографии» («НО-2001»). – Т. 1. – СПб.: ГНИНГИ МО РФ, 2001. – С. 268–269.
4. Дорошенко С. Ю., Павлов А. А., Резниченко В. И. Способ коррекции ИНС. – СПб.: Гос.НИНГИ МО РФ. Заявка на изобретение №3057792/23 от 7.01.1983 г.

V. I. Reznichenko, V. I. Lapshina

Integration of Satellite and Self-Contained Navigation Aids of the Marine Objects

The possibility and effectiveness of integrating the satellite and self-contained aids of marine objects are pointed out. The main advantages of integrated navigation systems are set forth. Special attention is paid to the analysis of observability for the integrated inertial-satellite navigation system providing the operation under the conditions of reduced orbital constellation of the satellite navigation system.

ГРНТИ 733.34.37.21

ОСОБЕННОСТИ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЛАВАНИЯ СУДОВ СМЕШАННОГО («РЕКА-МОРЕ») ТИПА ПО МЕЖДУНАРОДНОМУ ТРАНСПОРТНОМУ КОРИДОРУ «СЕВЕР-ЮГ»

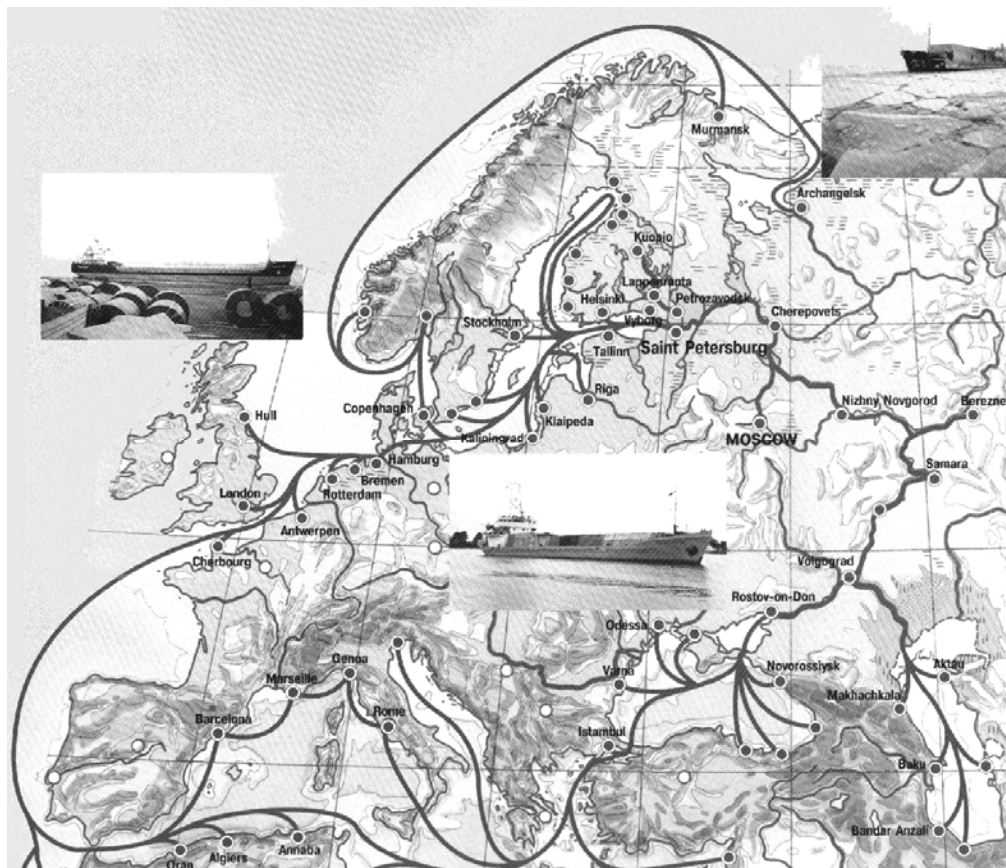
В. А. КАТЕНИН

Рассматриваются геополитические и экономические выгоды эксплуатации международного транспортного коридора (МТК) «Север-Юг» для России. Анализируются проблемы навигационного обеспечения перевозки грузов на судах смешанного «река-море» плавания. Приводятся пути их решения за счет внедрения новых средств навигации и на их основе – процессов автоматизации судовождения по рекам. Статья рассчитана на штурманов и специалистов в области перспективного планирования развития технических средств и методов судовождения.

Успешность развития экономики во многом обусловлена наличием в стране развитой и эффективно функционирующей транспортной сети. Известно, что наиболее дешевым является водный транспорт, позволяющий к тому же реализовать принцип доставки грузов «от двери к двери».

Занимая исключительно выгодное географическое положение, Россия является естественным мостом, соединяющим Запад и Восток, Север и Юг. При этом важную роль в коммуникационных связях играют внутренние водные пути (ВВП). В России протекает около 3,5 тысяч рек, при этом для судоводства используется около 100 тыс. км общей их протяженности.

Сравнительный анализ деятельности отдельных видов транспорта внутри страны [1] показал, что наибольшего прогресса в последнее время достиг внутренний водный транспорт, у которого рост объема перевозок имеет устойчивую тенденцию к росту. На рисунке изображены оптимальные маршруты судов смешанного «река-море» плавания из Европы через Россию и Азию.



Оптимальные маршруты судов смешанного «река-море» плавания из Европы через Россию и Азию

В мае 2002 г. вступило в силу Соглашение о международном транспортном коридоре (МТК) «Север-Юг», заключенное между Индией, Ираном и Россией. О намерении присоединиться к Соглашению заявили Казахстан, Белоруссия, Азербайджан, Армения, Болгария и Бахрейн. Среди возможных кандидатов на участие в этом проекте рассматриваются также Туркменистан, Саудовская Аравия, Кувейт, ОАЭ, Индонезия, Малайзия, Шри-Ланка и некоторые другие страны, в том числе европейские – Финляндия и Литва [2]. Коридор «Север-Юг» предназначен обеспечить оптимальную доставку грузов из регионов Персидского залива, Индии, Пакистана в иранские порты на Каспии, затем – паромными на железнодорожную сеть России, либо судами типа «река-море» через внутренние водные пути России – в страны Восточной и Центральной Европы и Скандинавии.

Маршрут перевозок международных транзитных грузов из стран Индийского океана и Персидского залива через Иран, Россию в страны Северной и Восточной Европы в три раза короче, чем через Суэцкий канал. При этом экономия составляет 400 долларов США на каждом контейнере.

Целью МТК «Север-Юг» является, с одной стороны, обеспечение независимости транспортных связей России с ее партнерами в регионах Ближнего Востока и Индийского океана, а с другой – привлечение к транзиту через ее территорию дополнительных грузовых потоков и получение тем самым существенных доходов страны от транзитных операций.

МТК «Север-Юг» представляет собой совокупность имеющихся и создаваемых магистральных транспортных коммуникаций, связывающих участников Соглашения, и включает несколько маршрутов в регионе Каспийского моря:

- транскаспийский морской вариант;
- внутренние водные пути по Каспийско-Волго-Балтийской системе с отвлечением на Волго-Донской канал и далее на Черное море;
- железнодорожные и автомобильные маршруты.

Наибольший интерес представляет маршрут транспортировки грузов по ВВП судами смешанного плавания (Волго-Балтийская и Волго-Донская водно-транспортные системы). Для обслуживания коридора «Север-Юг» образовано АО «Астраханское пароходство и Северо-Западное речное пароходство».

В случае появления на ВВП иностранных судов, входящих в МТК «Север-Юг», следует ожидать дальнейшего увеличения грузоперевозок и необходимости оборудования водных коммуникаций в соответствии с требованиями по обеспечению навигационной безопасности их плавания, что также требует внедрения новых береговых средств навигационного оборудования на реках, основу которых, как и многие сотни лет назад, составляют бакены и линейные створы. В противном случае неизбежны катастрофы с человеческими жертвами подобно той, что произошла с туристическим теплоходом «Александр Суворов» (1986 г.), когда судно в результате ошибки рулевого врезалось в несудоходный пролет моста, или – потопления на фарватере Невы сухогруза «Каунас» за счет навала на опоры Литейного моста в Санкт-Петербурге (2002 г.) и др.

Как известно, прибыль судоходных компаний может быть существенно увеличена за счет роста скорости доставки грузов и их обработки, а также – снижения численности экипажей. Такая ситуация вызывает ряд противоречий, основными из которых являются:

- *противоречия* между увеличением объема грузоперевозок и нехваткой судов для этого;
- *противоречия* между необходимостью сокращения экипажа судна до минимума и возможностью эффективного выполнения им своих функциональных обязанностей.

Отмеченные противоречия в свою очередь порождает *проблемы*:

- пополнения флота новыми судами и определения оптимального качественного и количественного состава судов на обозримую перспективу;
- обеспечения навигационной безопасности плавания при минимальной численности вахты на ходовом мостике.

Дело в том, что численность морского флота за последнее десятилетие сократилась в 3,4 раза, а средний возраст судов достиг 18 и более лет. Это негативное явление коснулось и судов смешанного «река-море» плавания. В настоящее время осуществляется программа по строительству новых судов подобного типа, и одним из острых вопросов является оснащение их современными техническими средствами навигации.

Судостроительная промышленность выпустила на ВВП первые суда новой серии типа «Валдай», обладающие повышенными возможностями. Однако небольшая серия этих судов (10 ед.) не способна коренным образом улучшить положение дел по перевозке грузов. Не рассматривая здесь другие важные элементы МТК (в частности гидротехнические сооружения), мы видим генеральные пути повышения эффективности деятельности судоходных компаний с точки зрения навигационного обеспечения за счет:

- установки на судах принципиально новых технических средств навигации;
- замены существующих береговых средств навигационного оборудования качественно новыми образцами;
- автоматизации процессов управления движением судов на ВВП.

По всей видимости, качественный облик перспективного навигационного оборудования судов смешанного плавания будет определяться:

- 1) международными требованиями к составу технических средств судождения;
- 2) требованиями к точности знания места судна для различных условий плавания;
- 3) особенностями плавания судов по внутренним водным путям;
- 4) возможностями новых технологий, обусловленными прорывами в науке и технике.

Рассмотрим эти факторы более подробно.

1. Основной особенностью судов смешанного плавания является то, что они предназначены для перевозки грузов как по морю, так и по рекам. При этом на них одновременно распространяется действие правил морского и речного регистра.

В течение последних лет произошли значительные изменения в международных правилах оснащения морских судов навигационным оборудованием и в эксплуатационных требованиях к нему.

В мае 2000 г. Комитетом по безопасности на море (MSC) была утверждена новая редакция главы V «Солас-74» (документ NAV 45/14), принятая в сентябре 1999 г. на заседании подкомитета ИМО по безопасности мореплавания. В нее внесены изменения правил V18-V20 с рекомендациями по оснащению судов навигационными системами и оборудованием, а также с эксплуатационными требованиями к этим системам.

Сопоставление эксплуатационных требований нового правила V19 с ранее действовавшим правилом V12, показало, что изменение их произошло по пути расширения перечня навигационного оборудования, рекомендуемого к установке на судах. Это:

- автоматическая идентификационная система (АИС);

- прибор регистрации данных о рейсе (ПРД);
 - звукоприемная система;
 - устройство передачи магнитного курса в другое навигационное оборудование;
 - интегрированные навигационные системы;
 - интегрированная система ходового мостика.
2. В таблице приведены требования к точности местоположения судна для различных условий плавания [3, 4].

Требования к точности (с P = 0,95) места судна

№ пп	Условия плавания	Погрешность места
1	Акватория порта и подходы к нему	8–20 м
2	Навигация в прибрежной зоне	10–100 м
3	Плавание по внутренним водным путям: – озера и водохранилища; – реки Европейской части России; – реки Сибири; – каналы	5–10 м 25,0–45 м 5,0–10 м 5,0–15 м 2,0–5,0 м
4	Координирование средств навигационного оборудования	1–5 м
5	Гидрографическая съемка и промер и определение габаритов ВВП: – озера и водохранилища; – реки Европейской части России; – реки Сибири; – каналы	5–10 м 1–3 м 1–5 м 0,5–2 м

Удовлетворение столь жестких требований к точности места судна может быть реализовано путем использования глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС), состоящей из GPS и ГЛОНАСС, и ее дифференциальной подсистемы (ДПС). Последняя может быть построена на основе локальных, региональных и широкозонных подсистем, причем выбор рационального варианта зависит от протяженности и характера ВВП. Для МТК «Север-Юг» с экономической точки зрения наиболее целесообразно использование широкозонной ДПС, в которой локальные подсистемы не создают сплошное радионавигационное поле, а обеспечивают прецизионное определение координат судов в наиболее опасных участках маршрута плавания. В этом случае встает вопрос об оптимальном числе ДПС, необходимых для обслуживания МТК «Север-Юг».

В интересах унификации для МТК в качестве базовой должны стать локальные ДПС с радиусом действия до 500 км, работающие в средневолновом диапазоне морских радиомаяков 285,3–325,0 кГц. Дело в том, что отечественная морская ДПС создается на основе действующих радиомаяков, применение которых для передачи диффпоправок позволяет использовать уже имеющуюся инфраструктуру [4]. При этом необходимо учитывать ряд особенностей использования речной ДПС, так как дальность ее действия в значительной степени зависит от подстилающей поверхности и наличия лесных массивов вокруг контрольно-корректирующих станций (ККС).

При наличии влажной почвы летом радиус действия ККС уменьшается в среднем на 30%. Для регионов с сухой почвой (среднее и нижнее течение Волги) дальность действия ККС при прочих равных условиях меньше, чем для влажной почвы, примерно в 2,3–3,8 раза.

Наличие значительных лесных массивов вокруг ККС существенно снижает дальность их действия, поэтому одним из основных требований к размещению антенн ККС должно быть отсутствие вокруг них леса в радиусе 1200 м.

Очевидна существенная разница в интервалах между ККС для северного, западного и центрального (канал имени Москвы, Рыбинское водохранилище) районов по отношению к районам среднего и нижнего течения Волги. Для первой группы районов – с протяженными участками водных поверхностей и влажной почвой – можно рекомендовать интервал между ККС в 800–1000 км. Для второй – с протяженными пространствами сухой почвы летом и снежного покрова зимой – этот интервал должен быть 200–300 км.

При необходимости речная ДПС может быть дополнена:

- системами управления и контроля за движением судов на базе радиолокационных станций высокого разрешения;
- телевизионными (каналы) и лазерными (судоходные пролеты мостов, опасные участки реки) створами;
- радиолокационными маяками-ответчиками нового поколения и др.

3. Выбор качественного состава береговых и судовых средств навигации во многом обусловлен особенностями плавания по ВВП, в том числе и по МТК «Север-Юг». К ним относятся:

а) изменчивость с течением времени русла и судового хода реки, приводящее к появлению новых навигационных опасностей, изменению скорости течения и глубины, что требует периодического контроля (гидрографического промера) последнего;

б) отсутствие цифровых карт (формат S-57.3), выполненных в меркаторской проекции для плавания по ВВП, что существенно затрудняет внедрение процесса автоматизации управления судном и использования электронной картографической навигационно-информационной системы (ЭКНИС);

в) извилистость судового хода, наличие множества крутых поворотов, существенно сужающих обзор пространства впереди по курсу и вызывающих необходимость учета разных по скорости струй течения, что требует установки в носу и корме антенн навигационной аппаратуры потребителей (НАП) ГНСС для отдельного определения их местоположения;

г) трудности использования РЛС из-за частого несовпадения береговой черты с изображением на карте вследствие изменения уровня воды, что вызывает необходимость определения места судов в относительной системе координат и отображения их на электронной карте с использованием ДГНСС;

д) необходимость снятия на зимний период плавучих средств ограждения, что требует их высокоточного координирования с началом навигации на ВВП, и др.

4. Анализ перечисленных выше особенностей показывает, что повышение безопасности судовождения по МТК «Север-Юг» за счет внедрения новых методов и технических средств, а также автоматизации процессов судовождения тормозится отсутствием электронных карт в меркаторской проекции,

что делает невозможным применение обсервационного счисления, а также способов автоматизации судовождения на реках.

Частично эта проблема может быть решена за счет внедрения системы автоматической проводки речных судов (АПС), разработанной Екатеринбургским «НПО Автоматики». Система осуществляет автоматическую проводку судна относительно программной оси судового хода в автоматическом или ручном режиме практически без перерегулирования по курсу и центру масс судна при минимальном количестве переключений руля. Она учитывает течение, ветер и другие возмущающие факторы, а также обеспечивает адаптацию к изменению скорости хода и нагрузке судна. Точность плавания относительно оси судового хода составляет 5 м в дифференциальном режиме.

Система допускает различную конфигурацию. Базовая конфигурация включает:

- вычислители I и II уровня;
- приемоиндикатор ГНСС со встроенным приемником дифпоправок;
- гирокомпас «Гюйс-М»;
- выносной пульт-индикатор;
- коммутационный усилитель сигналов управления рулевыми приводами;
- датчик-приемник сигналов положения руля;
- входной преобразователь сигналов, поступающих от датчиков положения руля;

- выходной преобразователь сигналов управления рулевыми приводами.

В основу работы АПС положена заданная (эталонная) траектория – маршрут, представляющий собой ломаную линию, отрезки которой соединяются в точках поворота с одного курса на другой дугами заданных радиусов. Таким образом, каждый маршрут состоит из опорных точек, направлений и дистанций между ними.

Создание эталонного маршрута может осуществляться двумя способами:

- прокладкой маршрута на бумажной карте и ввода координат опорных точек в систему вручную;
- автоматической записи траектории движения в систему АПС при первом проходе по маршруту по данным НАП ГНСС.

Первый способ прокладки маршрута целесообразно использовать при плавании по морю, где имеются достаточно протяженные и прямолинейные участки траектории. Второй способ используется при плавании по рекам и каналам, имеющим извилистое русло при относительно коротких прямолинейных участках, особенно в тех районах, для которых отсутствуют навигационные карты и недостаточно средств навигационного оборудования. При этом программа автоматически рассчитывает прямолинейные участки и координаты поворотных (опорных) точек маршрута плавания.

Программно-математическое обеспечение АПС реализовано на специализированной ЭВМ, размещенной в виде стойки, которая устанавливается на ходовом мостике.

Возможна стыковка АПС с РЛС как источника дополнительной информации о навигационной обстановке. Кроме того, специалистами «НПО Автоматики» проводились испытания бесплатформенной инерциальной навига-

ционной системы (БИНС) на оптико-волоконных гироскопах. Возможности БИНС предполагается использовать для защиты системы от сбоев приемника ГНСС (при прохождении под мостами и в результате иных причин) и получения высокоточной угловой скорости судна. Поэтому интегрирование БИНС с РЛС, НАП ГНСС и ЭКНИС является наиболее перспективным направлением развития судовых средств навигации.

Таким образом, реализация новых международных требований эксплуатации навигационного оборудования (А.817(19), А.819(19), А.860(20), MSC 64(67), MSC 74(69), MSC 86(70) и др.) [5] на судах смешанного плавания позволит в полной мере использовать преимущества автоматизированного судовождения на реках и решить проблему обеспечения навигационной безопасности прибрежного плавания и плавания по ВВП.

Уже в ближайшее время целесообразно использовать НАП ГЛОНАСС/GPS на основе фазового метода определения ориентации судна (курса, поправки курса, углов крена и дифферента), а также его координат места и скорости.

В перспективе – применение автоматизированных информационно-управляющих систем судна (АИУС-С) на базе комплексного использования спутниковых (связных, метеорологических, природноресурсных, навигационных) и ГИС-технологий [6], ядром их будет автоматизированное рабочее место штурмана и других специалистов.

Оснащение судов подобными системами с возможностью получения разнородной информации в реальном масштабе времени от спутниковых систем создаст предпосылки для автоматизации процесса судовождения и в полной мере даст возможность реализовать концепцию «WATCH-1 Bridge» (один вахтенный на мостике).

Непременным условием реализации этой концепции (Рез. ИМО А.751(17)) является внедрение на судне интегрированного оборудования мостика.

Очевидно, что внедрение новых технологий, средств и способов судовождения позволит решить обозначенные проблемы обеспечения навигационной безопасности плавания судов по МТК «Север-Юг» и повысить его роль в экономическом развитии страны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жовнер Е. Г. Анализ деятельности морского и речного транспорта в 2001 г. // Межвузовский сборник научных трудов. – СПб: СПГУВК, 2002. – Вып. 3. – С.72–74.
2. Дерябина М. Международный транспортный коридор «Север-Юг». //Морской флот. – 2002. – №6. – С. 25–26.
3. Ракигин В. Д., Сикарев А. А. Концепция создания и использования дифференциальной подсистемы ГЛОНАСС/GPS для речного транспорта // Межвузовский сборник научных трудов. – СПб: СПГУВК, 2002. – Вып. 3. – С. 3–12 .
4. Катенин В. А. Дифференциальная подсистема Среднеорбитной спутниковой навигационной системы. Учебное пособие. – СПб: СПГУВК, 2002. – 43 с.
5. Перфильев В. К. Международные эксплуатационные требования к навигационному оборудованию морских судов. – СПб.: 2001. – 57 с.
6. Katenin V. A., Katenin A. V. The complex use of the satellite and GIS – technologies in submarine navigation // Annual of Navigation. Gdynia, 2000. – N 2. – P. 69–79.

V. A. Katenin

Features of the Navigation Support for the River-Sea Type Vessels Sailing Along the International “North-South” Transport Corridor

Geopolitical and economical benefits of exploitation of the international “North-South” transport corridor for Russia are considered. The problems of navigation support necessary to transport the cargoes by the “river-sea” type vessels are analysed. Ways of their solution, based on the implementation of new aids to navigation, and, correspondingly, the automatization of the river navigation processes are set forth. The article is intended for navigators and specialists in the area of advanced planning of development for the technical aids and methods of navigation.

ГИДРОГРАФИЯ

ГРНТИ 361.29.11.19

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ГИДРОГРАФИИ

Н. Н. НЕРОНОВ

Обсуждаются принципы создания системы технических средств для гидрографии, указываются направления развития системы. Показано, что при усложнении системы для удовлетворения требований потребителей к результатам гидрографических работ при определенных условиях следует изменить принципы измерения параметров Мирового океана.

Оптимальные технологии гидрографических работ должны базироваться на системе технических средств, поэтому одним из основных направлений их обеспечения является обоснование такой системы.

Систему технических средств гидрографии работ можно определить как совокупность кораблей, судов, катеров, летательных и подводных аппаратов, комплексов, приборов, общего и специального математического обеспечения, системообразующих связей, методов и способов использования элементов системы и системы в целом, объединенных единой целью – создания и использования моделей рельефа и грунта дна и квазистационарных полей Мирового океана для повышения эффективности морской деятельности субъектов государства.

Предложенное определение позволяет сформулировать основные общие положения, являющиеся опорными в теории создания (развития) системы технических средств гидрографии (СТСГ).

Рассматриваемая система создается и развивается по правилам и законам больших сложных систем. Вместе с тем ее цели, особенности объекта, для изучения которого она создается, и условия использования определяют ряд специфических законов и зависимостей, присущих процессу создания, развития и функционирования этой системы.

Цель создания может формулироваться на основе положений военно-морской доктрины государства, стратегических и оперативно-тактических замыслов проведения операций (боевых действий) сил ВМФ, анализа задач оборонного и хозяйственного строительства, прогноза требований потребителей к результатам.

Цель определяет назначение системы, ее структуру, методы использования, а также техническую политику создания и развития системы в целом и ее компонентов.

Цель может быть конечной и промежуточной. Промежуточные цели должны быть увязаны с конечной. Конечная цель – повышение эффективности удовлетворения требований потребителей к результатам гидрографических работ, но она различным образом может конкретизироваться в зависимости от вида обеспечения или решаемой задачи. Анализ и прогнозирование конечных и промежуточных целей системы будут наиболее полными при использовании системного подхода, так как ее цели представляют собой также сложную систему, функционирование которой зависит от большого числа факторов и происходит по определенным законам.

Представление о характере развития системы целей можно получить при комплексном анализе процессов морской деятельности. Наиболее близка к оптимальной иерархическая структура построения рассматриваемой системы. В ней цели более низкого уровня иерархии являются средством достижения целей более высокого уровня. Например, высокоточный эхолот создается с целью измерения глубин, но при построении модели рельефа дна он же является средством ее создания. В свою очередь, модель строится с целью съемки рельефа дна и в то же время является средством обеспечения навигационной безопасности плавания.

Цели тесно связаны с задачами и требованиями. Задачи, сформулированные для системы, являются также и целями для ее элементов. Уточняют и детализируют цели системы тактико-технические требования к навигационно-гидрографическому обеспечению (НГО) потребителей.

Достижение целей системы – трудоемкий процесс, осуществление которого обусловлено выполнением требований получения оптимального заданного эффекта при минимальных затратах и в сокращенные сроки. Поэтому отработку такого процесса целесообразно проводить на его теоретических моделях, а ряд элементов испытывать в натуральных условиях.

В общем виде системная модель НГО может быть задана кортежем $\langle V, K, D, T, R_i, R_{st} \rangle$

где V – цель системы;

K – комплексное обеспечение достижения целей системы;

D – получение эффекта в результате достижения цели;

T – время;

R_i – логические бинарные отношения предпочтения (порядка);

R_{st} – теоретико-множественные отношения между составляющими системы (определяют структурные взаимосвязи между основными составляющими системы в аспекте их взаимодействия при достижении ее цели).

Результаты анализа целей, требований к НГО и процесса достижения целей позволяют синтезировать систему технических средств гидрографических работ.

Очевидными требованиями построения и развития системы являются модульность, стандартизация и унификация, распределенная система сбора и обработки информации.

Система должна разрабатываться с учетом особенностей объекта, для изучения которого создается и развивается. К этим особенностям следует отнести площадь Земли, покрытую водой – 361 млн. км², диапазон глубин – от 0 до 11000 м, ледовый покров в северных и южных районах Мирового океана, изменение физических характеристик воды и атмосферы во времени и в пространст-

ве и ряд других явлений (колебания уровня Мирового океана, волнение его поверхности, наличие аномалий физических полей, их расчлененность и т. д.).

К основным особенностям, определяющим направление развития системы можно также отнести ряд объективных и субъективных условий использования элементов системы, их разработки и серийного производства:

- географическое положение России, удаление районов исследований от своих баз и территорий, большая протяженность береговой черты, наличие портов в устьях рек, часто меняющийся рельеф дна в прибрежной зоне и т. п.;
- политические и правовые аспекты международных отношений России – оборонительная военная доктрина, отсутствие баз на чужих территориях, ограниченная возможность захода судов НГО в зарубежные порты, отсутствие возможности судовых съемок в экономических зонах морей и океанов других государств и т. д.;
- демографическая ситуация – отсутствие возможности удовлетворения требованиям увеличения объема продукции за счет увеличения численности личного состава;
- уровень качества эксплуатации, который во многом определяется подготовленностью специалистов-эксплуатационников, уровень развития системы базирования и ремонтной базы аппаратуры и ее носителей;
- большое число потребителей информации, полученной с помощью системы: модели рельефа и грунта дна и полей Мирового океана, полученные с ее помощью, используются при проектировании кораблей, создании оружия и военной техники ВМФ, а также при НГО действий сил ВМФ и других предприятий (объединений) и учреждений и при международном обмене данных о Мировом океане;
- сравнительно короткие допустимые сроки для создания моделей и необходимость высокой степени адекватности моделей оригиналам;
- постоянная готовность к НГО;
- уровень развития науки и техники: качество комплектующих элементов, технология производства на промышленных предприятиях, опыт создания элементов системы у работников промышленности, заинтересованность промышленных предприятий в серийном освоении приборов и элементов системы с учетом малочисленности серий;
- большая стоимость создания и эксплуатации системы и ограниченное финансирование работ;
- ряд других факторов, влияющих на создание и развитие как системы в целом, так и конкретных ее элементов.

Важным условием построения системы с заданными характеристиками является знание законов и принципов ее создания и развития.

Принцип соответствия структуры системы (элемента) функции (функциям), которые выполняет система (элемент).

Как следует из определения системы и структуры ее целей, главной функцией системы является создание моделей рельефа и грунта дна, магнитного и гравитационного полей с целью повышения эффективности НГО ВМФ.

Изменение целей и/или задач системы приведет к изменению ее функций и, следовательно, к несоответствию ее структуры функциям. Возникшее проти-

воречие потребует изменить структуру и привести ее в соответствие функциям системы. С другой стороны, изменение структуры системы может исключить (ограничить) возможность достижения ее целей или расширить функции системы.

Исключение любого элемента или связи (например, датчика глубины, системы обработки и др.), т. е. изменение структуры ограничит функции системы (исключит задачу получения модели рельефа дна, значительно снизит качество съемки поля силы тяжести и т. д.). Введение в структуру системы новых датчиков, систем обработки и т. п. может расширить ее функции (возможности).

При создании системы необходимо учитывать и принцип согласованности основных параметров и характеристик составляющих ее элементов. Система будет оптимальной по критерию «вероятность достижения цели» при условии, что основные характеристики составляющих ее элементов и принятые в ней связи будут взаимно сочетаться и улучшать конечные результаты. Это относится как к тактическим характеристикам (пределы погрешности и достоверности результатов измерений, скорость и погрешность обработки, форматы отображения информации и т. п.), так и к техническим (надежность, климатические и механические характеристики и др.).

Так, например, в оптимально построенной системе допустимая величина погрешности (СКП) «привязки» параметра изучаемого поля к координатам M может быть выражена зависимостью $M=K_1 K_2 R$, где K_1 – коэффициент перехода к СКП положения параметра на интервале осреднения R и K_2 – «наименьшего влияния».

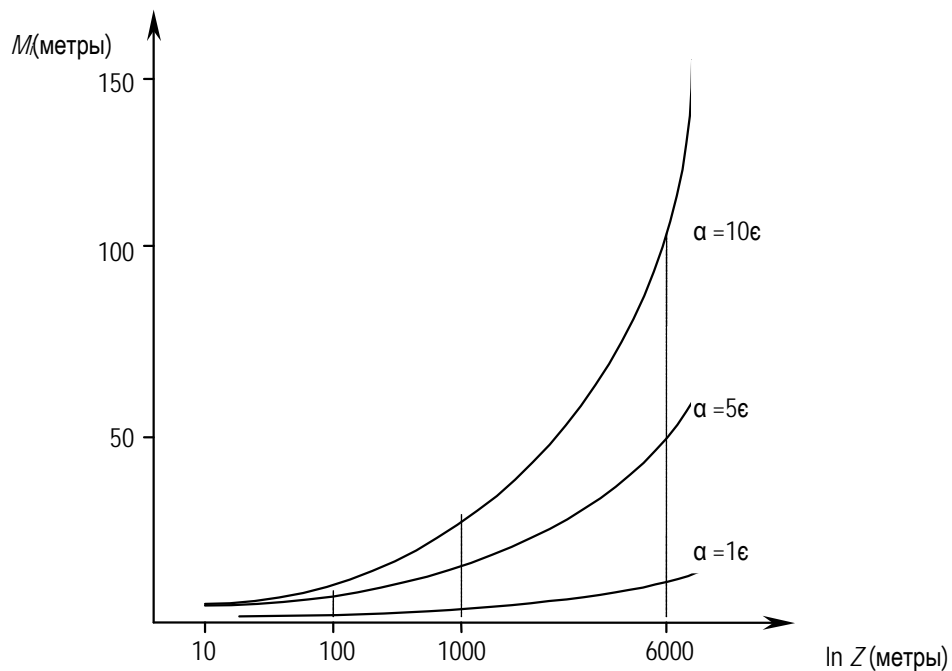


Рис. 1 График изменения СКП привязки глубины

Для эхолота ГЭЛ-4, например, принято $R=Z \operatorname{tg} \alpha$ (радиус пятна на дне моря, озвученного эхолотом), $K_1=\sqrt{3}/\sigma$ (принято равномерное распределение точки отражения в «озвученном» пятне), а K_2 принят равным $1/3$, α – половина

угла диаграммы направленности антенн эхолота – принята 1° , 5° и 10° , Z – измеренная глубина – от 10 до 6000 м. График изменения требуемой СКП $M_i = 0,096 Z \operatorname{tg} \alpha$ представлен на рис. 1.

Для гравиметра $K_1 K_2 = 0,096$, а $R = V t_{\text{оср}}$, где V – скорость хода судна, а $t_{\text{оср}}$ – время осреднения (принято от 120 до 600 с). При этих условиях $M_{\text{гр}}$ в зависимости от $t_{\text{оср}}$ при $V = 14$ узлов показана на рис. 2.

При выполнении комплексных съемок требованием к погрешности «привязки» параметра принимается M_{min} из числа СКП всех привязок. Таким же образом в системе должны быть «увязаны» точности, надежности и остальные характеристики элементов системы.

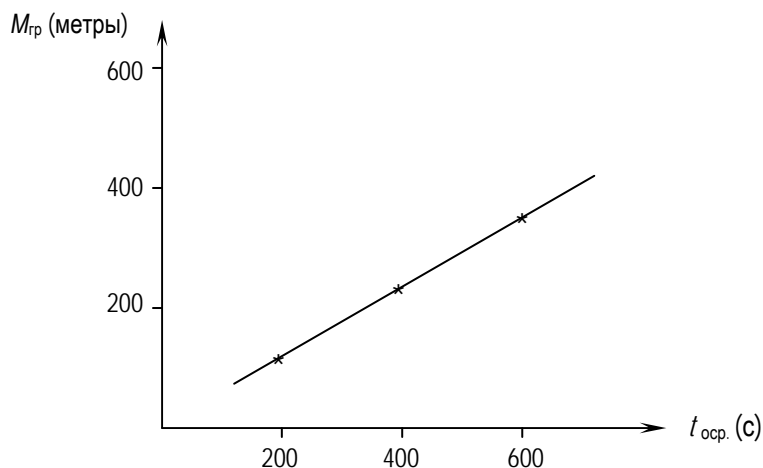


Рис. 2. График изменения СКП привязки ускорения силы тяжести

Принцип опережающего развития достижения целей НГО предполагает использование моделей Мирового океана, а также технических средств и методов, на создание которых требуется время T . Это время определяется целью C и тактико-техническими требованиями к моделям, структурой разработки технических средств R , технологией получения моделей γ , объемом съемок Q , т. е. $T \Rightarrow \langle C, R, \gamma, Q \rangle$

В основу прогнозирования C, R, γ положено моделирование процессов достижения целей НГО. Влияние Q для съемок Мирового океана можно определить по формуле

$$t_a = \sum_i^n 11,4 \cdot 10^5 S_i (L_i, K_i, V_i, \beta),$$

где S_i – площадь i -ой акватории в одинаковой расчлененности поля, подлежащей съемке с одинаковыми междугалсовыми расстояниями;

L_i – необходимые междугалсовые расстояния, принимаемые при съемке i -ой акватории;

V_i – скорость хода судна (катера) при съемке i -ой акватории;

K_i – коэффициент использования судов (катеров);

t_a – время, необходимое для съемок;

n – количество акваторий;

β – коэффициент повышения производительности.

На конец 80-х годов T равнялось 25–30 годам и распределялось приблизительно следующим образом. Определение целей, обоснование необходимости требований и т. п. – 5 лет. Создание технических средств, разработка и освоение технологии – 10–15 лет. Выполнение съемок и создание моделей на оперативно важные районы ТВД – 10 лет.

Принцип надежности (достоверности) конечного результата особенно важен, потому что модели (цифровая картографическая информация, карты, пособия и т. п.) используются при конструировании оружия и технических средств, а также при НГО действий сил ВМФ, решении задач организациями, предприятиями, учреждениями России и при международном обмене данными о Мировом океане. От надежности (достоверности) этих моделей зависит вероятность выполнения задач обеспечиваемыми объектами и организациями, эффективность НГО и т. д.

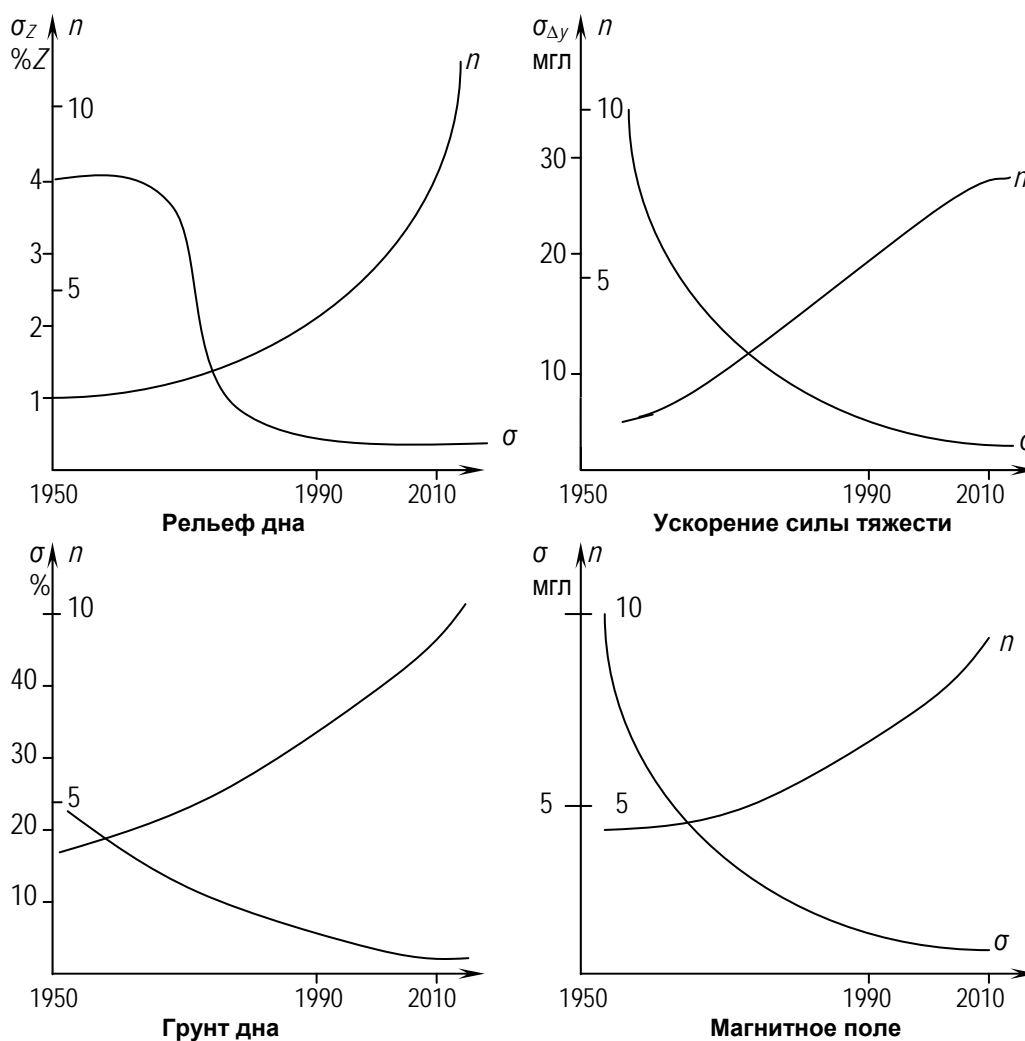


Рис. 3. Повышение требований потребителей к информации о Мировом океане и расширение области ее использования

В создаваемой системе этот принцип может осуществляться методами повышения достоверности (точности) результатов измерений за счет их апостериорной обработки на основе информационной избыточности, контрольных съемок, комплексирования съемок и аппаратуры, совместной обработки результатов комплексной и синхронной съемки, применения высокоточной и высокопроизводительной аппаратуры, а также системой метрологии и контроля результатов измерений и их обработки, системой стандартизации выходных данных, созданием аппаратуры, приоритетным требованием к которой является повышенная надежность результата измерений (может быть, даже в ущерб другим требованиям к аппаратуре: массогабаритным, климатическим, механическим и т. д.).

Принцип повышения требований потребителей информации о Мировом океане и достоверности моделей его полей (гравитационного, магнитного, рельефа и грунта дна) и расширение области использования этой информации иллюстрируется, например, рис. 3. Здесь основным обобщенным критерием требований к моделям рассматриваемых полей Мирового океана принята степень соответствия параметра поля, полученного по модели, истинному (σ), а расширение области применения оценивается количеством видов потребителей информации содержащейся в моделях (n).

Принцип поэтапного развития и последовательного наращивания системы. Этот принцип осуществляется на основе законов повышения требований и расширения области использования информации о Мировом океане.

К первому этапу можно отнести создание отдельных элементов системы, с помощью которых могут решаться частные задачи НГО ВМФ и народного хозяйства, стандартизацию этих узлов, обоснование состава системы.

Второй этап – создание агрегатов, объединяющих элементы в комплексы технических средств (океанографические, картографические, гидрографические и т. д.), стандартизация интерфейсов и унификация комплексов, разработка баз и банков данных.

Третий этап – наращивание системы для удовлетворения возникающих или изменяющихся требований к ней.

Принцип сочетания эволюционного и революционного методов развития технических средств военной гидрографии. Рост требований к качеству и объему информации об океане приводит к необходимости эволюционного развития системы. При этом совершенствование аппаратуры производится путем наращивания ее производительности, смены элементной базы, улучшения конструкции, повышения пределов измерений и уменьшения погрешностей их результатов. Эволюционный процесс осуществляется, как правило, за счет усложнения приборов и аппаратуры до тех пор, пока противоречия между требованиями систем высшего уровня и возможностями развивающихся устройств не приводят к критической ситуации, когда дальнейшее совершенствование прибора путем наращивания его конструкции и математического обеспечения для решения новых задач становится невозможным или нецелесообразным.

К показателям, характеризующим эволюционный процесс элементов системы, можно отнести коэффициенты изменения сложности технического средства $K_{сл}$ и изменения требований к нему $K_{тр}$:

$$K_{\text{сл}} = N_i/N_1; \text{ а } K_{\text{тр}} = \sigma_i/\sigma_1$$

где, например,

N – множество блоков, приборов, узлов, блоков математического обеспечения, необходимых для удовлетворения техническим требованиям системы;

i – порядковый номер изменения требований к техническому агрегату в ряду этих средств;

σ – обобщенный показатель требований.

Для примера приведены графики изменения во времени коэффициентов сложности и требований для глубоководных эхолотов (рис. 4) и график $K_{\text{сл}} = f(K_{\text{тр}})$ (рис. 5).

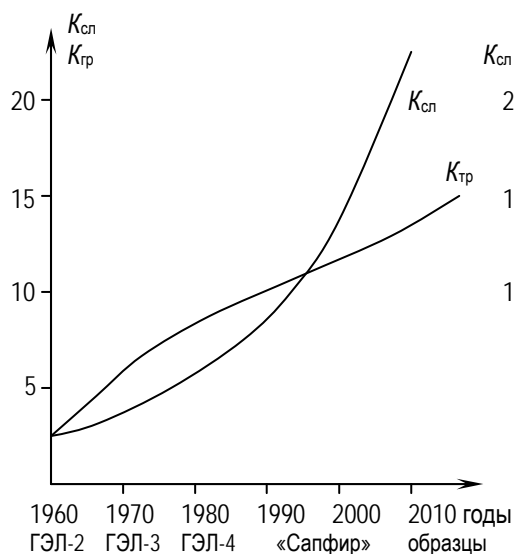


Рис. 4. Изменение во времени коэффициентов сложности и требований

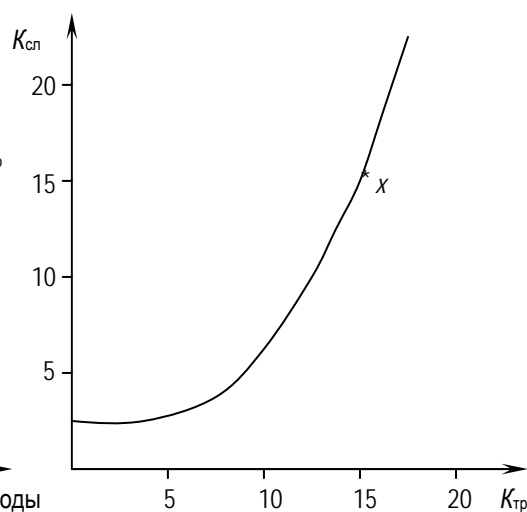


Рис. 5. Зависимость коэффициента сложности от коэффициента требований

Аналогичные графики можно привести для механических лотов и гидрографических тралов, гидрографических эхотралов бокового обзора, систем обработки и других технических средств. Анализ развития технических средств гидрографических работ и аналогичных зарубежных средств позволяет сделать вывод о том, что эволюционный путь развития целесообразен при условии, когда на графике рис. 5 ордината и абсцисса равны. Дальнейшее совершенствование приведет к такому усложнению устройств, что эксплуатация его будет нецелесообразна. В этом случае следует переходить на новые принципы получения гидрографической информации.

Исторический ход развития технических средств ГО подтверждает сделанный вывод.

Например, механические лоты (наметки, ручной лот, рыба-лот, лот Томсона) после четвертого усовершенствования были заменены эхолотами (ПЭЛ-1, ПЭЛ-2, ПЭЛ-3, ПЭЛ-4), которые также после четвертой модели, очевидно, будут заменяться фазовыми эхографами бокового обзора и оптическими системами съемки рельефа дна из космоса. Такие же цепочки можно

проследить и по гидрографическим тралам, глубоководным эхолотам, гравиметрам и т. д., когда после очередного усовершенствования техническое средство заменялось принципиально новым, т. е. эволюционный путь развития сменялся (или сменится) революционным. Момент смены характера развития должен и может прогнозироваться заранее.

Важным принципом создания системы технических средств ГО является *принцип псевдостатических измерений*. Суть принципа заключается в том, что при измерениях с подвижной платформы в течение ограниченного отрезка времени, за который измеряемый параметр изменяется на величину менее 3 СКП, процесс измерений можно принять статическим и при обработке результатов измерений использовать статистические методы. Причем измерение параметра может быть определено динамическими, методическими, конструктивными причинами, влиянием среды и т. д.

Для повышения качества сбора информации необходимо использовать принцип учета поправок в измерениях, выполняемых с помощью элементов системы и системой в целом. Реализация этого принципа требует установить законы влияния дестабилизирующих факторов на измерения, разработать способы определения и учета поправок, способы оценки остаточных погрешностей, а также методы комплексной обработки результатов измерений нескольких параметров взаимно коррелированных полей, метод превращения прямых отсчетов в разностные, метод автоматизации обработки и т. д.

Создание системы на основе изложенных принципов позволяет обосновать и разработать технологию комплексной съемки Мирового океана в интересах ВМФ, министерств и ведомств России. В результате этой съемки должны быть созданы модели полей Мирового океана в заданных акваториях, позволяющие эффективно осуществлять морскую деятельность субъектов государства в Мировом океане.

N. N. Neronov

Principles of Creating the System of Technical Means and Facilities for Hydrographic Surveys

The principles of creating the system of technical means and facilities for hydrographic surveys are discussed. Trends of development for the system are pointed out. It is shown that when the system is made more complicated in order to meet the user requirements to the results of the hydrographic surveys, the principles of measurement of the World ocean parameters, under certain conditions, should be changed.

ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ И ОКЕАНОГРАФИЯ

ГРНТИ 78.21.43.15.15

ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОЦЕССА В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ГМО ВМФ

**Б. Н. БЕЛЯЕВ,
Е. С. САМЫГИНА**

Предлагается технологическая схема информационного процесса в Автоматизированной системе гидрометеорологического обеспечения ВМФ, учитывающая современные представления о потребностях управленческих структур ВМФ в гидрометеорологической информации.

Целью Автоматизированной системы гидрометеорологического обеспечения (АС ГМО) ВМФ является предоставление командованию различных уровней гидрометеорологической информации, форма и содержание которой обеспечивает ее использование АСУ силами флота ВМФ различных уровней.

Кроме того, АС ГМО позволит повысить качество (достоверность) гидрометеорологической информации, необходимой для управления силами флота за счет увеличения объема исходных данных и использования автоматизированных методов обобщения гидрометеорологической информации.

АС ГМО (см. рисунок) включает в себя три следующих контура, которые будут описаны ниже.

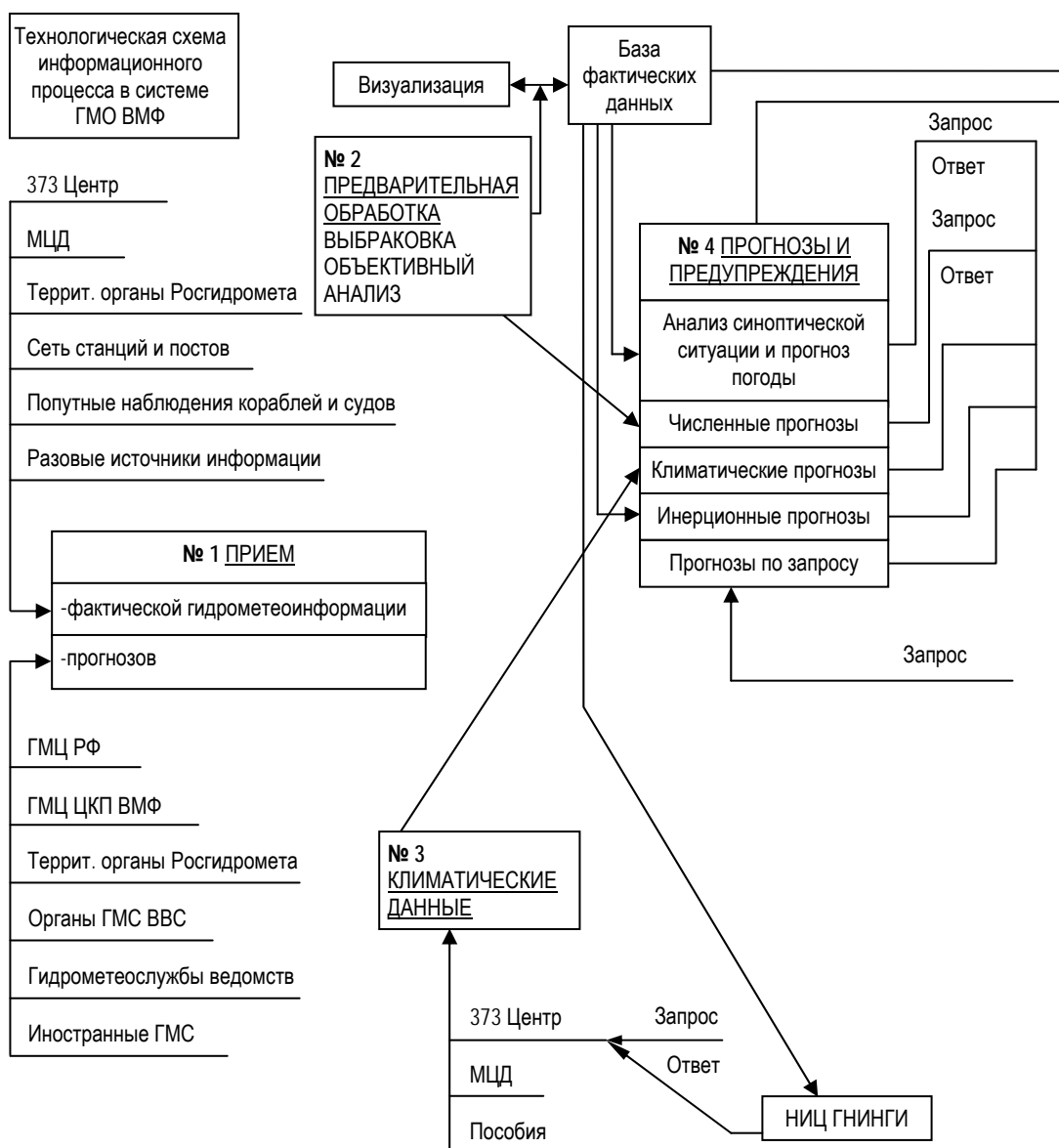
1. Вспомогательный, включающий 373 Центр автоматизированного сбора, обработки и доведения до потребителей ВМФ гидрометеорологической информации и НИЦ ГНИНГИ МО. Состоит из трех блоков (в схеме – блоки №1–3).

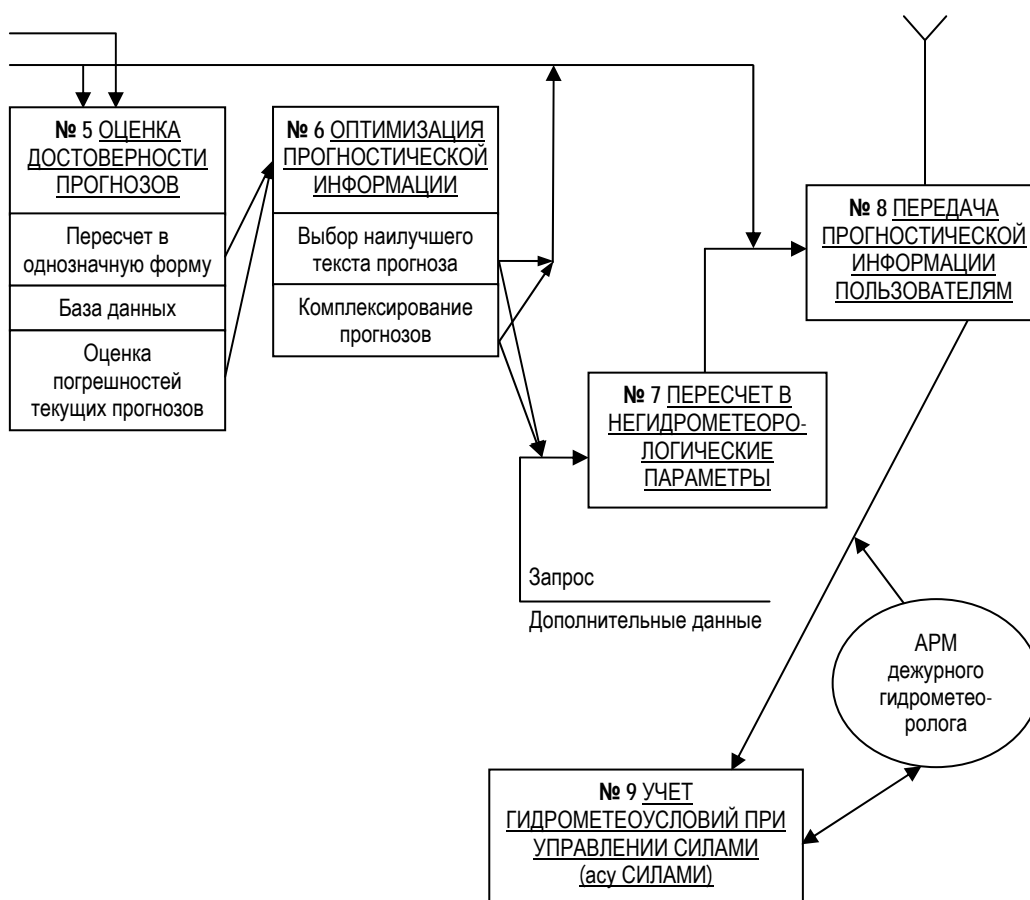
2. Первый основной, включающий ГМЦ флотов и объединений. Состоит из пяти блоков (в схеме – блоки №4–8).

3. Второй основной. Состоит из одного блока (в схеме – блок №9).

Объем операций в каждом из блоков различен для флотов разной категории, однако в целом на содержании технологического процесса в системе ГМО флота это не отражается. В этом случае возможны различия лишь в количестве информации, циркулирующей в системе ГМО. В принципиальном плане предлагаемая схема пригодна и для описания технологического процесса на высшем для ВМФ уровне, т. е. на уровне деятельности ГМЦ ЦКП ВМФ.

Технологическая схема информационного процесса в системе ГМО ВМФ включает следующие контуры и блоки.





Вспомогательный контур

Блок №1 – прием фактической гидрометеороинформации и прогнозов от внешних источников.

Основными источниками такой информации являются 373 Центр и Мировой центр данных (МЦД) в г. Обнинске. Также источниками гидрометеорологической информации служат территориальные органы Росгидромета, сеть собственных станций и посты наблюдения флота, срочные и внесрочные донесения кораблей и судов.

Блок №2 – предварительная обработка фактических данных.

В этом блоке осуществляется выбраковка данных, содержащих существенные погрешности. Выбраковка осуществляется методом сравнения значений гидрометеозлемента со значениями на соседних станциях и сопоставления соответствующих разностей с естественной климатической пространственной изменчивостью. Вторым вариантом является сравнение значения гидрометеозлемента с его значением на этой же станции в предыдущий срок наблюдений. Если разность значений выходит за рамки естественной изменчивости, то оно заменяется значением, полученным с помощью линейной интерполяции. Также в этом блоке осуществляется отображение (визуализация) фактической информации и объективный анализ информации, используемой для численного прогнозирования. Полученные в результате объективного анализа данные составляют базу исходной для численного прогнозирования информации.

Блок №3 – климатические данные.

Основным источником климатических данных является Научно-исследовательский центр Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института МО (НИЦ ГНИНГИ), а дополнительным – собственные данные ГМЦ флотов. Данные от НИЦ ГНИНГИ поступают по запросу через 373 Центр. Запрос включает: наименование гидрометеозлементов; необходимый период усреднения; необходимый пространственный масштаб усреднения (координаты района; либо координаты точек излома границ района; либо координаты центра района и его радиус). Ответ должен содержать: значения гидрометеозлемента и климатическую среднюю квадратическую погрешность; вероятностное распределение (повторяемость) фаз явления. При формировании ответа НИЦ ГНИНГИ использует собственную базу данных, базу данных МЦД (г. Обнинск), сведения, содержащиеся в гидрометеорологических и других пособиях. Следует отметить, что ответ, в котором сообщается об отсутствии данных, запрещен.

Первый основной контур

Блок №4 – прогностический.

В блоке вырабатываются традиционные метеорологические и гидрологические прогнозы (относящиеся к фиксированным срокам, заблаговременности и нарезке районов и поступающие пользователям без запросов; внесрочные оповещения и предупреждения об опасных и особо опасных явлениях) и прогнозы по запросам. Прогнозирование выполняется с использованием ме-

тодов численного прогнозирования; синоптического прогнозирования; эмпирических и полуэмпирических методов; климатического и инерционного прогнозирования. Запрос включает: наименования гидрометеозлементов (величин или явлений); момент или период, к которому должны относиться требующиеся данные; координаты точки или района.

Ответ на запрос должен содержать: прогностические значения гидрометеозлементов и их средние квадратические погрешности; вероятностные распределения фаз прогнозируемых явлений.

Блок №5 – оценка достоверности прогнозов.

В блок входит база данных, в которой содержатся полученные в ходе ранее выполненных исследований и прежней практики характеристики достоверности прогнозов: средние квадратические погрешности величин, распределения фаз явлений. При получении запроса из блока №4 формируется и передается в блок №4 ответ, основанный на имеющихся в базе блока №5 сведениях относительно достоверности прогноза, данного одним из перечисленных выше методов, кроме климатического. Данные о достоверности климатического прогноза содержатся в блоке №3, откуда они поступают в блок №4 по запросу последнего.

Помимо этого, в блок №5 поступают прогностические данные из блока №4 и по наступлению момента (срока действия прогноза) – соответствующие фактические данные. На основе сравнения прогностических и фактических данных по мере их наступления производится пополнение или корректура информации, хранящейся в базе данного блока.

Указанные операции могут выполняться только по отношению к прогнозам в однозначной форме, т. е. к тем, текст которых содержит единственное значение гидрометеозлемента и среднюю квадратическую погрешность этого значения либо распределение вероятностей (оправдываемости) фаз явления. Поскольку прогнозы в традиционном виде свойством однозначности не обладают, предварительно их необходимо привести в однозначную форму.

Блок №6 – оптимизация прогностической информации.

Блок функционирует, если хотя бы один из гидрометеозлементов (явлений) прогнозируется двумя или более способами, причем результаты такого прогнозирования различны. В этом случае оператор (прогнозист) осуществляет один из следующих вариантов:

а) за окончательный текст прогноза принимается тот, которому соответствует наименьшая средняя квадратическая погрешность прогноза данного гидрометеозлемента либо наибольшая вероятность осуществления прогнозируемой фазы явления;

б) окончательный текст прогноза формируется путем комплексирования (объединения) текстов прогноза данного гидрометеозлемента (фазы явления), полученного различными методами.

Блок №7 – пересчет в негидрометеорологические параметры.

В блоке выполняется пересчет собственно гидрометеорологической прогностической информации (например прогноза ВРСЗ – вертикального распределения скорости звука в воде) в величины, являющиеся функциями

гидрометеозлементов и явлений (например дальность гидроакустического обнаружения). Пересчет, т. е. прогнозирование указанных величин, производится по запросу, в котором, помимо общей для всех запросов информации, приводятся необходимые для пересчета данные не гидрометеорологического характера (например тактико-технические характеристики гидроакустических станций и т. п.).

При использовании нескольких способов прогноза гидрометеоусловий, от которых зависит рассчитываемая величина, оптимизация выполняется либо до пересчета, либо пересчет производится для каждого текста прогноза с последующей оптимизацией результатов в блоке №6.

Блок №8 – передающий.

Функцией блока является сортировка прогностической информации с последующей передачей адресатам согласно списку циркулярных сообщений и в соответствии с запросами ответов на эти вопросы.

Второй основной контур

Блок №9 – учет гидрометеоусловий при выполнении оперативно-тактических расчетов в интересах управления силами.

Блок не входит в организационную структуру ГМО ВМФ и является частью АСУ силами флота.

В блоке выполняется пересчет прогностических гидрометеорологических данных и показателей их эффективности в тактико-технические характеристики вооружения (В) и военной техники (ВТ) – своих и противника. Пересчет осуществляется с использованием функций влияния гидрометеоусловий на В и ВТ противоборствующих сторон, причем данные о функциях влияния содержатся в базе блока.

Второй операцией этого блока является вычисление значений показателя эффективности планируемых действий и его точностных характеристик. Следует отметить, что эта операция может выполняться не в блоке №9, а в процессе выполнения самих оперативно-тактических расчетов.

B. N. Belyaev, E. S. Samygina

Main Features of the Technological Diagram of Information Process in the Automated System of the Hydrometeorological Support for the Navy

The technological diagram of information process in the Automated system of the hydrometeorological support for the Navy, taking into account the present-day ideas of the hydrometeorological information required by the management structures of the Navy, is suggested.

Гравитация

«...свойство не может существовать без сущности».¹
Исаак Ньютон

Сущность, существуя, свойства демонстрирует.
Свойствами себя сущность демаскирует.
В то, что не понять, можно только верить.
Без понятия, без веры – только лицемерить.
Часто «за деревьями мы не видим леса», –
сущности не видим и её процесса.
Сущность проявляет свойство, гравитацию.
Что это такое? Снимем декорацию.

Силу гравитации наблюдаем с детства,
наблюдаем следствие, но не видим средства.
Воздух атмосферы тоже невидим,
но качаются деревья, – средство, газ, необходим.
Ток, потоки, вихри – процессы атмосферы –
проявления сущности, не предмет для веры.
А причина этих свойств – это шар земной...
Если метод уловили, следуйте за мной.

Свойство – гравитацию – чтобы оценить,
маятник увесистый подвесили на нить.
Не было бы нити, не было бы палубы,
к центру тяжести Земли маятник бы падал бы,
скорость нарастала бы (знаем ускорение),
то есть, возникало бы «свободное падение».
Падению препятствует воздушная подушка.
Финал – соударение – сработала ловушка.
Эти обобщения не блещут новизной.
Причина гравитации – это шар земной.

В каждой точке на Земле, здесь и **повсеместно**,
сила гравитации действует отвесно.

¹ И. Ньютон. «Математические начала натуральной философии», М.: «Наука», 1989, с. 660. Перевод с латинского (1936) профессора Морской Академии А. Н. Крылова (1863-1945), кораблестроителя, механика, математика, автора многочисленных трудов по теории магнитных и гироскопических компасов.

И маятник массивный, и «газовый» платок
ведут себя как тело, попавшее в поток,
лишенное подвеса потоком увлекается,
и тело вдоль отвеса, в потоке, ускоряется.
Необходимый **вывод** – безусловно строг:
гравитация – поток.

Причинность проясняется, если без формальности
применять к пространству **принцип материальности.**
Пустота заполнится реальностью среды...
Сущность суть материя – везде её следы –
присущая пространству материя, эфир,
потоком из зенита текущая в надир.
Причину гравитации не увидит око,
но несложно **рассчитать параметры потока.**

Вещество, сплоченное в телесные формации,
поглощает всё вокруг, что под силу гравитации.
Пылесос фильтрующий – массивная Земля.
На «выходе» – потоки – материя, «поля».
Осознаем, – исключим из предметов веры:
магнитные потоки, поток магнитосферы,
токи – электричество – поточные явления,
феномен «торсионный» – явления кручения...

«...природа ничего не делает напрасно...»
«...всегда... проста... сама с собой согласна».²

Вертикаль и горизонт, сила гравитации, –
суть и основание – стержень навигации.

28 марта 2003 года.

² И. Ньютон. «Математические начала натуральной философии», М.: «Наука», 1989, с. 502, 503.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

АЛЕКСЕЕВ Сергей Петрович, начальник ГНИНГИ, 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 (1972) и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (1983). Специализация – штурман. Автор около 100 печатных трудов.

АНДРЕЮК Ростислав Александрович, старший научный сотрудник ГНИНГИ, капитан 2 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1991). Специализация – морская навигация.

БАРИНОВ Владимир Николаевич, старший научный сотрудник ГНИНГИ, капитан 2 ранга. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1992) и Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова (2000). Специализация – навигация. Имеет одну печатную работу.

БЕЛЯЕВ Борис Николаевич, главный научный сотрудник ГНИНГИ, капитан 2 ранга в отставке, докт. техн. н., профессор. Окончил Каспийское высшее военно-морское училище (1950), ВС офицерские курсы ВМФ (1962), ВМА (1962). Специализация – гидрометеорология. Автор более 100 печатных трудов.

ДРУГОВ Александр Николаевич, помощник начальника ГНИНГИ, капитан 1 ранга в отставке. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1974). Специализация – навигация.

ИВАНОВ Борис Евгеньевич, главный научный сотрудник ГНИНГИ, 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 в 1957 г., Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова в 1969 г. Специализация – морская геодезия, гравиметрия, гидрография, навигация. Автор около 200 печатных трудов.

ИСМАИЛОВ Алескер Исмаилович ведущий научный сотрудник ГНИНГИ, капитан 1 ранга в запасе, докт. воен. н., профессор. Окончил Каспийское высшее военно-морское училище (1968), Военно-морскую академию им. Н. Г. Кузнецова в 1979 г. Специализация – военный штурман-инженер, военный экономист ВМФ. Область научных интересов средства и методы военной навигации. Автор более 150 печатных трудов.

КАТЕНИН Владимир Александрович, ученый секретарь ГНИНГИ, докт. воен. н., капитан 1 ранга в отставке. Окончил Каспийское высшее военно-морское училище (1969). Специализация – военная кибернетика. Автор более 150 печатных трудов.

Sergey P. ALEKSEYEV, Chief of GNINGI, 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 (1972) and Naval Academy (1983). Speciality: navigation. Author of about 100 publications.

Rostislav A. ANDREYUK, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, Captain 2nd rank. Graduated from Frunze Naval College (1991). Speciality: marine navigation.

Vladimir N. BARINOV, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, Captain 2nd rank. Graduated from Frunze Naval College (1992) and Kuznetsov Naval Academy (2000). Speciality: navigation. Author of one publication.

Boris N. BELYAEV, chief researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, Captain 2-nd rank (Ret.), DSc, professor. Graduated from Caspian Naval College (1950), Higher Naval Officers Courses (1953), Naval Academy (1962). Speciality: hydrometeorology. Author of more than 100 publications.

Alexandr N. DROUGOV, Assistant of the Chief, the State Research Navigation-Hydrographic Institute. Captain 1-1st rank (Ret.). Graduated from Frunze Naval College (1974). Speciality: navigation.

Boris E. IVANOV, chief researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, Captain 1-st rank (Ret.), DSc, professor, RF State Prize Winner, Honoured Scientist, chairman of Krylov STO section. Graduated from Baltic Naval College (1957) and Naval Academy (1969). Speciality: marine geodesy, gravimetry, hydrography, navigation. Author of about 200 publications.

Alesker I. ISMAILOV leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, DSc, Captain 1-1st rank (Ret.). Graduated from Caspian Naval College (1968), Naval Academy (1979). Speciality: military navigator-engineer; military economist of the Navy. Sphere of scientific interests: means, facilities and methods of military navigation. Author of more than 150 publications.

Vladimir A. KATENIN, scientific secretary, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, DSc, Captain 1-1st rank (Ret.), Graduated from Caspian Naval College (1969). Speciality: military cybernetics. Author of more than 150 publications/

ЛАПШИНА Валентина Ивановна, старший научный сотрудник ГНИНГИ. Окончила Ленинградский институт точной механики и оптики (1959). Сфера научных интересов – программно-математическое обеспечение навигационных задач. Автор 15 научных публикаций.

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 (1946). Область научных интересов – военное кораблевождение и методология подготовки специалистов ВМФ. Автор более 350 печатных работ.

ЛОБОЙКО Борис Иванович, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ, капитан 1 ранга в запасе, докт. техн. н., академик Академии военных наук, почётный геодезист. Окончил Высшее военно-морское училище радиоэлектроники им. А. С. Попова (1968). Специализация – радиосвязь, навигация. Автор более 70 печатных трудов.

МАЛЕЕВ Павел Иванович, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ, капитан 1 ранга (в отставке), докт. техн. н. Окончил Ленинградский государственный университет в 1952 г. Специализация – технические средства навигации. Автор более 190 печатных трудов.

НЕРОНОВ Николай Николаевич, главный научный сотрудник ГНИНГИ, капитан 1 ранга (в отставке), докт. техн. н. Окончил Высшее военно-морское училище им. М. В. Фрунзе (1950). Специализация – гидрография. Автор более 100 печатных трудов.

РЕЗНИЧЕНКО Владимир Иванович, ведущий научный сотрудник ГНИНГИ, докт. техн. н. Окончил Ленинградский институт точной механики и оптики (1960). Специализация – средства и методы навигационного обеспечения. Автор около 60 печатных работ.

САМЫГИНА Евгения Сергеевна, научный сотрудник ГНИНГИ, лейтенант. Окончила Санкт-Петербургский государственный университет (2002). Специализация – гидрометеорология.

Valentina I. LAPSHINA, senior researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute. Graduated from Leningrad Institute of Fine Mechanics and Optics (1959). Sphere of scientific interests: software for navigation problems. Author of 15 publications.

Anatoly V. LAVRENTYEV, chief researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute; professor, St. Petersburg Naval Institute, Captain 1st 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 (1946). Sphere of scientific interests: military navigation and methodology of training the specialists for the Navy. Author of more than 350 publications.

Boris I. LOBOIKO, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute. Captain 1st rank (Ret.), DSc, academician of the Academy of Military Sciences, Honoured Geodesist. Graduated from Popov Naval College of Radioelectronics(1968). Speciality: radio communications, navigation. Author of more than 70 publications.

Pavel I. MALEYEV, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute. Captain 1st rank (Ret.), DSc. Graduated from Leningrad State University (1952). Speciality: technical means of navigation. Author of more than 190 publications.

Nikolai N. NERONOV, chief researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, Captain 1-st rank (Ret.), DSc, professor. President of Hydrographic Society. Graduated from Frunze Naval College (1950). Speciality: hydrography. Author of more than 100 publications.

Vladimir I. REZNICHENKO, leading researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, DSc. Graduated from Leningrad Institute of Fine Mechanics and Optics (1960). Sphere of scientific interests: means and methods of navigation-hydrographic support. Author of about 60 publications.

Evgenia S. SAMYGINA, researcher, the State Research Navigation-Hydrographic Institute, lieutenant. Graduated from St. Petersburg State University (2002). Speciality: hydrometeorology.



ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА

Информация о правилах оформления подписки на издания Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института Министерства обороны Российской Федерации

Юридические и физические лица могут приобрести журнал "Навигация и гидрография", материалы конференций, информационные материалы, разработанные информационным отделом ГНИНГИ МО РФ (аналитические и реферативные обзоры, переводы), оформив подписку как за безналичный, так и наличный расчет. Время оформления подписки не ограничено.

Журнал "Навигация и гидрография" выходит 2 раза в год. В 2002 г. выйдут 14 и 15 номера. Заказ можно оформить на любой номер журнала, начиная с 12. НДС на все печатные издания не начисляется. Цена одного номера журнала – **150** руб.

Ежеквартально информационным отделом ГНИНГИ МО РФ выпускаются:

- Аналитические справки. Стоимость одного выпуска - **60** руб.
- Информационные справки. Стоимость одного выпуска - **60** руб.
- Реферативные обзоры. Стоимость одного выпуска - **60** руб.
- Реферативно-библиографический указатель. Стоимость одного выпуска - **60** руб.
- Переводы. Стоимость одного выпуска - **60** руб.

Можно приобрести также сборник докладов Четвертой Российской научно-технической конференции "Современное состояние, проблемы навигации и океанографии" (НО-2001) Стоимость 2-х томов Сборника – **350** рублей.

Главному редактору журнала «Навигация и гидрография»
Алексееву С. П.
199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41

БЛАНК-ЗАКАЗ

Прошу оформить подписку (заказ) на:

- ___ экз. журнала «Навигация и гидрография», №№;
- ___ экз. реферативно-библиографического указателя, №№;
- ___ экз. реферативного обзора, №№;
- ___ экз. сборника переводов, №№;
- ___ экз. сборника докладов конференции (НО-2001).

Стоимость подписки в сумме _____

перечислена на расчетный счет ГНИНГИ МО РФ:

ИНН 7801020940

р/сч 4050281010000000107; (кор/сч - нет)
БИК 044081002; ОКОНХ 95120; ОКПО 08303504

ПУ ЦБ РФ Флагманское г. С. -Петербург.

Платежное поручение № _____ от " _____ " _____ 200_ г.

Заказ направить по адресу:

индекс п/о _____, область (край, респ.). _____

город, улица, дом _____

Кому _____

(полное название организации и ФИО контактного лица или ФИО заказчика)

В платежном поручении указать: «**Подписная плата за журнал(ы) ...**».

Заполненный бланк-заказ перешлите (почтой/факсом) в редакцию по указанному ниже адресу.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

В журнале публикуются результаты исследований в области навигации, гидрографии, океанографии, гидрометеорологии, морской картографии, морской геофизики и экологии. Издание освещает концептуальные научные положения, осуществляет оперативную публикацию новейших теоретических исследований. Журнал знакомит с передовыми техническими достижениями, с материалами симпозиумов, конференций и хроникой важнейших событий научной жизни. Статьи журнала рецензируются.

Требования к оформлению материалов

1. Статьи принимаются на дискетах 3,5" или CD в формате текстового редактора **MS Word for Windows** (версия не ранее 1997 г.) с приложением текста на бумаге (размер шрифта 14, межстрочный интервал 1,5) . Все материалы должны быть подписаны авторами.
2. Объем статьи не должен превышать 0,5 авторского листа (20 000 печатных знаков), включая рисунки, таблицы и список литературы.
3. Название статьи должно в наиболее краткой форме отражать ее содержание.
4. В статье указывается индекс ГРНТИ. К работе прилагается аннотация (объемом не более 150 слов) и сведения об авторах (ФИО полностью; полное название учреждения, где работает автор; должность; ученая степень; воинское звание; год окончания и полное название высшего учебного заведения, которое закончил автор; специализация, количество опубликованных научных трудов). Аннотация, сведения об авторах и иллюстрации представляются отдельными файлами. Следует указать почтовый и электронный адреса авторов, а также служебные и домашние номера телефонов. К рукописи прилагается сопроводительное письмо организации, где выполнено данное исследование, и акт экспертизы о возможности открытого опубликования.
5. Для написания формул следует использовать редактор формул **MS Word for Windows**.
6. Используемые в статье величины и единицы измерения должны соответствовать стандартным обозначениям согласно Международной системе единиц СИ.
7. Рисунки представляются отдельным файлом в черно-белом изображении в форматах **.jpg** или **.gif** с разрешением до **300 DPI**. Все рисунки должны быть размером не более 210x140 мм и иметь порядковые номера и подписи.
8. Таблицы должны иметь порядковые номера и названия. Длина строки таблиц при шрифте "Arial" размером 9 не должна превышать 200 мм. При этом таблицы, у которых длина строки при указанном шрифте превышает 145 мм, должны иметь вертикальную ориентацию.

9. Список использованной литературы составляется на языке оригинала (исключение – языки с иероглифическим написанием слов) в порядке ссылок на источники по тексту. Ссылки в тексте даются в квадратных скобках, где указывается номер работы по списку. В списке литературы указываются: фамилии и инициалы авторов, полное название книги или статьи, название сборника, город, издательство, год, том, номер, страницы.
10. Материалы, отправляемые по E-mail, следует направлять в виде присоединенных к письму файлов. Размер одного сообщения не должен превышать 0,5 Мб. Письма большего объема необходимо компрессировать архиваторами (**ZIP, RAR**) или разделять. Графические файлы не должны содержать более одного рисунка.

**Адрес редакции: Россия, 199106, Санкт-Петербург, Кожевенная линия, 41.
Телефон: (812) 322-21-42 (доб. 215), 322-22-43, 322-18-88 (доб. 249),
Факс: (812) 322-33-19, 327-99-80 (с 9.00 до 17.00).
E-mail: gningi@navy.ru**

НАВИГАЦИЯ И ГИДРОГРАФИЯ, 2003, №16

Редактор И. Ю. Бугрова

Компьютерная верстка: А. А. Смирнова

Подписано в печать 15.05.2003 г.

Заказ № 26

Рег. № 013267 от 26.01.95 г.

Комитет РФ по печати

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