

**НОВОСТИ
НАВИГАЦИИ
№ 4 2005 г.**

**Научно-технический
журнал по проблемам
навигации
УДК 621.78:525.35**

Редакционная коллегия:

Главный редактор – директор НТЦ
«Интернавигация», Заслуженный
работник связи РФ
Царев В.М.
Редактор – Соловьев Ю.А., к.т.н.
Отв. редактор – Цикалова Е.Г.

Члены редакционной коллегии:

Аргунов А.Д.;
Баринов С.П., к.т.н.;
Белгородский С.Л., д.т.н., проф.;
Власов В.М., д.т.н., проф.;
Зубов Н.П., д.в.н., проф.;
Иванов Н.Е., д.т.н., проф.;
Коротышко А.Н., к.т.н.;
Семина П.А., к.э.н.;
Ярлыков М.С., д.т.н., проф.

Журнал зарегистрирован в
Министерстве РФ по делам
печати, телерадиовещания и
средств массовых коммуникаций.
Регистрационный номер
ПИ № 77-5073

Издание подготовлено и
распространяется ФГУП НТЦ
современных навигационных
технологий «Интернавигация»
при участии Российского
общественного института
навигации.

Тел.: (495) 926-25-01,
Факс: (495) 926-28-83

109028, Россия, г. Москва,

Б. Трехсвятительский пер., дом 2

E-mail: internavigation@rgcc.ru

<http://www.internavigation.ru>

<http://internavigation.ru>

Содержание

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

14-Е ЗАСЕДАНИЕ СОВЕТА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ
РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СЛУЖБЫ (ФЕРНС) 3

МОДЕРНИЗАЦИЯ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ
В РОССИИ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ 3
В.Г. Боровицкий, П.Э. Ефремов, В.С. Жолнеров, С.П. Зарубин

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В ОБЪЕДИНЕННЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ «ЧАЙКА»/«ЛОРАН-С» 7
А.Д. Аргунов, Г.Д. Апрышкин, В.М. Царев

В МЕЖГОСУДАРСТВЕННОМ СОВЕТЕ «РАДИОНАВИГАЦИЯ»

О ЗАСЕДАНИИ МЕЖГОСУДАРСТВЕННОГО СОВЕТА «РАДИОНАВИГАЦИЯ» 11

В РОССИЙСКОМ ОБЩЕСТВЕННОМ ИНСТИТУТЕ НАВИГАЦИИ

ЗАСЕДАНИЕ СЕКЦИИ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА РОИН 13

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СТАТЬИ, ОБЗОРЫ, РЕФЕРАТЫ

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ
И ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ 15
Ю.А. Соловьев, В.М. Царев

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

ПО ГЛОБАЛЬНЫМ НАВИГАЦИОННЫМ СПУТНИКОВЫМ
СИСТЕМАМ ГЛОНАСС/GPS В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ 19
А.В. Балов, И.Б. Бедрин, И.К. Конаржевский, С.Б. Писарев, Б.В. Шебшаевич

СПУТНИКОВАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ПОДСИСТЕМА,
ВКЛЮЧАЮЩАЯ НЕСКОЛЬКО КОНТРОЛЬНО-КОРРЕКТИРУЮЩИХ СТАНЦИЙ 31
С.Б. Болошин, В.С. Жолнеров, С.П. Зарубин, А.И. Кабилов, С.Б. Писарев,
Г.А. Семенов, В.М. Царев, Б.В. Шебшаевич

УСТРАНЕНИЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ОКОНЕЧНОМ

КАСКАДЕ РАДИОНАВИГАЦИОННОГО СДВ ПЕРЕДАТЧИКА 35
[А.Д. Артым], В.Г. Боровицкий, В.А. Фялин

ОПЕРАТИВНАЯ ИНФОРМАЦИЯ 47

КОНФЕРЕНЦИИ, ВЫСТАВКИ, СОВЕЩАНИЯ

НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГЕОДЕЗИИ, КАРТОГРАФИИ И ГИС» 50

ИЗ ИСТОРИИ НАВИГАЦИИ

О ВОЗДУШНОЙ НАВИГАЦИИ КАК НАУКЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ 51
Г.Ф. Молоканов

НАШИ ПОЗДРАВЛЕНИЯ

К 75-ЛЕТИЮ МОСКОВСКОГО
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНОГО ИНСТИТУТА 56

К 90-ЛЕТИЮ ШТУРМАНСКОЙ СЛУЖБЫ ВВС 57

НОВЫЕ КНИГИ И ЖУРНАЛЫ 59

ПЛАНЫ И КАЛЕНДАРИ

КАЛЕНДАРЬ МЕЖДУНАРОДНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В ОБЛАСТИ НАВИГАЦИИ
И СМЕЖНЫХ ДИСЦИПЛИН НА 2005-2007гг. 61

Ответственность за достоверность материалов несут авторы статей. Мнение редакции
может не совпадать с мнением авторов

Компьютерная верстка: ООО НТБ «Энергия», www.bcard.ru
Типография ООО «Полиграф», Москва, ул. Героев Панфиловцев, 24

Contents

INTERNATIONAL COOPERATION

14TH FERNS COUNCIL SESSION 3

MODERNISATION OF CHAYKA SYSTEM IN RUSSIA. CURRENT STATUS AND PROSPECTS 3

V.G. Borovitsky, P.E. Yefremov, V.S. Zholnerov, S.P. Zarubin

RESULTS OF TEST TRIALS OF THE JOINT CHAYKA/LORAN-C RADIONAVIGATION SYSTEMS 7

A.D. Argunov, G.D. Apryshkin, V.M. Tsarev

IN THE RADIONAVIGATION INTERSTATE COUNCIL

RADIONAVIGATION INTERSTATE COUNCIL SESSION..... 11

IN THE RUSSIAN PUBLIC INSTITUTE OF NAVIGATION

SESSION OF THE AIR TRANSPORT SECTION 13

SCIENTIFIC ARTICLES, REVIEWS, SYNOPSES

COMBINED USE OF SATELLITE AND PULSE-PHASE RADIONAVIGATION SYSTEMS 15

Yu.A. Soloviev, V.M. Tsarev

VEHICLES' POSITIONING BY GLOBAL NAVIGATING SATELLITE SYSTEMS

GLONASS/GPS IN COMPLICATED CONDITIONS OF USAGE..... 19

A.V. Balov, I.B. Bedrin, I.K. Konarzhevsky, S.B. Pisarev, B.V. Shebshayevich

SATELLITE DIFFERENTIAL SYSTEM USING SEVERAL REFERENCE STATIONS 31

S.B. Boloshin, V.S. Zholnerov, S.P. Zarubin, A.I. Kabirov, S.B. Pisarev, G.A. Semenov,

V.M. Tsarev, B.V. Shebshayevich

ELIMINATION OF OVERVOLTAGES IN THE TERMINAL

STAGE OF A RADIO NAVIGATION VLF TRANSMITTER 35

A.D. Artym, V.G. Borovitsky, V.A. Filin

OPERATING INFORMATION 47

CONFERENCES, EXHIBITIONS, MEETINGS

SCIENTIFIC CONFERENCE "NOVEL TECHNOLOGIES

IN GEODESY, CARTOGRAPHY AND GIS" 50

FROM THE HISTORY OF NAVIGATION

AERIAL NAVIGATION AS AN ART OF TRAFFIC CONTROL 51

G.F. Molokanov

OUR CONGRATULATIONS

75TH ANNIVERSARY OF THE STATE TECHNICAL UNIVERSITY - MADI

90TH ANNIVERSARY OF THE AIR FORCE NAVIGATION SERVICE 56

NEW BOOKS AND MAGAZINES 59

PLANS AND CALENDARS 61

14-Е ЗАСЕДАНИЕ СОВЕТА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОЙ РАДИОНАВИГАЦИОННОЙ СЛУЖБЫ (ФЕРНС)

14TH FERNS COUNCIL SESSION

С 23 по 28 октября с.г. в Республике Корея проходило очередное 14-е заседание Совета ФЕРНС. В заседании принимали участие делегации стран – участниц Соглашения о Дальневосточной радионавигационной службе «Чайка»/«Лоран-С»: Республики Корея, Китая, Японии, России, а также представители Международной ассоциации маячных служб (МАМС). Российская делегация под руководством директора ФГУП НТЦ «Интернавигация» В.М. Царева, в составе которой был также заместитель директора РИРВ В.С. Жолнеров и др., представила на заседании Совета отчеты и содержательные доклады по всем пунктам повестки дня. При обсуж-

дении докладов и подготовке отчета о заседании Совета ФЕРНС были намечены пути дальнейшего совершенствования работы радионавигационной службы на базе станций «Чайка» и «Лоран-С» на Дальнем Востоке. Очередное 15-е заседание Совета ФЕРНС пройдет в Китае в октябре 2006 г.

Вниманию наших читателей предлагаются журнальные версии некоторых выступлений членов российской делегации на заседании Совета. Более подробно с документами ФЕРНС можно познакомиться в НТЦ «Интернавигация» и на сайте НТЦ «Интернавигация» <http://www.internavigation.ru>

МОДЕРНИЗАЦИЯ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ НАЗЕМНОГО БАЗИРОВАНИЯ В РОССИИ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В.Г. Боровицкий, П.Э. Ефремов, В.С. Жолнеров, С.П. Зарубин

Современный потребитель предъявляет все более жесткие требования к координатно-временному и навигационному обеспечению. Системы, обеспечивающие определение времени и координат, наряду с высокой точностью должны обладать высокими показателями целостности, доступности и непрерывности обслуживания. Исследования, проведенные в разных странах за последние десять лет, показали, что ни одна из существующих радионавигационных систем не способна в полном объеме удовлетворить требования потребителя. Ни у кого сейчас не вызывает сомнения тот факт, что одним из самых эффективных способов повышения надежности координатно-временного обеспечения является интеграция радионавигационных систем космического и наземного базирования. Однако, если спутниковые радионавигационные системы и сопутствующие им технологии развивались и продолжают развиваться стремительными темпами, финансирование программ развития и совершенствования РНС наземного базирования в середине 90-х годов было приостановлено, и лишь в последние пять-семь лет ситуация стала меняться к лучшему.

MODERNIZATION OF CHAYKA SYSTEM IN RUSSIA. CURRENT STATUS AND PROSPECTS

V.G. Borovitsky, P.E. Yefremov, V.S. Zholnerov, S.P. Zarubin

The present-day user imposes stringent requirements upon positioning/timing and navigation support. Systems providing a determination of time and position should have, along with a high accuracy, high values of service integrity, availability and continuity. The studies performed in various countries over last ten years show that none of existing radionavigation systems (RNS) is able to satisfy user requirements in full measure. There cannot be the slightest doubt that one of the most efficient methods for improving reliability of positioning/timing

support is integration of space- and terrestrial-based RNS. However, if satellite RNS and related technologies have been developing and continue to develop swiftly, financing of programs for developing and improving terrestrial-based RNS was suspended in the mid-1990s, and the situation became better over recent five-seven

Программа модернизации российских радионавигационных систем наземного базирования «Чайка» стартовала в 1997 году. К 1999 году были определены ее основные направления: с одной стороны – это поэтапная замена устаревшего и выра-



Рис.1. Комплекс аппаратуры управления и синхронизации передающих станций ИФРНС «Чайка»

ботавшего свой ресурс оборудования на новое для поддержания непрерывной эксплуатации станций и повышения их надежности, с другой стороны – это создание новой аппаратуры, которая позволила бы расширить функциональные возможности назем-



Рис.2. Экспериментальный образец региональной контрольно-корректирующей станции СРНС ГЛОНАСС/GPS

ных РНС и обеспечила их интеграцию со спутниковыми радионавигационными системами.

Напомним, что принятая концепция интеграции РНС наземного и космического базирования, в частности, предусматривает:

- высокоточную привязку временной шкалы наземных передающих станций к системной шкале времени СРНС, что обеспечивает синхронизацию излучения наземных РНС по сигналам СРНС и возможность привязки временной шкалы потребителя к системной шкале времени СРНС по сигналам наземных РНС;

- передачу контрольно-корректирующей информации к сигналам СРНС в формате сигнала наземных РНС с целью организации дифференциального режима СРНС;

- создание интегрированного приемника, работающего по сигналам наземных и спутниковых РНС и способного принимать и использовать в навигационном решении ККИ от передающих станций наземных РНС.

Одним из первых шагов на пути к созданию интегрированной радионавигационной системы является оснащение стационарных станций ИФРНС «Чайка» новым комплексом аппаратуры управления и синхронизации (КАУС) (рис.1).

Комплекс оборудован стандартом частоты и времени с относительной суточной нестабильностью частоты ($1 \cdot 10^{-13}$) и обеспечивает:

- синхронизацию излучения по сигналам ведущей станции с погрешностью (СКП) не более 80 нс;

- привязку собственной временной шкалы к меткам внешней временной шкалы с погрешностью (СКП) не более 30 нс;

- возможность дискретной трех- или пятиуровневой модуляции временного положения шести последних радиоимпульсов навигационного пакета со сдвигами $\pm 1,0$ мкс и $\pm 1,5$ мкс для передачи информации в формате собственного сигнала.

Комплекс успешно прошел все стадии испытаний и с 2003 года началась его установка на действующих станциях. К настоящему времени такой комплекс уже установлен на станции Петрозаводск Европейской цепи и на станции Александровск-Сахалинский Восточной цепи ИФРНС «Чайка». Остальные станции Европейской и Восточной цепи

ИФРНС «Чайка» планируется оснастить указанными комплексами до середины 2007 года.

В соответствии с программой модернизации все стационарные передающие станции ИФРНС «Чайка» должны обеспечивать передачу потребителям ККИ СРНС в формате собственного навигационного сигнала. С этой целью на станциях будут размещаться региональные контрольно-корректирующие станции (РККС) СРНС ГЛОНАСС/GPS. В настоящее время в РИРВ проводится разработка опытного образца РККС (рис. 2 – экспериментальный образец РККС).

РККС функционирует совместно с комплексом аппаратуры управления и синхронизации и обеспечивает:

- прием и слежение за сигналами до 24-х навигационных космических аппаратов ГЛОНАСС и GPS;
- формирование ККИ СРНС, ее кодирование помехозащитным кодом и перевод в коды модуляции для сдвига радиоимпульсов навигационного пакета;
- непрерывный контроль целостности СРНС ГЛОНАСС и GPS и выдачу сигнала о ее нарушении.

Испытание опытных образцов РККС планируется провести на трех российских станциях Европейской цепи ИФРНС «Чайка» до конца 2006 года. Остальные стационарные станции ИФРНС «Чайка» будут оборудованы региональными контрольно-корректирующими станциями в течение последующих трех лет.

Одним из важных вопросов, который необходимо обсуждать при организации дифференциального режима СРНС с помощью наземных станций ИФРНС «Чайка» и «Лоран-С», является вопрос о формате передачи контрольно-корректирующей информации. Модернизированные передающие станции ИФРНС «Чайка» смогут излучать ККИ СРНС в формате, аналогичном формату системы EUROFIX [1]. Однако результаты теоретических и экспериментальных исследований, проведенных в России, показывают, что формат передачи, принятый в системе EUROFIX, не является оптимальным по соотношению помехозащищенности и эффективной скорости передачи информации.

Использование циклического и блочного корректирующего кодов, общая длина которых более чем в 3 раза превышает длину полезного сообщения, обеспечивает доступность не менее 99,8% на удаленностях до 1000 – 1200 км от передающей станции [2]. Однако известно, что эффективность дифференциальных поправок СРНС на удаленностях более 600 км от ККС начинает заметно снижаться вследствие

влияния пространственной и временной декорреляции. Основными факторами, влияющими на вероятность правильного различения (правильной демодуляции) сдвинутых во времени сигналов, являются выбранная величина временного сдвига и отношение сигнал/шум в точке приема. Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что при отношении сигнал/шум ≥ 5 и сдвиге не менее 1 мкс вероятность правильной демодуляции сигнала превышает 0,999. Мощность излучения стационарных станций ИФРНС такова, что на удалении 600 км от станции практически везде условие сигнал/шум ≥ 5 выполняется. Следовательно, если ограничить зону, в которой вероятность правильной демодуляции сигнала должна быть не хуже 0,999, окружностью радиусом 600 км от передающей станции, и использовать сдвиг сигнала не менее 1 мкс, мощность (длина) корректирующего кода может быть уменьшена.

Наши исследования направлены на разработку такого формата передачи, который обеспечил бы приемлемую помехозащищенность сообщений и эффективную скорость передачи информации не менее 35 – 40 бит/с на максимальном навигационном периоде ($T_p=100$ мс).

Для увеличения скорости передачи мы рассматриваем трех- и пятиуровневую модуляцию с различными временными сдвигами [3], передачу в одном сообщении ККИ не по одному, как принято в EUROFIX, а сразу по нескольким НКА. С этой же целью мы отказались от предварительного циклического кодирования сообщения, оставив для борьбы с помехами только блочный корректирующий код Рида-Соломона. В ходе ранее проведенных экспериментов исследовалась возможность использования коротких кодов Рида-Соломона, исправляющих от трех до пяти ошибок в сообщении [3,4]. При этом для увеличения помехозащищенности канала было предложено использовать пакетный способ демодуляции символа [4] и несколько большие, чем в EUROFIX, сдвиги радиоимпульсов – $\pm 1,5$ мкс [3].

Полученные к настоящему времени результаты показывают, что приемлемая помехозащищенность канала и скорость передачи не менее 35 бит/с на максимальном периоде повторения навигационных пакетов могут быть получены как при трехуровневой, так и при пятиуровневой модуляции с использованием относительно коротких кодов Рида-Соломона, исправляющих от 3 до 6 ошибок в сообщении. Тем не менее, теоретические и экспериментальные исследования по выбору формата передачи продолжаются и должны быть завершены в 2006 году. Учитывая, что система EUROFIX используется уже не только в странах Западной Европы, представляется целесообраз-

ным обсудить формат передачи ККИ на специальном совещании с участием ведущих специалистов в области радионавигации и связи. Целью такого совещания может стать подготовка новой редакции уже существующих рекомендаций [1] по формату передачи ККИ с помощью наземных станций ИФРНС.

Кроме ИФРНС «Чайка», на территории России также функционирует фазовая радионавигационная система «Альфа», работающая в диапазоне СДВ. Уникальность данной системы состоит в том, что сигналы наземных станций могут приниматься под водой и подо льдом. Особенности распространения СДВ сигналов обеспечивают этой системе практически глобальную рабочую зону. Наземные станции системы «Альфа» в настоящее время также модернизируются. В ближайшее время, благодаря вводу в действие новой аппаратуры синхронизации, система будет переведена в квазидальномерный режим работы, что позволит повысить точность определения координат потребителем до 1–3 км. Кроме того, в настоящее время начались исследования, целью которых является оценка основных характеристик канала передачи информации с использованием передающих станций системы «Альфа». Теоретические исследования показывают, что благодаря большой мощности сигналов, близкая к единице вероятность правильного приема сообщений может

быть обеспечена на удалении в несколько тысяч километров от передающей станции.

Длительные наблюдения за вариациями амплитуды и фазы сигналов ФРНС позволили предположить, что эта система может использоваться для краткосрочного прогноза землетрясений. Учитывая, что решение проблемы предсказания землетрясений представляет значительный интерес для многих стран мира, государства – участники ФЕРНС могли бы выступить с инициативой межгосударственного финансирования научно-исследовательских и экспериментальных работ по организации сети контрольных пунктов для наблюдения за сигналами ФРНС «Альфа», сбора и обработки накапливаемой информации.

В заключение следует отметить, что в рассматриваемой в настоящее время на правительственном уровне концепции создания единого навигационно-временного поля на территории России радионавигационным системам наземного базирования отводится важная роль систем, дублирующих и дополняющих СРНС ГЛОНАСС. В связи с этим ожидается, что наряду с совершенствованием существующей аппаратуры будут развернуты работы по строительству новых цепей и станций с целью создания на территории России непрерывного интегрированного навигационно-временного поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Recommendation ITU-R M.589-3. Technical characteristics of methods of data transmission and interference protection for radionavigation services in the frequency bands between 70 and 130 kHz.
2. NORTHWEST EUROPEAN LORAN-C SYSTEM. Information on EUROFIX. Revision 1.0. 16 Document I-111. 16 January 1998. <http://www.nels.org/>
3. Боровицкий В.Г., Жолнеров В.С., Зарубин С.П. и др. Реализация концепции интеграции наземных радионавигационных систем дальнего действия и спутниковых радионавигационных систем. Материалы Всероссийской конференции «Фундаментальное и прикладное координатно-временное обеспечение» (КВО-2005), Санкт-Петербург, 11-15 апреля 2005г.
4. Басс В.И., Зарубин С.П., Кичигин В.А. и др. Реализация интегрированной информационной навигационной системы с использованием передающих станций ИФРНС «Чайка» и результаты экспериментальных исследований информационного канала ИФРНС// Международная конференция «Интернавигация-2000», Москва, 9-11 октября 2000г.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЪЕДИНЕННЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ «ЧАЙКА»/«ЛОРАН-С»

А.Д. Аргунов, Г.Д. Апрышкин, В.М. Царев

В период с 19 сентября по 2 октября 2005 г. были проведены экспериментальные исследования в объединенных радионавигационных системах «Чайка»/«Лоран-С» (ОРНС) Дальневосточного региона. Целью работы являлись исследование целесообразности и требуемой точности приближения формы сигналов наземных станций РНС «Чайка» и Лоран-С для обеспечения работоспособности серийных приемоиндикаторов этих РНС в Российско-Корейско-Японской (цепь «С») и Российско-Японской (цепь «В») ОРНС; разработка технических предложений по обеспечению работы ОРНС; определение объема работ на российских наземных станциях; определение границы рабочей зоны методом моделирования с различными вариантами формы (параметров) сигналов станций ОРНС.

RESULTS OF TEST TRIALS OF THE JOINT CHAYKA/LORAN-C RADIONAVIGATION SYSTEMS

A.D. Argunov, G.D. Apryshkin, V.M. Tsarev

During the period September 19th-October 2nd, 2005, test trials were conducted on the joint Chayka/Loran-C radionavigation systems. The work was aimed at check of the expediency and required accuracy of bringing closer the signal shape of the Chayka and the Loran-C signals to support the operation of mass-produced Chayka and Loran-C receivers in the Russian-Korean-Japanese and Russian-Japanese joint Chayka/Loran-C RNS; elaboration of technical proposals to support the operation of the joint RNS; definition of the scope of works at the RF terrestrial stations to support operation of the joint RNS; determination of the coverage limits via simulation with various signal shapes (parameters) of the joint RNS stations.

В период с 19 сентября по 2 октября 2005 г. были проведены экспериментальные исследования в объединенных радионавигационных системах «Чайка»/«Лоран-С» (ОРНС) Дальневосточного региона.

Целью работы являлись:

- исследование целесообразности и требуемой точности приближения формы сигналов наземных станций РНС «Чайка» к форме сигналов РНС «Лоран-С» и формы сигналов РНС Лоран-С к форме сигналов РНС «Чайка» для обеспечения работоспособности серийных приемоиндикаторов РНС «Чайка» и «Лоран-С» в Российско-Корейско-Японской (цепь «С») и Российско-Японской (цепь «В») ОРНС;

- разработка технических предложений по обеспечению работы ОРНС;

- определение объема работ на российских наземных станциях для обеспечения работы ОРНС;

- определение границы рабочей зоны методом моделирования с различными вариантами формы (параметров) сигналов станций ОРНС;

- экспериментальное определение границы рабочей зоны цепи «С» в северном направлении.

Предварительно на станции Александровск-Сахалинский был установлен новый комплекс аппаратуры управления и синхронизации КАУС.

На контрольном пункте (КП) № 1 г. Хабаровска (на базе ВНИИФТИ «Дальстандарт») был установлен комплекс аппаратуры потребителей, который состоит из дальномерного приемоиндикатора ПР-1А, аппаратуры потребителей РНС «Лоран-С» Commander (производства США) и разработанного программно-математического обеспечения.

На КП № 2 (на базе ПККУ РСДН г. Хабаровска) размещались:

- самолетный приемоиндикатор РНС «Чайка» А-720;

- комплекс контрольно-измерительной ап-

паратуры «Комплекс-5» на базе самолетной аппаратуры РНС «Чайка» и «Альфа» А-723.

На мобильном контрольном пункте, который следовал по маршруту Хабаровск – Бикин – Дальнереченск – Лесозаводск – Спасск-Дальний – Уссурийск – станция Уссурийск, использовалась аппаратура:

- ПИ «Балтика» и аппаратура потребителей РНС «Лоран-С» Commander;
- аппаратура потребителей GPS типа Magellan (США) для определения эталонных координат.

В период с 19 по 25 сентября станции Александровск-Сахалинский, Петропавловск-Камчатский и Уссурийск работали в штатном режиме на GRI 7950, а станция Уссурийск малой мощности «Мини-Чайка» – на GRI 9930 в режиме «Лоран-С».

В период с 26 сентября по 2 октября станции Александровск-Сахалинский и Петропавловск-Камчатский работали на GRI 7950 в режиме «Лоран-С». Станция Уссурийск работала на GRI 9930. Станция Уссурийск малой мощности «Мини-Чайка» работала на GRI 7950 в режиме «Лоран-С».

Весьма важно было проверить работу цепи «В» при работе станции Токатибуто в период с 19 по 25 сентября 2005 г.

Исходя из необходимости обеспечения работы аппаратуры потребителей РНС «Лоран-С» и РНС «Чайка» в ОРНС был проведен анализ параметров сигналов этих систем.

Передний фронт стандартного радиоимпульса радионавигационной системы «Лоран-С» (рис. 1) должен соответствовать требованиям [1].

$$I(t) = A(t-\tau)^2 \exp(-2(t-\tau)/65) \sin(0,2\pi t + \text{PC}), \quad (1)$$

если $\tau < t < 65 + \tau$,

где A – нормализованная константа, соответствующая величине амплитуды тока антенны в амперах;

t – время в микросекундах;

τ – отличие фазы от огибающей (ECD);

PC – параметр фазовой кодировки в радианах, который принимает значение «0» для положительной фазы и π – для отрицательной.

На наземных станциях РНС «Чайка» форма излучаемых радиоимпульсов контролируется по напряжению, снимаемому с вторичной обмотки трансформатора тока, включенного в цепь передающей антенны. Это напряжение пропорционально производной от тока в антенне. Ожидаемая форма радиоимпульсов российских станций, обеспечивающая работоспособность серийных приемоиндикаторов РНС «Лоран-С» и «Чайка», аппроксимируется формулой (2)

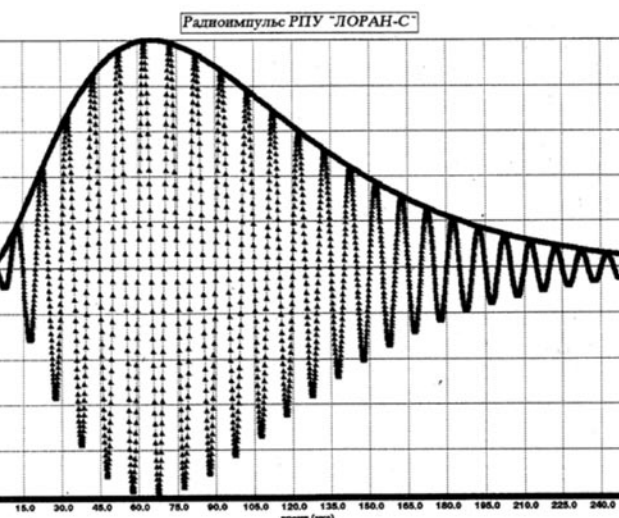


Рис. 1

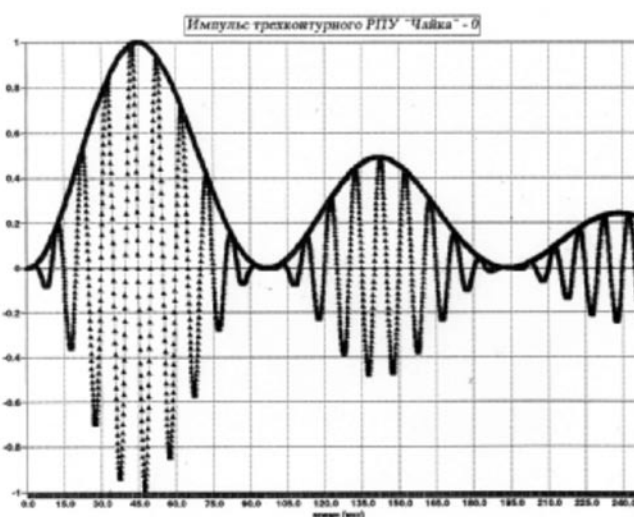
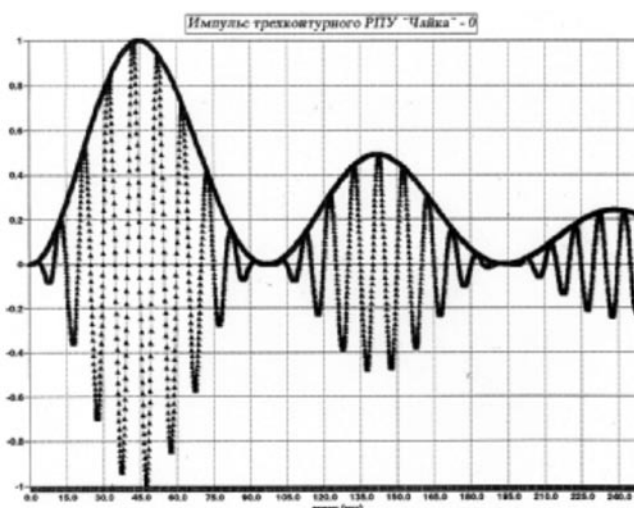


Рис. 2

$$E(t) = u(t - \tau_A) \sin \varphi(t); \quad (2)$$

где $u(t) = B \exp(-\alpha t) \sin^2 \beta t$;

$B = [1 + (-\alpha/2\beta)^2] \exp(-\alpha/\beta \arctg 2\beta/\alpha)$;

$\varphi(t) = 0,2\pi(t - \tau_H) - \arctg(\alpha \beta (t - \tau_H))$;

$$\alpha = 9,5295 \cdot 10^{-3} \text{ мкс}^{-1}; \beta = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ мкс}^{-1};$$

$$\tau_A = 9,8 \text{ мкс}; \tau_H = 2,5 \text{ мкс}; q = 0,062.$$

Опыт работы в Российско-Американской РНС «Чайка»/«Лоран-С» показал, что при инвертировании сигнала российских станций (рис. 2) формы сигналов обеих систем максимально приближены по первым восьми полуволнам на переднем фронте и обеспечивают работу аппаратуры потребителей.

Было бы весьма важно проверить работу аппаратуры потребителей РНС «Лоран-С» при работе российских станций в штатном режиме и станции Токатибуто с инвертированным сигналом этой станции. Неоспорим тот факт, что параметры сигналов российских станций имеют определенное преимущество, которым полезно было бы воспользоваться. Передний фронт сигналов российских станций значительно круче. Поэтому границы рабочей области расширятся за счет меньшего влияния отраженного сигнала на поверхностный. Кроме того, аппаратура потребителей будет работать устойчивей, поскольку все станции будут излучать сигнал с почти одинаковыми параметрами. Наша работа с морской аппаратурой потребителей типа Commander (США) и ранее с самолетной аппаратурой «Апполо-618» (США) это подтверждает. Мы не получили от японской стороны согласия на этот эксперимент, но надеемся все же продолжить исследования совместно в будущем году. Ведь проблем с инвертированием сигнала на станции Токатибуто нет. Этот вопрос обсуждался на 14-м заседании Совета ФЕРНС, однако решение еще не принято.

Была произведена оценка задержки излучения станции Токатибуто относительно станции Александровск-Сахалинский. Отсчеты радионавигационного параметра (РНП) на АУС станции Александровск-Сахалинский (τ_Σ) соответствуют (3)

$$\tau_\Sigma = \tau_{\text{кy}} + 2\tau_{\text{мy}}, \quad (3)$$

где $\tau_{\text{кy}}$ – кодовая задержка станции Токатибуто;

$2\tau_{\text{мy}}$ – базовая задержка (время распространения сигнала станции Александровск-Сахалинский до станции Токатибуто и обратно. Следовательно, измеренное значение задержки излучения станции Токатибуто (τ_y) относительно станции Александровск-Сахалинский будет соответствовать (4)

$$\tau_y = (\tau_\Sigma + \tau_{\text{кy}})/2; \quad (4)$$

по результатам измерений задержка составила $(52202,6 + 46000)/2 = 49101,3$ мкс.

Фактическая задержка излучения станции Токатибуто (τ_{yh}), измеренная на КП № 1 г. Хабаровска с учетом условий распространения радиоволн должна соответствовать (5)

$$T_{\text{yh}} = T_y - (r_y - r_m)/u, \quad (5)$$

где T_y – РНП, измеренный на КП г. Хабаровска

по станции Токатибуто;

r_y – расстояние от точки измерения в г. Хабаровске до станции Токатибуто;

r_m – расстояние от точки измерения в г. Хабаровске до станции Александровск-Сахалинский;

u – скорость распространения радиоволн, принятая для цепи «В» (299530 км/с).

По результатам измерений она составила $50146,02 - 1040,82 = 49105$ мкс. Точностные характеристики цепи «В» по станции Токатибуто в точках измерений оценивались с учетом фактической задержки.

В результате исследований получены следующие результаты.

1. Российские наземные станции соответствуют ТУ по параметрам сигналов, калиброваны и пригодны к использованию в составе ОРНС. На российских станциях калибровка осуществлялась с использованием единых приемо-передающих антенн (ЕППА). В цепи «В» – на ведущей станции Александровск-Сахалинский, а также по результатам измерений на вынесенной точке с известными координатами.

2. Мощность излучения российской станции Усурийск – 700 кВт в импульсе. Станция Усурийск малой мощности (мобильной системы РСДН-10) излучала 18 кВт в импульсе при работе в составе цепей «В» и «С». Показано, что в случае выхода из строя станции Усурийск возможно использование станции Усурийск мобильной системы РСДН-10, развернутой вблизи стационарной станции, на всей территории Приморского края.

3. Необходима модернизация аппаратуры наземных станций. Каждая наземная станция должна быть укомплектована также контрольно-корректирующими станциями (СККР) для передачи дифференциальных поправок к спутниковым навигационным системам (СНС).

4. Аппаратура контроля КП № 1 и КП № 2 г. Хабаровска, а также аппаратура мобильного контрольного пункта работоспособна и пригодна для контроля режима работы ОРНС.

В процессе проведения экспериментальных исследований получены следующие результаты:

– аппаратура потребителей российского и зарубежного производства пригодна для использования по сигналам станций цепей «В» и «С» при работе российских станций как в штатном режиме, так и в формате «Лоран-С». При этом отсчет РНП по станции Токатибуто соответствует расчетному значению в обоих режимах работы российских станций;

– дальность действия цепи «В» определяется дальностью действия ведущей станции Александровск, которая составила по результатам измерений

в Приморском крае около 1000 км. При этом дальность от станции Петропавловск составила около 1900 км.

5. Уменьшение дальности действия обусловлено низкой проводимостью подстилающей поверхности по трассе распространения радиоволн через хребет Сихотэ-Алинь, а также уменьшением мощности излучения станции Александровск с 700 кВт до 420 кВт в импульсе. В летних условиях дальность действия может возрасти:

- дальность действия цепи «С» в северном направлении составила 1200 км от станции Поханг при работе станции Уссурийск малой мощности (РСДН-10) и 1340 км при работе станции Уссурийск большой мощности. При этом дальность действия от станции Нии-Джима и Гесаси, по которым аппаратура потребителей нормально работала, составила соответственно 1420-1500 км для станции Нии-Джима и 2290 – 2990 км для станции Гесаси;

- при работе аппаратуры потребителей по сигналам российских станций в штатном режиме и в формате «Лоран-С» при измерении РНП в одних и тех же контрольных точках существенных изменений не наблюдалось. Имели место периодические сбои на период высокочастотного заполнения радиоимпульсов как в аппаратуре российского, так и американского производства;

- точностные характеристики ОРНС соответствуют заданным, а при учете фактической задержки излучения ведомых станций в точке измерения улучшаются на 20 – 30 %.

6. Для надежного контроля за работой цепей «В» и «С» необходимо КП № 1 и КП № 2 оснастить аппаратурой потребителей, позволяющей работать в дальномерном режиме, а также аппаратурой потребителей интегрированных навигационных систем.

Необходимо решить вопрос по совершенствованию оперативной связи и управления:

- организовать связь по электронной почте;
- установить прямую телефонную связь с наземными станциями.

7. Необходимо решить вопрос периодического облета и оплаывания ОРНС. Необходимо также разработать и оснастить ПКиУ РСДН (г. Хабаровск) мобильным комплексом аппаратуры контроля.

8. В процессе исследований проверена возможность передачи и приема служебной информации по навигационному каналу с использованием девятого импульса пачки сигнала, излучаемого ведущей станцией. Телеграмма с ведущей станции Александровск-Сахалинский была принята на ведомой станции Уссурийск без искажений.

Целесообразно после установки аппаратуры КАУС на все российские станции связь между станциями осуществлять шестью импульсами пачки, как это предусмотрено при передаче дифференциальных поправок к СНС.

9. Поскольку синхронизация станции Уссурийск по ведущей станции Александровск затруднена, особенно в ночное время суток по причине большого расстояния по этой базовой линии (более 1100 км) и плохой проводимости подстилающей поверхности по трассе через хребет Сихотэ-Алинь, целесообразно предусмотреть для этой цели синхронизацию с использованием метеорного канала связи или с использованием шкалы времени ГЛОНАСС.

10. Исследования целесообразно продолжить с целью проверки работы цепи «В» после инвертирования сигнала станции Токатибуто с использованием аппаратуры потребителей ИФРНС и интегрированных с СНС систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Specification of the Transmitted Loran-C Signal. United Stated Coast Guard, 1994 г.
2. Материалы к созданию РАЦ «Чайка»/«Лоран-с», 1989 г.
3. Программа и методика проведения научно-исследовательской экспериментальной работы «Исследование путей создания и определение технических характеристик объединенных радионавигационных систем «Чайка»/«Лоран-С» в Дальневосточном регионе». Шифр НИЭР «Сотрудничество-Восток-2005». НТЦ «Интернавигация», РИРВ, 2005 г.
4. Отчет по НИЭР «Исследование путей создания и определение технических характеристик объединенных радионавигационных систем «Чайка»/«Лоран-С» в Дальневосточном регионе». Шифр НИЭР «Сотрудничество-Восток-2005» в части проведения экспериментальных работ. НТЦ «Интернавигация», ВНИИФТИ «Дальстандарт», 2005 г.

О ЗАСЕДАНИИ МЕЖГОСУДАРСТВЕННОГО СОВЕТА «РАДИОНАВИГАЦИЯ»

RADIONAVIGATION INTERSTATE COUNCIL SESSION

15 декабря 2005 года в помещении ФГУП НТЦ «Интернавигация» состоялось очередное заседание Межгосударственного совета (МГС) «Радионавигация». Присутствовали полномочные представители Республики Беларусь, Республики Казахстан, Кыргызской республики, Российской Федерации, Республики Таджикистан и Украины, а также члены научно-технического совета МГС «Радионавигация» и приглашенные лица.

В соответствии с утвержденной повесткой дня были рассмотрены следующие вопросы, по которым приняты соответствующие решения:

1. О рассмотрении на Экономическом совете СНГ деятельности Межгосударственного совета «Радионавигация»

(Демьяненко А.В.)

Заслушав информацию о рассмотрении на заседании Экономического совета СНГ в мае этого года вопроса «О деятельности Межгосударственного совета «Радионавигация» по реализации Межгосударственной радионавигационной программы государств-участников СНГ, Совет решил:

1.1. Принять к сведению, что Экономический совет СНГ:

- одобрил деятельность Межгосударственного совета «Радионавигация»;
- продлил срок действия Межгосударственной радионавигационной программы 2001 – 2005 гг. на один год;
- обратился с просьбой к правительствам государств – участников программы – обеспечить финансирование указанной программы в 2006 г. исходя из утвержденных объемов финансирования на 2005 г.;

– поручил Межгосударственному совету «Радионавигация» разработать проект Межгосударственной радионавигационной программы на 2007 – 2010 гг. и внести его на рассмотрение Совета глав правительств СНГ в установленном порядке.

1.2. В своей дальнейшей деятельности Межгосударственному совету «Радионавигация» руководствоваться решением Экономического совета СНГ от 23 мая 2005 г.

2. О ходе выполнения работ по Межгосударственной радионавигационной программе в 2005 г.

(Царев В.М., Демьяненко А.В.)

2.1. Совет принял к сведению, что в 2005 г. в соответствии с утвержденным планом мероприятий выполнялись следующие работы:

- НИР «Прогноз-СНГ» «Исследование принципов создания службы обнаружения краткосрочных предвестников землетрясений на территории СНГ на основе мониторинга электромагнитных полей радионавигационных систем дальнего действия

с наземным и космическим базированием».

Работа завершена, утвержден отчет;

– НИР «Координата СНГ-2» «Разработка 2-ой редакции Межгосударственного стандарта: «Аппаратура радионавигационная глобальной навигационной спутниковой системы и глобальной системы позиционирования. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек».

Работа будет завершена в I кв. 2006 г.;

– ОКР «Информатизации-СНГ» «Создание на базе ФГУП НТЦ «Интернавигация» системы информационного обмена Межгосударственного совета «Радионавигация» (этап эскизно-технического проекта)».

Определен состав системы, откорректировано общее ТЗ на систему и разработаны ТЗ соисполнителям в части создания комплекса информационно-аналитического обеспечения, создания общей базы данных, создания тендерного портала др. Производится закупка и установка оборудования Межгосударственного научно-информационного центра.

Работа будет продолжаться в 2006 г.

2.2. Совет отмечает, что попрежнему не все государства СНГ осуществляют финансирование работ по Межгосударственной радионавигационной программе. В 2005 г. доленое финансирование работ осуществляли только Республика Казахстан, Российская Федерация и Республика Узбекистан. Отсутствие необходимого финансирования не позволило выполнить все работы, включенные в план 2005 г.

2.3. Совет отмечает большую важность работ по координации радионавигационного обеспечения в государствах СНГ, проводимых Межгосударственным советом «Радионавигация», и вновь подтверждает необходимость сохранения указанного межотраслевого органа Содружества.

3. О ходе разработки Межгосударственной радионавигационной программы на 2007 – 2010 гг.

(Лукиянюк Ю.В., Царев В.М., Демьяненко А.В., Кобелев Г.П., Петров А.Г., Петрашевский О.Л.)

Совет отмечает, что:

3.1. Необходимость разработки Межгосударственной радионавигационной программы подтверждена Экономическим советом СНГ, который в решении от 23.05.05 г. поручил Межгосударственному совету «Радионавигация» разработать проект указанной программы на 2007 – 2010 гг. и внести его на рассмотрение Совета глав правительств СНГ в установленном порядке.

3.2. Несмотря на решение Экономического совета СНГ, некоторые государства СНГ не решили вопрос ее финансирования в 2006 г. (Российская Федерация, Республика Казахстан).

3.3. От ряда организаций государств СНГ не получены заключения на направленный им проект

Межгосударственной радионавигационной программы на 2007 – 2010 гг.

3.4. В соответствии с решением о разработке Межгосударственных целевых программ, утвержденным Советом глав государств СНГ, в каждом государстве должны быть определены национальные заказчики программы, которые должны координировать работы по Программе, включая вопросы по их финансированию. Ни одно из государств до настоящего времени не определило своих национальных заказчиков, что препятствует дальнейшему согласованию программы.

Совет решил:

3.5. Одобрить в основном проект Межгосударственной радионавигационной программы на 2007 – 2010 гг. и после внесения в него изменений с учетом дополнительно полученных предложений от членов Совета и государств организаций направить его в Исполнительный комитет СНГ для согласования с государствами Содружества в установленном порядке.

3.6. Считать целесообразным обратиться к Председателю Экономического совета СНГ с просьбой оказать содействие в решении вопроса о финансировании работ в 2006 г. по Межгосударственной радионавигационной программе на 2001 – 2005 гг.

4. О планировании мероприятий, проводимых Межгосударственным советом «Радионавигация» в 2006 г.

(Демьяненко А.В., Царев В.М.)

4.1. Включить в план мероприятий, проводимых Советом в 2006 г.:

- завершение НИР «Координата СНГ-2»;
- продолжение работ по ОКР «Информатизация-СНГ»;
- продолжение работ по проекту Межгосударственной радионавигационной программе СНГ на 2007 – 2010 гг.» («План СНГ»).

4.2. Окончательный план мероприятий МГС «Радионавигация» рассмотреть и утвердить на заседании Совета в апреле 2006 г.

5. О результатах выполнения работ по совершенствованию нормативно-технической базы по использованию радионавигационных систем на автомобильном транспорте РФ

(Богумил В.Н.)

5.1. Принять к сведению информацию по указанному вопросу и одобрить работу НПП «Транснавигация» по совершенствованию нормативно-технической базы по использованию радионавигационных систем на автомобильном транспорте России.

5.2. Считать целесообразным проинформировать заинтересованные организации государств СНГ о результатах работ, выполненных НПП «Транснавигация».

6. О 14-м заседании Совета Дальневосточной радионавигационной службы (ФЕРНС)

(Царев В.М.)

6.1. Принять к сведению информацию о результатах работы 14-го заседания Совета Дальневосточной радионавигационной службы (ФЕРНС), состоявшегося в октябре 2005 г. в Республике Корея.

7. О дате проведения очередного заседания Совета
(Демьяненко А.В.)

Очередное заседание Межгосударственного

совета «Радионавигация» провести в апреле 2006 г.

14 декабря 2005 г., накануне заседания МГС, в Московском автомобильно-дорожном институте (государственном техническом университете) (МАДИ) состоялось заседание НТС Межгосударственного Совета «Радионавигация» со следующей повесткой дня:

1. Приветственное слово проректора МАДИ (ГТУ) Сильянова В.В.

2. Поздравление МАДИ с 75-летием (Царев В.М. – зам. председателя МГС).

3. О рассмотрении на Экономическом совете СНГ деятельности Межгосударственного совета «Радионавигация» (Демьяненко А.В. – председатель МГС).

4. О ходе выполнения работ по Межгосударственной радионавигационной программе в 2005 году.

4.1. НИР «Прогноз – СНГ».

4.2. ОКР «Информатизация – СНГ»

(Царев В.М. – заместитель председателя МГС).

4.3. Основные направления деятельности Многофункционального навигационно-информационного центра РНИИ КП в рамках Межгосударственной научно-информационной системы (МНИС) «Радионавигация» государств – участников СНГ
(Гвоздев В.В. – РНИИ КП).

4.4. Основные направления деятельности Информационно-аналитического центра координатно-временного обеспечения ЦУП-М ЦНИИМАШ в рамках МНИС «Радионавигация» государств – участников СНГ
(Казновский Н.И. – ЦУП-М ЦНИИМАШ).

5. О ходе разработки проекта Межгосударственной радионавигационной программы на период на 2007 – 2010 годы. (Лукьянюк Ю.В. – руководитель секретариата МГС).

6. О семинаре «Создание и использование в СНГ функциональных дополнений спутниковых навигационных систем» (Царев В.М. – заместитель председателя МГС).

7. Основные направления гармонизации навигационно – временных технологий на территории государств – участников СНГ в рамках Межгосударственной радионавигационной программы на 2007 – 2010 годы (Аверин С.В. – РНИИ КП).

8. О состоянии внедрения современных радионавигационных систем в различных технологиях управления перевозочными и другими процессами на автомобильном транспорте (Власов В.М. – Ассоциация транспортной телематики).

9. О перспективах развития системы EGNOS (Галицкий С.С. – представитель ЕКА в России).

10. Проект по применениям ГНСС в рамках государственной программы развития космической индустрии Республики Казахстан (Байджанов Б.С. – ЦФМИ).

11. Интегрированная навигационная аппаратура, работающая по сигналам ГЛОНАСС/GPS/Лоран-С/Чайка/СВ радиомаяков (Жолнеров В.С. – РИРВ).

12. Заключительное слово председателя Совета Демьяненко А.В.

ЗАСЕДАНИЕ СЕКЦИИ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА РОИН

27 сентября 2005 г. в помещении ГосНИИ «Аэронавигация», г. Москва, Волоколамское шоссе, 26, под руководством вице-президента Российского общественного института навигации (РОИН) по воздушному транспорту профессора Белгородского С.Л. состоялось заседание Секции воздушного транспорта института

При этом были заслушаны:

1. Доклад Теймуразова Р.А., Кофмана В.Д. (МАК), Полтавца В.А. (ЛИИ им. М.М. Громова) «Сравнение уровней безопасности полетов отечественных и зарубежных самолетов».

2. Доклад Лукьяненко Н.В. (КБ «НАВИС» – ГП «ОРИЗОН-Навигация»), Жегалова Е.Н. (НИИ АО) «Спутниковые технологии в перспективных навигационных системах».

Доклад по 1-му вопросу посвящен сравнительному анализу аварийности гражданских воздушных судов советского производства с зарубежными аналогами.

По статистическим материалам эксплуатации проведена сравнительная оценка уровня безопасности полетов основных типов советских реактивных и турбовинтовых самолетов с аналогичными западными. Для проведения такой оценки выбраны самолеты, эксплуатируемые в гражданской авиации более 30 лет, т.е. самолеты одного поколения и однотипные по пассажироместимости и дальности полета.

В качестве показателя выбрано количество катастроф на 100 000 часов налета.

Анализ статистических материалов показал, что заметное ухудшение безопасности полетов в странах СНГ наблюдалось в период перехода к рыночным отношениям в сфере авиационных перевозок 1992...1998 гг. Этот период сопровождался беспрецедентными преобразованиями во всех сферах социальной и экономической деятельности, в том числе и инфраструктуре гражданской авиации.

Характерной особенностью деятельности гражданской авиации в странах СНГ в этот период являлось резкое сокращение объемов работ. Прежде всего сократились перевозки пассажиров и грузов между населенными пунктами регионального значения, резко и значительно уменьшились объемы авиационных работ в народном хозяйстве. Объемы авиационных работ воздушными судами в рассматриваемый период непрерывно снижались во всех странах СНГ. Они уменьшились в 4,5 раза, и только начиная с 2000 г. появилась тенденция роста объемов перевозок и работ.

Характерной особенностью авиационных перевозок является то, что уровень безопасности полетов самолетами взлетной массой более 10 т (само-

леты 1...3 классов) в сфере нерегулярных пассажирских и грузовых перевозок значительно хуже, чем при регулярных перевозках.

При увеличении аварийности в гражданской авиации в целом за период преобразований в области авиационных перевозок стран СНГ уровень безопасности полетов при регулярных пассажирских рейсах практически не изменился. Он соответствует среднему мировому уровню, но хуже, чем в США.

По результатам анализа показано, что у большинства типов самолетов отечественного производства показатели уровня безопасности полетов не хуже, чем у западных аналогов.

Анализ причин авиационных происшествий, связанных с отказами систем самолетов отечественного производства и аналогичных самолетов западного производства, показал, что у этих типов самолетов проявлялись одни и те же недостатки техники.

Это свидетельствует об одинаковом уровне технического совершенства этих самолетов. Подавляющее большинство авиационных происшествий по техническим причинам обусловлено отказами двух функциональных систем – шасси (невывод одной стойки шасси и складывание стойки шасси при движении по земле) и силовой установки (не локализованное разрушение двигателя).

Совершенствование авиационной техники, методов и средств подготовки летного и наземного персонала, обеспечения и выполнения полетов в СССР и передовых западных странах шло одинаковыми темпами с учетом накопленного мирового опыта авиационной эксплуатации воздушных судов. Поэтому средние значения показателей безопасности отечественных реактивных и турбовинтовых самолетов в составе авиационно-транспортной системы были и остаются не хуже аналогичных по классу западных самолетов.

Вместе с тем, в ходе обсуждения было указано, что сравнительная оценка уровня безопасности полетов только по числу катастроф на 100000 часов налета хотя и является важной оценкой, однако имеет односторонний характер. Поэтому авторам доклада, который в целом получил положительную оценку, рекомендовано использовать и другие критерии.

В докладе по 2-му вопросу освещен подход КБ «Навис» к разработке приемников сигналов глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) для авиационной навигационной аппаратуры потребителей (НАП).

Предпосылкой для использования навигационных сигналов ГНСС на транспорте являются принятые в начале 90-х годов правительственные решения стран-владельцев об использовании ГЛОНАСС и GPS в интересах гражданских потребителей. Эво-

люцию взглядов на роль ГНСС можно охарактеризовать как «от эйфории до реализма». От прогнозируемой замены всех существующих систем на ГНСС (1996 г. — ГНСС-приемник как единственное средство навигации) до разумного компромисса и комбинирования различных средств навигации (после 1999 г. — ГНСС-приемник как основное средство навигации при наличии резервных систем).

Существенную роль в этом сыграло понимание уязвимости ГНСС, как радиотехнической системы с очень низким уровнем сигнала. В ряде исследований, проведенных в конце 90-х — начале 2000-х годов, констатировался факт уязвимости ГНСС при воздействии преднамеренных и непреднамеренных помех.

С учетом вышеизложенного сформулированы требования к авиационной НАП ГНСС:

- использование сигналов спутниковых навигационных систем в радиодиапазонах, отведенных для аэронавигационных систем ГНСС;
- работа с использованием SBAS и GBAS;
- максимальная помехозащищенность;
- контроль целостности навигационных данных — встроенный алгоритм RAIM FDE;
- использование информации от внешних навигационных систем и датчиков — обеспечение АAIM;
- обеспечение требуемой для навигации точности.

Использование новых навигационных сигналов является наиболее эффективным по критерию эффективность/стоимость с точки зрения улучшения характеристик приемников ГНСС авиационной НАП.

В своей работе КБ «Навис» исходит из необходимости максимально эффективного использования в приемнике НАП ГНСС всех доступных навигационных сигналов. Начиная с 1993 г., все разработки КБ базируются на комбинированном GPS/ГЛОНАСС приемнике. В настоящее время ведется разработка приемника нового поколения с использованием новых навигационных сигналов с учетом планируемого графика их развертывания.

Особое внимание уделяется улучшению характеристик НАП при работе по сигналам отечественной СНС ГЛОНАСС. На сегодняшний день накоплен значительный опыт в разработке комбинированных приемников GPS/ГЛОНАСС, что обеспечило эффективное использование авиационной НАП сигналов ГЛОНАСС наряду с GPS.

Такие разработки КБ, как СН-3301 и БПСН-2, проведены в полном соответствии с КТ-34, TSO-129 и SARPS и могут удовлетворить текущие и перспективные требования гражданской авиации.

В перспективных приемниках НАП ГНСС должно предусматриваться использование новых навигационных сигналов СНС ГЛОНАСС, GPS, Галилео, что существенно расширит их возможности.

Тем не менее, ответы на вопросы по теме доклада и последующее обсуждение показало, что к настоящему времени в серийном выпуске нет ни одного приемника, в полной степени отвечающего современным требованиям. Общую озабоченность вызвало отсутствие в современных приемниках возможности приема дифференциальных поправок.

По мнению главного конструктора КБ «Компас» И.Е. Кинкулькина, разделяемого рядом участников заседания, НАП ГНСС, созданная в настоящее время, устареет к тому времени, когда она понадобится для самолета МС-1, для которого она предназначалась. Время создания НАП составляет примерно 1,5 года.

Заслуживает внимания проблема RAIM в НАП, которая будет эксплуатироваться в 2010 — 2012 гг., когда орбитальные группировки GPS, ГЛОНАСС, Галилео будут содержать свыше 70 спутников. В этих условиях кардинально изменяются подходы к функции RAIM.

Больше внимания должно быть уделено вопросам мониторинга состояния орбитальных группировок и радионавигационных полей ГНСС.

Участники заседания высказали пожелание провести специальное заседание секции СВТ РОИН по вопросам подготовки редакции интерфейсного контрольного документа ГЛОНАСС с учетом новых гражданских сигналов, а также ознакомиться с решениями октябрьского совещания группы экспертов ИКАО по NSP.

В результате проведенного рассмотрения представленных докладов заседание рекомендует:

По первому вопросу:

1.1. Принять информацию, содержащуюся в докладе, к сведению.

1.2. Считать необходимым широкое распространение результатов исследований, подтверждающих тот факт, что у большинства типов самолетов отечественного производства показатели уровня безопасности полетов не хуже, чем у западных аналогов.

По второму вопросу:

2.1. Принять информацию, содержащуюся в докладе, к сведению.

2.2. Рекомендовать Роскосмосу, Роспрому и Минтрансу России принять меры по более целенаправленной разработке НАП, исключая параллелизм в работах и распыление средств на ее разработку.

2.3. Провести на одном из ближайших заседаний СВТ РОИН обсуждение редакции интерфейсного контрольного документа ГЛОНАСС с учетом новых гражданских сигналов.

2.4. Просить эксперта от России в группе экспертов ИКАО по NSP В.А. Корчагина сделать сообщение по существующим и перспективным требованиям к НАП, которые должны быть учтены в разработках 2007 — 2010 гг.

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ И ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ю.А. Соловьев, В.М. Царев

В статье исследуются возможности совместного использования спутниковых и импульсно-фазовых радионавигационных систем в интересах повышения точности местопределения подвижного объекта при отказах спутниковой аппаратуры. Повышение точности обеспечивается калибровкой импульсно-фазового канала при использовании прецизионных спутниковых измерений на этапе работоспособности спутникового канала.

COMBINED USE OF SATELLITE AND PULSE-PHASE RADIONAVIGATION SYSTEMS

Yu.A. Soloviev, V.M. Tsarev

The paper investigates possible joint using of satellite and pulse-phase radionavigation systems in the interests of position accuracy improvement for mobile objects in failures of satellite equipment. The accuracy improvement is assured by pulse-phase channel calibration using precise satellite measurements taken during the satellite channel functioning.

В последнее время импульсно-фазовые радионавигационные системы (ИФРНС) типа «Чайка»/«Лоран-С» рассматриваются при использовании спутниковых радионавигационных систем (СРНС) ГЛОНАСС и GPS в качестве одного из важнейших резервных корректирующих средств, способных обеспечить сравнительно высокие точности определения координат и выполнение соответствующих требований при решении многих задач таких подвижных объектов (ПО), как воздушные и морские суда [1 – 6].

Совершенствование бортовой и наземной аппаратуры ИФРНС привело к существенному уменьшению инструментальных и других случайных погрешностей этих систем, так что точность измерения радионавигационных параметров (РНП) или временных задержек τ между моментами прихода сигналов ведущей и ведомой станций ИФРНС в основном определяется уровнем квазисистематических ошибок РНП, обусловленных особенностями распространения радиоволн. Поэтому для повышения точности определения координат в зоне радиусом до 1500...2000 км вокруг передатчиков

ИФРНС стремились в первую очередь учесть влияние подстилающей поверхности (ее проводимости). Для учета влияния подстилающей поверхности на вариации τ разработаны как аналитические, так и полуэмпирические методы [4, 7], не отличающиеся, однако, достаточной точностью.

Ряд методов опирался на многочисленные наземные наблюдения и измерения радионавигационных параметров (РНП) в геодезически точно привязанных точках рабочей зоны ИФРНС, обработку результатов наблюдений, оценку изменчивости РНП в пространстве и во времени (межсезонные, внутрисезонные и суточные вариации РНП). В результате оказывалось возможным рассчитать для различных районов рабочей зоны независимые от времени константы на условия распространения радиоволн (КУРР), которыми можно пользоваться для коррекции измеряемых РНП при определении места с помощью ИФРНС.

Такие методы имеют недостатки, связанные с учетом временной изменчивости РНП, например, обусловленной влиянием погодных условий [8], а также с необходимостью проведения большо-

го количества наблюдений в рабочих зонах систем.

Положение изменилось после размещения на борту ПО такого прецизионного навигационного средства, как приемник СРНС. При этом стало возможным, помимо использования информации ИФРНС при контроле целостности СРНС на этапе работоспособности спутниковых систем, одновременно в процессе движения вычислять КУРР и затем использовать уточненные с помощью КУРР данные ИФРНС для коррекции измерений автономных средств в случае отказа СРНС, например, вследствие воздействия помех или других причин.

В работе ставится задача рассмотреть возможные модели квазисистематических ошибок РНП ИФРНС, алгоритмы их оценок при использовании высокоточных измерений СРНС, а также дать предварительные оценки точности использования ИФРНС при отказе спутникового канала.

Рассмотрим возможные пути определения КУРР в процессе движения ПО. Будем считать, что для этого используются разности между измеренными и вычисленными значениями РНП $\Delta\tau_{mik}$:

$$\Delta\tau_{mik} = \tau_{mik} - \tau_{cik}, \quad (1)$$

где τ_{mik} и τ_{cik} – соответственно измеренные (индекс “m”) и вычисленные (индекс “с”) значения РНП (временных задержек) от i-й пары станций в момент времени t_k , $k=1, 2, \dots, N$; $i=1, 2, 3, \dots, P$ – номер ведомой станции (пары станций). Вычисленные значения τ_{cik} получаются на основе точных определений с помощью СРНС координат ПО в процессе движения, знания координат наземных станций, а также расчетной модели определения РНП, включая расчетную скорость распространения радиоволн.

Для описания КУРР (Δ_{ik}) на сравнительно коротких участках маршрута могут использоваться различные простые модели типа:

$$\Delta_{ik} = \alpha_i, \quad (2)$$

$$\Delta_{ik} = \alpha_i + \beta_i (D_{Mk} - D_{ik}), \quad (3)$$

$$\Delta_{ik} = \alpha_i + \beta_M D_{Mk} - \beta_i D_{ik}, \quad (4)$$

где D_{Mk} и D_{ik} – расстояния от ведущей (М) и i-й ведомой станций до точки наблюдения (ПО) соответственно. При этом считается, что

$$\Delta\tau_{mik} = \Delta_{ik} + v_{ik}, \quad (5)$$

где v_{ik} – суммарная ошибка, включающая шумовые и инструментальные погрешности измерения РНП, а также ошибки вычислений.

В соответствии с положениями общей стохастической теории оценивания [9] запишем вектор измерений y_k в моменты времени t_k :

$$y_k = H_{jk} x + v_k, \quad (6)$$

где $y_k = [\Delta\tau_{m1k} \ \Delta\tau_{m2k} \ \dots \ \Delta\tau_{mPk}]^T$, x – вектор оцениваемых параметров модели, который имеет вид:

$$x = [\alpha_1 \ \alpha_2 \ \dots \ \alpha_p]^T \text{ – для первой модели,}$$

$$x = [\alpha_1 \ \alpha_2 \ \dots \ \alpha_p \ \beta_1 \ \beta_2 \ \dots \ \beta_p]^T \text{ – для второй модели,}$$

$$x = [\alpha_1 \ \alpha_2 \ \dots \ \alpha_p \ \beta_M \ \beta_1 \ \beta_2 \ \dots \ \beta_p]^T \text{ – для третьей модели.}$$

Соответствующие матрицы измерений H_{jk} , где $j=1, 2, 3$ – номер модели, имеют вид:

$$H_{ik} = I \text{ – единичная матрица } P \times P; \quad (7)$$

$$H_{2k} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & D_{Mk} - D_{ik} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & D_{Mk} - D_{2k} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 & \dots & D_{Mk} - D_{Pk} \end{bmatrix}; \quad (8)$$

$$H_{3k} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 & D_{Mk} & -D_{ik} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & D_{Mk} & 0 & -D_{2k} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & D_{Mk} & 0 & 0 & \dots & -D_{Pk} \end{bmatrix}. \quad (9)$$

$$v_k = [v_{1k} \ v_{2k} \ \dots \ v_{Pk}]^T.$$

С учетом предположения $x_k = x_{k-1}$ запишем следующие уравнения для оценки x [10]:

$$\begin{aligned} \hat{x}_k &= \hat{x}_{k-1} + G_k (y_k - H_k \hat{x}_{k-1}), \\ G_k &= P_{k-1} H_k^T (H_k P_{k-1} H_k^T + R_k)^{-1}, \\ P_k &= (I - G_k H_k) P_{k-1}. \end{aligned} \quad (10)$$

Начальные значения для работы фильтра (10) \hat{x}_0 и P_0 могут быть получены с применением метода наименьших квадратов [9] для нескольких первых k . При этом $D_{Mk} = D_{Mk}(B, L, H, B_M, L_M, H_M)$, $D_{ik} = D_{ik}(B, L, H, B_i, L_i, H_i)$; (B, L, H) , (B_M, L_M, H_M) и (B_i, L_i, H_i) – соответственно широта, долгота и высота над уровнем опорного эллипсоида определяющего подвижного объекта, ведущей станции (М) и i-й ведомой станции, $i=1, 2, \dots, P$.

Работу фильтра целесообразно организовать по принципу «скользящего окна» с фиксированным объемом памяти, поскольку предлагаемые модели (2)–(4) являются лишь наиболее простыми приближениями для описания реального процесса как на интервале наблюдения, так и тем более на интервале прогнозирования при отсутствии спутниковых данных.

Возможно также использование не детерминированных, а стохастических моделей, простейшей из которых может быть часто применяемая марковская модель первого порядка:

$$\Delta_{ik} = A \Delta_{ik-1} + w_k, \quad (11)$$

где $A = \exp(-W \Delta t / r)$, W – скорость полета ЛА, $\Delta t = t_k - t_{k-1}$, r – радиус корреляции. Для модели измерений вида (6) возможно организовать схему

фильтрации, аналогичную (10), при известных или предварительно определенных $g, q_k = M\{w_k^2\}$ и σ_v .

Проверка предпочтительности той или иной модели может осуществляться, например, посредством использования критерия

$$J_j = \sum_{k=1}^N \rho_{jk}^2, \quad (12)$$

где $j=1, 2, 3$ – номер модели, ρ_{jk} – радиальная ошибка определения координат в k -й точке при использовании данных ИФРНС с поправками (КУРП) j -й модели. По результатам проверки принимается модель, для которой величина J окажется меньше.

Достоинством первой модели является ее наибольшая простота и «всенаправленность», т.е. независимость от последующего за вычислениями α_i ее использования в случаях маневрирования ПО, а также над участками со сложным рельефом.

Вторая и третья модели могут работать лучше на более протяженных участках движения и над территориями с более или менее однородным рельефом, в том числе над акваториями морей и озер [1].

Рассмотрим более подробно возможности использования первой («простейшей») модели. При этом оценки α_i могут быть получены в фильтре, реализующем простое усреднение:

$$\hat{\alpha}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \Delta \tau_{mik} \quad (13)$$

по схеме «скользящего окна». При обоснованности «простейшей» модели достигается сглаживание случайных погрешностей v_{ik} , обусловленных шумами и инструментальными ошибками (а также другими факторами) до уровня по СКО σ_v / \sqrt{N} ; причем остаются квазисистематические погрешности, обусловленные неточностью эфемерид навигационных космических аппаратов СРНС и условиями распространения спутниковых сигналов в ионосфере (СКО ≈ 10 м или 30 нс), которые будут присутствовать в $\Delta \tau_{mik}$. Случайные погрешности спутниковых определений также будут присутствовать в v_{ik} .

Таким образом, если ошибки определения РНП за счет помех и других факторов находятся на уровне 0,1...0,3 мкс (100...300 нс), то при независимых во времени v_{ik} необходимо, чтобы для снижения СКО до уровня 30 нс величина N находилась в пределах 10...100.

Подчеркнем, что операция (13) имеет смысл и должна осуществляться на участках слабой пространственной изменчивости $\Delta \tau_{mik}$. Рассмотрим

более подробно этот вопрос. Предположим, что реальная пространственная изменчивость $\Delta \tau$ по ходу полета представляется линейной функцией

$$\Delta \tau_k = \Delta \tau_0 + w_\tau \Delta t(k-1), \quad (14)$$

где w_τ – скорость изменения τ , Δt – временной интервал между измерениями. Тогда можно показать, что после операции (13) будем на выходе фильтра иметь дополнительную ошибку $w_\tau \Delta t(N-1)/2$. Такая ошибка может при большом N свести на нет результаты фильтрации. Естественным представляется выдвинуть условие:

$$\sigma_v^2 / N + (w_\tau \Delta t(N-1))^2 / 4 \leq \sigma_v^2 \quad (15)$$

т.е. чтобы уровень общей погрешности после (13) не превышал хотя бы уровень не сглаженных погрешностей σ_v .

Тогда из (15) получим условие для максимально допустимого N_m :

$$N_m < \frac{2\sigma_v}{w\Delta t} \quad (16)$$

Оптимальным значением N , обеспечивающим минимум общей ошибки, будет:

$$N_o \equiv \left[\left(\frac{1,41\sigma_v}{w\Delta t} \right)^{2/3} \right], \quad (17)$$

где квадратные скобки обозначают операцию округления до ближайшего целого.

Исходя из естественного стремления обеспечить независимость отсчетов измерений, получим при типичных полосах частот на выходе приемника ИФРНС условие $\Delta t \geq 10$ с. Тогда, например, при $\sigma_v = 0,3$ мкс, $w = 10^{-3}$ мкс/с, $\Delta t = 10$ с получим $N_m < 60$ и $N_o = 12$. Т.е. в этом случае фильтрация КУРП будет идти до уровня 0,087 мкс (87 нс).

Если в момент времени t_{N+1} канал СРНС становится неработоспособным, КУРП прогнозируются в соответствии с (2)÷(4) и (11) до некоторого момента времени t_M . Последний определяется требованиями обеспечения эффективности используемых поправок.

При этом точность местоопределения составит:

$$\rho = G\sigma_\tau, \quad (18)$$

где

$$\sigma_\tau = \sqrt{\sigma_{e\tau}^2 + \sigma_{f\tau}^2}, \quad (19)$$

$\sigma_{e\tau}$ и $\sigma_{f\tau}$ – СКО прогноза КУРП и отфильтрованных шумовых ошибок определения РНП на интервале (t_{N+1}, t_M) , c – скорость распространения радиоволн (скорость света). Если $\sigma_{e\tau} = 30$ нс, $\sigma_{f\tau} = 40$

нс, то при $\Gamma=2...3$ точность местоопределения составит ρ 30...45 м. При $\sigma_{\text{от}}=87$ нс ρ 60...90 м.

Необходимо отметить, что аналогичный подход используется в работах [1 – 5]. В частности, в работе [4] исследовалась эффективность использования аэродромной поправки (первая модель) для обеспечения неточного захода ВС на посадку (требуемая ИКАО и ФАА точность местоопределения, СКО, 278 м). Выявлено, что для большинства аэропортов США на расстоянии 16 км точность определения координат составляла 50...60 м. Для сильно изрезанной подстилающей поверхности (штат Колорадо, США) ошибки находились в большинстве случаев в пределах 100 м. В экспериментальных полетах, осуществляемых в ходе совместных работ фирм Locus, Rockwell Collins и Федеральной авиа-

ционной администрации (ФАА) США, по оценке совместного использования ИФРНС с GPS/WAAS (точность определения координат, СКО, 5 м), расхождения между показаниями GPS и ИФРНС составляли 5...16 м [2]. В работе [1], выполненной под эгидой Береговой охраны США, подтверждена возможность определения места на акваториях с помощью ИФРНС «Лоран-С» с точностью 8...20 м, а также целесообразность использования моделей 2 и 3.

Заключение. Проведенный анализ подтверждает целесообразность оценок в процессе движения погрешностей РНП ИФРНС с помощью данных СРНС и использования их для повышения точности определения координат упрощенных автономных средств ПО при отказе спутникового канала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Swaszek P.F., Johnson G., Oates C., Hartnett R., Weeks G. A Demonstration of High Accuracy Loran-C for Harbor Entrance and Approach Areas, ION 59th Annual Meeting/CIGTF 22nd Guidance Test Symposium, 23-25 June 2003, Albuquerque, NM.
2. G. Linn Roth, James H. Doty and Patrick Y. Hwang, Mitchell J. Narins, Results of Recent Testing of an Integrated GPS/WAAS/Loran Receiver, ION 59th Annual Meeting/CIGTF 22nd Guidance Test Symposium, 23-25 June 2003, Albuquerque, NM.
3. James H. Doty, David A. Anderson and Patrick Y. Hwang, Linn Roth, Integrated GPS/Loran Navigation Sensor for Aviation Applications, Portions of this work are being performed under subcontract SK-00-18 between Locus, Inc. and Advanced Management Technology, Inc. (AMTI) and under subcontract SK-02-02-001-00 between Rockwell Collins, Inc. and AMTI under a Federal Aviation Administration (FAA) Broad Information Technology Services (BITS) contract, 2003.
4. Johnson G., et al. Can Loran Meet GPS Backup Requirements? 11th Saint Petersburg Int. Conf. on Integrated Nav. Systems, 24-26 May, 2004.
5. Roth G.L., Diggel D., Narins M.J. Loran Additional Secondary Factor Correction Study for Aviation, ION GNSS 17th International Technical Meeting of the Satellite Division, 21-24 Sept. 2004, Long Beach, CA.
6. G. Linn Roth, et al. Performance of DSP-Loran/H-field Antenna System and Implications for Complementing GPS, ION NTM 2002, 28-30 January 2002, San Diego, CA.
7. Samaddar S.N. The Theory of Loran-C Ground Wave Propagation – A Review, Navigation (USA), v.26, N3, 1979.
8. Samaddar S.N. Weather Effect on Loran-C Propagation, Navigation (USA), v.27, N1, 1980.
9. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении. – М.: Радио и связь, 1976.
10. Kalman R.E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems, Trans. of ASME, J. of Basic Engineering, March 1960.

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПО ГЛОБАЛЬНЫМ НАВИГАЦИОННЫМ СПУТНИКОВЫМ СИСТЕМАМ ГЛОНАСС/GPS В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ

А.В. Балов, И.Б. Бедрин, И.К. Конаржевский, С.Б. Писарев, Б.В. Шебшаевич

В статье предложен метод дополнительного сглаживания координат с помощью модифицированного фильтра Калмана, оценивающего счислимые координаты, полученные на основании составляющих вектора скорости транспортного средства (ТС) и кодовых измерений, сглаженных по фазе, полученных с выхода приемника ГНСС. Экспериментально подтверждено уменьшение погрешностей координат, увеличение достоверности и непрерывности позиционирования в городе по сравнению с другими методами, используемыми в существующих приемниках ГНСС.

VEHICLES' POSITIONING BY GLOBAL NAVIGATING SATELLITE SYSTEMS GLONASS/GPS IN COMPLICATED CONDITIONS OF USAGE.

A.V.Balov, I.B.Bedrin, I.K.Konarzhevsky, S.B. Pisarev, B.V. Shebshaevich

In the article is offered method of coordinates' additional smoothing with help of Kalman's modified filter estimating dead reckoning coordinates obtained on the basis of components of vehicle's speed vector and of code measurements smoothed on a phase. Reduce of coordinates errors, increase of reliability and continuity of positioning in city is experimentally confirmed in comparison with other methods used in existing receivers GNSS.

1. Анализ условий позиционирования наземных ТС и факторов, влияющих на погрешности определения координат в реальных условиях

Классическая оценка погрешностей позиционирования ТС в приемниках ГНСС включает суммарную погрешность измерения псевдодальностей и геометрии видимых спутников в точке приема сигналов. Основные составляющие среднеквадратической погрешности (СКП) псевдодальностей приемников ГНСС приведены в таблице 1 [1].

Таблица 1. Бюджет СКП псевдодальностей ГНСС

Источники погрешностей	СКП, м	
	ГЛОНАСС	GPS
1. Ионосферные погрешности	15 (7)	7,0
2. Тропосферные погрешности	2	0,7
3. Погрешности часов и эфемерид	4	3,6
4. Шумы приемника	3	1,5
5. Отраженные сигналы	3	1,2
6. Селективный доступ (SA)	0	24
7. Общий бюджет погрешностей для пользователя	11	25 (8 без SA)

Определение псевдоскоростей в приемниках ГНСС основано на измерении доплеровского смещения несущих сигналов. Погрешность измерения радиальной скорости по фазе находится в пределах (1,5–5,5) см/с. Основные составляющие погрешностей измерения псевдоскорости ГНСС, оцененные по фазовым измерениям, приведены в таблице 2 [2].

Таблица 2. Бюджет СКП псевдоскоростей ГНСС

Источники погрешностей	СКП, м/с	
	ГЛОНАСС	GPS
1. Шум часов спутника	$3.3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$
2. Шум приращения измерений дальности	$4.2 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$

Влияние геометрии на соотношение между погрешностями измерения радиальной псевдоскорости и определения скорости ТС аналогично соотношению между погрешностями измерения псевдодальностей и определения координат ТС [1]. Поэтому все выводы о точностных свойствах ГНСС, обусловленных геометрией при определении координат ТС по измеренным псевдодальностям, остаются в силе и для определения скорости ТС по измеренным псевдоскоростям.

Исследование и оценка факторов, влияющих на погрешность определения координат в некоторых реальных условиях применения приемников ГЛОНАСС/GPS, показали, что погрешности измерения псевдодальностей и псевдоскоростей могут значительно превышать значения, приведенные в таблицах 1 и 2. Поэтому предлагается ввести определение и представить основные характеристики понятия «сложные условия применения приемника ГНСС», вызывающие рост этих погрешностей. Под сложными условиями применения далее будем понимать:

- позиционирование ТС в условиях высотной городской застройки, в предгорьях, ущельях, просеках лесных массивов, шлюзах, вблизи высоких берегов рек и тому подобное;
- позиционирование при движении ТС в плотном транспортном потоке;
- позиционирование под листвой деревьев, вблизи металлических решеток, транспортной контактной сети и линий высоковольтных электропередач.

Дополнительный вклад в бюджет погрешностей позиционирования, приводящий к превышению их регламентированных значений в федеральных планах ГНСС ГЛОНАСС и GPS, вызван:

- многолучевым распространением сигналов НКА;

- плохим геометрическим фактором используемых рабочих созвездий НКА;
- частой сменой рабочих созвездий НКА.

Причинами роста погрешностей позиционирования в сложных условиях применения являются:

- наличие переотраженных сигналов и даже их захват при отсутствии прямых сигналов;
- частые потери сигналов НКА и срыв слежения за фазой их несущих;
- «проскальзывание» (пропуск) фазовых циклов;
- невозможность отслеживания сигналов одних и тех же НКА в течение времени, достаточного для реализации алгоритмов сглаживания кодовых измерений фазовыми.

Перечисленные факторы приводят к реальному увеличению суммарной погрешности измерений псевдодальностей до 100 и более метров.

Обычно для снижения их влияния в приемниках ГНСС принимают специальные меры:

- применение узких корреляторов с уменьшением величины сдвига между ранней и поздней копиями сигналов до 0,1 – 0,05 от длительности символов псевдослучайной последовательности (ПСП);
- сглаживание кодовых измерений псевдодальностей фазовыми измерениями;
- использование дополнительной внешней информации от инерциальных или других радиотехнических систем, позволяющих сузить ширину полосы пропускания приемника;
- использование баз данных геоинформационных систем о расположении улиц, дорог и других объектов на цифровых картах;
- реализацию дифференциального режима работы приемника ГНСС.

Применение в приемниках ГНСС узких корреляторов с уменьшением величины сдвига между ранней и поздней копиями сигналов до 0,1 – 0,05 длительности символов ПСП (или метода взвешиваний) [3, 4] позволяет снизить погрешности измерений псевдодальностей до 6–10 м. Это можно объяснить следующим. При отсутствии многолучевости наблюдается неискаженная корреляционная функция прямого сигнала, которая имеет треугольную форму. В присутствии многолучевости (–30 дБ, задержка 30 м) отраженный сигнал отличается по фазе от прямого на 180°, корреляционная функция искажается и появляется погрешность в процессе слежения. Искажение корреляционной функции минимально вблизи ее пика. Поэтому применение узкого коррелятора позволяет уменьшить погрешности слежения при наличии многолучевости.

Однако применение узких корреляторов требует существенного расширения полосы пропускания кода (до 16 МГц), что приводит к уменьшению помехозащищенности тракта приемника по сравнению с традиционными решениями, включающими широкие корреляторы (полоса пропускания 2 МГц). Следовательно, при использовании в приемниках узкого коррелятора имеет место компромисс между снижением влияния многолучевости на точность навигационных определений и сохранением показателей помехоустойчивости схем слежения за несущей и кодом. Этот факт не позволяет в полной мере решить проблему приема сигналов ГНСС в сложных условиях данным способом.

Алгоритм сглаживания псевдодальностей фазовыми измерениями, предложенный в [5] и развитый в [6, 7], широко используется в зарубежных и отечественных приемниках ГЛОНАСС/GPS. Сглаживание псевдодальностей фазовыми измерениями основано на том, что интервал корреляции погрешностей, обусловленных отражениями, лежит в пределах 30–60с. При этом погрешности фазовых измерений, вызванные влиянием многолучевости, не превышают 0,05 м. Интервал сглаживания обычно выбирается в пределах 100–300с, что является компромиссом между возрастающей во времени погрешностью, обусловленной различием знака фазовой и групповой скоростей распространения из-за ионосферной рефракции и уменьшающейся с увеличением времени погрешностью при сглаживании многолучевости. Следует отметить, что при сглаживании псевдодальностей с помощью фазовых измерений требуется непрерывное (без срывов) слежение за фазой и отсутствие «проскальзывания» фазовых циклов. Так, уменьшение шумов за счет сглаживания в 10 раз требует непрерывного слежения за фазой сигналов, принимаемых от не менее четырех НКА, по которым осуществляется обсервация в течение 100 с, что редко выполняется в сложных условиях применения приемников ГНСС, и поэтому сглаживающий фильтр постоянно находится в переходном режиме. В таких условиях вообще не удается уменьшить дисперсию обсервации ТС. Поэтому в приемниках ГЛОНАСС/GPS приходится идти на компромисс, вызванный увеличивающейся во времени погрешностью, обусловленной ионосферной рефракцией и уменьшающейся погрешностью сглаживаемых кодовых измерений, что ограничивает возможности применения данного метода.

Интегрирование приемников ГНСС даже с инерциальными датчиками низкой точности открывает возможность создания высокоточных систем позиционирования ТС. Возможности и особенности создания интегрированных систем приве-

дены в многочисленных работах [8, 9]. Тенденция значительного уменьшения размеров и стоимости инерциальных датчиков определяют перспективу их комплексирования с приемниками ГНСС для сложных условий применения. Комплексирование с инерциальными навигационными системами (ИНС) и датчиками позволяет за счет сглаживания флуктуаций выходных данных ГНСС обеспечить повышение точности, информационной надежности и помехоустойчивости при кратковременных затенениях НКА и формирование скорости выдачи измерений до 100 Гц.

Однако даже наиболее простые ИНС, построенные на двух датчиках угловой скорости с двумя осями чувствительности каждый, трех акселерометрах и специализированном микрокомпьютере, во много раз превышают по стоимости приемник ГНСС и поэтому слишком дороги для типовых систем, используемых на ТС. Ситуация может измениться с появлением относительно дешевых инерциальных датчиков: гироскопов и акселерометров. К таким датчикам относятся волоконно-оптические гироскопы, а также твердотельные пьезокерамические, кварцевые и кремниевые гироскопы и акселерометры. В зарубежной и отечественной литературе появились сообщения о микроэлектромеханических системах (МЭМС), представляющих собой компактную инерциальную систему на одной СБИС [10, 11]. В настоящее время показана их физическая реализуемость. Разработанные образцы пока не обеспечивают необходимых характеристик в части дрейфа и стабильности смещения нуля. Однако работы по исследованиям и разработке МЭМС с низкой стоимостью продолжаются.

Исследованию потенциальных возможностей минимизации погрешностей позиционирования ТС при интегрировании данных приемников ГНСС с дополнительной пространственной информацией из базы данных геоинформационных систем (ГИС) и многослойных векторных цифровых карт (ЦВК) посвящено большое количество публикаций [12, 13]. В основе однозначного отображения местоположения ТС на ЦВК, как правило, лежит подход, известный из теории корреляционно-экстремальных навигационных систем. Маршрут движения ТС, полученный по данным приемника ГНСС, сравнивается с участками топологии осевых линий улиц или дорог, занесенных в соответствующий слой ЦВК. Местоположение ТС редуцируется на точку улицы или дороги, вероятность нахождения ТС на которой максимальна. Однако невысокая точность ЦВК [14], доступных в РФ, приводит к дополнительным погрешностям при разрешении неоднозначности соседних трасс дорожной гребенки. Экспериментальные работы на узких учас-

тках дорог и на улицах центральной части Санкт-Петербурга показали, что погрешности редуцирования местоположения ТС на ЦВК приводили к разрешению неоднозначности дорожной гребенки с вероятностью не более 90%, что подтверждает необходимость дальнейшего совершенствования методов использования дополнительной информации от ЦВК.

В данной работе не анализировалось использование дифференциального режима, так как, по мнению авторов, подтвержденному экспериментальными работами на ТС, он малоэффективен для сложных условий применения (исключая дополнительные возможности по использованию RAIM), особенно после снятия режима селективного доступа в GPS. Это понятно из физики явления: дифференциальные данные способны уменьшить систематическую погрешность, обусловленную влиянием ионосферы и неточным прогнозом эфемерид, тогда как основной вклад в погрешность при работе в сложных условиях применения приемников ГНСС вносят погрешности измерений, близкие к шумовым, связанные в первую очередь с многолучевостью.

В результате исследований особенностей позиционирования ТС, оснащенных приемниками ГНСС, в сложных условиях применения установлено, что дополнительные погрешности носят характер широкополосных шумов, один из возможных методов фильтрации которых предлагается в данной статье.

2. Структура и уравнения навигационного фильтра

Известные методы совместной обработки фазовых и кодовых измерений включают процедуры, основанные на запоминании и совместной обработке полной выборки разновременных измерений, а также рекуррентные методы обработки по нарастающему объему измерений.

В наиболее общем виде рекуррентная методика оценивания используется в алгоритме Калмана, учитывающем динамику ТС. При таком подходе задача оптимального оценивания заключается в получении оценки элементов вектора состояния по проведенным измерениям при принятых моделях динамики изменения вектора состояния и шумов измерений.

Рассмотрим рекуррентные уравнения стандартного фильтра Калмана [1, 15], чтобы провести модификацию его элементов для введения фазовых измерений приемника ГНСС.

Алгоритм фильтра Калмана строится на основе следующего описания моделей динамики и измерений:

$$X_n = \Phi_{n-1} X_{n-1} + G_{n-1} W_{n-1}$$

$$Z_n = H_n X_n + V_n,$$

где Z_k – вектор измерений;

$X_{n,n-1}$ – вектор параметров состояния;

V_n – вектор шумов измерений;

G_{n-1} – переходная матрица шумов возмущений;

W_{n-1} – вектор шумов динамики ТС;

Φ_{n-1} – матрица перехода вектора состояний;

H_k – матрица частных производных измерений по определяемым координатам.

Рекурсивный алгоритм оценивания X_n включает три этапа:

А. Прогноз вектора состояния от предыдущей оценки к моменту проведения текущего измерения:

$$\hat{X}_n^- = \Phi_{n-1} \hat{X}_{n-1}^+, \quad (1)$$

где $\hat{X}_{n,n-1}^-$ и $\hat{X}_{n,n-1}^+$ – прогнозируемая и скорректированная оценка X_n .

В. Коррекцию вектора состояния по результатам очередного измерения:

$$\hat{X}_n^+ = \hat{X}_n^- + K_n [Z_n - H_n \hat{X}_n^-], \quad (2)$$

$$\text{где } K_n = P_n^- H_n^T [H_n P_n^- H_n^T + R_n]^{-1}$$

– коэффициент усиления фильтра;

$$P_n^- = \Phi_{n-1} P_{n-1}^+ \Phi_{n-1}^T + G W_{n-1} G^T,$$

$P_n^+ = (I - K_n H_n) P_n^-$ – прогнозируемая и скорректированная корреляционная матрица погрешностей состояния;

R_n – корреляционная матрица шумов измерений.

С. Замену у векторов и матриц индекса n на индекс $n + 1$ и повторение всей последовательности расчетов. Матрицы Φ_n , W_n и R_n обычно вычисляются заранее и хранятся в памяти сигнального процессора приемника ГНСС.

Таким образом, для построения фильтра необходимо определить вектора состояния и измерений, обосновать модели шумов измерений и возмущений и их переходные матрицы.

В соответствии с классической процедурой решения навигационной задачи вектор состояния ТС в геоцентрической связанной системе координат включает в себя подвектора положения $[x, y, z]$ и скорости $[\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}]$, сдвиги шкал времени δt и скорость расхождения шкал времени $\dot{\delta t}$ ГНСС и потребителя и описывается выражением вида $X^T = [x \ y \ z \ \dot{x} \ \dot{y} \ \dot{z} \ \delta t^{\text{ГНСС}} \ \delta t^{\text{GPS}} \ \dot{\delta t}]$.

Для учета корреляции ошибок измерений, вызванных погрешностями эфемерид НКА и неточностями знания модели ионосферы, в вектор оцениваемых параметров дополнительно включаются вектора состояния НКА:

$$X_i^T = [x_i \quad y_i \quad z_i \quad \dot{x}_i \quad \dot{y}_i \quad \dot{z}_i \quad \delta t_i \quad \delta \dot{t}_i].$$

В этом случае суммарная размерность вектора оцениваемых параметров равна $(9 + 8n)$, где n – число НКА, принятых в обработку. При работе приемника ГНСС по всем видимым НКА их число составляет, как правило, $n = 7...24$, что приводит к практической нереализуемости фильтра. Кроме того, в сложных условиях приема невозможно задать адекватную модель измерений для каждого НКА, что может приводить к расходимости фильтра.

Перечисленные факторы приводят к поиску путей квазиоптимальной фильтрации, позволяющей значительно сократить вычислительные затраты и понизить требования к точности задания моделей ошибок измерений и динамики ТС.

Для уменьшения размерности вектора оцениваемых параметров предлагается перейти от вектора радионавигационных параметров, включающего в себя вектора псевдодальномерных измерений по коду и псевдодоплеровских измерений по фазе несущей частоты каждого НКА, к вектору измерений навигационных параметров (НП), включающему в себя подвектора единичных измерений координат и скоростей. Переход к оцениванию вектора НП дает возможность дополнительного уменьшения погрешностей позиционирования в сложных условиях практически любого приемника из используемого парка.

Анализ матрицы точности радионавигационных параметров, включающей ошибки измерений псевдодальномерных и псевдоскоростей, позволяет сделать вывод, что вклад измерений скорости в точность оценки координат на два порядка ниже вклада псевдодальномерных измерений. Это подтверждает независимость единичных оценок координат и скорости, что позволяет использовать для уменьшения погрешностей существующие хорошо отработанные методы комплексирования информации от двух и более разнородных навигационных систем. В основе методов лежит формирование разностных измерений, из состава которых исключаются сами оцениваемые выходные параметры, что позволяет решать задачу фильтрации ошибок одного измерителя на фоне ошибок другого. Алгоритм имеет то преимущество, что не требует вводить стохастическое описание для самих оцениваемых НП и не вносит динамических погрешностей, что существенно упрощает построение комплексной обработки, в

основе которой лежит использование алгоритма Калмана. Свойства алгоритма Калмана разделять процессы с различными спектрами позволяют и делают предпочтительным его использование в качестве фильтра в комплексированной схеме обработки НП.

Обобщенная компенсационная схема построения алгоритма комплексной обработки НП приведена на рисунке 1. Как видно из схемы, на вход фильтра поступает только смесь погрешностей и, следовательно, погрешность фильтрации не зависит от самих измерений.

Оценка вектора скорости в приемниках ГНСС основана на псевдодоплеровских приращениях фазы на интервале измерения. Если интервал измерения совпадает с периодом выработки НП, то интегрирование оценок вектора скорости представляет собой приращение вектора координат, оцененного с точностью фазовых измерений, но не требующего разрешения многозначности по фазе. Поэтому в фильтре оцениваются ошибки НП канала измерения скорости, имеющие в основном низкочастотные составляющие на фоне ошибок координат кодового канала.

Так как данные с выхода приемника ГНСС поступают в геодезической системе координат, то численное интегрирование в канале измерения скорости проводилось по известным выражениям счисления по широте и долготе:

$$\begin{aligned} \tilde{B}_{n+1} &= \tilde{B}_n + dt * V_{b_{n+1}} * C1 * ((1 - e^2 * \sin^2(\tilde{B}_n))^{1.5})/a, \\ \tilde{L}_{n+1} &= \tilde{L}_n + dt * V_{l_{n+1}} * C2 * ((1 - e^2 * \sin^2(\tilde{B}_n))^{0.5}) / [\cos(\tilde{B}_n) * a] \end{aligned} \quad (3)$$

где $C1 = R_z * a/b^2$, $C2 = R_z/a$ – коэффициенты счисления по широте и долготе;

a, b – большая и малая полуоси земного эллипсоида WGS – 84 ;

$e = a^{-1} \sqrt{a - b}$ и R_z – эксцентриситет земного эллипсоида и принятый радиус Земли.

Как указывалось выше, в сложных условиях применения приемников ГНСС основной вклад в бюджет погрешностей измерений РНП вносят непрогнозируемое многолучевое распространение радиоволн, измерения по отраженным сигналам и частая смена рабочих созвездий НКА. Эти факторы плохо поддаются математическому описанию, что не дает возможности адекватного теоретического построения стохастической модели погрешностей.

Поэтому модель разностных измерений для различных категорий ТС синтезирована на осно-

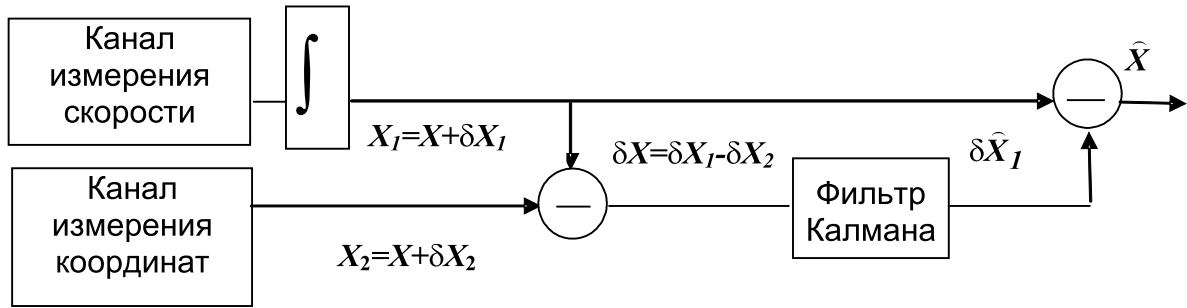


Рис. 1. Компенсационная схема комплексной обработки НП

ве экспериментальных результатов и их последующей статистической обработки. Для разработки такой модели были построены автокорреляционные функции разностных измерений широты и долготы, полученных по коду и интегрированных по фазе на базе экспериментальных данных. В качестве погрешностей, подлежащих выделению, следует принять сильно коррелированные погрешности интегрирования скорости, так как они вносят наибольший вклад в автокорреляционные функции разностного процесса. Они содержат как нарастающие со временем погрешности, вызванные расхождением групповой и фазовой скорости распространения сигналов НКА, так и отдельные выбросы измерений, достигающие в неблагоприятных условиях применения приемников ГНСС величин 500 – 600 м.

Проведенный анализ и обработка экспериментальных данных показали, что разностные измерения имеют нестационарный характер, функция корреляции первой производной низкочастотной составляющей погрешностей может быть аппроксимирована известными корреляционными функциями вида

$$K_x(\tau) = \sigma_x^2 e^{-\mu|\tau|} \left(\cos \lambda \tau + \frac{\mu}{\lambda} \sin \lambda |\tau| \right). \quad (4)$$

Авторами разработана методика для определения параметров корреляционных функций разностных измерений различных категорий ТС, основанная на использовании многочисленных экспериментальных данных. Полученные значения параметров корреляционных функций

для автомобиля при работе в условиях городской застройки,

$$\Phi(p) = L^{-1} [pI - A] = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 - \mu_1^{-1} e^{-\mu_1 \Delta t} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 - \mu_2^{-1} e^{-\mu_2 \Delta t} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 - \mu_3^{-1} e^{-\mu_3 \Delta t} \\ 0 & 0 & 0 & e^{-\mu_1 \Delta t} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & e^{-\mu_2 \Delta t} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e^{-\mu_3 \Delta t} \end{vmatrix} \quad (5)$$

морского судна при плавании в открытом море, транспортного самолета во всех фазах полета и речного судна сведены в таблицу 3.

Таблица 3. Параметры корреляционных функций первой производной разностных измерений для ТС

Тип подвижного объекта	$\sigma^2, \text{м}^2\text{с}^{-2}$	$\mu, \text{с}^{-1}$	$\lambda, \text{рад/с}$
Автомобиль	$3.5 \cdot 10^{-3}$	1/200	-
Транспортный самолет	$1.5 \cdot 10^{-5}$	1/400	4900
Морское судно	$1.5 \cdot 10^{-4}$	1/420	4800
Речное судно	$4.0 \cdot 10^{-5}$	1/1600	13400

В предположении о статистической независимости первых производных составляющих вектора разностных измерений, как это обычно принимается при описании моделей движения ТС, можно получить выражения для матрицы переходов вектора состояний Φ_{n-1} и переходной матрицы шумов возмущений G_{n-1} , полагая на интервале Δt между измерениями НП матрицу A и вектор B постоянными.

$$A = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \mu_1^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_2^{-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_3^{-1} \end{vmatrix}, \quad B = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \sigma_1 \mu_1 \\ \sigma_2 \mu_2 \\ \sigma_3 \mu_3 \end{vmatrix}.$$

$$G(\Delta t) = \int_0^{\Delta t} \Phi(t) B dt = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & b_1 & b_2 & b_3 \end{bmatrix}, (6)$$

где L – преобразование Лапласа; p – комплексная переменная; I – единичная матрица;

$$a_i = \sigma_i \sqrt{2\mu_i / \Delta t} \left[\Delta t / \mu_i + (e^{-\mu_i \Delta t} - 1) \mu_i^{-2} \right];$$

$$b_i = \sigma_i \sqrt{2\mu_i / \Delta t} \left[(1 - e^{-\mu_i \Delta t}) \mu_i^{-1} \right],$$

$i=1,2,3$ – номер ортогональной координаты вектора состояния.

Полученные выражения и значения коэффициентов полностью описывают модель разностных измерений фильтра при непрерывных определениях НП.

Инвариантность компенсационной схемы включения фильтра не избавляет от необходимости стохастического описания модели динамики ТС. Модель необходима для адекватной корректировки матрицы прогноза погрешностей вектора состояния при перерывах в навигационных измерениях.

Наиболее часто для ТС, не подверженных воздействию возмущающих воздействий типа регулярной качки, выбирается корреляционная модель движения вида $K_x(\tau) = \sigma_x^2 e^{-\mu|\tau|}$. В нашем случае эта модель удобна еще и тем, что она близка к выбранной модели динамики погрешностей разностных измерений.

Модель динамики основывается на предположении, что ТС движется с постоянным путевым углом и скоростью. Ускорения, вызванные вынужденными маневрами и различного рода возмущающими факторами, рассматриваются как отклонения от номинальных параметров траектории. При этом изменение положения ТС в принятой системе координат считается равновероятным с вероятностью P_0 .

Вероятность совершения маневра с максимальной интенсивностью оценивается величиной P_{max} , маневренные возможности определяются

$$\sigma_M^2 = M_{max} [1 + P_{max} - P_0] / 3,$$

где M_{max} – изменение составляющих вектора скорости с заданными постоянными времени μ_M соответственно.

Основной задачей модели динамики ТС при использовании компенсационного включения фильтра должен являться прогноз координат и скорости на временном интервале отсутствия навигационных измерений приемника ГНСС, прогноз матрицы погрешностей

вектора состояния на этом интервале и обеспечение запрета выдачи НП потребителю при достижении следа этой матрицы заданного порога.

В отличие от классического подхода, требования к точности описания модели динамики ТС и обусловленность ее параметров в варианте фильтрации разностных измерений кодового и фазового каналов не критичны. Модель используется лишь на относительно коротких интервалах времени отсутствия измерений приемника ГНСС (от единиц до десятков секунд), а параметры модели принимаются максимальными.

Разработанные модели погрешностей разностных измерений, модель динамики ТС и выбранная в качестве опорной геодезическая система координат позволяют перейти к модификации формульных зависимостей классического алгоритма Калмана. Для упрощения понимания работы алгоритма по схеме, приведенной на рисунке 1, и минимизации формульных зависимостей из оцениваемого вектора состояния ТС полезно исключить составляющие высоты и времени. В принятых предположениях вектор измерений в геодезической системе координат может быть представлен в виде выражения

$$Z = \begin{bmatrix} Z_n^K, Z_n^V \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} B_n, L_n, V_{B_n}, V_{L_n} \end{bmatrix}^T$$

и имеет размерность, равную 4.

Приемник ГНСС осуществляет определение координат B_n, L_n , составляющих вектора скорости V_{B_n}, V_{L_n} и оценку матрицы их погрешностей R_n (или геометрического фактора). Эти параметры являются входными для предлагаемого фильтра. Выходными параметрами являются сглаженные координаты, уточненные составляющие вектора скорости и оценки их погрешностей (см. рис. 2).

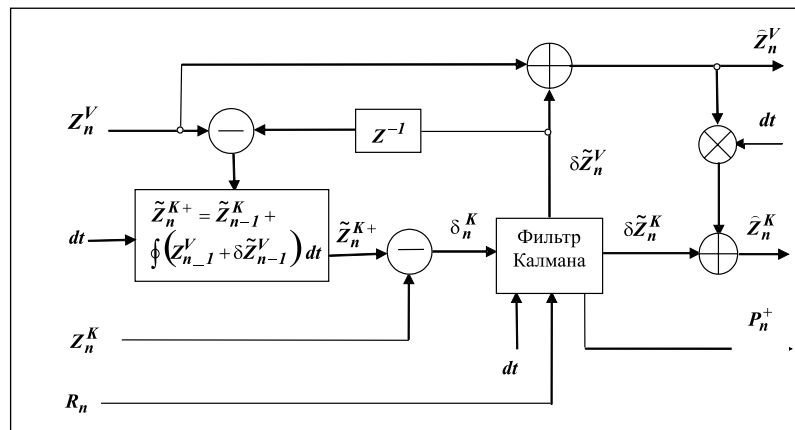


Рис. 2. Структурная схема совместной обработки НП каналов измерения вектора скорости и координат

где $\delta\tilde{Z}_n = \left| \delta\tilde{Z}_n^K, \delta\tilde{Z}_n^V \right|^T$ – вектор состояния фильтра, оценивающий погрешности разностных измерений НП доплеровского и кодового каналов;

$$\hat{Z}_n = \left| \hat{B}_n, \hat{L}_n, \hat{V}_{B_n}, \hat{V}_{L_n} \right|$$

– вектор оценок НП объекта.

Начальное значение вектора состояния $\delta\tilde{Z}_n$ приравняется к нулю:

$$\delta\tilde{Z}_0 = \left| \delta B_0, \delta L_0, \delta V_{B_0}, \delta V_{L_0} \right|^T = \left| 0, 0, 0, 0 \right|^T.$$

Начальное значение матрицы погрешностей вектора состояния P_n определяется с помощью математического выражения

$$P_0 = \begin{bmatrix} P_{K_0} & 0 \\ 0 & P_{V_0} \end{bmatrix} * d,$$

где P_{K_n} , P_{V_n} – координатная и скоростная составляющие погрешностей вектора измерений, $n=0$ – момент времени включения фильтра, d – коэффициент снижения достоверности обсервации, расширяющий погрешность вектора измерений для первых результатов (для городских ТС выбран равным 4).

Начальные значения вектора прогноза координат скоростного канала измерений

$$\left| \tilde{Z}_0^K \right| = \left| B_0, L_0 \right|.$$

На каждом n -м шаге фильтрации вычисляется прогноз положения ТС с учетом счисления координат по составляющим вектора скорости (3) на момент t_n .

Следует особо отметить, что если интервал dt между n и $n-1$ измерениями совпадает с интервалом оценки скорости приемника ГНСС, то прогноз положения производится по фазовым измерениям. В случае, когда интервал dt больше интервала измерения скорости, прогноз положения осуществляется путем счисления по модели движения ТС с учетом последних достоверных составляющих вектора скорости.

Далее производится коррекция вектора состояния по результатам разностных измерений по формулам (1, 2).

Переходная матрица вектора состояния и вектор шумов возбуждения фильтра описываются выражениями (5, 6). С целью минимизации вычислительных затрат путем разложения в степенной ряд Тейлора $e^{-\mu\Delta t}$ и с учетом того, что $\mu\Delta t \ll 1$, получены следующие выражения:

$$\Phi_{n-1}(\Delta t_n) P_{n-1}^+(\Delta t_n) \Phi_{n-1}^T(\Delta t_n) = \begin{bmatrix} K & B_{KV} \\ B_{KV} & V \end{bmatrix},$$

где $K, V, B_{K,V}$ – блоки переходной матрицы вектора состояния,

$$K_{i,j} = P_{i,j} + k_1 P_{i,j+2} + k_2 P_{i+2,j} + k_2^2 P_{i+2,j+2}$$

$$V_{i,j} = k_1^2 \begin{bmatrix} P_{33} & P_{34} \\ P_{43} & P_{44} \end{bmatrix}$$

– координатный и скоростной,

$$B_{KV_{i,j}} = k_1 (P_{i,j} + k_2 P_{i+2,j})$$

– координатно-скоростной,

$$k_1 = e^{-\alpha t} = 1 - \mu\Delta t, \quad k_2 = \frac{1}{\alpha} (1 - e^{-\alpha t}) = \Delta t,$$

$$k_1^2 = 1 - 2\mu\Delta t, \quad k_2^2 = \Delta t^2;$$

$$G_{n-1} I G_{n-1}^T = \begin{bmatrix} 0.5 * m_K * \Delta t_n^3 & 0 & m_V * \Delta t_n^2 & 0 \\ 0 & 0.5 * m_K * \Delta t_n^3 & 0 & m_V * \Delta t_n^2 \\ m_V * \Delta t_n^2 & 0 & 2 * \Delta t_n * m_V & 0 \\ 0 & m_V * \Delta t_n^2 & 0 & 2 * \Delta t_n * m_V \end{bmatrix}$$

где $m_V = m_K = (\sigma\mu)^2$ – при наличии измерений в канале ГНСС и определяются статистическими характеристиками разностных измерений из таблицы 2;

$m_K = (\sigma_M \mu_M)^2$ – при отсутствии измерений в канале ГНСС и определяются маневренными характеристиками ТС.

Формируются составляющие вектора разностных измерений каналов кодовых и фазовых измерений на момент времени t_n по широте и долготе [16]:

$$\delta_{B_n} = Rz * (B_n - \hat{B}_{n-1}) / C1 * ((1 - e^{2 * \sin^2(\hat{B}_{n-1}))^{1.5}}),$$

$$\delta_{L_n} = Rz * \cos(\hat{B}_{n-1}) * (L_n - \hat{L}_{n-1}) / [C2 * ((1 - e^{2 * \sin^2(\hat{B}_{n-1}))^{0.5}})].$$

Оценка вектора состояния производится в соответствии с выражением (2), причем, поскольку в разностные измерения входят только координатные составляющие, размерность матрицы R_n соответствует размерности вектора разностных измерений (в рассматриваемом случае 2×2).

Для исключения расходимости фильтра необходимо принять дополнительные меры, позволяющие найти оптимальное соотношение между разностной моделью и измерениями приемника ГНСС. В качестве таких мер в алгоритме фильтра предусмотрена отбраковка аномальных выбросов измерений и промахов, не удовлетворяющих принятым критериям соответствия прогнозируемых и оцененных погрешностей. Для отбраковки выпадающих измерений используется статистика

$$Z_{n-1} * P_{n-1}^+ * Z_{n-1}^T,$$

сравниваемая с порогом U и имеющая в общем случае нецентральное распределение $\chi^2(n, \lambda)$, где n – число степеней свободы; λ – параметр нецентральности. Причем, в присутствии гипотезы о достоверности измерений, параметр нецентральности $\lambda = 0$, а в присутствии общей альтернативы $\lambda \neq 0$. Для рассматриваемого случая $n=2$ и, принимая $\alpha = 10^{-2}$, получим значение порога $U = 10$ при $\beta = 10^{-1}$ в присутствии смещения оценки координат на 4.2 м относительно их среднего значения.

Если приемник ГНСС не формирует на выходе матрицу погрешностей измерений, то необходимо принять ее диагональной. При этом все матричные вычисления минимизируются, так как фильтр распадается на два независимых, и по каждой координатной составляющей вычисляется матрица погрешностей прогноза:

$$P_n^- = \begin{vmatrix} 0.5 * m_K * \Delta t_n^3 & m_V * \Delta t_n^2 \\ m_V * \Delta t_n^2 & 2 * \Delta t_n * m_V \end{vmatrix} + \\ + \begin{vmatrix} P_{n-1}^+ [1,1] + \Delta t_n * P_{n-1}^+ [1,2] + \Delta t_n^2 * P_{n-1}^+ [2,2] \\ (1 - \Delta t_n / T_i) * (P_{n-1}^+ [1,2] + \Delta t_n * P_{n-1}^+ [2,2]) \\ (1 - \Delta t_n / T_i) * (P_{n-1}^+ [1,2] + \Delta t_n * P_{n-1}^+ [2,2]) \\ (1 - 2 * \Delta t_n / T_i) * P_{n-1}^+ [2,2] \end{vmatrix},$$

поэтому не требуется обращения матриц.

Вычисляется вектор разностных измерений

$$\delta_n^K = \left| \tilde{B}_n^{K+} - B_n, \quad \left(\tilde{L}_n^{K+} - L_n \right) * \cos \left(\tilde{B}_n^{K+} \right) \right|.$$

Вычисляется его матрица погрешностей. С учетом плохой обусловленности измерений в сложных условиях приема сигналов ГНСС устойчивость решения задачи достигается путем дополнительного изменения веса матрицы

$$P_{\delta_n} = \left(P_n^- [2 : 2] + b R_K \right),$$

где b – весовой коэффициент матрицы погрешностей вектора измерений, характеризующий уровень доверия, определяемый по следующим правилам:

$$b = \begin{cases} 1 - \text{если } \delta_n^K * P_{\delta_n}^{-1} * (\delta_n^K)^T < U; \\ 10 - \text{если } \delta_n^K * P_{\delta_n}^{-1} * (\delta_n^K)^T \geq U. \end{cases}$$

Определяется коэффициент усиления фильтра $K_n = P_n^- * P_{\delta_n}^{-1}$.

Вычисляется апостериорная матрица погрешностей фильтра

$$P_n^+ = P_n^- - K_n * P_{\delta_n}^-.$$

Таким образом, модификация алгоритма Калмана заключается в комплексной оценке координат, полученных по составляющим вектора скорости и кодовым измерениям, замене моделей измерений при наличии навигационных параметров от приемника ГНСС и при их отсутствии, использовании отбраковки выпадающих измерений и работе алгоритма с переменным шагом квантования по времени.

3. Результаты экспериментальных работ

Иллюстрация эффективности предложенных решений приводится на примере результатов экспериментальных работ на легковом автомобиле в городских условиях, наиболее полно соответствующих введенному определению «сложных условий применения приемников ГНСС». Работы проводились в Санкт-Петербурге с 2000 по 2003 г. Трассы поездок проходили как в центральной части города с узкими улицами, так и в новостройках с широкими магистралями и десяти-, двадцатипятиэтажными зданиями в различное время суток, включая часы пик.

В работах использовались 12-канальный GPS-приемника Placer 450 фирмы Trimble Nav.(США), предназначенный для работы в городских условиях, и универсальный 16-канальный ГНСС-приемник К-161 производства ОАО «РИПВ» (Санкт-Петербург). Антенны приемников были установлены на крыше автомобиля. Настройки приемников обеспечивали отбраковку навигационных определений при геометрическом факторе GDOP, превышающем значение 8. Регистрация навигационной информации с частотой 1 Гц производилась на компьютере Libretto 50СТ класса Pentium 75.

Программа навигационного фильтра и результаты постобработки измерений выполнены в системе инженерных и научных расчетов MATLAB (v. 6.1). Исходная траектория движения автомобиля сравнивалась с траекторией, полученной после навигационного фильтра. Оценивались гладкость и непрерывность относительных определений.

Для иллюстрации работы навигационного фильтра Калмана выбран маршрут 29.05.2001 г. из новостройки (проспект Ветеранов) в центр города (площадь Растрелли). Протяженность всего маршрута (рис. 3а) – около 16 километров. На графиках обозначены отсчеты непосредственно с выхода приемника после дополнительной обработки в фильтре Калмана.

На рисунках 3б,с,д приведены траектории движения ТС в городских условиях. Точками показаны отклонения мгновенных значений координат на выходе приемника, непрерывной линией – траектории движения на выходе предложенного фильтра.

На рисунке 3b в увеличенном масштабе приведены результаты позиционирования ТС для новостройки. Погрешности по широте V_n и отстоянию L_n с выхода приемников не превышают 10 – 15 м. В нескольких случаях максимальные значения погрешностей координат достигали 30 м. После обработки в навигационном фильтре погрешность позиционирования не превышает 5 м, при этом возросло время непрерывных определений.

На рисунке 3c приведены результаты позиционирования при движении ТС в «пробке». Участок по улице Благодатная до поворота на Московский проспект (от 3400 м до 4460 м по широте) был преодолен за 12 мин. ТС было окружено плотным потоком грузового транспорта, и погрешности по V_n и L_n в среднем составляли 20 – 30 м. При подъезде к перекрестку с левого борта ТС находился трамвай, погрешности позиционирования превысили 100 м и наблюдалось прекращение обсервации из-за затенения сигналов НКА. Сглаживание плановых координат ТС совместно со счислимыми по составляющим вектора скорости уменьшило погрешности позиционирования до 10 м.

На рисунке 3d приведены результаты позиционирования ТС на отрезке трассы в старой части города. По сравнению с работой в новостройках погрешности по V_n и L_n с выхода приемников возросли до 20 – 25 м, что вызвано как переотражениями, так и ростом геометрического фактора GDOP на узких улицах центра города. На выходе навигационного фильтра погрешность позиционирования не превышает 5 – 7 м и наблюдается рост непрерывности и достоверности позиционирования, что наглядно иллюстрирует рисунок 2d.

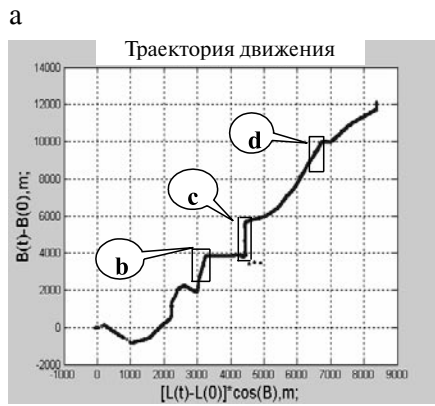
На рисунке 4 приведено наложение маршрута движения ТС на карту Санкт-Петербурга на отрезках с и d выбранного маршрута.

Полученные результаты испытаний навигационного модифицированного фильтра Калмана позволяют предложить относительно недорогое и эффективное решение для уменьшения погрешностей позиционирования ТС в сложных условиях применения приемников ГНСС.

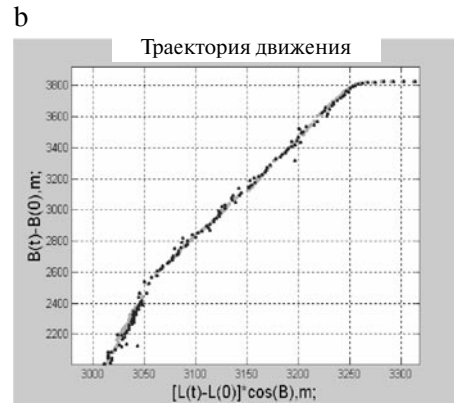
4. Заключение

В статье рассмотрена возможность обеспечения позиционирования ТС в сложных условиях применения. Приведен анализ суммарных погрешностей измерения псевдодальностей при сглаживании кодовых измерений фазовыми. На основании исследования характера дополнительных шумов при позиционировании ТС в сложных условиях применения предложен метод дополнительного сглаживания координат с помощью модифицированного фильтра Калмана, оценивающего счисляемые координаты, полученные на основании составляющих вектора скорости ТС приемника ГНСС и координат, полученных по кодовым измерениям, сглаженным по фазе. Экспериментально подтверждено уменьшение погрешностей координат, рост достоверности и непрерывности позиционирования в городе по сравнению с существующими методами для приемников ГЛОНАСС/GPS различных фирм.

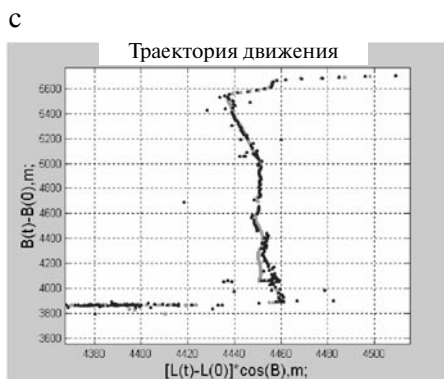
Предложенный фильтр может быть использован и при комплексовании с автономными инерциальными средствами навигации, что позволит дополнительно повысить надежность и достоверность использования приемников ГНСС в сложных условиях.



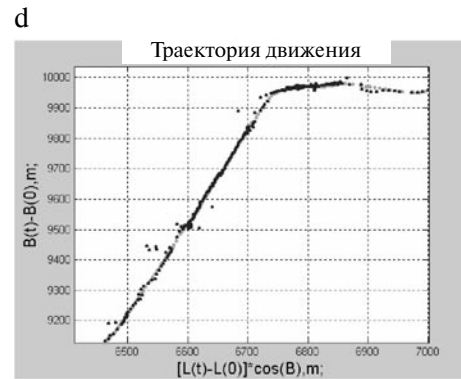
Весь маршрут ТС 29.05.2001



Фрагмент маршрута b)



Фрагмент маршрута c)



Фрагмент маршрута d)

Рис. 3. Оценка местоположения ТС при движении в городских условиях на выходе приемника (черная кривая) и на выходе фильтра (серая кривая)

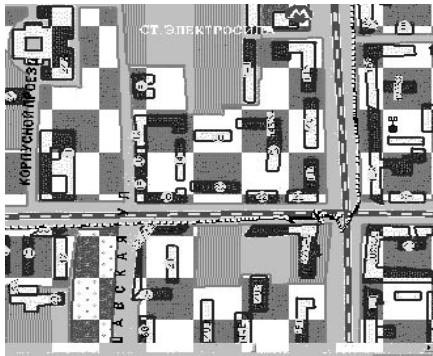


Рис. 4. Наложение маршрута движения ТС на карту Санкт-Петербурга. Маршрут 29.05.2001г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шебшаевич В.С., Дмитриев П.П. и др. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. 2-е издание. Под ред. В.С. Шебшаевича. – М.: Радио и связь, 1993. – 408 с.
2. Spilker J.J. GPS signal structure and performance characteristics/Navigation (USA). Vol.25, № 2, 1978. – P. 121-146.
3. Van Dierendonck A.J., Fenton P., Ford T. Theory and Performance of Narrow Correlator Spacing in a GPS Receiver. Journal of The Institute of Navigation, Vol. 39, № 3, Fall1992, – P. 265 – 282.
4. Garin L., Rousseau J. Enhanced Strobe Correlator Multipath Rejection for Code & Carrier. ION GPS '97, Session B2 – MULTIPATH – paper #4, 1997. – P. 559-568.
5. Hatch R. The synergism of GPS code and carrier measurements// Proc. of the Third International Geodetic Symposium. on Satellite Doppler Positioning.– Los Cruces, USA: 8-12 February, 1982. – 17p.
6. Lachapelle G. Navigation Accuracy for Absolute Positioning, AGARD Lecture Series 207, System Implications and Innovative Applications of Satellite Navigation, NATO, 1996. – P. 4.1-4.10.
7. Quiles-Blanco A., Martin-Neira M.. Performance Comparison between a Dynamic-Free Navigation Filter and the Carrier Smoothing Algorithm. ION GPS '99, Nashville, 14-17 September 1999. – P.1597-1607.
8. Степанов О.А. Особенности построения и перспективы развития навигационных инерциально-спутниковых систем. – СПб: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», 2001. – 234 с.
9. Джанджгава Г.И. и др. Разработка интегрированных ИНС, гироскопов и акселерометров. – СПб международная конференция по гироскопической технике и навигации, ч. 1, 1995. – С. 19-29.
10. Блажнов Б. А., Несенюк Л. П., Пешехонов В. Г., Старосельцев Л. П. Миниатюрные интегрированные системы ориентации и навигации для гидрографических судов и катеров. Гироскопия и навигация. – СПб.: ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электроприбор», 2001. – 234 с.
11. Гай Э. Наводящиеся снаряды с инерциальной навигационной системой на микромеханических датчиках, интегрированной с GPS. – СПб: Гироскопия и навигация, №3 (22), 1998. – С. 72-81.
12. Дмитриев С.П., Степанов О.А., Кошаев Д.А. Применение Марковской теории нелинейной фильтрации при оптимизации алгоритмов навигации с использованием картографической информации о возможных траекториях движения объекта. – Радиотехника, №10, 1999. – С. 12-16.
13. Шолохов А. В. Определение текущего местоположения объекта по цифровым картам дорог без начальной настройки навигационной системы счисления пути. – СПб: ГНЦ РФ-ЦНИИ «Электроприбор», Академия навигации и управления движением, 2001. – 244 с.
14. Основные положения по созданию и обновлению топографических карт. – М.: РИО ВТС, 1984. – 64с.
15. Калман Р.Е., Бьюси Р.С. Новые результаты в линейной фильтрации и теории предсказания. – Труды американского общества инженеров-механиков. Сер. Д, т.83, №1, 1961. – С.123-142.
16. Bedrin I.B, Balov A.V, Konarzhevskiy I.K, Zholnerov V.S. A Modified Kalman Filter Integrating Reckoning Doppler and Smoothed-by-phase Code Measurements for Positioning Transportation Aids Using GLONASS/GPS. – 3rd International Symposium on Integration of LORAN-C/EUROFIX and EGNOS/Galileo. – Munich, Germany: 11-12 June 2002. – 9 p.

СПУТНИКОВАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ПОДСИСТЕМА, ВКЛЮЧАЮЩАЯ НЕСКОЛЬКО КОНТРОЛЬНО-КОРРЕКТИРУЮЩИХ СТАНЦИЙ

С.Б. Болошин, В.С. Жолнеров, С.П. Зарубин, А.И. Кабилов, С.Б. Писарев, Г.А. Семенов, В.М. Царев, Б.В. Шебшаевич

Рассмотрено несколько режимов работы спутниковой дифференциальной подсистемы с несколькими ККС, отличающихся как типом коррекции (коррекции псевдодальностей и псевдоскоростей или координат), так и алгоритмами обработки корректирующей информации.

SATELLITE DIFFERENTIAL SYSTEM USING SEVERAL REFERENCE STATIONS

S.B. Boloshin, V.S. Zholnerov, S.P. Zarubin, A.I. Kabirov, S.B. Pisarev, G.A. Semenov, V.M. Tsarev, B.V. Shebshayevich

Several modes of operation for a satellite differential system are considered with several reference stations that differ both in the correction type (pseudo-range or pseudo-velocity of position) and processing algorithms.

Использование дифференциального режима в любой навигационной системе является одним из основных направлений повышения точности навигационных определений. Эффективность дифференциального режима зависит от удаления объекта от контрольно-корректирующей станции (ККС) из-за пространственно-временной декорреляции ряда компонентов погрешностей измерений. Поэтому размеры зоны дифференциальной подсистемы, понимаемой как область пространства, в пределах которой погрешность местоопределения σ_{μ} меньшая допустимой $\sigma_{\text{доп}}$ ($\sigma_{\mu} \leq \sigma_{\text{доп}}$), зависят от величины эффективного радиуса пространственной корреляции погрешностей измерений с учетом запаздывания приема корректирующей информации, определяемого объемом передаваемой информации и скоростью ее передачи.

В дальнейшем будем рассматривать только пространственную декорреляцию погрешностей измерений, полагая наличие высокоскоростного связного канала. В дифференциальных подсистемах СРНС типа ГЛОНАСС и GPS по результатам экспериментально-теоретических исследований радиус пространственной корреляции R_0 приближенно определен в 500 км.

В реальных условиях, например, при построении канала передачи информации ККС на основе информационных каналов стационарных мобильных ИФРНС (типа «Чайка», «Лоран-С») радиомая-

ков и т.д., базовые расстояния которых соизмеримы с радиусом зоны действия ККС, возникает возможность использования на объекте информации от нескольких ККС. Избыточность корректирующей информации позволяет повысить эффективность дифференциального метода и существенно увеличить зону спутниковой дифференциальной подсистемы, использующей несколько ККС. В монографии [1] приводится алгоритм, позволяющий при наличии на подвижном объекте информации от нескольких дифференциальных подсистем фазовой СДВ радионавигационной системы одновременно с оценкой координат производить уточнение параметров модели регулярной составляющей погрешности измерений в реальном времени.

Рассмотрим несколько режимов работы спутниковой дифференциальной подсистемы с несколькими ККС, отличающихся как типом коррекции: коррекции псевдодальностей (ПД) и псевдоскоростей (ПС) или координат, так и алгоритмами обработки корректирующей информации.

Следует подчеркнуть, что по точности режимы коррекции ПД и ПС и по координатам практически идентичны [2] и отличаются требуемым объемом передаваемой информации.

Представляется, что ограничение на режим коррекции координат, связанное с необходимостью работы на объекте и ККС по одному созвездию навигационных космических аппаратов (НКА), не

вполне обосновано, особенно при избыточности информации: во-первых, различие созвездий определяется отбраковкой НКА, имеющего малый угол места, вклад которого в точность местоопределения незначителен, а во-вторых, геометрический фактор в СРНС при изменении числа НКА изменяется на единицы процентов [2], т.е. точность оценивания текущих координат практически не меняется.

1. Дифференциальный режим с коррекцией координат

На каждой i -й ККС рассчитывается векторная дифференциальная поправка:

$$\hat{\delta}_i = \hat{\Delta}_{изм i} - \Delta_{рi}, \quad (1)$$

где $\hat{\Delta}_{изм i}$ – вектор оценок текущих координат i -й ККС;

$\Delta_{рi}$ – известный с высокой точностью вектор координат i -й ККС.

При приеме на объекте дифференциальных поправок $\hat{\delta}_i$ от всех ККС и приведения их к одному моменту времени вычисляются средневзвешенные значения вектора коррекции:

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^N W_i \hat{\delta}_i}{\sum_{i=1}^N W_i}$$

Дифференциальный режим с коррекцией координат можно подразделить по выбору весовых коэффициентов W_i :

- в качестве веса W_i выбирается величина, обратно пропорциональная удалению объекта от i -й ККС R_i , либо весовой коэффициент определяется как

$$\exp\left(-\frac{R_i}{R_0}\right)$$

. В этом случае передаваемая с ККС информация состоит из трех поправок к координатам и трех поправок к скоростям;

- в качестве веса выбирается величина, обратно пропорциональная точности оценивания места i -й ККС. Объем передаваемой информации с ККС составляет: три поправки к координатам, три поправки к скоростям и одну оценку погрешности места;

- в качестве веса выбирается величина, обратно пропорциональная точности оценивания элементов вектора координат на i -й ККС. Объем передаваемой информации с ККС составит: три поправки к координатам, три поправки к скоростям, три оценки точности элементов вектора координат и три оценки точности элементов вектора скорости. С ККС объем передаваемой информации для рассмотренных вариантов существенно меньше, чем при передаче ПД (16 поправок) и ПС (16 поправок) [3].

2. Дифференциальный режим с коррекцией псевдодальностей

Сущность метода состоит в том, что объект принимает поправки к результатам измерений по всем спутникам, видимым на всех ККС, обрабатывая которые определяются средневзвешенные значения коррекции по каждому НКА.

На каждой i -й ККС вычисляются поправки к измеряемым параметрам для каждого j -го НКА:

$$\Delta r_{ij} = r_{изм ij} - r_{рij}, \quad (2)$$

где $r_{изм ij}$ – псевдодальность до j -го НКА, измеренная на i -й ККС;

$r_{рij}$ – эталонное расстояние до j -го НКА от i -й ККС.

Рассмотрим бюджет погрешностей измерений в дифференциальном режиме. Учитывая, что шкалы времени (ШВ) всех ККС привязаны к системной ШВ, сформированные на ККС поправки не содержат систематического временного компонента, определяемого уходом ШВ НКА и ККС.

Различие в направлении приема навигационной информации, поступающей с НКА, на объекте и ККС, определяет эфемеридный компонент погрешности – разность проекций эфемеридной погрешности на направления НКА-ККС и НКА-объект (Δr_3). Неоднородное по высоте распределение диэлектрической проницаемости (электронной концентрации), вызывающее рефракцию при распространении радиоволн, определяет наличие ионосферного (Δr_u) и тропосферного (Δr_3) компонентов погрешности поправки.

Выражение для поправки i -й ККС для j -го НКА (Δr_{ij}) запишем в виде

$$\Delta r_{ij} = \Delta r_{эij} + \Delta r_{иij} + \Delta r_{тij} + \Delta r_{лij} + \varepsilon_{ij}, \quad (3)$$

где ε_{ij} – слабо коррелированная случайная величина, представляющая собой погрешность формирования поправки для j -го НКА на i -й ККС [4].

Эфемеридные погрешности и погрешности невязок шкал времени можно рассматривать как некоррелированные случайные величины [3] с нулевыми математическими ожиданиями и дисперсиями σ_3^2 , σ_t^2 соответственно:

$$M[\Delta r_{эij}] = 0; \quad M[\Delta r_{эij} \Delta r_{эkj}] = \sigma_{эij}^2;$$

$$M[\Delta r_{эij} \Delta r_{лkj}] = 0 \quad i \neq k;$$

$$M[\Delta r_{иij}] = 0; \quad M[\Delta r_{иij} \Delta r_{иij}] = \sigma_{иij}^2;$$

$$M[\Delta r_{иij} \Delta r_{икj}] = 0; \quad i \neq k.$$

Ионосферная и тропосферная компоненты погрешности представляют собой случайные величины с ненулевыми математическими ожиданиями

$\overline{\Delta r_u}, \overline{\Delta r_T}$ (систематические составляющие) и дисперсиями σ_u^2, σ_T^2 соответственно:

$$\begin{aligned} M[\Delta r_{uiu}] &= \overline{\Delta r_u}; \quad M[\Delta r_{uij} \Delta r_{uij}] = \sigma_{uij}^2; \\ M[\Delta r_{uij} \Delta r_{ukj}] &= 0; \quad i \neq k; \\ M[\Delta r_{Tij}] &= \overline{\Delta r_T}; \quad M[\Delta r_{Tij} \Delta r_{Tij}] = \sigma_{Tij}^2; \\ M[\Delta r_{Tij} \Delta r_{Tkj}] &= 0; \quad i \neq k. \end{aligned}$$

Таким образом, поправку Δr_{ij} можно представить как сумму систематической $\Delta \overline{r}_{ij}$ и случайный \mathcal{Y}_{ij} составляющих

$$\Delta r_{ij} = \Delta \overline{r}_{uij} + \Delta \overline{r}_{Tij} + \varepsilon_{uij} + \varepsilon_{Tij} + \varepsilon_{ij} = \Delta \overline{r}_{ij} + \gamma_{ij} \quad (4)$$

Влияние тропосферы на величину систематического компонента поправки описывается выражением [5]

$$\Delta \overline{r}_T = k_1 \operatorname{cosec} \theta, \quad (5)$$

где θ – угол места объекта.

Влияние ионосферы на величину систематического компонента поправки к измеряемой дальности описывается выражением [5]

$$\Delta \overline{r}_u = \frac{4,03 \cdot 10^7}{f^2} \int_0^h N(h) \frac{(a+h)dh}{\sqrt{(a+h)^2 - a^2 \cos^2 \theta}}, \quad (6)$$

где h – высота орбиты НКА;

a – радиус земли;

$N(h)$ – приведенный показатель преломления воздуха;

f – частота.

На практике для расчета ионосферой погрешностей $\overline{\tau}_u$ используется упрощенная двумерная модель ионосферы и усредненное по гелио-геофизическим данным значение электронной концентрации [6], что приводит к выражению [7]

$$\Delta \overline{r}_u = \frac{1,21 \cdot 10^{21}}{f^2 \sqrt{1 - 0,91 \cos^2 \theta}} \quad (7)$$

Однако с учетом существенных (в несколько раз) вариаций $\Delta \overline{r}_u$ в течение суток и внутри 11 – летнего цикла выражение (7) для углов $\theta \geq 15$ градусов можно упростить до

$$\Delta \overline{r}_u = \frac{1,21 \cdot 10^{21}}{f^2} \operatorname{cosec} \theta = k_2 \operatorname{cosec} \theta \quad (8)$$

Таким образом, приближенную модель систематической погрешности измерения ПД можно представить в виде

$$\Delta \overline{r} = k_1 \operatorname{cosec} \theta + k_2 \operatorname{cosec} \theta = k \operatorname{cosec} \theta \quad (9)$$

2.1. При приеме на объекте дифференциальных поправок от всех ККС ($i = 1, N$) и приведения их

к единому моменту времени для каждого НКА производится оценка средневзвешенного значения \hat{r}_j , которая затем используется в реальном времени:

$$\Delta \hat{r}_j = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_{ij} \Delta \hat{r}_{ij}}{\sum_{i=1}^N \alpha_{ij}}, \quad (10)$$

где α_{ij} – весовой коэффициент, который в соответствии с (8) равен $\operatorname{cosec} \theta_{ij}$ (на объекте по известным координатам ККС производится вычисление всех θ_{ij}). При этом весовые коэффициенты выбираются по значимости вклада в поправку.

Измеренные на объекте значения ПД корректируются поправками

$$r_j = r_{\text{изм}j} - \Delta \hat{r}_j. \quad (11)$$

2.2. Дифференциальный режим с коррекцией ПД поправками, оценки которых получены на объекте в реальном времени.

При приеме на объекте дифференциальных поправок от всех ККС и приведения их к единому моменту времени по методу наименьших квадратов производится оценивание коэффициентов математической модели систематического компонента поправки, простейший вид которой описывается выражением (8):

$$\hat{k} = \frac{\sum_j \sum_{i=1}^N \Delta r_{ij} \operatorname{cosec} \theta_{ij}}{\sum_j \sum_{i=1}^N \operatorname{cosec}^2 \theta_{ij}}. \quad (12)$$

При этом МНК-оценка \hat{k} проводится по измерениям от всех ККС и НКА. Измеренные на объекте значения ПД корректируются поправками

$$\Delta r_j = r_{\text{изм}j} - \hat{k} \operatorname{cosec} \theta_j.$$

При достаточной избыточности поправок, поступивших на объект, математическая модель может быть представлена в виде полинома от $\operatorname{cosec} \theta$, степень которого зависит от избыточности информации:

$$\Delta \overline{r} = \hat{k}_0 + \sum_m \hat{k}_m \operatorname{cosec}^m \theta \quad (13)$$

$$\Delta \overline{r}_j = \hat{k}_0 + \sum_m \hat{k}_m \operatorname{cosec}^m \theta_j$$

$$r_j = r_{\text{изм}j} - \left(\hat{k}_0 + \sum_m \hat{k}_m \operatorname{cosec}^m \theta_j \right) \quad (14)$$

В качестве весовых коэффициентов при оценивании вектора координат для измерений от j -го НКА целесообразно использовать $(\sin \theta_j)^{-1}$, что в определенной степени компенсирует принятые допущения при построении математической модели систематического компонента ионосферной погрешности (7,8).

В статье описан ряд возможных вариантов обработки корректирующей информации в интегрированной спутниковой дифференциальной

подсистеме, состоящей из нескольких ККС, как в режиме коррекции координат, так и в режиме коррекции ПД. Избыточность измерений существенно повышает надежность обеспечения навигационной информации потребителя, расширяет зону действия спутниковой дифференциальной подсистемы, позволяет в реальном времени на борту уточнить поправку на распространение радиоволн и, соответственно, повысить точность навигационных определений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радионавигационные системы сверхдлинноволнового диапазона/ С.Б. Болошин, Г.А. Семенов, А.С. Гузман и др.; Под ред. П.В. Олянюка, Г.В. Головушкина. – М.: Радио и связь, 1985.
2. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС/ Под ред. В.Н. Харисова, А.И. Перова, В.А. Болдина. – 2-е изд., исправ. – М.: ИПРЖР, 1999.
3. Ю.А. Соловьев. Системы спутниковой навигации. – М.:Эко-Тренз, 2000.
4. В.В. Кульнев, В.Ю. Куликов. Обработка информации от нескольких контрольно-корректирующих станций при реализации дифференциального режима в ГЛОНАСС и GPS. Радиотехника, 1998, №9.
5. С.И. Бычков, Д.П. Лукьянов, Е.Н. Назимок, П.В. Олянюк, Н.К. Сергеев, В.С. Шебшаевич, Ю.А. Юрков. Космические радиотехнические комплексы. Советское радио. Москва, 1967.
6. М.А. Колосов, Н.А. Арманд, О.И. Яковлев. Распространение радиоволн при космической связи. – М.: Связь, 1969.
7. Сетевые спутниковые радионавигационные системы/ В.С. Шебшаевич, П.П. Дмитриев, Н.В. Иванцевич и др.; Под ред. В.С. Шебшаевич. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1993.

УСТРАНЕНИЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ОКОНЕЧНОМ КАСКАДЕ РАДИОНАВИГАЦИОННОГО СДВ ПЕРЕДАТЧИКА

А.Д. Артём,

В.Г. Боровицкий, В.А. Филин

Режим работы мощного импульсного передатчика, работающего на нагрузку с высокой добротностью, характеризуется значительными перенапряжениями. Для устранения этих перенапряжений необходимо провести расчет переходных процессов и разработать метод их устранения. Метод матричного рекуррентного уравнения показал существенное повышение эффективности расчета режима работы данного передатчика. Исследования на модели показали, что типовой режим исходной схемы передатчика характеризуется значительными перенапряжениями особенно на заднем срезе радиоимпульса, опасными для лампы и элементов фильтра. В результате расчетов установлено, что при минимальной доработке передающего устройства (введение двух диодных столбов) достигается ограничение переходных процессов на допустимом уровне.

ELIMINATION OF OVERVOLTAGES IN THE TERMINAL STAGE OF A RADIO NAVIGATION VLF TRANSMITTER

A.D. Artym,

V.G. Borovitsky, V.A. Filin

The operating mode of a high-power pulse transmitter, working with a high Q load is characterized by significant overvoltages. To eliminate these overvoltages it is necessary to carry out calculation of transients and to develop a method of their eliminations. The method of the matrix recurrent equation has shown essential increase of efficiency of calculation for a given transmitter. Simulation has shown that the typical mode of the initial circuit of the transmitter is characterized by significant overvoltages especially on a back edge of the RF pulse that can cause troubles for a tube and filter elements. As a result of calculations it is stated that by way of insignificant additions to the transmitting device (introduction of two 2 diode columns), restriction of transients is reached to an allowable level.

1. Введение

Оконечный каскад мощного радионавигационного импульсного сверхдлинноволнового (СДВ) передатчика содержит высокодобротную (несколько сотен единиц) нагрузку – многозвенный фильтр НЧ, колебательный контур, антенную систему. При прохождении радиоимпульса через усилитель, нагруженный на данную нагрузку, в последнем возникают значительные перенапряжения на фронте и спаде радиоимпульса. Эти перенапряжения существенно влияют на искажение формы радиоимпульса, энергетические показатели, устойчивость и надежность работы радиопередатчика. Для устранения этих перенапряжений необходимо провести расчет переходных процессов и разработать метод для их устранения.

Информация о сигнале здесь передается через частоту и фазу радиоимпульса, поэтому требуется расчет радиоимпульса, содержащего тысячи периодов колебаний ВЧ с точностью до фазы. Попытки рассчитать даже часть такого радиоимпульса при наличии ограничения амплитуды с заданной точностью по огибающей и фазе при помощи известных разностных методов (метод трапеций, его разновидности и др.) приводят к большим затратам времени и недопустимой погрешности расчета. Метод обратного преобразования Фурье и обратного преобразования Лапласа в выходных каскадах передатчика с ограничением перенапряжений с помощью диодов невозможен, поскольку моменты переключения диодов и ламп заранее неизвестны.

Артём Анатолий Дмитриевич – д.т.н., профессор кафедры теории электрических цепей СПбГУТ
Филин Владимир Алексеевич – д.т.н., профессор кафедры теории электрических цепей СПбГУТ
Боровицкий Владимир Геннадьевич – начальник отдела ОАО «РИРВ»

Метод, позволяющий решить эту проблему, был разработан и предложен профессорами Артымом А.Д. и Филиным В.А. [1].

Идея метода заключается в вычислении любого заданного числа членов разложения в ряд Тейлора на каждом шаге с помощью простого рекуррентного матричного уравнения. Можно также отметить способность не только выполнять расчет переходного процесса малым шагом в отдельных интервалах времени, но и крупным шагом, максимально быстро и без потери точности осуществлять прохождение плоской части радиопульса, не представляющей интереса для исследователя.

2. Матричные уравнения оконечного каскада

Матричное рекуррентное уравнение [1] имеет вид:

$$\begin{aligned} V_{CL}^{np,k}(t) &= V_{CL}^{np,(k-1)}(t) + \frac{t}{k} D [V_{CL}^{np,(k-1)}(t) - V_{CL}^{np,(k-2)}(t)] = \\ &= V_{CL}^{np,(k-1)}(t) + \frac{t}{k} D_{CL} [V_{CL}^{np,(k-1)}(t) - V_{CL}^{np,(k-2)}(t)] + \\ &+ \frac{t}{k} D_{uoio} [V_{uoio}^{np,(k-1)}(t) - V_{uoio}^{np,(k-2)}(t)] \end{aligned} \quad (1)$$

где $V_{CL}^{np,k}$, $V_{CL}^{np,k-1}$, $V_{CL}^{np,k-2}$ – матричные функции переменных состояния в k , $k-1$, $k-2$ приближении на шаге,

$$D = -M \cdot H = -M \cdot \|H_{CL} : H_{uoio}\| \quad (2)$$

где M – диагональная матрица обратных емкостей и индуктивностей, а H – матричный коэффициент передачи цепи, приведенной к резистивной.

Для определения матрицы H необходимо привести цепь к резистивной, т.е. токи в индуктивностях заменить идеальными источниками тока, а напряжения на емкостях – идеальными источниками напряжения. Для полученной резистивной цепи матрица H связывает матрицу токов в емкостях и напряжений на индуктивностях с матрицей переменных состояния и заданных источников тока и напряжения.

Принципиальная схема оконечного каскада передатчика приведена на рисунке 1, а соответствующая ей цепь, приведенная к резистивной, на рисунке 2. Заменяя

$i_C = -Cdu_C / dt$ и $u_L = -Ldi_L / dt$, получим уравнения состояния, в которые входят только переменные состояния и источники тока и напряжения:

$$i_{C1} = C_1 \frac{du_{0C1}}{dt} = -i_{0L14} - i_0 \quad ,$$

$$i_{C2} = C_2 \frac{du_{0C2}}{dt} = i_{0L9} - i_{0L14} - i_0 \quad ,$$

$$i_{C3} = C_3 \frac{du_{0C3}}{dt} = -i_{0L9} - i_{0L10} \quad ,$$

$$i_{C4} = C_4 \frac{du_{0C4}}{dt} = -i_{0L10} + i_{0L11} \quad ,$$

$$i_{C5} = C_5 \frac{du_{0C5}}{dt} = -i_{0L11} - i_{0L12} + i_{0L13} \quad ,$$

$$i_{C6} = C_6 \frac{du_{0C6}}{dt} = i_{0L13} \quad ,$$

$$i_{C7} = C_7 \frac{du_{0C7}}{dt} = -i_{0L14} + (u_{0C7} - u_{0C8}) / R_{OFP} \quad ,$$

$$i_{C8} = C_8 \frac{du_{0C8}}{dt} = -(u_{0C7} - u_{0C8}) / R_{OFP} - i_{0L15} \quad ,$$

$$u_{L9} = -L_9 \frac{di_{0L9}}{dt} = -u_{0C2} + u_{0C3} \quad ,$$

$$u_{L10} = -L_{10} \frac{di_{0L10}}{dt} = -u_{0C3} + u_{0C4} \quad ,$$

$$u_{L11} = -L_{11} \frac{di_{0L11}}{dt} = -u_{0C4} + u_{0C5} \quad ,$$

$$u_{L12} = -L_{12} \frac{di_{0L12}}{dt} = u_{0C5} \quad ,$$

$$u_{L13} = -L_{13} \frac{di_{0L13}}{dt} = -u_{0C5} - u_{0C6} + i_{0L13} Ra \quad ,$$

$$u_{L14} = -L_{14} \frac{di_{0L14}}{dt} = u_{0C1} + u_{0C2} - u_{0C7} \quad ,$$

$$u_{L15} = -L_{15} \frac{di_{0L15}}{dt} = u_{0C8} - u_{0Ea} \quad ,$$

или в матричном виде:

$$\frac{dV_{CL}}{dt} = D \cdot V = D_{CL} V_{CL} + D_{uoio} V_{uoio} \quad (3)$$

Из этих уравнений вытекает матрица

$$H = \|H_{CL} : H_{uoio}\|, \quad M = \left\| \begin{array}{c|c} C_i^{-1} & 0 \\ \hline 0 & L_i^{-1} \end{array} \right\|$$

$$H = \left| \begin{array}{cccccccccccccccc|c|c} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_{17}^{-1} & -R_{17}^{-1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -R_{17}^{-1} & R_{17}^{-1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{array} \right.$$

соответствует начальным условиям переменных состояния.

3. Компьютерный расчет переходного процесса

По этой методике была написана на языке Паскаль компьютерная программа. В программе использована кусочно-линейная аппроксимация анодных характеристик лампы в 3-х режимах работы (управления, насыщения и отсечки). Расчет производился при нормированных параметрах:

$$\hat{C} = \omega_0 CR_a ; \hat{L} = \frac{\omega_0 L}{R_a} ;$$

$$\hat{i}_0 = \frac{iR}{E_a} ; \hat{u}_0 = \frac{u_0}{E_a} .$$

$$L_i^{-1} = \left| \begin{array}{cccccccc} L_9^{-1} & & & & & & & \\ & L_{10}^{-1} & & & & & & 0 \\ & & L_{11}^{-1} & & & & & \\ & & & L_{12}^{-1} & & & & \\ & & & & L_{13}^{-1} & & & \\ & 0 & & & & L_{14}^{-1} & & \\ & & & & & & L_{15}^{-1} & \end{array} \right.$$

$$C_i^{-1} = \left| \begin{array}{cccccccc} C_1^{-1} & & & & & & & \\ & C_2^{-1} & & & & & & 0 \\ & & C_3^{-1} & & & & & \\ & & & C_4^{-1} & & & & \\ & & & & C_5^{-1} & & & \\ & 0 & & & & C_6^{-1} & & \\ & & & & & & C_7^{-1} & \\ & & & & & & & C_8^{-1} \end{array} \right.$$

Решение уравнения (3) на каждом шаге расчета представляется в виде рекуррентного матричного уравнения (1), дающего приближенные решения с любой заданной точностью в виде ряда Тейлора. Матричный член разложения этого ряда k-го порядка, обеспечивающий k-е приближение, может быть выражен через члены k-1-го и k-2-го порядка.

При определении первого приближения при k=1, соответствующего формуле Эйлера, выражение

$$V_{CL}^{II_p.(k-2)} = V_{CL}^{II_p.(-1)}$$

тождественно равно нулю, а $V_{CL}^{II_p.(k-1)} = V_{CL}^{II_p.(0)}$

Расчет всего радиоимпульса по предложенной методике при величине шага h=T/10 (10 точек на периоде ВЧ) с суммарной погрешностью ε ≈ 0,5% (ε=δ·N, где δ – максимальная погрешность на 1 шаге, а N – количество шагов) потребовал выполнения 10 – 12 приближений (числа членов ряда Тейлора) на каждом шаге. Время расчета всего процесса на компьютере класса «Pentium» составляет порядка двух минут.

Исследования показали, что в исходной схеме передатчика наиболее интенсивными, т.е. наиболее опасными для лампы и элементов фильтра, являются перенапряжения, возникающие на фронте и заднем срезе радиоимпульса (рисунок 3). Кроме того, столь интенсивный процесс на заднем срезе может повлиять на состояние следующего радиоимпульса, т.е. возможно ухудшение качества передаваемой информации.

4. Ограничение перенапряжений

Для существенного уменьшения перенапряжений в схему были введены ограничительные диодные столбы Д1 и Д2 (рис. 1, обозначены пунктиром). Каждый из этих диодных столбов был представлен в модели резистором с малым сопротивлением (3 – 4 Ом) в интервале проводимости. При включенном диоде Д1 (ограничивающем отрицательное напряжение на аноде лампы на уровне, близком к нулю), либо при включенном диоде Д2, ограничивающем анодное напряжение на уровне, близком к удвоенному напряжению анодного питания, процессы в электрической цепи описываются так называемой «жесткой» системой уравнений, решение которой с тре-

буемой точностью достигалось путем увеличения числа приближений (членов ряда Тейлора) на шаге (с 12 до 45).

Ограничивающие диоды практически не влияют на длительность переходного процесса на переднем фронте радиоимпульса, тогда как заметно сокращают длительность переходного процесса на заднем срезе (рис. 4). При этом форма радиоимпульса заметно приближается к прямоугольной.

5. Выводы

Метод матричного рекуррентного уравнения показал существенное повышение эффективности расчета данного передатчика. Исследования на модели показали, что типовой режим исходной схемы передатчика характеризуется значительными перенапряжениями особенно на заднем срезе радиоимпульса, опасными для лампы и элементов фильтра. В результате расчетов установлено, что при минимальной доработке передающего устройства (введе-

ние двух диодных столбов) достигается ограничение переходных процессов на допустимом уровне.

Данные рекомендации были применены на одном из радионавигационных СДВ передатчиков. Введение диодных ограничителей позволило в несколько раз (с 80кВ до единиц киловольт при проведении натуральных испытаний) уменьшить величину перенапряжений на элементах оконечного каскада радиопередающего устройства и элементах фильтра низких частот. Форма огибающей высокочастотных колебаний близка к оптимальной, поскольку ее передний фронт по длительности практически близок к нулю, а на заднем срезе спад амплитуды свободных колебаний происходит от ограниченного уровня в соответствии с добротностью элементов цепи. Ограничительное устройство не влияет на работу радиопередающего устройства в установившемся режиме, где амплитуда не достигает уровней ограничения. Таким образом, обеспечены требуемая форма передаваемого сигнала и устойчивая работа мощной ступени передатчика.

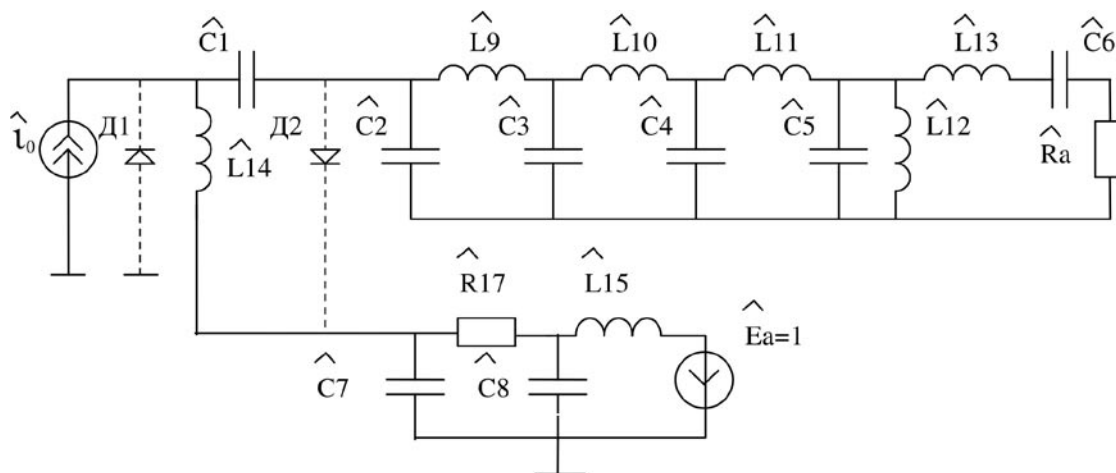


Рис. 1. Схема оконечного каскада передатчика и его нормированные параметры

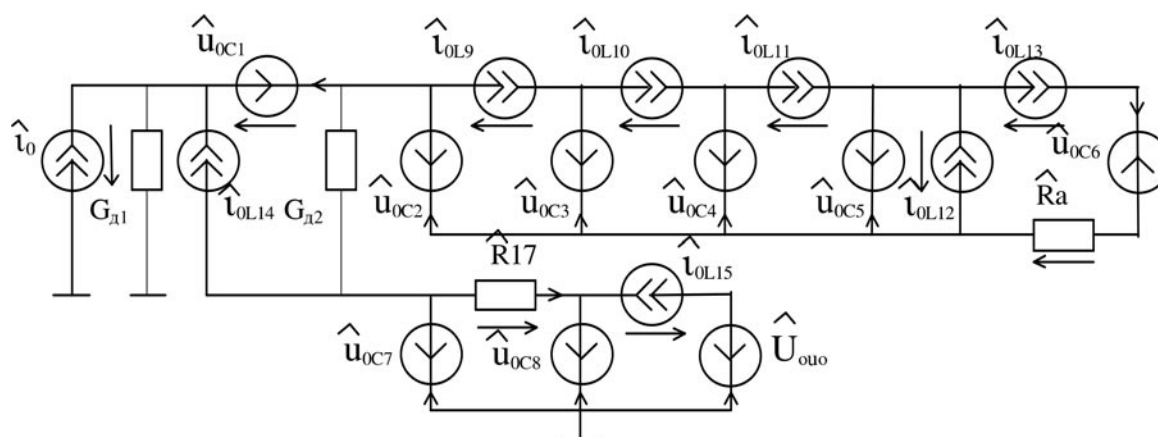


Рис. 2. Схема оконечного каскада, приведенная к резистивной

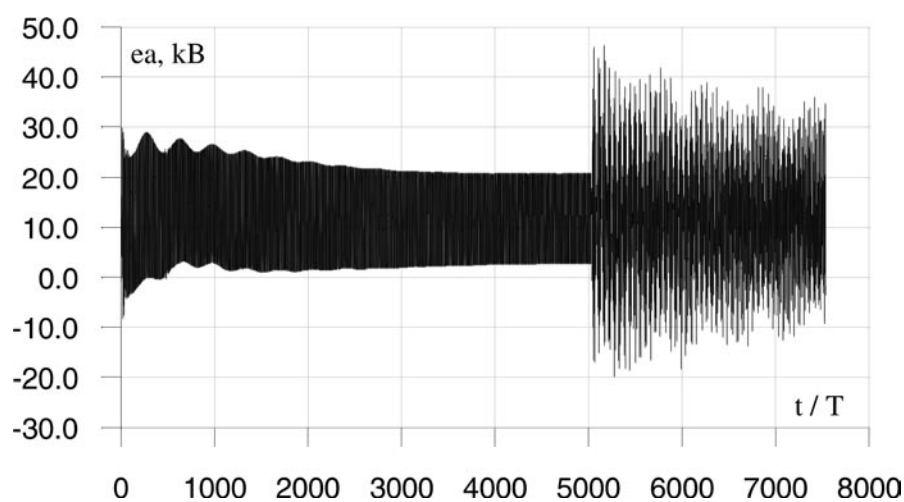


Рис. 3. Зависимость анодного напряжения в исходной схеме СДВ радионавигационного передатчика

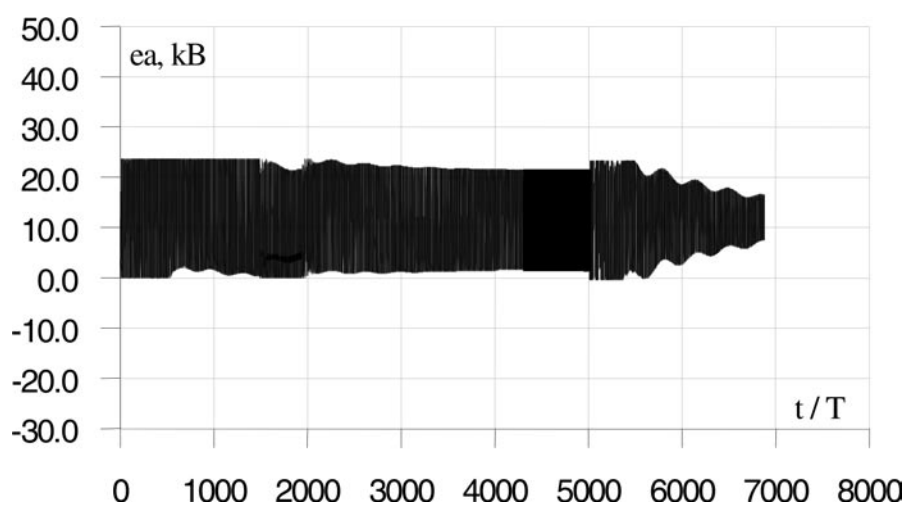


Рис. 4. Зависимость анодного напряжения СДВ радионавигационного передатчика при введении в схему ограничительных диодов

ЛИТЕРАТУРА

1. Артым А.Д., Филин В.А. Матрично-топологические методы анализа переходных процессов в электрических цепях. Учеб. пособие / ГУТ СПб, 1993.

ЖУРНАЛ «НАВИГАЦИЯ» ИНСТИТУТА НАВИГАЦИИ США
ТОМ 52, № 2, ЛЕТО 2005 г.
DIGEST OF THE NAVIGATION JOURNAL OF THE INSTITUTE OF
NAVIGATION
VOL. 52, NO. 2, SUMMER 2005

Журнал открывается статьей «Анализ чувствительности и рабочих характеристик контуров слежения за несущей с использованием доплеровского сдвига в приемниках GPS», авторы которой показывают преимущества использования данных доплеровского сдвига сигнала GPS от устройства оценки, использующего также систему инерциальной навигации для улучшения чувствительности приемников GPS. Известно, что при этом повышается устойчивость приемника к активным и пассивным помехам за счет сужения полосы пропускания шума в контуре слежения. Аналитическими средствами доказывалось, что в приемнике без использования доплеровского сдвига контур слежения теряет сигнал при уровне отношения его мощности к спектральной плотности шума (C/N) 26 дБ-Гц, а при использовании доплеровского сдвига – при 22 дБ-Гц.

Следующая статья носит название «Влияние многолучевости и затенения сигнала на навигацию по GPS вблизи Международной космической станции». Ранее проводились исследования по относительной навигации по GPS для космических кораблей, осуществляющих стыковку с Международной космической станцией (МКС). Однако в них не учитывалось ухудшение характеристик GPS за счет многолучевости и затенения сигнала. Авторы провели моделирование работы приемника GPS вблизи МКС. Моделирование затенения показывает необходимость использования GPS при приближении к МКС на 60 м и ближе. Моделирование многолучевости показывает ожидаемую зависимость погрешностей измерения дальности от угла возвышения спутника GPS, расстояния до МКС, количества отраженных лучей и эффективной поверхности отражения МКС.

В статье «Сравнение приемника с прямой выборкой на ВЧ с обычным приемником ГНСС» авторы представили анализ, результаты испытаний и сравнения обычного приемника с супергетеродинамным ВЧ трактом и нового приемника с прямой выборкой на ВЧ. Частота выборки намного ниже несущей частоты, но более чем вдвое превышает полосу пропускания сигнала. Полосовой фильтр стоит до аналого-цифрового преобразователя, что позволяет избежать потери чувствительности. Полученные ре-

зультаты показывают, что мощность и фаза сигнала при прямой выборке на ВЧ заметно не меняются.

Автор статьи «Измерение отношения сигнал-шум для слабого сигнала GPS в условиях сильных помех» рассматривает проблему измерения отношения плотности мощностей несущей и шума как способа контроля синхронизации контура слежения за кодом и несущей и работы приемника в условиях малых значений отношения сигнал-шум, а также прогнозирования рабочих характеристик приемника. Однако в условиях сильных помех и слабого сигнала эти измерения часто бывают сильно зашумлены. Путем теоретического анализа и моделирования проведены исследования трех методов проведения таких измерений: методов установленного отношения узкополосной-широкополосной мощности, сравнения корреляторов и статистики выходных данных дискриминатора. При большом времени усреднения все методы оказались приемлемы для условий низкого отношения сигнал-шум.

В статье «Замечание о явлении групповой задержки и набега фазы при распространении сигнала GPS в ионосфере» дается объяснение явлению задержки сигнала кода и опережения сигнала несущей путем распространения производной Иорженсена на эффекты ионосферы в сигнале несущей с одночастотной синусоидальной модуляцией.

Статья «О надежности разрешения неопределенности» посвящена важной проблеме обеспечения быстрого и точного местоопределения в ГНСС. В ГНСС наблюдения фазы несущей неопределенны на неизвестное целое число циклов. Эти неопределенные целые числа нужно разрешить, прежде чем использовать наблюдения фазы несущей в качестве очень точных измерений псевдодальности. Для оптимальной оценки нужно провести сложное нахождение оценок по методу наименьших квадратов (МНК) действительных величин. Поэтому важно иметь критерии, по которым можно судить о надежности разрешения неопределенностей. Таким критерием может служить частота успеха. Если она близка к 1, неопределенности целых чисел могут считаться разрешенными. Поскольку точные вычисления невозможны, в статье дается оценка верхнего и нижнего пределов частоты успеха разре-

шения по МНК целых чисел, а также оцениваются используемые тесты и дается общее теоретическое обоснование.

В статье «Усовершенствованный метод Найта на основе суженного пространства поиска для мгновенного определения положения в пространстве по GPS» рассматривается применение алгоритма Найта для мгновенного разрешения неопределенностей целых чисел, который значительно ускоряет поиск за счет пропуска наименее вероятных кандидатов на целое решение. Однако надежность разрешения

зависит от объема пространства поиска. Используя приближенное знание пространственного положения, можно уменьшить пространство поиска. В статье предложен новый метод сужения этого пространства путем учета геометрического ограничения видимых спутников. Это ограничение осуществляется в виде рекурсивной процедуры, поэтому рекомендуется вносить ее в контур поиска по методу Найта. Эксперименты подтверждают эффективность предложенного метода.

ЖУРНАЛ GPS WORLD ОКТАБРЬ 2005 г. DIGEST OF THE GPS WORLD OCTOBER 2005

Новый главный редактор журнала Скоти Барнс в статье «Приключения с взаимодействием» рассказывает о проблемах связи и обмена информацией в самом широком смысле. Жертвы урагана «Катрина» могли бы быть не такими многочисленными, если бы руководству штата Луизиана удалось решить существовавшие задолго до этого проблемы взаимодействия полиции и других департаментов правительства. Прошло четыре года после теракта 11 сентября, на решение проблем борьбы с катастрофами было потрачено около 1 млрд. долларов, однако при новом катаклизме не удалось оперативно организовать поиск и спасение пострадавших. На пленарном заседании Института навигации США в 2005 г. по теме ГНСС были представлены материалы по модернизации GPS, работам по Галилео, планам восстановления ГЛОНАСС, создания MTSAT в Японии, но участники заседания задались вопросом о совместимости шкал времени, систем координат, используемых моделей ионосферы, тропосферы, приливов/отливов и, наконец, о взаимопонимании тех, кто принимает решения.

В заметке «Вызов M-кода Офису объединенных программ GPS» представлена дискуссия по поводу создания модернизированной аппаратуры потребителей (МАП) для военных. Для приемника сигналов нового спутника блока IIR-M нужно разработать специализированную плату (ASIC) для сигналов M-кода. На подобные разработки обычно уходит от 12 до 18 месяцев. Выбор подрядчиков большой, но нужно удостовериться, что конечный продукт будет удовлетворять Министерство обороны по стоимости. Программное обеспечение должно обрабатывать новый M-код плюс все действующие

военные сигналы. По плану на него должны перейти все, включая союзников по НАТО. Конечной задачей является создание возможностей управления «навигационным средством ведения войны» (Navigation Warfare).

В заметке «Охотники за ураганом» описывается использование одноразовых зондов, оснащенных GPS, для слежения за ураганом «Катрина». Зонды были сброшены с самолетов Исследовательской лаборатории ВМС США и Национального управления исследования океана и атмосферы в эпицентре урагана, и с их помощью определялись скорость, направление и сила ветра.

В заметке «Приемник GPS на одном чипе» дается прогноз развития рынка приемников GPS. Поскольку объемы производства чипов GPS достигают миллионов штук от каждого производителя для автомобильного рынка и десятков миллионов штук для рынка бытовых устройств, карта рынка сильно меняется. Появление Галилео позволит в полной мере использовать преимущества возросшей чувствительности, что приведет к созданию дешевых устройств на одном чипе с высоким уровнем интеграции.

В статье «Содействие без содействия – долгосрочная орбитальная информация для сотовых телефонов» описывается техника получения долгосрочных орбитальных данных для поддержания функции местоопределения сотовых телефонов через Интернет вместо пользования услугами специальных серверов «содействия GPS» (assisted GPS), которые требуют почти постоянного подключения. Новая техника позволяет точно местоопределяться без дополнительной помощи в течение четырех дней.

В заметке «Поворот, поворот, поворот – Счисление пути по датчику вращения колес для навигации транспортных средств» автор предлагает альтернативу системам счисления пути на базе гироскопов для дополнения GPS в транспортных средствах с интеллектуальной навигацией. Речь идет об использовании индивидуальных датчиков вращения передних и задних колес для расчета изменений скорости рысканья. Такие датчики являются основным элементом незапирающихся тормозных систем, которые являются стандартным оборудованием большинства новых машин.

НОЯБРЬ 2005 г. NOVEMBER 2005

Ноябрьский номер журнала открывается статьей «Навигация будущего ждет вашего решения», в примечании к которой сказано, что она не отражает официальной политики Правительства США. Автор статьи сообщает о запуске первого модернизированного спутника GPS, который будет излучать сигнал на частоте L2C, первой из трех гражданских частот. Модернизация завершится с появлением сигнала на частоте L1C. Он будет совместим со всеми сигналами GPS и с сигналом канала открытого доступа Галилео L1, что определено Соглашением с Европейским Союзом от 26 июня 2004 г. Автор – член группы, проектирующей сигнал L1C, предлагает всем заинтересованным лицам принять участие в определении этого сигнала. К достоинствам L1C относятся: улучшенные характеристики слежения и отсутствие фазовых неоднозначностей за счет разделения мощности между составляющими информационной и пилотной несущей, улучшение демодуляции сообщений за счет опережающей коррекции погрешностей, снижение подверженности узкополосным и межспутниковым помехам и разрешение временных неопределенностей за счет удлинения кодов, сокращение времени до первого отсчета за счет новой структуры сообщений (CNAV-2), минимизация эффектов коротких затуханий от проходящих препятствий путем чередования (interlacing), 100%-е использование мощности сигнала за счет одинаковой длины кода пилот-несущей и сообщения, использование базовой формы сигнала ВОС(1,1) по Соглашению США и Европейского Союза. Разработано пять схем для L1C. Группа проектировщиков проводила собеседования в Японии, России, Германии, Великобритании, методом опроса планируя определить, который из вариантов в наибольшей степени удовлетворит потенциальных потребителей.

В заметке «Робот в гонке – «Стенли» Стенфордского университета берет приз» рассказано о «Фольксвагене»-роботе, оснащенный приемником GPS фирмы NovAtel с дифференциальными поправками от OmniStar HP, блоком инерциальных измерений, компасом GPS и колесным одометром NovAtel. Робот преодолел расстояние в 131 милю в пустыне за 6 часов 53 минуты. На борту есть пять лазерных дальномеров, видеокамера, радиолокатор. Поступление информации от датчиков осуществляется с частотой от 10 до 100 Гц. Данные обрабатываются ПК Pentium 3.

В заметке «Борьба со снижением чувствительности антенн бытовых устройств» рассматривается проблема низкой точности определения координат многими типами бытовых устройств при определенных обстоятельствах. Постоянное улучшение характеристик, габаритов и снижение стоимости привели к интенсивному росту рынка бытовой аппаратуры GPS – телематических устройств, мобильных средств, устройств поиска и пр. Однако при проектировании этих устройств не всегда принимаются во внимание конкретные условия пользования устройством, в частности, воздействие на его антенну руки и корпуса человека. Предлагается новая конструкция антенны с защитой от влияния диэлектриков в ближнем поле.

В статье «Первые результаты готовы» представители фирмы «NovAtel» рассказывают о работе над созданием приемника Галилео/GPS. К трудностям проектирования авторы относят требования работы приемника по нескольким типам сигналов, нескольким частотам, по новой схеме модуляции (несущая с двоичным сдвигом – ВОС), отсутствие в настоящее время доступного сигнала в пространстве для испытаний опытных образцов приемников, нахождение имитаторов сигналов на стадии разработки. Поэтому специалисты фирмы сочли возможным перевести генерирование сигнала и моделирование приемника в область программного обеспечения. При таком проектировании приемника с помощью компьютерных средств за основу взяли вентиляционно-матричную структуру приемника с программируемым полем. Представлены полученные результаты.

«General Dynamics» изучает наземное управление». BBC США подписали с фирмой контракт на 1,4 млн. долларов на изучение аппаратных, программных и технических решений для архитектуры сегмента наземного управления спутниками GPS нового поколения. По завершении программы этот комплекс наземного управления будет контролировать группировку спутников GPS III, действующих спутников GPS и других военных спутников как часть интегрированной космической/наземной

сети. Исследование позволит найти новые методы управления спутниками GPS в космосе и разработать новые требования ВВС США. По результатам исследования будет заключен договор на разработку наземного комплекса управления GPS следующего поколения. Его приблизительная стоимость в расчете на 10 лет – от 500 млн. до 1 млрд. долларов.

ДЕКАБРЬ 2005 г. DECEMBER 2005

Представляет интерес заметка «О публикации отчета Комитета по науке в области обороны», в которой сообщается о том, что специальная группа Комитета по науке в области обороны Офиса заместителя министра обороны по закупкам, технологиям и поставкам подготовила отчет «Будущее Глобальной системы местоопределения». Среди основных проблем рассматривается проблема аппаратуры для военных потребителей. Специальная группа «считает жесткое применение возможностей борьбы с активными помехами ограничением для реализации потенциальных преимуществ приема сигналов, которые в будущем могут быть получены за счет разнообразия сигналов. Рекомендуются более гибкая политика закупок приемников GPS. В части характеристик помехоустойчивости говорится, что «основным пунктом уязвимости...является угроза широкого распространения мобильных, недорогих, относительно маломощных постановщиков помех». Специальная группа рекомендует Министерству обороны начать «агрессивную программу скорейшего внедрения противопомеховых средств в военных приемниках и переходить к GPS III для повышения мощности сигнала в пространстве». В отношении системы Галилео рекомендуется «оставаться открытыми и развивать возможности для сотрудничества...с сильным упором на действительно гражданское взаимодействие; настаивая на полном открытии структуры открытого сигнала и продолжая целенаправленную реализацию отдельной стратегии для обеспечения превосходящих военных и приемлемых гражданских возможностей в местоопределении, навигации и времени в интересах США в глобальных масштабах, используя в качестве основы GPS с военной поддержкой... Правительство должно быть готовым рассматривать альтернативные способы финансирования и структуры руководства для наилучшего сохранения международной поддержки GPS». В отчете также рассматриваются проблемы руководства, управления и ответственности.

Заметка члена консультативного редакционного комитета журнала, исполняющего обязанности директора Промышленного совета GPS (США) называется «Г значит глобальный». Основная идея статьи заключается в том, что любая проблема, возникающая в одной или нескольких странах в связи с системой GPS (или Галилео), постепенно приобретает глобальный характер. Это наиболее четко проявляется в вопросах распределения частот и борьбы с помехами. Например, в США в последние годы шла работа по защите спектра GPS и других спутниковых систем от сверхширокополосных помех. Теперь эта проблема на глобальном уровне готовится Международным союзом электросвязи к рассмотрению на очередной Всемирной конференции по радиочастотам. По мнению автора, политическая поговорка «делай локально, думай глобально» вполне применима к спутниковой навигации. Еще ярче эта проблема проявится при формировании рынка Галилео. Насколько открыты будут рынки для конкурирующей продукции от разных космических группировок? Изготовители приемной аппаратуры из стран, не входящих в систему Галилео, будут иметь полный доступ к техническим данным о Галилео? Поставит ли Европа препятствия на пути GPS на этот рынок и отдаст предпочтение Галилео? Автору хотелось бы надеяться, что нет. В его понимании, глобальное видение совместного пользования любыми ресурсами и полная совместимость дают гораздо больше, чем местничество. С появлением новых участников спутниковой навигации к проблемам рынка могут добавиться проблемы национальной безопасности. Китай – один из ведущих игроков в мировой экономике. Это также партнер по Галилео и растущий потребитель услуг спутниковой навигации. Он может сыграть конструктивную роль в расширении рынка и круга задач спутниковой навигации. Однако многие выражают опасения, что такой крупный игрок и конкурент может захотеть играть только по своим собственным правилам торговли. Кроме того, мир стал чувствителен к терроризму и региональным конфликтам, поэтому нужно взвешивать, открываем ли мы двери новым партнерам или создаем возможности для проникновения врагов с новыми видами оружия. Нужна продуманная организация, при которой даже соперничество и конкуренция будут приносить положительные результаты для всей планеты.

**ЖУРНАЛ «НАВИГАЦИЯ» КОРОЛЕВСКОГО ИНСТИТУТА НАВИГАЦИИ
ВЕЛИКОБРИТАНИИ**

ТОМ 58, № 3, СЕНТЯБРЬ 2005 г.

**DIGEST OF THE JOURNAL OF NAVIGATION OF THE ROYAL INSTITUTE
OF NAVIGATION**

VOL. 58, NO. 3, SEPTEMBER 2005

Журнал открывается статьей «Третья мировая война – версия 60-х годов», в основу которой положена лекция, прочитанная в музее навигации бывшим штурманом бомбардировщика, служившим в ВВС Великобритании в 60-х годах прошлого века. Автор рассказывает, как в те годы предполагалось использовать бомбардировщики средних дальностей в случае возникновения ядерного конфликта. В то время такая информация была засекречена.

В статье «Еще раз о великом противодействии зональному обзору 50-х годов» автор рассказывает о том, что сразу же после Второй мировой войны возник спор о будущем воздушной навигации: необходимо развивать ее в сторону систем с зональным покрытием или систем точечного излучения. США выступали в пользу последних, тогда как Великобритания предлагала развивать системы зонального обзора, которые хорошо зарекомендовали себя во время войны. Споры утихли только после принятия окончательного решения в пользу американской точки зрения на Монреальской конференции ИКАО в 1959 г. С того времени стандартными радиотехническими средствами для авиации являются системы VOR, DME, радиокомпасы и приводные радиостанции (ПРС). Если не считать отказ от радиокомпасов и развитие ГНСС, ситуация вряд ли будет меняться. Автор пытается провести беспристрастный анализ событий тех лет.

Статья «Дальняя навигация альбатросов: сравнение поведения взрослых и молодых птиц» является журнальным вариантом доклада на Конференции по ориентированию и навигации птиц, животных и человека, которая проходила в апреле 2005 г. в Великобритании.

Следующая статья называется «О системах навигации для мотоциклов: влияние и оценка угла наклона». При определении местоположения по DPS в интервалах между корректировками данных производится «счисление» координат по курсу и скорости объекта. Курс определяется по данным гироскопа скорости. Но эти данные достоверны, если транспортное средство не испытывает крена и тангажа. У автомобиля они пренебрежимо малы, а у

мотоцикла должны учитываться. Предлагаются методы оценки и схемы построения датчиков наклона мотоциклов.

Статья «Системы предотвращения столкновений в воздухе, оповещения диспетчеров о близком конфликте и риск столкновений» анализирует две системы: систему оповещения и предупреждения о столкновениях и диспетчерскую систему краткосрочного извещения о возможном конфликте. На основании отчетов с самолетов коммерческой транспортной авиации о сближениях в воздухе сделан вывод о том, что эти системы не конфликтуют при совместной работе и дают хорошие результаты.

В статье «Обзор методов объединения нескольких датчиков в самолетных навигационных системах» авторы рассматривают существующие архитектуры навигационных систем, толерантные к неисправностям, методы объединения данных и их преимущества и недостатки. Описываются четыре архитектуры и обсуждаются методы и алгоритмы калмановской фильтрации. Статья может быть использована при проектировании бортовых навигационных систем.

В следующей статье «Борьба с помехами ГНСС с помощью современных инерциальных систем» представлена архитектура адаптивного жестко связанного блока ИНС/GPS. Существует много сценариев, когда при сильных помехах или слабом сигнале нужно использовать комплексную навигационную систему ИНС/ГНСС. Приемник GPS может использовать инерциальные данные, работая в узкой полосе для повышения помехозащищенности. Однако при использовании ИНС с невысокими характеристиками для эффективной калибровки погрешностей полоса пропускания должна быть шире. Это важно при работе в условиях активных помех по ИНС в качестве основного средства навигации. Предлагаемое решение является недорогим методом борьбы с активными помехами, который не требует полной перестройки архитектуры навигационной системы.

В статье «Влияние вращения лопастей вертолета на прием сигналов GPS» приведены результаты

экспериментов по проверке прохождения сигналов GPS через винт вертолета для различных типов и вариантов монтажа приемника.

Статья «Векторные решения для навигации по большой окружности» излагает методы векторного определения расстояний и азимута в отличие от традиционно применяемых методов построения сферических треугольников по правилам Напье.

В статье «Модель высоких пространственных тропосферных колебаний для моделирования данных GPS» авторы обсуждают проблемы моделирования тропосферной задержки и рассматривают модель, принятую в системе EGNOS.

Статья «Сравнение адаптивных коэффициентов в фильтрах Калмана и навигационные результаты» рассматривает случай адаптивной калмановской фильтрации для кинематической навигации и местоопределения. Описываются три типа адаптивных коэффициентов и вводится новый экспоненциальный адаптивный коэффициент. Путем сравнительного анализа показано, что все адаптивные

коэффициенты в той или иной степени контролируют влияние возмущений движения транспортных средств на навигационные результаты.

В статье «Требования к компенсации гравитации в сверхточной инерциальной навигации» авторы рассматривают системы инерциальной навигации следующего поколения на базе датчиков, которые будут давать навигационную ошибку в общем бюджете погрешностей в несколько метров в час, а также анализируют необходимое качество компенсации гравитации в навигационном решении.

В следующей статье «Анализ влияния доплеровского сдвига, полученного от ИНС, на контур слежения по несущей» авторы показывают, как можно использовать доплеровский сдвиг от ИНС в контуре слежения за несущей для повышения характеристик приемника GPS в динамичных условиях. Однако за счет погрешностей ИНС получаемый доплеровский сдвиг неточно отражает доплеровский сдвиг сигнала GPS. Авторы предлагают модель и алгоритм компенсации погрешностей.

**«НОВОСТИ НАВИГАЦИИ»
ЖУРНАЛ КОРОЛЕВСКОГО ИНСТИТУТА НАВИГАЦИИ
ВЕЛИКОБРИТАНИИ
СЕНТЯБРЬ/ОКТАБРЬ 2005 г.
NAVIGATION NEWS
THE MAGAZINE OF THE ROYAL INSTITUTE OF NAVIGATION
SEPTEMBER/OCTOBER 2005**

Статья «Локальные функциональные дополнения для ГНСС. Время поднимать вопросы связи» является сокращенным журнальным вариантом выступления на Конференции «NAV 05» в Великобритании. В ней описываются морские системы связи на базе радиомаяков МАМС и сетей связи АИС, а также сухопутные мобильные службы GSM-R и DAB. Оцениваются необходимые размеры сообщений и их содержание, а также протоколы обмена информацией.

В следующей заметке «Навигация канала. Информационная служба» описывается система мониторинга и управления судоходством в Дуврском проливе.

Заметка «Перенос времени» посвящена вопросу расхождения времени UTC и Гринвичского среднего времени (GMT). Расхождение шкал времени

составляет не более 0,9 с и для большинства людей не имеет значения. США периодически вводят поправку в значение времени UTC. Однако с 2007 г. они предлагают отменить эту процедуру, так как время UTC является гораздо более точным и используется повсеместно. Поскольку GMT является в Великобритании юридическим стандартом, при таком решении США в Великобритании нужно будет переходить на новое государственное время.

Краткие новости

Израиль присоединяется к Совместному предприятию Галилео. Генеральный директор Совместного предприятия Галилео (GJU) и директор израильской компании МАТИМОР подписали соглашение о присоединении компании к GJU. По мнению руководства GJU, Израиль имеет большие достижения в космической технике. Компания планирует

внести 18 млн. евро в программу Галилео на этапе разработки. Это второе предприятие, вступившее в GJU, после Национального центра дистанционного сбора данных Китая.

В некоторых отелях в Соединенных Штатах гостям вместо карт местности вручают портативные устройства GPS. Они позволяют ориентироваться на местности и выбирать маршрут прогулки или поездки. При положительном отзыве постояльцев опыт будет распространен на другие отели в США.

При использовании EGNOS совместно с GPS во время международного автомобильного ралли на территории Германии были собраны результаты, которые свидетельствуют о более высокой точности местоопределения при использовании EGNOS. Эта система отлаживается, расширяется ее географическая зона и улучшаются точность, целостность, доступность и непрерывность сигнала. После квалификационной оценки сигналы станут доступны для критичных отраслей: для захода на посадку самолетов и сигнализации на железных дорогах.

7 сентября 2005 г. было принято решение об участии Индии в программе Галилео. Соглашение, ратифицированное в Нью-Дели на саммите ЕС – Индия, обеспечит «доступность высококачественных услуг Галилео в Индии и сотрудничество в

создании региональных систем функционального дополнения на базе EGNOS и Галилео». ЕС считает, что к 2020 г. рынок ГНСС будет располагать тремя миллиардами приемников и будет давать прибыль 275 млрд. евро в год.

Европейское космическое агентство проводит испытания двух первых спутников Галилео. В Италии проводится серия испытаний специально разработанного навигационного бортового оборудования одного из спутников на воздействие предельных температур и вакуума. Их результаты ожидают с особым интересом, так как они отразят работу нового оборудования в реальных условиях. Далее последуют механические испытания. Одним из наиболее важных моментов станут испытания мазера на пассивном водороде – высокоточных часов, разработанных по заказу ЕКА, которые должны гарантировать рабочие характеристики выше, чем у действующих систем спутниковой навигации. Первый законченный спутник будет весить 485 кг, будет состоять из двух модулей (один для полезной нагрузки, второй для систем управления). Габариты (без солнечных батарей) 1 м x 1 м x 2,4 м; мощность солнечных батарей 940 Вт. Срок службы КЛА три года на орбите Галилео (высота 24000 км).

Запуск космических аппаратов «ГЛОНАСС»

По сообщению пресс-секретаря директора ФКЦ «Байконур», на космодроме Байконур велись интенсивные работы по подготовке к запланированному на конец декабря запуску в космос трех спутников для пополнения российской глобальной навигационной системы. 30 ноября 2005 г. двумя самолетами на аэродром «Юбилейный» космодрома Байконур из производственного объединения «Полет» (г. Омск) был доставлен космический аппарат «ГЛОНАСС», а из города Железногорск (Красноярского края) космический аппарат «ГЛОНАСС-М» (еще один КА был доставлен на Байконур ранее – 21 ноября 2005 г.).

В ночь с 30 ноября на 1 декабря космические аппараты были доставлены в монтажно-испытательный корпус 92А-50 и утром 1 декабря расчеты НПО «Прикладной механики» и предприятий Роскосмоса начали их выгрузку, установку в стенды и подготовку к началу испытаний. 1 декабря с.г. в монтажно-испытательный корпус 92А-50 из железнодорожного вагона был выгружен разгонный блок типа «ДМ», который используется для выведения в космос КА «ГЛОНАСС». Расчеты предприятий Роскосмоса провели работы по проверкам космических аппаратов и разгонного блока.

Запуск ракеты космического назначения «Протон-К» с разгонным блоком ДМ-3 и комбинированным блоком космических аппаратов «ГЛОНАСС-М/ГЛОНАСС» с площадки № 81 космодрома был запланирован на 25 декабря 2005 года.

25 декабря в 8 часов 07 минут (МСК) со стартового комплекса космодрома Байконур расчетами Космических войск и Федерального космического агентства успешно проведен запуск ракеты-носителя (РН) «Протон-К» с тремя космическими аппаратами ГЛОНАСС. В настоящее время все три КА работают в штатном режиме. Управление их полетом осуществляется с командного пункта ГЛОНАСС, расположенного в подмосковном Краснознаменске.

Расчетное число полной орбитальной группировки «ГЛОНАСС» – 24 штатных космических аппарата на круговых орбитах с наклоном $64,8^\circ$ в трех орбитальных плоскостях по восемь КА в каждой. В настоящее время на орбите 14 космических аппаратов и настоящий запуск пополнит орбитальную группировку еще на 3 КА.

В настоящий момент эксплуатируются КА «ГЛОНАСС» двух модификаций – собственно «ГЛОНАСС» и спутники модифицированной серии «ГЛОНАСС-М», первый из которых был запущен в декабре 2003 г. Эти два аппарата основаны на сходных проектно-конструкторских решениях и на общей космической платформе герметичного исполнения. Основные изменения свелись, прежде всего, к модификации антенно-фидерного устройства, увеличению проектного срока активного существования до 7 лет и введению второй навигационной частоты для гражданских пользователей.

Перспективный КА «ГЛОНАСС-К» – аппарат принципиально новой конструкции, основанный на негерметичной платформе, унифицированной по основным показателям с платформой НПО ПМ «Экспресс-1000», относящийся к классу малых космических

аппаратов. Аппараты «ГЛОНАСС-К» существенно легче своих предшественников, что обеспечивает значительную экономию затрат на их доставку на орбиту и расширяет диапазон используемых средств выведения. Расчетный срок активного существования увеличен до 10 – 12 лет. Введена также третья «гражданская» частота L-диапазона. Испытания КА «ГЛОНАСС-К» планируется начать в 2007 г.

Состояние орбитальной группировки ГЛОНАСС по данным Компьютерного бюллетеня КНИЦ МО РФ на 11.01.2006 характеризуется следующей таблицей

Номер ГЛОНАСС	Номер Космос	Пл-ть/ точка	Номер частоты	Дата запуска	Дата ввода	Состояние НКА	Дата вывода
712	2411	1/07	04	26.12.2004	22.12.2005	в системе	
789	2381	1/03	12	01.12.2001	04.01.2002	в системе	
711	2382	1/05	02	01.12.2001	15.04.2003	в системе	
794	2402	1/02	01	10.12.2003	02.02.2004	в системе	
795	2403	1/04	06	10.12.2003	30.01.2004	в системе	
701	2404	1/06	01	10.12.2003	09.12.2004	в системе	
796	2413	1/01	02	26.12.2004	06.02.2005	в системе	
797	2412	1/08	06	26.12.2004	06.02.2005	выведен	07.01.06
787	2375	3/17	05	13.10.2000	04.11.2000	в системе	
783	2374	3/18	10	13.10.2000	05.01.2001	в системе	
792	2395	3/21	05	25.12.2002	31.01.2003	в системе	
791	2394	3/22	10	25.12.2002	10.02.2003	в системе	
793	2396	3/23	11	25.12.2002	31.01.2003	в системе	
798	2417	3/19		25.12.2005			
714	2419	3/		25.12.2005			
713	2418	3/24		25.12.2005			

www.glonass-center.ru

Первый запуск НКА GPS Блок- IIR-M

26 сентября 2005 г. был запущен первый навигационный космический аппарат (НКА) GPS Блок- IIR-M (GPS IIR-M1) массой в 2 тонны и стоимостью 75 млн. долл., который должен передавать новые военные сигналы с M-кодами на частотах L1 и L2, а также второй гражданский сигнал L2C.

с чем был скорректирован план подготовки к запуску ракеты-носителя «Союз» и разгонного блока «Фрегат».

По планам ЕКА наземные диспетчеры в Surrey Satellite Technology Ltd – компании, отвечающей за формирование группировки и функционирование спутника GSTB-V/2A в Гилдфорде (Великобритания), – примут космический аппарат на управление на орбите высотой 23 222 км.

Состояние орбитальной группировки GPS по данным Web-сайта Навигационного центра Береговой охраны США на 11.01.2006 характеризуется следующей таблицей

Номер кода	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16
Плоскость, точка	F6	D1	C2	D4	B4	C1	C5	A3	A1	E3	D2	F3	F1	D5	B1
Время	CS	RB	CS	RB	RB	RB	RB	CS	RB	CS	RB	RB	RB	CS	RB
Номер кода	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Плоскость, точка	C4	E4	C3	E1	D3	E2	F4	D6	A2	F2	A4	B3	F5	B2	
Время	RB	RB	RB	RB	RB	RB	RB	CS	CS	RB	CS	RB	RB	RB	

Буквами A,B,C,D,E,F обозначены шесть орбитальных плоскостей, обозначения CS и RB приняты соответственно для цезиевого и рубидиевого стандартов частоты, определяющих местное время навигационных космических аппаратов.

www.navcen.uscg.gov

Подготовка и запуск европейского спутника глобальной навигационной системы Галилео

На космодроме Байконур завершилась подготовка к запуску европейского космического аппарата GSTB-V/2A системы Галилео. Европейскими специалистами в чистой камере монтажно-испытательного корпуса площадки № 112 завершены работы по подготовке и проверке связи «Космический аппарат-адаптер».

Специалисты НПО им. С.А. Лавочкина завершили заключительные проверочные операции с разгонным блоком «Фрегат» перед сборкой космической головной части.

По планам стран Евросоюза и ЕКА, глобальная навигационная спутниковая система Европы должна насчитывать 30 космических аппаратов.

Стартракеты космического назначения «Союз-ФГ» с разгонным блоком «Фрегат» с космическим аппаратом GSTB-V/2A с площадки № 31 был запланирован на 8 часов 19 минут 26 декабря 2005 г.

Затем руководство Федерального космического агентства получило официальное письмо генерального директора «Старсем» о переносе даты запуска космического аппарата «Галилео» с 26 декабря на 28 декабря с.г.

При этом Федеральное космическое агентство выразило полную готовность в выполнении требований заказчика запуска космического аппарата, в связи

с чем был скорректирован план подготовки к запуску ракеты-носителя «Союз» и разгонного блока «Фрегат». По планам ЕКА наземные диспетчеры в Surrey Satellite Technology Ltd – компании, отвечающей за формирование группировки и функционирование спутника GSTB-V/2A в Гилдфорде (Великобритания), – примут космический аппарат на управление на орбите высотой 23 222 км.

Второй спутник, GSTB-V/2B, имеющий более сложную аппаратуру и способный к передаче более широкого спектра навигационных сигналов, будет готов к запуску в течение 2006 года.

28 декабря 2005 года в 8 часов 19 минут (МСК) с космодрома Байконур расчеты Федерального космического агентства обеспечили успешный запуск ракеты-носителя «Союз-ФГ» с разгонным блоком «Фрегат» и космическим аппаратом Галилео.

www.federalspace.ru

Плата ПРО

МКБ «Компас» продемонстрировало на Московском авиакосмическом салоне плату ПРО – одноплатный приемовычислитель, одновременно работающий по сигналам спутниковых навигационных систем (СНС) ГЛОНАСС и GPS. Плата ПРО предназначена для использования во всех типах навигационных приемоиндикаторов – наземных и бортовых (авиационных, морских, ракетных и ракетно-космических). Реализованная в плате ПРО обработка сигналов навигационных спутников СНС позволяет наилучшим образом использовать указанные выше навигационные системы, получая высокие точности определения времени, положения и скорости, непрерывность и надежность навигационного обеспечения в условиях умышленных и случайных радиопомех. Плата имеет 24 параллельных канала приема сигналов СНС в режимах ПТ (ГЛОНАСС) и С/А (GPS), L1. Размеры: 100x160x20,2 мм (с элементами без внешних кабельных соединителей). Масса менее 0,15 кг, диапазон рабочих температур: от -60 до +60°С. Точность (СКО) по координатам – лучше 15 м; по высоте ≤ 20 м; по скорости ≤ 0,1 м/с. Частота обновления выходных данных 10 Гц.

Плата ПРО-М

МКБ «Компас» также продемонстрировало на Московском авиакосмическом салоне плату ПРО-М — одноплатный приемовычислитель, одновременно работающий по сигналам спутниковых навигационных систем — ГЛОНАСС и GPS. Плата во многом аналогична плате ПРО. Ее отличия: 24 параллельных канала приема сигналов СНС в режимах ПТ и ВТ (ГЛОНАСС) и С/А (GPS), L1. Размеры: 80x90x15 мм, масса ≤ 0,1 кг, диапазон рабочих температур: от -60 до +60 °С.

Точность (СКО) по координатам ≤ 15 м; по высоте ≤ 20 м; по скорости ≤ 0,1 м/с.

Выходные данные: Частота обновления 10 Гц.

Структура: кадр переменной или фиксированной длины до 189 8-ми разрядных слов (байт). Среднее время первого отсчета — 2,0 мин (при введенных исходных данных). Внешний интерфейс: две двунаправленные линии последовательного протокола RS 232. Электропитание: 12 В постоянного тока. Потребляемая мощность: не более 6 Вт. Динамические характеристики объекта применения: скорость — до 3600 км/ч, высота — до 40 км, линейное ускорение — до 30 g, «динамический удар» — до 10 g/c.

Московский авиакосмический салон 2005 г.

Автомобильная GPS навигация

Фирмой Holux (Тайвань) создан автомобильный GPS навигационный прибор GPSmile51 массой 180 г. в габаритах 125,5 x 75,8 x 21 мм с интегрированной антенной. Прибор основывается на встраиваемом 20-канальном чипсете SiRFstarIII. Объявленная точность местоопределения 10 м. Точность определения скорости 0,1 м/с. Прибор начинает работать через 42 с (холодный старт), 35 с (теплый старт) и 8 с (горячий старт). Он использует процессор с частотой 200 МГц, операционную систему Microsoft Windows CE.Net 4.2, флэш-память объемом 32 МБ и оперативную память объемом 64 МБ. GPSmile51 использует автомобильный источник питания (от 11 до 28 В) или подзаряжаемую литиево-ионную батарейку, которая требует три часа для полной зарядки.

Карманный компьютер с приемником GPS

Фирмой MioGPS создан карманный компьютер с приемником GPS Mio 168 габаритами 112,8 x 69,6 x 24,15 мм и массой 147 г. Устройство включает центральный процессор Intel Xscale с частотой 300 МГц и чипсет SiRFstarIIe/LP, 3,5-дюймовый дисплей, флэш-память 32 МБ ROM, ОЗУ 64 МБ SDRAM слоты расширения для входов/выходов SD/MMC SD. Встроенная литиево-ионная батарейка обеспечивает работу устройства (без приемника GPS) в течение 12 ч. Компьютер может использовать источник переменного тока напряжением от 100 до 240 В, обеспечивающий 5 В постоянного тока.

Противопомеховая антенна

Фирмой Honeywell создана дополнительная противопомеховая антенна (Anti-Jam Retrofit Antenna, AJAR) для военных ручных приемников, таких как приемник PLGR (Precision Lightweight GPS Receiver) от фирмы Rockwell Collins. AJAR является заменяемой в полевых условиях антенной, способной подавлять помехи. Она приспособлена для обеспечения работы приемника на частоте L1 с С/А-кодом. В настоящее время идут работы по обеспечению работы в режимах L1/L2 и Lm.

Управляемые бомбы

Фирмой Lockheed-Martin созданы двухрежимные управляемые бомбы (Dual Mode Guided Bombs, DMGBs), которые могут применяться в любых погодных условиях. После пуска бомбы могут использовать спутниково-инерциальный режим до тех пор, пока цель не окажется в поле видимости. После этого происходит переключение на лазерное наведение. Бомбы могут пускаться с истребителя или бомбардировщика для поражения защищенных, медленно движущихся или подвижных целей. DMGB имеет те же основные физические размеры и формы, что и семейство GBU (Guided Bomb Unit). В частности, бомба может пускаться с самолетов, которые предназначены для пуска бомб типа GBU-10, GBU-12, GBU-16 или JDAM. www.gpsworld.com

НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГЕОДЕЗИИ, КАРТОГРАФИИ И ГИС»

SCIENTIFIC CONFERENCE “NOVEL TECHNOLOGIES IN GEODESY, CARTOGRAPHY AND GIS”

Научная конференция «Новые технологии в геодезии, картографии и ГИС»

3 ноября 2005 года в помещении Московского государственного университета инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (МИИГАиК) состоялась научная конференция «Новые технологии в геодезии, картографии и ГИС», организованная хозяевами и столичным представительством фирмы Thales Navigation (руководитель Куприянов А.О.).

Конференцию открыл проректор МИИГАиК проф. Журкин И.Г. Участниками конференции было заслушано приветствие руководителя Федерального агентства геодезии и картографии Бородко А.В.

На конференции были представлены следующие доклады и выступления:

– Александров В.Н. (Заместитель руководителя Федерального агентства геодезии и картографии) «Об использовании спутниковой аппаратуры для целей обновления карт».

– Конон Н.И. (Начальник 29 НИИ МО РФ) «Применение спутниковых GPS приемников при решении задач топографической службы ВС РФ».

– Фомичев А.А. (Генеральный директор фирмы «Лазекс») «Опыт использования совмещенных GPS/ГЛОНАСС плат в интегрированной авиационной аппаратуре».

– Розенберг И.Н., Сазонов Н.И., Альшулер В.А., Самратов У.Д. (ВНИИАС МПС) «Технология оперативного мониторинга скоростных магистралей с использованием сетевого принципа DGPS».

– Бакиров Н.Б., Конченко К.В. (РКЦ «Земля») «Опыт работы с GPS оборудованием Ashtech, Thales в Региональном кадастровом центре «Земля».

– Денисенко О.В., Федотов В.Н. (32 ЦНИИ МО РФ) «Метрологическое обеспечение геодезических измерений в ВС РФ».

– Соловьев Ю.А. (РОИН) и Царев В.М. (ФГУП НТЦ «Интернавигация») «Общие тенден-

ции создания и использования функциональных дополнений спутниковых радионавигационных систем».

– Ребрий А.В., Тимкин О.В. (Госгисцентр) «О вопросах подготовки картографического обеспечения для использования в навигации».

– Матвеев А.Ю. (ФГУП «Северо-западное АГП») «Опыт практического применения спутниковых геодезических приемников для оптимизации выполнения полевых работ геодезического и картографического направления».

– Лабазов В.Я., Гладышев А.К. (НПЦ «Геодинамика»), Пичугина Т.А. («Интерталл»), Куприянов А.О. (МИИГАиК) «Экспериментальное исследование работы кодовых и фазовых GPS приемников на Опорной межевой сети Владимирской области».

– Ключин Е.Б., Куприянов А.О. (МИИГАиК) «Некоторые аспекты обработки базовых измерений».

В процессе работы конференции был продемонстрирован ряд продуктов разработки фирмы Thales Navigation. Среди них:

– многоцелевой GPS приемник ProMark2 для геодезических и навигационных целей;

– новейшая надежная GPS система, совмещенная с функциями ГИС и картографирования ProMark™3;

– GPS приемник нового поколения MobileMapper для мобильного картографирования;

– надежный карманный GPS приемник MobileMapper CE для точного мобильного картографирования, совмещенный с Windows CE; к нему же (а также для других платформ) было показано программное обеспечение полевых съемок Pocket NEVA;

– геодезическая система Z-Max для GPS съемки, топографических работ и изысканий в строительстве с возможностью RTK решений и др.

О ВОЗДУШНОЙ НАВИГАЦИИ КАК НАУКЕ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ

Г.Ф. Молоканов¹

В статье рассматривается развитие воздушной навигации с позиций общей теории управления движением.

AERIAL NAVIGATION AS AN ART OF TRAFFIC CONTROL

G.F. Molokanov

The paper considers the development of the aerial navigation from the viewpoint of the general theory of traffic control.

Долгие годы навигация воздушных судов (аэронавигация) развивалась, обогащаясь набором практических приемов и правил, позволяющих с помощью различных технических средств решать многие разрозненные задачи, обеспечивающие возможность вождения летательных аппаратов (ЛА) в соответствии с их основным предназначением.

На ранней стадии развития аэронавигации разработкой и испытанием способов самолетовождения (визуальная ориентировка, компасная навигация, авиационная астрономия, радионавигация) и навигационных приборов, а также написанием учебных пособий, официальных наставлений и руководств по воздушной навигации занимались работники аэронавигационного отдела (АНО) НИИ ВВС. Напомним, что в АНО работали известные впоследствии штурманы И.Т. Спирин, С.А. Данилин, а начальником АНО с 1926 г. был Б.В. Стерлигов, который с 1930 г. по совместительству исполнял должность начальника аэронавигационной службы ВВС.

В 1930 г. под его руководством было издано первое официальное «Руководство по воздушной навигации для летчиков-наблюдателей» — обстоятельный труд, написанный коллективом авторов АНО. Руководство состояло из трех частей: основы воздушной навигации, приборы и практика самолетовождения. «Весь материал, пошедший на составление второй и особенно третьей части, — писал Б.В. Стерлигов, — является результатом исключительно практической проработки, зачастую впервые сделанной мной и другими специалистами Аэронавигационного отдела НИИ» [1]. Сам он лично раз-

рабатывал и наставления по аэронавигационной (позднее штурманской) службе. Так, Б.В. Стерлигов пишет: «Наставление, как и все предшествующие, начиная с НАНС-32, я писал лично, придавая большое значение каждому слову. Одновременно само написание такого рода документального произведения являлось для меня, как главного штурмана ВВС, средством лишней раз проверить всю систему штурманской службы, ее организацию, технику и боевое применение. Подобное изложение существа штурманского дела позволило мне яснее видеть проблемы и отдельные «мелочи», необходимые для дальнейшего совершенствования службы» [2].

Излагавшиеся в этих документах вопросы имели большую практическую направленность, были тщательно методически отработаны и доведены до формы официальных рекомендаций и требований. Они представляли собой свод правил решения навигационных задач, обеспечивающих ведение ориентировки, выполнение полета по маршруту, выхода на цель и возвращение на аэродром посадки. В конце 40-х — начале 50-х гг. проекты руководств по самолетовождению и наставлений по штурманской службе стали разрабатываться работниками научно-педагогического фронта под непосредственным руководством штурманской службы ВВС, что способствовало поднятию этих документов на более высокий теоретический уровень. Передача этой работы сотрудникам созданного в 1938 г. штурманского факультета нельзя рассматривать как свидетельство того, что современные работники испытательных институтов или руководители штурманской службы ВВС не в состоянии самостоятельно написать соот-

¹ Г.Ф. Молоканов — профессор, доктор технических наук, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, генерал-майор авиации.

ветствующие руководства и наставления. Думается, что здесь, как и в любой сфере производственной деятельности, проявляется общая закономерность, приводящая к углубляющемуся разделению труда, порождаемому развитием и усложнением как средств производства, так и условий их применения. Научно-технический прогресс неразрывно связан с дифференциацией и специализацией трудовой деятельности, приводящей к повышению эффективности и росту производительности труда [3].

В то же время как в прежних материалах, так и в материалах новых авторов отсутствовала серьезная теоретическая база, позволяющая с единых научных позиций обозреть весь комплекс решаемых навигационных задач. В те годы еще не существовали математические методы, которые могли бы составить общую теоретическую основу воздушной навигации как науки.

В последующие годы положение в этой области изменилось, и такие методы появились.

Несмотря на то, что разработка проектов официальных документов, а также учебников по воздушной навигации более полувека назад перешла к представителям научно-педагогического фронта, аэронавигация, как важная прикладная наука, и по сей день еще не имеет общей теоретической базы. В ней еще нет фундаментальных основ решения важнейших задач, таких, например, как точный полет по заданной траектории и выход на цель (аэродром посадки).

Между тем, именно важные практические проблемы, связанные с движением различных объектов, вызвали появление новых математических теорий, предназначенных для решения этих проблем. В подтверждение этого уместно дать краткую характеристику некоторых математических теорий, могущих претендовать на роль фундаментальной базы воздушной навигации.

Ею, на наш взгляд, должна стать современная теория оптимального управления движением, так как воздушная навигация призвана обеспечить именно управляемое движение ЛА по заданной траектории и его вывод в назначенное время в заданное конечное состояние.

Известно, что теория оптимального управления движением объектов появилась в нашей стране в 50-е годы XX века. Имея в виду особую важность этой теории для навигации, напомним ее основные положения, заранее принося извинения за пространное цитирование приводимых ниже первоисточников.

В предисловии к своей книге «Теория управле-

ния движением» академик Н.Н. Красовский пишет, что в ней «...изучаются следующие две проблемы: (1) задача об управлении, т.е. задача об определении управляющих сил, которые переводят динамическую систему в заданное состояние; (2) задача о наблюдении, т.е. задача о вычислении текущих координат движущегося объекта по доступным наблюдениям величинам» [4].

Нетрудно усмотреть аналогию между первой задачей теории управления движением и основной задачей воздушной навигации – вывод ЛА на цель. Что касается второй задачи этой теории, то вычисление или определение текущих координат ЛА – это традиционная навигационная задача, решаемая как методом визуального наблюдения, так и с помощью различных технических средств.

Далее в своей монографии автор пишет, что «...основное внимание уделено задаче о приведении объекта в заданное состояние, что встречается особенно часто в проблемах управления механическим движением.

Известны два основных аспекта общей проблемы управления.

1. Задача о программном управлении, где дана исходная информация о начальном состоянии объекта ... и требуется найти воздействие ... так, чтобы к моменту окончания процесса ... система оказалась в заданном состоянии... Для указанного типа задач характерно, что дополнительная информация, которая поступает, может быть, в ходе процесса, не используется для коррекции движения с целью улучшения результатов, т.е. движение осуществляется по жесткой программе, составленной заранее...

2. Задача о синтезе системы с обратной связью. Здесь наилучший закон управления ищется в форме уравнений, связывающих воздействие... с некоторыми величинами..., доставляющими информацию о текущих состояниях объекта. Примером может служить задача о преследовании...

Исследование задач о синтезе системы с обратной связью естественно включает в себя проблему определения текущих координат ... управляемого объекта по доступным наблюдениям величинам.... Последняя проблема известна как задача о наблюдении динамической системы. Здесь особенно важны вопросы о наилучшем согласовании наблюдения и управления с точки зрения оптимальности конечных результатов процесса».

Коррекция движения ЛА по результатам определения его местонахождения, например, методом детальной ориентировки (наиболее точной) и положения ЛА относительно цели – это простейший

пример синтеза системы с обратной связью, который чаще называют также способом позиционного управления. Позиционным способ назван потому, что от текущей позиции (положения) ЛА зависит характер требуемой коррекции его движения, например, для точного выхода на цель.

Эти же два способа управления используются для полета по заданному маршруту, который требует периодического ведения контроля (задача о наблюдении) и исправления пути (позиционное управление).

Наряду с аналогией указанных проблем управления движением и задач воздушной навигации, есть и различие между ними, заключающееся в том, что в навигации изучается лишь кинематика движения ЛА, а не управляющие силы, которые надо приложить, чтобы привести ЛА в заданное конечное состояние.

Привлечение в навигацию математических методов оптимального управления движением позволило по-новому подойти к решению одной из основных задач воздушной навигации – выводу ЛА на цель, в процессе которого в общем случае приходится выполнять различные маневры. Этой задаче автором была посвящена серия статей, опубликованных в Известиях Академии наук [5-11], в которых описаны маневры выхода на цель, оптимальные по быстрдействию. Ранее был также рассмотрен метод оценки точности управляемого движения ЛА по заданной траектории, основанный на теории выбросов случайного процесса, показавший хорошее совпадение с результатами эксперимента [12, 13].

В последующие годы начали развиваться математические методы решения задачи о приведении движущегося объекта в заданное конечное состояние в игровой постановке. Заметим, что интерес к таким методам решения навигационных задач давно проявляли некоторые специалисты навигации. Так, в своей книге В.П. Селезнев писал: «Для правильного выбора сочетания методов навигации следует учитывать характеристики летательного аппарата, его тактическое назначение, а также метеорологические, географические и другие условия полета. В результате решения этой задачи необходимо определить минимальное количество методов навигации, которые с наибольшей точностью и надежностью обеспечивают навигацию на всех этапах предполагаемого полета. Обычно подобная задача решается на основании многолетнего опыта практического применения различных методов навигации. Однако выбор этих методов может иметь теоретическую основу, заложенную в теории игр, где в качестве одного из «игроков» можно рассматривать

предсказываемые изменения внешней обстановки, влияющие на методы навигации, а в качестве второго «игрока» – сами методы навигации или навигационные системы, основанные на различных способах измерения. В этой «игре», например, погрешности методов навигации можно рассматривать не как фиксированные функции, а как стратегию одного из участников «игры»; подбор методов навигации является стратегией другого участника. «Платой» за игру является некоторая функция от погрешности, называемая функцией риска. В результате неблагоприятных внешних условий эта погрешность может увеличиваться, в то время как конструктор, подбирающий методы навигации, стремится сделать ее возможно меньшей.

Однако при решении подобной задачи возникают трудности с выбором критерия, при помощи которого можно было бы оценить различные методы навигации. В частности, такими критериями могут быть величина погрешностей измерения, надежность, помехозащищенность, автономность, работа в любых условиях погоды, круглосуточность, неограниченность района действия и т. п. В настоящее время теория игр еще не нашла применения в рассматриваемой области, хотя полезный эффект может быть существенным» [14].

В игровой постановке решается задача сближения с целью в монографии «Позиционные дифференциальные игры» академика Н.Н. Красовского и А.И. Субботина [15]. Приведем одну цитату из этой монографии, опустив без ущерба для понимания сущности встречающуюся в этой выдержке математическую символику.

«Начнем с задачи сближения, согласно которой первому игроку – союзнику надлежит вывести позицию на множество M_c , не выпуская ее до встречи с M_c из замкнутой области N_c . Естественно попытаться построить в пространстве .. некоторое множество W_u , которое может играть роль моста, соединяющего начальную позицию с целью M_c и лежащего целиком в N_c . Если такой мост W_u окажется настолько хорошим, что можно будет выбором управления все время удерживать позицию на нем до встречи с M_c , как бы ни действовал второй игрок, то цель первого игрока будет достигнута. Итак, для решения задачи о сближении достаточно построить мост W_u , который обладал бы следующими свойствами:

- (1) Мост W_u содержит начальную позицию.
- (2) В какой-то момент времени мост W_u обрывается на M_c .
- (3) Мост W_u содержится целиком в N_c .
- (4) Существует стратегия, которая удерживает

всякое движение при любом выборе начальных условий на мосту W_u вплоть до встречи с M_c ».

Задача первого игрока – выбрать такой позиционный способ управления, который при любых возможных действиях второго игрока обеспечит встречу позиции с множеством M_c , сохраняя эту позицию в области N_c (множество жизненного пространства первого игрока), гарантируя при этом оптимальное значение некоторого параметра, оценивающего исход игры.

Не будет ошибкой под множеством N_c понимать отведенный район полетов, а под множеством M_c – район цели, в который надо вывести ЛА, обеспечивая при этом оптимальное движение по трассе W_u . Следует особо подчеркнуть, что в игровой постановке полет в отведенном районе по заданной трассе и выход на цель решаются как единая задача сближения, эффективность которого количественно оценивается по выбранному критерию.

В конце 70-х гг. в ВВА им. Ю.А. Гагарина были разработаны и успешно опробованы способы и программы выбора на заданном множестве отпущенного жизненного пространства N_c оптимального маршрута полета, на котором число возможных обстрелов ЛА средствами ПВО противника было минимальным. Задача решалась методом нелинейного программирования. Методом динамического программирования решалась задача выбора маршрута минимального времени пребывания ЛА в радиолокационном поле противника.

Если с позиций приведенных положений теории рассмотреть историю воздушной навигации, то нетрудно убедиться в том, что разработанные ранее различные методы решения ее задач в полной мере соответствуют той постановке проблем, которые исследуются в упомянутых математических науках.

В монографии [15] рассмотрено и стохастическое позиционное управление, обеспечивающее решение игровой задачи сближения с целью, устойчивое по отношению к информационным помехам.

Названные два способа управления движущимся объектом имеют прямое отношение к основным задачам навигации: полет по заданному маршруту и вывод ЛА на цель или аэродром посадки.

В [1] уже было записано, что «процесс навигационного вождения самолета состоит из следующих основных моментов: I – навигационная оценка и подготовка полета; II – вывод самолета на путь; III – контроль пути и его исправление вплоть до прибытия к цели».

Обязательный штилевой расчет курсов и времени полета по маршруту являлся ничем иным, как первым вариантом его программы.

Приведенная выдержка позволяет утверждать, что навигационное вождение включало в себя задачи как наблюдения движения (контроля пути), так и управления этим движением (исправления пути).

Какие же способы управления движением рекомендовались? Много лет использовавшийся способ выхода на цель от характерного ориентира по курсу и времени, рассчитанным до полета для штиля или в полете по известному ветру, также является примером программного управления. Согласно этому способу экипаж должен отойти от ориентира с ранее найденным курсом и, строго выдерживая его (жесткая программа), следовать определенное время для выхода на цель.

А записанный в прежних наставлениях и руководствах второй способ выхода на цель переходом от контрольного ориентира на детальную ориентировку базировался на использовании дополнительной информации о текущем местоположении ЛА относительно обнаруженной цели (задача о наблюдении), чтобы конечные результаты выхода на нее были более благоприятными. Поэтому коррекция движения ЛА по данным детальной ориентировки (наиболее точной) и положения ЛА относительно цели – это простейший пример позиционного управления. Эти же два способа управления используются для полета по заданному маршруту, который требует периодического ведения контроля и исправления пути.

В свете изложенных положений разработанная в 30-е годы принципиальная схема самолетовождения представляет собой периодически корректируемый управляемый процесс, в котором контроль пути выступает как задача о наблюдении, а исправление пути – как задача о позиционном управлении движением ЛА по заданному маршруту. Это дает основания признать схему и методику самолетовождения научно обоснованной, что обеспечило ее успешное внедрение в практику.

Названные Руководства и Наставления [1, 2] в полном согласии с последующей теорией управления движением заложили практические основы решения задач воздушной навигации с помощью существовавших в те годы карт, пилотажно-навигационного оборудования, радиотехнических и астрономических средств самолетовождения. Считалось, что основным способом является самолетовождение по компасу в сочетании с визуальной ориентировкой, позволяющее реализовать как программный, так и позиционный способы управления движением ЛА по заданной траектории (маршруту) вплоть до выхода на цель или аэродром

посадки. Действительно, выбор направления полета по компасу — это задание программы движения, а визуальная ориентировка — это в буквальном смысле слова наблюдение за фактическим направлением движения.

Убедительным подтверждением единства проблем управления движением и навигации является создание в Академии Наук СССР под таким наименованием Научного совета, а в последующие годы — и Академии навигации и управления движением. Уместно напомнить и о том, что служба управления воздушным движением издавна носит наименование аэронавигационной.

С развитием технических средств, теории и практики воздушной навигации наблюдается взаимное проникновение различных способов, ранее выглядевших обособленными. Например, радиолокация, позволившая сквозь облака видеть своеобразное изображение земной поверхности, впитала некоторые приемы определения местонахождения самолета пеленгованием опознанных удаленных ориентиров. Яркий пример взаимного проникновения методов авиационной астрономии и радионавигации — создание спутниковых радионавигационных систем, являющихся своеобразным синтезом появившихся в разные годы независимых способов.

Перед учеными и специалистами, работающими в области создания и применения навигационных систем, стоит задача быстрее освоения того теоретического богатства, которое накоплено в смежных областях науки и техники для более строгого и эффективного решения задач воздушной навигации, как науки об управлении движением ЛА. Этой задаче в 2006 г. — году 90-летнего юбилея штурманской службы и 70-летия Челябинского военного авиационного училища штурманов — предполагается посвятить специальную научную конференцию.

Использование современной теории управления движением, позиционных игр не только в воздушной навигации, но и в наведении истребителей на воздушные цели, применении управляемых средств поражения, воздушной стрельбе, т.е. во всех авиационных прикладных науках, в которых центральной является задача об оптимальном сближении двух точек, позволит по-новому и с единой теоретической позиции подойти к изучению этих вопросов. Это сэкономит время изучения и обеспечит более эффективное решение многих кардинальных научных и практических проблем высокоточной навигации и наведения, позволивших в последних локальных войнах с помощью управляемых средств поражения и спутниковых радионавигационных систем надежно поражать заданные цели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стерлигов Б.В., Корнев Г.В., Френкель Г.С. и др. Руководство по воздушной навигации, под ред. Стерлигова. Аэронавигационный отдел НИИ ВВС РККА. — М.: Госиздат, 1930. — 535 с.
2. Стерлигов Б.В. Маршрутами мира и войны, записки авиаштурмана. — М.: ООО АЛЕВ-В, 2001. — 384 с.
3. Большая советская энциклопедия. — М., т. 21, третье издание, 1975.
4. Красовский Н.Н. Теория управления движением, линейные системы. — М.: Наука, 1968. — 420 с.
5. Молоканов Г.Ф. Кинематические алгоритмы управления ЛА при выходе на цель и выполнении маневров, Известия РАН, Теория и системы управления, № 1, 1995.
6. Молоканов Г.Ф. Кинематические алгоритмы при выходе на наземную цель, Известия РАН, Теория и системы управления, № 3, 1997.
7. Молоканов Г.Ф. О законе управления воздушным судном по крену при развороте на очередной этап маршрута, Известия РАН, Теория и системы управления, № 6, 1997.
8. Кудрявцев А.Ю., Молоканов Г.Ф. Численный метод расчета маневра выхода на цель, Известия РАН, Теория и системы управления, № 6, 1999.
9. Молоканов Г.Ф. Выход на цель в режиме непрерывного маневрирования, Известия РАН, Теория и системы управления, № 6, 2000.
10. Кудрявцев А.Ю., Молоканов Г.Ф. Особенности вывода на цель ЛА с управляемыми средствами поражения, Известия РАН, Теория и системы управления, № 2, 2005.
11. Молоканов Г.Ф. Вывод ЛА в точку пуска управляемых средств поражения, Известия РАН, Теория и системы управления, № 1, 2006.
12. Молоканов Г.Ф. Оценка разброса траекторий управляемого движения, Известия АН СССР, Техническая кибернетика, № 2, 1972.
13. Молоканов Г.Ф. Точность и надежность навигации летательных аппаратов. — М.: Машиностроение, 1967. — 216 с.
14. Селезнев В.П. Навигационные устройства. — М.: Государственное научно-техническое издательство Оборонгиз, 1961. — 615 с.
15. Красовский Н.Н., Субботин А.И. Позиционные дифференциальные игры. — М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1974. — 456 с.

К 75-ЛЕТИЮ МОСКОВСКОГО АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНОГО ИНСТИТУТА

Московский ордена Трудового Красного Знамени автомобильно-дорожный институт (МАДИ) (государственный технический университет) был учрежден постановлением СНК Союза ССР № 748 от 13 декабря 1930 года на базе автодорожного факультета Московского института инженеров транспорта и Высшей автодорожной школы ЦУДОТРАНСа.

Главной задачей университета является подготовка высококвалифицированных кадров для автомобильного транспорта, дорожно-мостового и аэродромного строительства, промышленности дорожно-строительных машин, автоматизированных систем управления в автотранспортном комплексе, воспитание и развитие социально активной и творческой личности будущего специалиста.

В МАДИ созданы научные школы, основателями которых были выдающиеся ученые: академики Б.С. Стечкин и Е.А. Чудаков, член-корреспондент АН СССР Н.Р. Брилинг и член-корреспондент РАН В.Н. Соловьев, заслуженные деятели науки и техники РСФСР, доктора технических наук Л.Л. Афанасьев, В.Ф. Бабков, Н.И. Безухов, П.П. Берг, А.А. Бромберг, А.П. Владзиевский, Е.Е. Гибшман, В.В. Ефремов, Н. Зеленин, Н.Н. Иванов, Г.В. Крамаренко, Ю.М. Лахтин, Г.С. Маслов, А.О. Никитин, Ю.А. Степанов, А.Н. Шейнин, С.В. Шестоперов, П.И. Шилов.

Научный коллектив МАДИ своими многолетними исследованиями способствовал повышению экономичности, надежности и качества автомобилей и двигателей, уменьшению трудоемкости технического обслуживания и ремонта. Он внес крупный вклад в создание научной организации автомобильных перевозок и безопасности движения в городах нашей страны. Научным коллективом института проведены исследования в области совершенствования конструкций машин и оборудования для дорожного строительства. Учеными-дорожниками выполнен большой комплекс работ по внедрению автоматизированного проектирования, методов испытаний и оценки транспортно-эксплуатационных показателей автомобильных дорог и аэродромов,

улучшению качества дорожно-строительных материалов, применению отходов промышленности в дорожном строительстве.

Профессора и преподаватели университета – авторы большого количества учебников, монографий и учебных пособий. Ряд учебников и монографий переведен на иностранные языки.

Университет готовит специалистов самого широкого профиля. Подготовка специалистов в университете ведется на 8 факультетах по 22 специальностям с общим контингентом студентов более 10000 человек. МАДИ является одним из головных вузов по инженерной и научной подготовке граждан из зарубежных стран и осуществляет подготовку специалистов для 67 иностранных государств.

В 2001 году в МАДИ была создана первая в России кафедра транспортной телематики как ответ университета на новые задачи развития информационно-телекоммуникационных технологий и их внедрение в автотранспортной сфере. Толчком к созданию кафедры стало бурное развитие прогрессивных телематических технологий в странах с высокоразвитой автоиндустрией и рост интереса отечественных транспортников к новым информационным и навигационным системам. Благодаря новому направлению, которое с момента создания кафедры транспортной телематики возглавил доктор технических наук, профессор В.М. Власов, в России успешно развиваются автоматизированные системы управления автомобильным транспортом, основанные на использовании средств спутниковой навигации, мобильной радиосвязи, геоинформационных систем, систем передачи данных.

Коллектив института встречает свой юбилей в расцвете творческих сил, продолжая и развивая добрые традиции, которыми всегда славился.

Межгосударственный совет «Радионавигация», научно-технический центр «Интернавигация» и Российский общественный институт навигации горячо поздравляют мадийцев всех поколений, наших замечательных коллег со славной датой и желают университету дальнейшего роста, творческих успехов и процветания!

К 90-ЛЕТИЮ ШТУРМАНСКОЙ СЛУЖБЫ ВВС

В годы первой мировой войны 24 марта 1916 г. приказом № 325 начальника штаба Верховного Главнокомандующего в России была создана Центральная аэронавигационная станция (ЦАНС), на которую возлагалось проведение «аэрологических наблюдений, заготовка, проверка и установка на самолетах точных приборов». Кроме того, в ее обязанности входило изучение вопросов аэронавигации, выработка методики их решения в различных условиях, а также разработка нового приборного оборудования. Приказом Главнокомандующего ВВС № 370 от 2 августа 2000 г. 24 марта 1916 г. установлено считать датой создания в нашей стране Штурманской службы ВВС.

Создание первых приборов и способов самолетовождения, успешные перелеты со штурманами на борту, выполненные в сложных метеорологических условиях, несомненно, способствовали росту авторитета штурманов и признанию их важности в летном деле.

Выдержавшие проверку способы самолетовождения отражались в ряде изданных официальных документов, в том числе в Руководстве по воздушной навигации (1930 г.), а заложенные руководителем авторского коллектива Б.В. Стерлиговым функциональные обязанности аэронавигаторов закреплены в вышедшем в том же году специальном Наставлении по аэронавигационной службе (НАНС-30). В нем впервые употреблен термин «штурман», узаконены терминология, разные способы определения навигационных элементов и необходимые для этого технические средства.

Однако с введением в действие названных руководящих документов нельзя было считать завершенной организацию штурманской службы. Главный недостаток заключался в отсутствии начальников служб как в центре, так и на местах. 23 февраля 1930 г. Б.В. Стерлигов, как начальник аэронавигационного отдела (АНО) НИИ ВВС, обратился к начальнику ВВС РККА со специальным письмом, в котором излагались предложения по организации службы. Результатом этого обращения явился приказ по Военно-воздушным силам, установивший организацию специальных служб — аэронавигационной, аэрофотосъемочной, метеорологической и

др. Этим приказом начальники соответствующих отделов НИИ ВВС РККА объявлялись начальниками специальных служб по совместительству. Таким образом, начальник Б.В. Стерлигов возглавил аэронавигационную службу Военно-воздушных сил, став начальником АНС ВВС.

Работа АНС ВВС Красной Армии в предвоенный период во многом обусловила эффективность действий авиации в Великой Отечественной войне. За годы войны, а также в предшествующих ей боевых действиях и конфликтах 243 штурмана были удостоены звания Героя Советского Союза, а В.В. Сенько этой высшей награды Родины был удостоен дважды. Вот как образно оценил Б.В. Стерлигов вклад штурманской службы и свой лично, как Главного штурмана ВВС, в дело славной победы на заключительном этапе войны:

«К концу войны у нас было 15000 боевых самолетов. Если бы у нас не было штурманской службы, то, по крайней мере, 5000 самолетов не вернулись бы на свои аэродромы после первых боевых вылетов из-за потери ориентировки, а 3000 не нашли бы заданных целей. Из всех сброшенных бомб только четверть попала бы в цель, а три четверти не причинили бы противнику никакого вреда».

После победоносного завершения Великой Отечественной войны штурманская служба ВВС, которую в течение еще двух лет продолжал возглавлять Б.В. Стерлигов, проводила большую работу по обобщению боевого опыта авиации и его внедрению в практику обучения летного состава строевых частей, в программы и учебные материалы военной академии командного и штурманского состава и военных авиационных училищ.

Кроме освоенных в ходе войны способов самолетовождения и бомбометания, огромную ценность представляла та система мер по совершенствованию технической оснащенности авиации, которая обеспечила неуклонное повышение эффективности боевых действий, надежности и точности выхода самолетов на цели и их поражения.

Высокий уровень подготовки руководящих штурманских кадров позволял службе на всех уровнях ее деятельности в содружестве с КБ и НИИ

промышленности и ВВС, Центром дальней радионавигации и испытательными организациями относительно быстро осваивать и активно использовать в своей практической работе поступающую в массовом масштабе новую вычислительную технику, автономное и радиотехническое оборудование, в том числе аппаратуру ближней, дальней и космической навигации.

В различное время штурманскую службу ВВС возглавляли опытные и известные штурманы: генералы Стерлигов Б.В., Спиринов И.Т., Прокофьев Г.М., Беляков А.В., Соколов В.И., Лавский В.М., Буланов В.П., Шабунин А.И., Борисихин Н.А. В настоящее время службой успешно руководит генерал-майор Нужин С.К.

Большое место занимает взаимодействие Штурманской службы ВВС с главными штурманами дальней и военно-транспортной авиации, высшей школой и авиационной наукой. Важную роль в нем играла работа штурманского факультета ВВА им. Ю.А. Гагарина, начальниками которого были профессор, доктор наук, генералы Герой Советского Союза И.Т. Спиринов – флаг-штурман экспедиции, высадившей 27 мая 1937 г. на Северном полюсе «папанинскую» четверку исследователей Арктики, Герой Советского Союза, штурман чкаловского экипажа при перелете в Америку в 1937 г. Беляков А.В., автор многих авто-

ритетных изданий в области самолетовождения, заслуженный деятель науки РСФСР Молоканов Г.Ф.

Основу штурманского факультета составляла кафедра самолетовождения и штурманской службы, начальниками которой длительное время были профессор, доктор наук, генералы Беляков А.В., Молоканов Г.Ф., Каменский В.Н., а также кандидаты наук полковники Ратц Б.Г., Поляк В.Ю. Большой вклад в подготовку кадров и научное обеспечение штурманского дела внесли преподаватели ВВА, профессора Куницкий Р.В., Воробьев Л.М., Одинцов В.А., Кириллов В.И., Назаров И.И., Свищев В.Н. и многие другие видные специалисты. Сложившейся на кафедре научной школой продолжает успешно руководить ее начальник – действительный член Академии военных наук, доктор военных наук, профессор, заслуженный деятель науки России полковник Зубов Н.П.

Межгосударственный совет «Радионавигация», ФГУП НТЦ «Интернавигация», Российский общественный институт навигации и редакция журнала «Новости навигации» от всей души поздравляют Штурманскую службу ВВС с юбилеем и желают успехов в деле совершенствования штурманского и навигационного обеспечения отечественной авиации.

«ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования». Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. Изд-во «Радиотехника».

Изложены принципы построения спутниковой радионавигационной системы (СРНС) ГЛОНАСС, даны ее системные характеристики и основные характеристики подсистем космических аппаратов, наземного контроля и управления и навигационной аппаратуры потребителей, а также дифференциальных дополнений СРНС. Рассмотрены направления совершенствования технологий спутниковой навигации, включая перспективы совершенствования космического и наземного сегментов, контроля целостности, использования высокоточных фазовых измерений, интегрирования с инерциальными системами навигации и использования пространственной обработки сигналов. Для широкого круга специалистов, занимающихся разработкой, производством и эксплуатацией аппаратуры потребителей СРНС ГЛОНАСС. Может быть полезна студентам, аспирантам и преподавателям высших учебных заведений при изучении дисциплин радиотехнического профиля.

www.radiotec.ru

П. Пржибыл и М. Свитек «Телематика на транспорте». В книге детально рассмотрен международный опыт применения телематики на транспорте для обеспечения экономичности, удобства и безопасности его функционирования. Подробно освещены сферы применения телематики в автотранспортном комплексе и на городском пассажирском общественном транспорте. Книга рекомендуется для специалистов транспортной отрасли, руководителей городских и местных администраций, а также для широкого круга читателей, интересующихся достижениями в сфере управления транспортом. Перевод с чешского. Под ред. проф. В.В. Сильянова. М.: МАДИ (ГТУ), 2003. — 540 с. Книгу можно приобрести во ФГУП НТЦ «Интернавигация». Справки по тел. (495) 926-25-01, Прохорова Татьяна Михайловна.

К проведенной 23 — 25 мая 2005 г. (в г. Санкт-Петербурге, в Государственном научном центре Российской Федерации ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт «Электроприбор») XII Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам выпущены книги-сборники докладов на русском и английском языках. Заинтересованным лицам обра-

щаться по адресу: 197046, Санкт-Петербург, Малая Посадская, 30. Тел: (812) 238-82-10, (812) 238-81-57. Факс: (812) 232-33-76, e-mail: elprib@online.ru.

R.M. Rogers, Rogers Engineering & Associates Applied Mathematics in Integrated Navigation Systems, Second Edition. AIAA Education Series 2003, 326 pp, Mixed media, ISBN: 1563476568. AIAA Winter/Spring Publications Catalog 2005. www.aiaa.org

P. Zarchan and H. Musoff, C.S. Draper Laboratory. Fundamentals of Kalman Filtering: A Practical Approach, Second Edition. Progress in Astronautics and Aeronautics Series, Vol. 208, 2005, 746 pp, Mixed media, ISBN: 1563476940. AIAA Winter/Spring Publications Catalog 2005. www.aiaa.org

Titterton D.H., Weston J.L. Strapdown Inertial Navigation Technology, Second Edition. Progress in Astronautics and Aeronautics Series, Vol. 207, 2004, 574 pp, Hardback, ISBN: 1563476932. AIAA Winter/Spring Publications Catalog 2005. www.aiaa.org

Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. — М.: Горячая линия. Изд. Телеком, 2005. — 272 с. ISBN : 5-93517-218-6.

Бакулев П.А., Сосновский А.А. Радионавигационные системы. Учебник для вузов. — М.: Радиотехника, 2005. — 320 с., ил.

С единых позиций изложены принципы построения традиционных и перспективных средств радионавигации. Рассмотрены методы измерения координат объектов, используемые сигналы и их обработка. Показаны пути повышения точности радионавигационных систем и устройств.

Для студентов радиотехнических специальностей вузов.

Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли. — М.: Радиотехника, 2005.

Содержит систематическое изложение необходимых сведений для изучения радиолокационных систем дистанционного зондирования Земли. Основное внимание уделено принципам построения авиационных и космических радиолокационных систем с синтезированной апертурой антенны

(РСА), предназначенных для детального наблюдения (радиовидения) земных объектов естественного и искусственного происхождения.

Предлагаемая книга может быть широко использована в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 654200 «Радиотехника», а также для подготовки специалистов по направлению 080800 «Исследование природных ресурсов аэрокосмическими средствами, может быть полезна для инженеров и научных работников, занимающихся проблемами радиовидения Земли.

<http://www.radiotec.ru>

E-mail: iprzhr@online.ru

Дмитриев С.П., Пелевин А.Е. Задачи навигации и управления при стабилизации судна на траектории. СПб. «Электроприбор», 2004. — 158 с. ISBN: 5-900780-55-4.

В книге рассматривается проблема управления в виде двух взаимосвязанных задач — синтеза закона управления и построения фильтра для обработки навигационных измерений. Несмотря на то, что теоретические вопросы, решаемые в работе, порождены актуальной прикладной задачей (стабилизация морского судна на траектории), они имеют общий характер и развивают известные

методы теории синтеза управления и обработки информации в стохастической постановке. Книга предназначена для инженерно-технических и научных работников, занимающихся вопросами навигации и управления движением, а также для преподавателей, студентов вузов и аспирантов соответствующих специальностей.

Меркулов В.И., Чернов В.С., Саблин В.Н., Дрогалин В.В. и др. Авиационные системы радиопреуправления. Монография. В 3-х книгах. Кн. 3. Авиационные системы радиопреуправления/. — М.: Радиотехника, 2004.

Излагаются принципы построения и особенности функционирования современных и перспективных авиационных командных, автономных и комбинированных систем радиопреуправления.

Оценивание дальности и скорости в радиолокационных системах. Часть 1. Коллективная монография/ Под. ред. А.И. Канашенкова и В.И. Меркулова. — М.: Радиотехника, 2004.

Рассмотрены теоретические основы синтеза и анализа радиолокационных измерителей на основе представления процессов и систем в многомерном пространстве состояний в рамках математического аппарата теорий оптимального управления, фильтрации и идентификации.

КАЛЕНДАРЬ МЕЖДУНАРОДНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В ОБЛАСТИ НАВИГАЦИИ И СМЕЖНЫХ ДИСЦИПЛИН НА 2005-2007гг.

Календарь подготовлен с помощью материалов IAIN News, журнала GPS World, [http:// www.gpsworld.com](http://www.gpsworld.com), и других источников.

NOVEMBER 1–3 2005

NAV 05

National Navigation Conference – Pushing the Boundaries RIN, London, UK. The Conference Centre at Church House, Dean's Yard, Westminster, London, SW 1P 3NZ. Tel. +44 20 7390 1560, fax +44 20 7290 1591.

NOVEMBER 6–10 2005

ITS 2005

San Francisco, CA, United States.

NOVEMBER 29–30 2005

Nordic SatNav User Conference

Oslo, Norway. www.nornav.org

DECEMBER 8–10 2005

GNSS 2005

Hong Kong, China.

JANUARY 18–20 2006

ION National Technical Meeting

Hyatt Regency Hotel, Monterey, California, USA. Contact: tel. +1 703-383-9688, fax +1 703-383-9689. 3975 University Drive Suite 390 Fairfax, VA 22030 Phone: 703.383.9688 Fax: 703.383.9689 www.ion.org

FEBRUARY 21–23 2006

The Munich Satellite Navigation Summit 2006

Residenz Munchen, Germany Contact: Institute of Geodesy and Navigation Tel: +49-89-6004-3425 Web: www.munich-satellite-navigationsummit.org

MARCH 2–3 2006

GPS-Wireless 2006

San Francisco, CA, USA
www.gps-wireless.com

МАРТ 14–16 2006

VIII конференция молодых ученых «Навигация и управление движением».

ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург, ул. Малая Посадская, д. 30, тел. (812) 238-

82-10, (812) 238-81-57, факс (812) 232-33-76, e-mail elprib-onti@telros.net.

Конференция будет проходить в три этапа: первый (14–16 марта 2006 г.) – выступление с докладами в ЦНИИ «Электроприбор», второй (июнь–октябрь 2006 г.) – обсуждение докладов в Интернете, третий (сентябрь 2006 г.) – выездная школа-семинар для авторов, которые в марте представят наиболее интересные доклады.

МАРТ 14–17 2006

ГЕОФОРМ+ 2006

Россия, Москва, Культурно-выставочный центр «Сокольники». Тел. +7 (095) 105 3486, факс +7 (095) 268 9904, e-mail nvs@mvk.ru
www.geoexpo.ru

APRIL 4–6 2006

CERGal 2006

International Symposium on Certification of Galileo Systems and Services
Braunschweig, Germany. DGON, tel. +49-(0)228-20197.0, fax +49-(0)228-20197.19. e-mail: schulzethesing.dgon.bonn@t-online.de
<http://www.dgon.de>

APRIL 25–26 2006

PLANS 2006

Position location and navigation symposium jointly sponsored by the IEEE and the ION. Coronado, San Diego, California, USA. Contact: tel. +1 703-383-9688, fax +1 703-383-9689. www.plans2006.org

MAY 1–4 2006

Joint Navigation Conference

Las Vegas, NV, USA

MAY 7–10 2006

ENC/GNSS

European Navigation Conference and Exhibition. EUGIN/RIN, Manchester International Convention Centre, Manchester, UK. RIN: 1 Kensington Gore, London, SW7 2AT. Tel. +44 (0) 20 7591 3130, fax +44 (0)20 7591 3131, conference@rin.org.uk <http://www.enc2006.org.uk>

MAY 7–12 2006

RTCM Annual Assembly

Newport Beach, Calif. Contact: Mr. Robert Markle
Tel: +1 703-527-2000 Fax: +1 703-351-9932 www.rtcn.org

МАЙ 29–31 2006

XIII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам.

ГНЦ РФ «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург, ул. Малая Посадская, д. 30, тел. (812) 238-82-10, (812) 238-81-57, факс (812) 232-33-76, e-mail elprib-onti@telros.net

JULY 11–12 2006

EURAN 2006

European Radio-Navigation Systems and Services
Munich, Germany.
<http://www.dgon.ru>

SEPTEMBER 19–20 2006

Symposium on Gyro Technology

Shtuttgart, Germany.
<http://www.dgon.ru>

SEPTEMBER 20–22 2006

ISIS 2006

International Symposium Information on Ships
Hamburg, Germany.
<http://www.dgon.ru>

SEPTEMBER 26–29 2006

ION GNSS 2006

Fort Worth Convention Center, Fort Worth, Texas.
Contact: ION National Office, 3975 University Drive
Suite 390 Fairfax, VA 22030 Phone: 703.383.9688 Fax:
703.383.9689 e-mail: meetings@ion.org, <http://www.ion.org>

SEPTEMBER 2006

Symposium on Air Transport Liberalisation

12th World Route Development Forum in
conjunction with the World Route Development Forum,
ICAO. Hosted by Dubai International Airport

OCTOBER 18–20 2006

12th IAIN World Congress IAIN

Korean ION, Busan, Korea. www.iainav.org

OCTOBER 18–20 2006

Korean Institute of Navigation and Port Research (KINPR)

Busan, Jeju, Republic of Korea
email: jkinpr@mail.hhu.ac.kr

SEPTEMBER 25–28 2007

ION GNSS 2007

3975 University Drive Suite 390 Fairfax, VA
22030 Phone: 703.383.9688 Fax: 703.383.9689 e-mail:
meetings@ion.org, <http://www.ion.org>

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Продолжается подписка на журнал «Новости навигации». Подписка оформляется через редакцию журнала. Юридические и физические лица могут приобрести издаваемый журнал, оформив подписку либо заказ на конкретный номер журнала, а также за наличный расчет. Время оформления подписки не ограничено.

В стоимость подписки входит оплата 4-х номеров журнала. Стоимость подписки с учетом почтовых расходов и НДС – 1000 руб.

Заполните прилагаемый бланк-заказ на оформление подписки, и один экземпляр вместе с копией исполненного платежного поручения перешлите в редакцию по адресу:

Россия, 109028, Москва, Б. Трехсвятительский пер., 2,

ФГУП «НТЦ СНТ «Интернавигация».

Контактный телефон: (095) 926-25-01, факс: (095) 926-28-83

E-mail: internavigation@rgcc.ru.

Предлагаем также рассмотреть возможность сотрудничества в издании журнала, публикации на его страницах рекламной и другой информации, касающейся вашего предприятия.

Расценки на публикацию рекламы:

2, 3 стр. обложки и вкладки (формат А4):	цветная реклама (4 цвета)	–700 у.е.
	одноцветная реклама	–350 у.е.

Главному редактору

журнала «Новости навигации»

109028, Москва, Б. Трехсвятительский пер., 2

Бланк-заказ

Просим оформить подписку на _____ экз. журнала «Новости навигации».

Стоимость подписки в сумме _____ руб. перечислена на расчетный счет ФГУП «НТЦ современных навигационных технологий «Интернавигация» в Межгосударственном банке г. Москвы, ИНН 7736022670,

р/с № 40502810000000000001, БИК 044525362, к/с 30101810800000000362.

Платежное поручение № _____ от «_____» _____ 200 г.

(Следует приложить к заказу копию платежного поручения).

Заказ направить по адресу:

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

город, улица, дом _____

Кому _____

(полное название организации или ФИО заказчика)

Требования к оформлению рукописей для публикации в журнале «Новости навигации»

1. Представляемый материал (статьи, монографии, рецензии, лекции) должен являться оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях.

2. Рукопись должна содержать:

- название на русском и английском языках;
- инициалы и фамилии авторов на русском и английском языках;
- аннотацию на русском и английском языках;
- текст статьи;
- список литературы.

Страницы рукописи не нумеруются. Отдельно представляются сведения об авторах: контактные телефоны, факсимиле, адрес электронной почты.

3. Объем текста теоретического характера, как правило, должен быть не более 1 усл. печ. листа, а практического – 2/3 усл. печ. листа.

4. Для выделения отдельных пунктов в тексте или графическом материале необходимо использовать только арабскую нумерацию.

5. Рукопись должна быть представлена в виде файла формата MS Word (*.doc) на магнитном или оптическом (CD) носителе и распечатки в двух экземплярах. После рецензирования, при наличии замечаний, рукопись с дискетой возвращается автору на доработку. В отдельных случаях возможен обмен отредактированными материалами по электронной почте.

6. При наборе текста необходимо использовать следующие шрифты: «Times New Roman» и «Symbol». Размер шрифта для заголовков статей – 16, ФИО авторов – 14, подзаголовков – 12, текста – 12, для сносок – 10, интервал – множитель с коэффициентом 1,3.

7. Иллюстративный и графический материал представляется в виде файлов формата MS Word, предпочтительно в портретной ориентации, в черно-белом цвете. Не допускается использование сканированных рисунков и формул. Математические формулы оформляются через редактор формул «Equation Editor».

8. В зависимости от тематики статьи при необходимости к представленному материалу должно прилагаться экспертное заключение о возможности публикации в открытой печати.