

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО



ГОДЫ И ЛЮДИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО
ГОДЫ И ЛЮДИ

*Серия книг по истории создания и развития
Санкт-Петербургского национального исследовательского университета
информационных технологий, механики и оптики
(бывшего Ленинградского института точной механики и оптики)*

Часть 6

Основана в 2000 году по решению Ученого совета Университета
в ознаменование 100-летия со дня создания
в составе Ремесленного училища цесаревича Николая
Механико-оптического и часового отделения,
превращенного трудами нескольких
поколений профессоров и преподавателей
в один из ведущих
университетов России —
Национальный исследовательский университет

*Редакционная коллегия серии:
член-корреспондент РАН В.Н. Васильев (председатель), проф. Г.Н. Дульnev,
проф. Ю.Л. Колесников, проф. Г. И. Ноевиков,
доцент Н.К. Мальцева (ученый секретарь)
Главный редактор — заслуженный деятель науки и техники РСФСР,
академик Российской академии естественных наук,
профессор Г.Н. Дульnev*

**Национальный исследовательский
университет ИТМО:**

Годы и люди

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ

ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Под общей редакцией академика РАН В. Г. Пешехонова

Санкт-Петербург

2012

ББК Ч30/49
74.58 ф
П 48
УДК 521.396.98

П48 75 лет кафедре информационно-навигационных систем / Под общей редакцией академика РАН В. Г. Пешехонова. СПб.: СПб.НИУ ИТМО, 2012. - 296 с. Серия «Национальный исследовательский университет ИТМО. Годы и люди», часть шестая.

В составлении приняли участие: Г.И. Емельянцев, Н.К. Мальцева, В.В. Серегин,
О.А. Степанов, Д.О. Тарапоновский, О.М. Яшникова

Настоящий сборник посвящен 75-летию кафедры информационно-навигационных систем Национального исследовательского университета информационных технологий механики и оптики. Образованная в 1937 году кафедра является одной из старейших в университете и первой в стране, начавшей подготовку инженеров по специальности «Навигационные приборы».

Сборник включает материалы по истории кафедры, а также основополагающие научные статьи руководителей и преподавателей разных лет. Значительная часть сборника посвящена трудам выпускников кафедры, внесших заметный вклад в развитие российской научной школы по навигации и управлению движением. Приведены биографические очерки о руководителях, преподавателях, выпускниках и воспоминания бывших студентов и преподавателей о годах учебы и работы на кафедре. Кроме того, представлены материалы, иллюстрирующие современную организацию учебного процесса на кафедре, а также результаты сотрудничества кафедры с другими ведущими вузами и предприятиями города. Завершает книгу информация о профессорско-преподавательском составе кафедры.

ББК Ч30/49
74.58 ф

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики, 2012
© ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,
2012

ISBN 978-5-7577-0416-6

Одним из наиболее сложных и наукоемких видов приборной техники являются гироскопические системы навигации, ориентации и стабилизации, без которых были бы немыслимы ракетно-космическая и авиационная техника, атомные подводные лодки и все современные системы управления движением – от автомобиля до медицинского зонда.

Гироскопические технологии создаются на основе широкого круга научных дисциплин, и для овладения ими и дальнейшего их развития необходимы специально подготовленные ученые и инженеры. В нашей стране эта потребность была осознана в начале тридцатых годов, когда в ленинградском заводе «Электроприбор» начались разработка и производство гироскопических приборов. По инициативе научных консультантов завода академика А. Н. Крылова и профессора Б. И. Кудреевича было принято решение о создании специализированной кафедры в Ленинградском институте точной механики и оптики.

Так началась и продолжается уже 75 лет история кафедры, неразрывно связанной с «Электроприбором». Об этой связи убедительно свидетельствуют материалы, помещенные в настоящем сборнике. Кафедра развивается, отслеживает мировые тенденции развития науки и технологии во взаимодействии с учеными ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Десятилетия сохраняя и совершенствуя взаимодействие, кафедра и ЦНИИ «Электроприбор» избежали трублностей, вызванных разрывом связей между вузами и промышленностью, характерных для нашего времени.

В тридцатые и сороковые годы на первый план вышли работы по гирокомпасам и сотрудники кафедры внесли весомый вклад в их решение. Особо следует отметить пионерские работы по созданию гирокомпасов для морского торгового флота, маркшейдерских работ и магнитного картографирования (профессора К. С. Ухов, П. А. Ильин М. А. Сергеев). Значительную роль в становлении кафедры в шестидесятые годы внес крупный ученый в области гирокомпания С. Ф. Фармаковский. В семидесятые и восемидесятые годы кафедра обладает научными интересами перемещается в сферу инерциальной навигации и сотрудники кафедры публикуют серию работ по инерциальным навигационным системам (ИНС), среди которых важное место заняли исследования теории ошибок ИНС (профессор В. А. Каракашев) и влияния аномалий гравитационного поля Земли на ошибки ИНС (профессор О. Н. Анучин). Началась разработка лазерных гирокомпасов, конструирование измерительных блоков на их основе (Г. М. Кузнецов), а также работы по использованию лазерных гирокомпасов в навигационных системах (профессор В. В. Серегин). Эпоха бурного развития спутниковых навигационных систем нашла отражение в работах сотрудников кафедры, посвященных интегрированным инерциально/спутниковым системам (автор основных работ в этой области в нашей стране – профессор Г. И. Емельянцев).

Кафедра по праву гордится своими выдающимися выпускниками, среди которых авторы публикаций в настоящем сборнике: академик Российской академии наук М. Д. Азеве, основатель дальневосточного академического Института проблем морских технологий и создатель серии автономных необитаемых подводных аппаратов; академик Национальной академии наук (Украина) В. Н. Кошляков, внесший крупный вклад в теорию гирокомпасов; заслуженный изобретатель Российской Федерации, д.т.н., профессор В. З. Гусинский, главный конструктор прецизионной ИНС; д.т.н. Б. Е. Ландau, главный конструктор высокоточной системы ориентации космических аппаратов дистанционного зондирования Земли; к.т.н. К. К. Филиппов, длительное время возглавляв-



ший ОКБ «Электроавтоматика»; заслуженный деятель науки Российской Федерации, д.т.н., профессор В. Я. Располов, заведующий родственной кафедрой Тульского государственного университета, вносящий весомый вклад во внедрение микромеханических гироскопов в системы управления движением.

Сборник дает хорошее представление о сегодняшнем дне кафедры. Её сотрудники разрабатывают теорию обработки навигационной информации (д.т.н. О. А. Степанов), плодотворно работают над созданием и применением микромеханических гироскопов (д.т.н. М. И. Евстифеев, к.т.н. В. Д. Аксененко), разрабатывают новые решения задач подземной навигации и гироинклинометрии (к.т.н. Я. И. Биндер), укрепляют лабораторную базу кафедры (к.т.н. Л. П. Старосельцев). Усиливается роль молодых преподавателей и сотрудников кафедры (кандидаты технических наук А.В.Лопарев, А. С. Ковалев, П. В. Юхта, Я. В. Беляев). Активно вовлекаются в научную работу выпускники кафедры и магистры. Они публикуют значительное число работ, успешно выступают в городских и российских творческих конкурсах.

Вечные времена не обошли кафедру – возросла академическая мобильность студентов, они приобретают новый опыт работы и расширяют свой кругозор во время стажировок в российских и зарубежных университетах.

У кафедры «Информационно-навигационные системы» не только славная история, но и достойное будущее.



Заведующий кафедрой академик РАН В. Г. Пешехонов

ГЛАВА I

ПУТЬ К СЛАВНОМУ ЮБИЛЕЮ

Кафедра информационно-навигационных систем факультета компьютерных технологий и управления является одной из старейших кафедр Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий механики и оптики (НИУ ИТМО).

В 30-е годы XX века отечественная промышленность приступила к созданию новых навигационных приборов: гирокомпасов, лагов, эхолотов. В связи с этим в 1934 году ряд предприятий и организаций внесли предложение во Всесоюзный совет народного хозяйства (ВСНХ) СССР о подготовке необходимых инженерных кадров. В фондах Музея истории Национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики есть приказ № 176 по Ленинградскому институту точной механики и оптики от 07.09.1937 г., первый параграф которого звучит так:

«На основании приказа ВКВШ* № 119 от 5 июня 1937 года в составе Института объявляю факультет точной механики». Далее перечисляются 6 кафедр этого факультета, среди которых и кафедра «Навигационные приборы». С 1937/38 учебного года на кафедре была начата подготовка специалистов.

В разработке профиля кафедры принимали участие видные ученые и специалисты промышленности и флота страны, в том числе академик А.Н. Крылов, профессора Б.И. Кудревич и К.С. Ухов, доцент Д.Н. Иконников, инже-



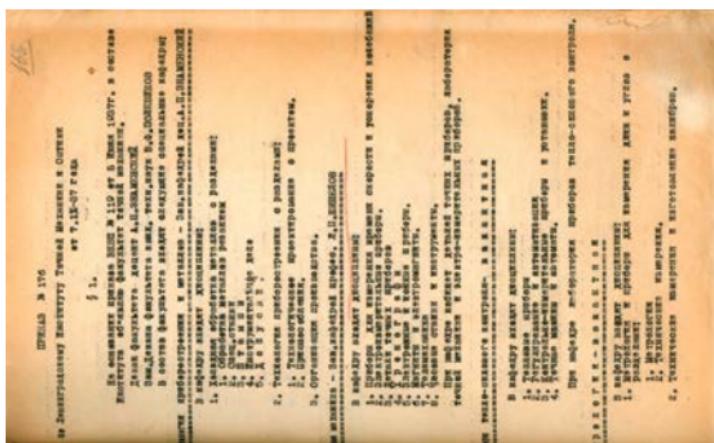
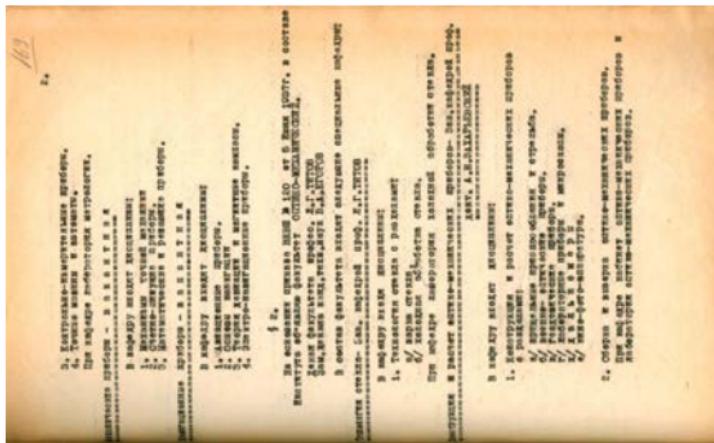
Кудревич Борис Иванович (1886-1960) — один из основоположников создания в Советском Союзе теории гироскопических устройств — контр-адмирал, доктор технических наук, профессор

неры М.М. Блиок, М.А.Шиф.

Первым заведующим кафедрой стал профессор Л.П. Шишев, занимавший в то время должность декана факультета «А» (точной механики). Любопытно отметить, что приказом № 176 Л.П. Шишев был назначен заведующим кафедрой точной механики (лист 1 приказа), а должность заведующего кафедрой навигационных приборов некоторое время была вакантной (лист 2 приказа). На эту должность Л.П. Шишев был назначен несколько позже — в 1938 г. **

* ВКВШ — Всесоюзный комитет по высшей школе. (Прим. ред.).

** Заметки о руководителях кафедры представлены далее в настоящем сборнике. (Прим. ред.).



Прокт о создании факультета точной механики и кафедры с навигационные приборы (1,2 листы)

ПУТЬ К СЛАВНОМУ ЮБИЛЕЮ

Приказ о создании факультета точной механики и кафедры «Навигационные приборы» (3,4 листы)



Профессор Л.П. Шишевов (у прибора) ведет лабораторные занятия, ЛИТМО. 1937 г.

В том же 1937 году на кафедре организована лаборатория, заведующим которой был назначен П.А. Ильин, внесший значительный вклад в становление кафедры. В 1940 году состоялся первый выпуск инженеров по навигационным приборам.



Чествование профессора кафедры навигационных приборов П. А. Ильина.
Ленинград, 1975.

(1941), доцент (1946), профессор (1956).

Декан факультета точной механики (1962–1966). Профессор кафедры гирокомпенсаторов и навигационных приборов (впоследствии – кафедры бортовых приборов управления) (1965–1973).

Зам. председателя Секции гирокомпенсаторов и устройств научно-технического общества «Приборостроение» (с 1956 г.). Председатель группы членов Общества по распространению политических и научных знаний ЛИТМО (с 1961 г.).

Будучи на пенсии, П.А.Ильин продолжал работать профессором-консультантом и руководил аспирантами (1973–1977). Автор нескольких изобретений, под его руководством создан ряд гирокомпенсаторов. Автор более 40 научных трудов. Награжден орденом «Отечественной войны» и многими медалями СССР.

Петр Алексеевич Ильин – крупный специалист в области судовых приборов ориентации и истории приборостроения. Окончил Школу точной механики и оптики по физико-механическому отделению (1928), счетно-измерительный факультет (1931) и аспирантуру (1939) ЛИТМО.

В ЛИТМО занимал должности заведующего лабораторией, ассистента, преподавателя кафедры навигационных приборов (1939–1941).

Участник Великой Отечественной войны (1941–1945).

Доцент кафедры гирокомпенсаторов и навигационных приборов ЛИТМО (1946–1963), заведующий аспирантурой (1953–1954).

Кандидат технических наук

По материалам сайта «Виртуальный музей НИУ ИТМО»

ПУТЬ К СЛАВНОМУ ЮБИЛЕЮ

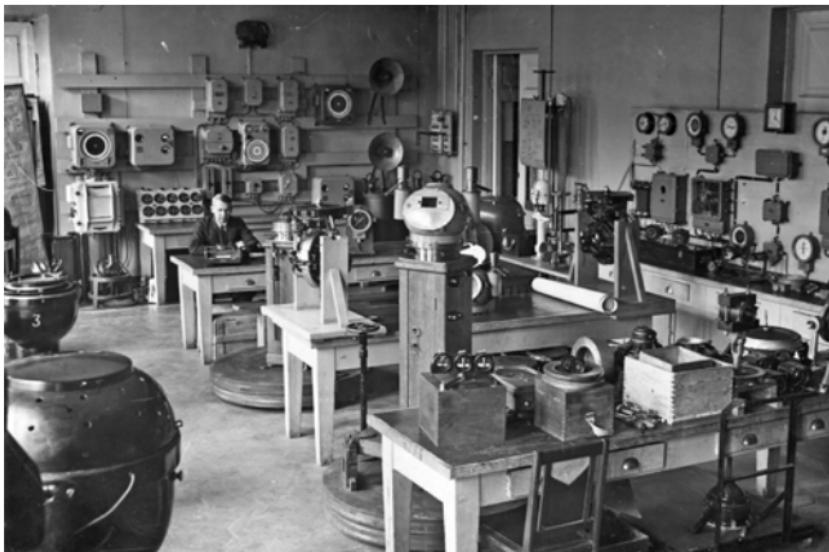
В период блокады Ленинграда на время эвакуации ЛИТМО лабораторное оборудование кафедры оставалось в осажденном городе и было сохранено. Поэтому практически сразу после реэвакуации института в 1944 году на кафедре были возобновлены занятия.



Лабораторные занятия на кафедре навигационных приборов, ЛИТМО. 1946 г.



Лабораторные занятия со студентами проводят П. А. Ильин (в центре). ЛИТМО. 1948 г.



Лаборатория кафедры навигационных приборов, ЛИТМО. 1948 г.

С 1945 по 1962 год кафедру возглавлял крупный ученый в области навигации, гидрографии, штурманских приборов, доктор технических наук, профессор К.С. Ухов, который при поддержке профессора Б.И. Курдевича основал научно-педагогическую школу «Навигационные приборы». При нем в 1956 году в связи с изменением номенклатуры специальностей кафедра была переименована в кафедру гирокомпьютерных и навигационных приборов. Чтобы удовлетворить потребности промышленности, в эти годы на кафедре обучалось 4-5 групп студентов, включая группы вечернего образования.

В этот период совместно с Всесоюзным маркшейдерским институтом под руководством профессора П.А. Ильина был разработан и изготовлен (1948–1950) первый в стране образец маркшейдерского гирокомпаса. Работа была удостоена Государственной премии СССР. В 1960 году коллектив кафедры под научным руководством профессора К.С.Ухова совместно с ЦНИИ морского флота закончил разработку и изготовление гирокомпаса МГК-1 для торговых судов. Опытный образец гирокомпаса был предан для освоения в судостроительную промышленность.

Выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ способствовало научному росту коллектива кафедры и повышению уровня подготовки студентов. Успешно защитили кандидатские, а впоследствии докторские диссертации М.М. Богданович, Э.И. Слив, М.А. Сергеев, В.А. Каракашев, В.Н. Кошликов. В это же время выпущены учебники К.С. Ухова «Навигация» (Л.: Водтрансиздат, 1954) и М.М.Богдановича, П.А.Ильина «Гирокомпьютерные приборы и устройства» (Л.: Судпромгиз, 1961), а также монография М.М. Богдановича, В.С. Мочалина, П.А. Ильина «Элементы теории навигационных гирокомпьютерных приборов» (М.: Морской транспорт, 1956), широко используемые студентами и специалистами промышленности.

— КАФЕДРА —

НАВИГАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ



Руководитель кафедры
профессор
К.С. Ухов



Общий вид лаборатории гирокомпасо-
метрических приборов и лагов.



Работа с магнитными
компасами



Доктор наук
доцент кафедры
П.А. Ильин

**Кафедрой выполнены
научно-исследовательские работы:**

1. Приспособление к секстанту для изме-
рения наклонения дигитального гори-
зонта
2. Исследование магнитных
полей в районе ЛИТМО.
3. Заказ "Волна".
4. Исследование вопроса
построения прессизион-
ного гирокомпаса направле-
ния.

Стенд с электроплатами

На кафедре выполнено 25 дипломных
работ. Сотрудниками кафедры
написано и издано более 15 книг
и учебных пособий.

Стенд кафедры навигационных приборов. 1945 г.



Заведующий кафедрой навигационных приборов профессор К.С. Ухов (первый слева)
и сотрудники кафедры (слева направо): доцент А.А. Зелетенкевич, И.В. Иванов и П.А. Ильин
у разработанного ими маркшейдерского гирокомпаса, ЛИТМО. 1950 г.

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ



Книги, опубликованные сотрудниками кафедры в 30-е – 60-е годы



Занятия на кафедре гирокомпьютеров и навигационных приборов, ЛИТМО. 1960 г.



Богданович Михаил Митрофанович родился в 1915 году в местечке Копыль под Бобруйском в многодетной крестьянской семье – кроме него в семье было два брата и три сестры.

В 1924–1931 гг. учился в школе сельской молодежи. 1931–1935 гг. – слесарь на заводе им. Ворошилова, г. Минск. 1934–1935 гг. – учащийся рабфака при Минском политехническом институте. 1935–1936 гг. – слесарь завода «Гомельсельмаш». 1936–1941 гг. – студент Ленинградского института инженеров водного транспорта, судоводительский факультет.

1941–1942 гг. – боеп-дровоболец действующей армии, 52-я дивизия. После ранения и выхода из госпиталя демобилизован как инвалид. Вернулся на учебу в ЛИИВТ (г. Горький). Окончил институт в 1943 г. с присвоением звания инженер-судоводитель. Из-за инвалидности работать по специальности не мог. В 1943–1945 гг. занимался на судомеханическом факультете Ленинградско-Горьковского института инженеров транспорта. Окончил его с присвоением звания инженер-механик водного транспорта (1945).

Направлен на работу в Ленинградское высшее мореходное училище (ЛВМУ). Работал на кафедре «Судовождение»: старшим лаборантом, ассистентом (1946–1950), затем – старшим преподавателем. Поступил в аспирантуру при ЛВМУ (1946), которую успешно окончил в 1949 г.

6 декабря 1950 г. защитил в ЛИТМО кандидатскую диссертацию на тему «К вопросу о баллистических девиациях гирокомпаса» (диплом кандидата наук МНТ №07108 от 6 мая 1951 г.).

В апреле 1951 г. откомандирован во Владивостокское высшее мореходное училище на должность начальника кафедры судовождения. Решением ВАК от 11 октября 1952 г. утвержден в ученом звании доцента по кафедре «Судовождение». В августе 1952 г. переведен в ЛВМУ на кафедру «Судовождение» на должность доцента, выполняя часть педагогической нагрузки на кафедре высшей математики.

В апреле 1953 г. зачислен на работу по совместительству доцентом на кафедру «Навигационные приборы» ЛИТМО. В июле 1954 г. избран по конкурсу на должность доцента кафедры № 56 (кафедра «Навигационные приборы»). В 1964 г. защитил по совокупности трудов диссертацию на сокращение научной степени доктора технических наук. Решением ВАК от 17 апреля 1965 г. М.М. Богдановичу присуждена ученая степень доктора технических наук (диплом доктора наук МНТ №001506 от 4 июня 1965 г.).

В течение пяти лет был редактором сборника трудов ЛИТМО по точной механике и трудов студенческого научного общества (СНО). Возглавлял СНО факультета точной механики. В ноябре 1965 г. избран по конкурсу на должность профессора кафедры гирокомпостических и навигационных приборов ЛИТМО. С 1960 г. стал научным руководителем аспирантов. На кафедре гирокомпостических и навигационных приборов читал дисциплины «Гирокомпостические приборы и устройства», «Приборы для измерения скоростей и расстояний», «Теория колебаний».

До 1966 г. опубликовал 22 научные работы, в том числе 2 монографии. Был руководителем трех НИР и ответственным исполнителем пяти НИР по разработке гирокомпостических устройств: «Гирокомпас для морского флота», «Сухопутный малогабаритный гирокомпас», «Гирокомпостический регистратор качки моделей судов», «Система стабилизации самоходной модели судна на подводных крыльях», «Следящая система измерителей скорости». Являлся представителем кафедры на предпринятиях и.д. 501.

В январе 1966 г. избран по конкурсу на должность профессора, заведующего кафедрой теоретической механики и приборов точной механики Владимирского вечернего политехнического института. В 1967/68 учебном году по совместительству руководил в ЛИТМО аспирантом Ю.А.Буряном, работая профессором в ЛВМИУ им. адм. С.О.Макарова.

Умер в 1984 году. Похоронен на Стрельнинском кладбище.

По материалам сайта «Виртуальный музей НИУ ИТМО»



Слип Эля Израилевич (1910–1982).

Крупный ученый в области теории гироскопов и систем инерциальной навигации.

Окончил факультет точной механики Ленинградского института точной механики и оптики (1939) и поступил в аспирантуру ЛИТМО. В 1941–1946 годах проходил службу в рядах Красной Армии; с октября 1941 г. участвовал в боевых действиях, в частности, в Польше и Германии. За образцовое выполнение задания командования награжден орденами «Красного Знамени», «Отечественной войны» 1-й и 2-й степеней, «Красной Звезды», а также несколькими медалями.

В 1946–1948 годах продолжил обучение в аспирантуре ЛИТМО; являлся аспирантом кафедры «Навигационные приборы». Подготовил и в 1948 г. успешно защитил диссертацию «К вопросу о влиянии больших скоростей и ускорений на гироскопические приборы» на соискание ученой степени кандидата технических наук. В 1948–1964 гг. работал в должности старшего научного сотрудника научно-исследовательской организации. В 1955 году ему присвоено ученое звание старшего научного сотрудника по специальности «Приборы и устройства автоматики и телемеханики».

В 1957–1964 гг. работал в Ленинградском электротехническом институте им. В.И.Ульянова (Ленина) по совместительству в должности доцента.

Доктор технических наук (1963), профессор на кафедре теоретической механики (1965).

В 1964–1975 гг. работал в должности заведующего кафедрой технической (до 1965 года – теоретической) механики ЛИТМО. В 1975–1980 гг. занимал должность профессора кафедры технической механики ЛИТМО.

Основные научные публикации:

1. Гироскопические ориентаторы. // Известия ЛЭТИ им. В.И.Ульянова (Ленина). Вып. 18. Л., 1963. – 37 с. (Соавтор – П.И.Сайдов).
2. Вопросы прикладной теории гироскопов. Л., 1961. – 427 с. (Соавторы – П.И.Сайдов, Р.И.Чертов).
3. Прикладная теория инерциальной навигации. Л., 1972.- 120 с.
4. Прикладная теория инерциальной навигации (репринтное воспроизведение издания 1972 года) / Серия «Выдающиеся ученыe Университета ИТМО» – СПб.: СПб ГИТМО (ТУ), 2002. – 132 с.

По материалам сайта «Виртуальный музей НИУ ИТМО»



С 1963 по 1970 год кафедрой заведовал (по совместительству) главный инженер Ленинградского научно-производственного объединения «Азимут», лауреат Ленинской премии, доктор технических наук, профессор С.Ф.Фармаковский. В этот период коллектив кафедры значительно укрепил и расширил связи с промышленностью. К чтению лекций привлекаются, в частности, к.т.н. старший научный сотрудник П.И.Малеев, к.т.н. старший научный сотрудник Ю.С.Луковатый, к.т.н. капитан 2-го ранга К.Г.Вахитов. В гироскопическом приборостроении получают развитие газовые опоры как в осях подвеса, так и в качестве главных опор ротора гироскопа.

На кафедре гироскопических и навигационных приборов разрабатываются теоретические основы расчета и проектирования газодинамических подшипников. Научный руководитель исследовательских работ – доцент В.Н.Дроздович. Результаты использованы в НПО «Азимут» и других организациях.

Профессор С.Ф.Фармаковский

ПУТЬ К СЛАВНОМУ ЮБИЛЕЮ



Сотрудники и аспиранты кафедры гирокопических и навигационных приборов. 70-е годы.
(слева доцент А.А.Зеленткевич, в центре В.В.Сергин, крайний справа проф. В.А.Каракашев,
рядом С.Ф.Фармаковский. ЛИТМО



Студентки кафедры гирокопических и навигационных приборов (слева направо: Н.Г.Кирпиченок, Л.А.Строганова,
И.И.Туранова, А.И.Баскина, Л.Л.Зверховская.. ЛИТМО. 1968 г.

В.Н. ДРОЗДОВИЧ

ГАЗО- ДИНАМИЧЕСКИЕ ПОДШИПНИКИ



По этим работам защищены 2 кандидатские диссертации и опубликована монография В.Н. Дроздовича «Газодинамические подшипники» (Л.: Машиностроение, 1976). В книге рассмотрены особенности процесса газовой смазки, указаны перспективы использования и приведены примеры газодинамических подшипников в приборах и машинах.

Во второй половине шестидесятых годов под руководством профессора П.А. Ильина разворачиваются работы по исследованию и разработке лазерных гироскопов. Для проведения работ по договорам с Московским институтом электроавтоматики при кафедре в 1966 г. создается отраслевая лаборатория квантовой гирометрии под научным руководством с.н.с. Г.М. Кузнецова. На приборы, разработанные для авиационно-ракетного применения и для морского оружия, сотрудниками лаборатории за 1972–1985 годы было получено более 20 авторских свидетельств и 2 патента.



Доцент В.Н.Дрзодович

В 1969 г в издательстве «Машиностроение» публикуется монография д.т.н. профессора М.А. Сергеева «Наземные гирокомпасы». В 1970 году он избирается по конкурсу заведующим кафедрой и руководит ею до 1982 года. В промышленности ведутся работы по созданию космических летательных аппаратов, сверхзвуковых самолетов, атомных подводных лодок, межконтинентальных ракет. В этих условиях кафедра расширяет профиль подготовки специалистов и в 1973 году переименовывается в кафедру «Бортовые приборы управления».

Наиболее значительными работами в этот период являются создание совместно с Институтом земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн Академии наук СССР под научным руководством профессора М.А. Сергеева комплекса бортовых приборов и наземного оборудования для глобального магнитного картографирования территории СССР. Изготовленный в ЛИТМО комплекс для измерения вектора магнитного поля Земли был установлен на самолете ИЛ-72 и прошел успешную эксплуатацию. Технические решения защищены пятью авторскими свидетельствами на изобретения. Обслуживание комплекса в полетах и камеральную обработку информации осуществляли сотрудники научно-исследовательской лаборатории астроориентации, созданной при кафедре и возглавлявшейся старшим научным сотрудником В.И. Ющенко. Исполнители работ защитили четыре кандидат-

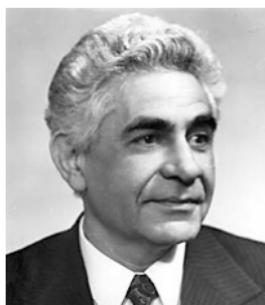


ПУТЬ К СЛАВНОМУ ЮБИЛЕЮ

ские диссертации. В научно-технической литературе опубликовано более 30 статей и тезисов докладов по теме выполненных работ. В выполнении НИР активное участие принимали аспиранты и студенты кафедры. Полученные результаты студенты использовали при курсовом и дипломном проектировании. Исследования студентов, проводившиеся в студенческом научном обществе по этой тематике, были отмечены дипломами 1-й степени на Всесоюзных конкурсах студенческих научных работ.



Студентка 667 группы М. Войховская защищает диплом
на кафедре бортовых приборов управления. Март 1975 г.



Профессор В.А. Каракашев

С 1982 по 1991 год кафедру возглавлял профессор В.А. Каракашев, создавший совместно со своими учениками О.Н. Анучиным и Г.И. Емельянцевым (впоследствии доктора наук) научно-педагогическую школу «Инерциальные навигационные системы».

На кафедре разрабатываются новые учебные планы, совершенствуется преподавание дисциплин, большое внимание уделяется внедрению в учебный процесс вычислительной техники. Преподаватели кафедры проходят переподготовку и повышение квалификации в области вычислительной техники.

На кафедре ведутся научно-исследовательские работы совместно и по заказам Государственного научно-исследовательского навигационно-гидрографического института МО, ЦНИИ «Электроприбор» (Ленинград), завода «Баррикада» в Волгограде.

КАДРЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЮ НА ЗЕМЛЕ, В ОБЛАКАХ И НА МОРЕ

Кафедре бортовых приборов управления – 50 лет

В 30-е годы отечественная промышленность приступила к созданию новых типов навигационных приборов: гирокомпасов, лагов, эколотов. Для разработки этих нужны были высококвалифицированные специалисты как в области теории, так и в вопросах проектирования и производства. Однако таких специалистов в те годы ни в ЛИТМО, ни в других вузах не готовили. Поэтому в 1934 году рядом предприятий и организаций было внесено предложение в ВЧК о подключении кафедры специальности «Навигационные приборы». Такая подготовка началась с 1936/37 учебного года на базе созданной на факультете точной механики кафедры навигационных приборов.

В разработке профильной кафедры принимали участие видные ученые и специалисты промышленности, в том числе академики А. Н. Крылов, профессора Б. И. Кудревич, К. С. Ухов, доцент Д. Н. Иконников, инженеры М. М. Блонк, М. А. Шиф, В. В. Гребеня, П. А. Ильин. Профильирующим дисциплинам кафедры были назначены «Гирокомпьютерные приборы», «Приборы скорости и времени», «Измерение глубины и высоты», «Практические и астрономические инструменты». Специалисты, подготовленные кафедрой, должны были иметь «конструкторско-технический» уклон, хорошо знать основы производства и эксплуатации приборов, обладать знанием языков производственных классов.

1938–1940 годы были перво-организационной работой, в течение которой кафедра привлекла значительное количество специального оборудования и приборов, что позволило хорошо оснастить учебную лабораторию; были отработаны учебные программы и составлены методичес-

кие пособия для лабораторных работ.

В первые годы существования кафедры для чтения специальных дисциплин были привлечены опытные практики К. С. Ухов, Д. Н. Иконников, Л. А. Рубец. Заведовал кафедрой по совместству Л. П. Шишлов. В 1940 году кафедра уже выпустила первую группу инженеров по навигационным приборам.

В годы Великой Отечественной войны кафедра практически прекратила свою деятельность из-за отсутствия преподавателей, сотрудников и студентов, находившихся в рядах Советской Армии, а в марте 1942 года институт был закрыт в г. Челябинске Новосибирской области. Лабораторное оборудование кафедры осталось в Ленинграде и было сохранено. В августе 1944 года решением Исполкома Ленинградского институту было разрешено начать реконструкцию, и с октября на всех курсах начались занятия.

С 1945 по 1962 год кафедра возглавлял доктор технических наук профессор К. С. Ухов, а с 1963 года в течение семи лет – ведущим был лауреат Ленинской премии доктор технических наук профессор С. Ф. Фармаковский. Этот период характерен дальнейшим совершенствованием учебных планов и программ, расширением перечня специальностей, введение курсов по темам «Гравиметрическое поле», «Лазерные гирокомпасы». По данной промышленности и НИИ Венса большая научно-исследовательская работа по конструированию опытных образцов приборов и систем была создана ряд приборов для регистрации параметров движения различных объектов. В 1950 году в содружестве с Всесоюзным машиностроительным институтом был изготовлен первый в стране образец магнитного пос

шнейдерского гирокомпаса, посредством которого для разработки последующих образцов наземных гирокомпасов. Эти работы были удостоены Государственной премии СССР. В 1960 году коллегией кафедры совместно с Центральным научно-исследовательским институтом морского флота закончен изготовление гирокомпаса для торговьев судов.

Выполнение научно-исследовательской работы способствовало научному росту коллектива кафедры. Ученые защищали кандидатские и докторские диссертации, в которых кафедра участвовала в конференциях в Ленинграде, М. А. Богданович, Э. И. Слия, М. А. Сергеев, В. А. Каракашев, В. Н. Кошкин, Ю. А. Дороданов, В. В. Серегин, А. Зеленевин, Ю. С. Луковский.

В 1956 году Министерство высшего образования было открыто специальность «Гирокомпьютерные приборы и устройства» и кафедре присвоено наименование «Кафедра гирокомпьютерных и навигационных приборов», а в 1973 году она опять стала называться кафедрой бортовых приборов управления.

С 1970 года заведующим кафедрой становится профессор М. А. Серегин. В этот период неизменно возрастала численность кафедры, совершенствовались формы самостоятельной работы студентов, осуществляется более тесная связь со договорной основой с рядом предприятий. Коллектив кафедры, имея большой опыт учебной и научно-исследовательской работы, высокий научно-исследовательский потенциал и инженерный состав, уверен, что поставленные перед ним задачи будут успешно выполнены.

В. КАРАКАШЕВ,

заведующий кафедрой бортовых приборов управления,

профессор, доктор технических наук

Статья профессора В.А. Каракашева, посвященная 50-летию кафедры.
Газета «Кадры приборостроению» № 33 от 17 декабря 1987 г.



Профессор Олег Николаевич Анучин (1945–2003) – известный ученый и педагог в области гироскопической навигационной техники.

После окончания Ленинградского института точной механики и оптики по кафедре гироскопических и навигационных приборов в 1970 г. он был призван на действительную военную службу, которую проходил с 1970 по 1973 г. на Северном флоте. После увольнения в запас некоторое время работал в ЦНИИ «Электроприбор», затем по завершении учебы в аспирантуре при ЛИТМО работал в Государственном научно-исследовательском навигационно-гидографическом институте МО. В декабре 1979 года защитил кандидатскую диссертацию и перешел на преподавательскую работу в ЛИТМО на кафедру бортовых приборов управления. В 1992 г. защитил докторскую диссертацию, которая была посвящена исследованию методов определения аномалий гравитационного поля Земли, в частности, с использованием инерциальных навигационных систем. Вся дальнейшая научная и педагогическая деятельность Олега Николаевича Анучина была тесно связана с ЛИТМО и ЦНИИ «Электроприбор». С 1991 г. по 2003 г. О.Н.Анучин был заместителем заведующего кафедрой.

Профессор О.Н. Анучин проявил себя незаурядным ученым-исследователем, уважаемым педагогом, чутким и отзывчивым товарищем. Он пользовался заслуженным авторитетом среди студентов и аспирантов. Им подготовлены и прочитаны лекции по таким дисциплинам, как «Теория колебаний», «Теория построения гироскопических приборов», «Системы ориентации и навигации» и «Геодезические и гравиметрические приборы и системы».

Принимал активное участие в научных исследованиях, направленных на развитие морского приборостроения, среди которых следует выделить работы по созданию алгоритмического обеспечения бескарданных инерциальных и интегрированных с GPS систем ориентации и навигации. В конце своей деятельности О.Н.Анучин получил интересные научные результаты в области решения задач ориентации для гироскопического инклинометра при наклонном бурении скважин и для систем ориентации орбитальных космических аппаратов.

Автор более 100 научных трудов, в том числе ряда авторских свидетельств и патентов РФ. Результаты его работ неоднократно доказывались на отечественных и международных конференциях.

В 1999 г. была опубликована монография О.Н. Анучина, Г.И. Емельянцева «Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов» / Под общей ред. акад. РАН В.Г.Пешехонова. – Л.: ЦНИИ «Электроприбор». Данная монография явилась результатом совместных исследований на протяжении длительного времени.

Еще в 80-е годы на кафедре сложился творческий коллектив под руководством профессора В.А. Каракашева. После его ухода кафедру возглавил академик РАН В.Г. Пешехонов, благодаря вниманию которого и оказалось возможным продолжение данных исследований.

Выпускники кафедры всегда с благодарностью вспоминают своего учителя профессора Олега Николаевича Анучина.



На кафедре приборов и процессов управления. 2000 г.
Сидит проф. О.Н. Анучин, стоят: проф. В.З. Гусинский (слева),
проф. Г.И. Емельянцев(справа)

Доктор технических наук профессор Г.И. Емельянцев



Валерий Васильевич Серегин родился 30 сентября 1935 г. в Ленинграде. В 1953 г. после окончания средней школы поступил в Ленинградский институт точной механики и оптики на факультет точной механики.

В 1959 г. окончил с отличием кафедру гирокомпенсаторов и навигационных приборов. По распределению был направлен на работу в Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова.

В 1962 г. был приглашен профессором К.С. Уховым в аспирантуру на кафедру. С 1965 года начал работу на кафедре гирокомпенсаторов и навигационных приборов, инженер, преподаватель-помощник, ассистент.

В 1966 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. В 1968 г. избран по конкурсу на должность доцента кафедры гирокомпенсаторов и навигационных приборов. Подготовил и читал лекции по профилирующим дисциплинам специальности «Гирокомпенсаторные устройства». Выполнял другие виды учебной нагрузки и руководил производственной практикой студентов на предприятиях отрасли.

С 1986 по 1991 год работал заместителем декана факультета точной механики и вычислительной техники.

В.В. Серегин успешно сочетал работу преподавателя с научной деятельностью. Областью его научных интересов были вопросы прикладной теории лазерных гирокомпенсаторов. Активно участвовал в хоздоговорных работах, выступал на научно-технических семинарах и конференциях. Это позволило подготовить материалы для защиты докторской диссертации по совокупности научных трудов. В 1993 г. по результатам защиты ему присуждена ученая степень доктора технических наук.

В 1993 г. В.В. Серегин избран по конкурсу на должность профессора кафедры приборов и процессов управления (с 2003 года кафедра информационно-навигационных систем). В 1995 г. ему присвоено ученое звание профессора по кафедре «Приборы и процессы управления». С 1995 года является действительным членом Академии навигации и управления движением. С 2003 по 2008 г. был заместителем заведующего кафедрой информационно-навигационных систем.

В.В. Серегин награжден медалями: «300 лет Российскому флоту», «В память 300-летия Санкт-Петербурга» и другими памятными медалями.

В настоящее время В.В. Серегин на пенсии, однако поддерживает деловые связи с базовой кафедрой «Информационно-навигационные системы».



Доцент В.В. Серегин проверяет работы студентов, ЛИТМО. 1960-е годы

ПУТЬ К СЛАВНОМУ ЮБИЛЕЮ

В 1991 года кафедру возглавил директор ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор» (в настоящее время ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»), лауреат Ленинской и Государственной премий, в то время член-корреспондент, впоследствии академик РАН В.Г. Пешехонов. С 1995 года кафедра переходит на подготовку специалистов по направлению 652300 – «Системы управления движением и навигации» и к выпуск инженеров по специальности 181200 – «Приборы и системы ориентации, навигации и стабилизации». Под руководством В.Г. Пешехонова кафедра ориентируется на подготовку специалистов в области создания приборов и систем, измеряющих перемещения, скорости и ускорения морских подвижных объектов и образующих интегрированные навигационно-управляющие комплексы судов и кораблей различного назначения, а также комплексы пространственной ориентации и стабилизации информационно-измерительной аппаратуры на их борту. В соответствии с произошедшими изменениями в научной и педагогической деятельности кафедры в апреле 2003 года кафедра получила свое современное наименование – она была переименована в кафедру информационно-навигационных систем.



Вручение академику В.Г. Пешехонову ордена «За заслуги перед Отечеством» III степени
Президентом Российской Федерации Д.А.Медведевым.
Москва, Кремль, 2009 г.

По инициативе академика В.Г. Пешехонова, начиная с 2004/05 учебного года, студенты и преподаватели кафедры активно включаются в межвузовскую программу интенсивной подготовки специалистов, которая реализуется на базе ЦНИИ «Электроприбор». С этой целью между ЦНИИ «Электроприбор» и тремя ведущими университетами города (СПб ГЭТУ «ЛЭТИ», СПбГУ ИТМО и СПб ГУАП) заключается и успешно реализуется Соглашение о межвузовской углубленной подготовке инженерных кадров и проведении совместных научных исследований в области навигации на базе ЦНИИ «Электроприбор». Основная цель соглашения – объединить потенциалы и координировать усилия перечисленных вузов и ЦНИИ «Электроприбор» для обеспечения углубленной подготовки инженерных и научных кадров в области разработки приборов и современных систем навигации и развития научного сотрудничества договаривающихся сторон. В сентябре 2008 года кафедра преобразуется в базовую при ЦНИИ «Электроприбор», начинается подготовка бакалавров по направлению «Автоматизация и управление» и магистров по направлению «Системы управления движением и навигация».

Министерство образования и науки Российской Федерации
Российское образовательное агентство по образованию
**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ,
МЕХАНИКИ И ОПТИКИ»**

ПРИКАЗ

От 07.05.2008 г.

№ 246/2

Во исполнение решения Ученого совета Санкт-Петербургского
государственного университета информационных технологий, механики и
мехатроники протокол № 6 от 27 мая 2008 года

ПРИКАЗЫВАЮ:

Для дальнейшего углубления и расширения учебного и
производственного спектра между СПбГУ ИТМО и ГНЦ РФ ЦНИИ
«Электроприбор» предполагается с 28 марта 2008 года включить
Информационно-измерительную систему (ИИС) в базовую кафедру в
составе ЦНИИ «Электроприбор» на структурной единице
Национального Университета Российской Федерации РАН, А.Л.Н.,
1. Согласовать в базовой кафедре название кафедры
Информационно-измерительных систем.

2. Назначить заведующим базовой кафедры аспиранта РАН, А.Л.Н.,
профессора В.Г. Некрасова с последующим избранием во
членов вузовского оргкомитета (по согласованию).

3. Управление образовательной программы (УОП) предусмотреть в
плане приема на первый курс узкоквалифицированных групп с
номером 1163 для последующего подготовки на базовой кафедре
по направлению 220200 «Автоматизация и управление, Нанороботы
и робототехника» в группу 1163 тиражом соответствующим базовой
кафедре Электроприбор и привлекаемых электротехнических систем
(СГ и ГМС).

4. Предоставить базовой кафедре Информационно-измерительных
систем статус научно-исследовательской кафедры, фундаментальной кафедры
научно-исследовательской работы и ГАК.

5. Закрепить студентов групп 1163, 2163, 3163, 4163 за кафедрой
Электротехники и промышленных электротехнических систем и
Информационно – измерительных систем (базовая кафедра).

6. Предоставить кандидату ЕГ и ПДМС подз. 325 и 326 в связи по
Красногвардейскому Пр. 49 для организации учебных избирательных
«Автоматизированного электронного с электронным
избирательном и «Программного» избирательных избирательных
систем управления».

7. В связи со 10 сентября 2008 года избранию кандидату ЕГ и
академику РАН, А.Л.Н., профессору В.Г.Некрасову разработки
и
Утверждать Уставляемыми портами Планетные в кабине НИС
(бланк кабине).

Контракт на выполнение научного проекта введен в
пользование Капитаном Ю.Л.

Ректор

В.Н. Высоцкий

Согласовано:

Директор ЦНИИ «Электроприбор»,

заместитель директора ЦНИИ

В.Г. Генкин

Ю.Л. Константинов

Профессор по УМР

А.А. Шелковин

Профессор по УМР

А.Ю. Иванов

Начальник УОП

И.Ю. Шербакова

Депоз ФНТУ

О.Ф. Неструев

Заведующий кафедрой ЕГ и ПДМС

В.С. Топасов

Приказ о преобразовании кафедры в базовую ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор». 2008 г.

ПУТЬ К СЛАВНОМУ ЮБИЛЕЮ

Программа подготовки магистров включает изучение таких предметов, как «Интегрированные информационно навигационные системы на базе инерциальных измерительных модулей и аппаратуры ГЛОНАСС, GPS»; «Компьютерные методы разработки датчиков навигационных приборов»; «Методы обработки информации и прикладное программирование в информационно-навигационных системах»; «Электронные картографические навигационно-информационные системы».

За работы в области объединения усилий вузов при подготовке специалистов коллектиvu, в состав которого вошли профессора «ЛЭТИ» Ю.В. Филатов и Ю.В. Лукомский, и д.т.н. О.А. Степанов (ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»), в 2010 г. присуждена Премия правительства Санкт-Петербурга за выдающиеся достижения в области высшего и среднего профессионального образования в номинации «В области интеграции образования, науки и промышленности».



Вручение премии Правительства Санкт-Петербурга, 2010 г.
Академик лауреат Нобелевской премии Ж.И. Алферов, губернатор Санкт-Петербурга В.И. Матвиенко,
д.т.н. О.А. Степанов, д. т.н. профессор Ю.В. Филатов

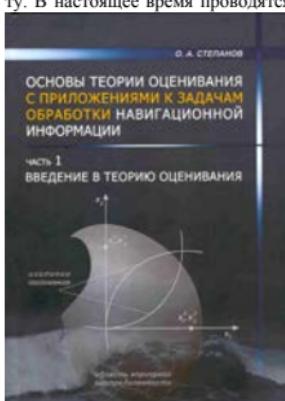
Укрепляется международное сотрудничество, в частности с международной общественной организацией «Академия навигации и управления движением», учрежденной в 1995 году как общественное объединение ведущих ученых в области навигации и управления движением и в настоящее время насчитывающей более 400 членов, работающих в различных университетах и организациях 10 стран (России, Украины, Германии, США, Франции, Китая, Южной Кореи, Белоруссии, Турции, Индии). Ведущие профессора кафедры читают лекции в Китае и Финляндии, активно выступают с докладами

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

на авторитетных международных и российских конференциях, в частности, таких, как Всемирный конгресс по автоматическому управлению (World IFAC Congress, 2005 - Прага, 2008 - Сеул, 2011 - Милан) и Всемирный конгресс по вычислительному интеллекту (2010 - Барселона), на конференциях, организуемых Международным институтом навигации, на Санкт-Петербургской международной

конференции по интегрированным навигационным системам. Заведующий кафедрой академик В.Г. Пешехонов возглавляет также программные комитеты ведущих российских конференций, на которых обсуждаются вопросы теории и практики проектирования систем навигации и управления движением (конференция памяти выдающегося конструктора гироскопических приборов Н.Н. Острякова, которая является неотъемлемой частью Российской мультиконференции по проблемам управления). С 1999 г. студенты и сотрудники кафедры принимают активное участие в организации конференции молодых ученых «Навигация и управление движением», которая на сегодняшний день является одной из ведущих в России конференций молодых ученых по данному направлению.

Сотрудники кафедры также ведут активную научную работу. В настоящее время проводятся исследования по таким направлениям, как:



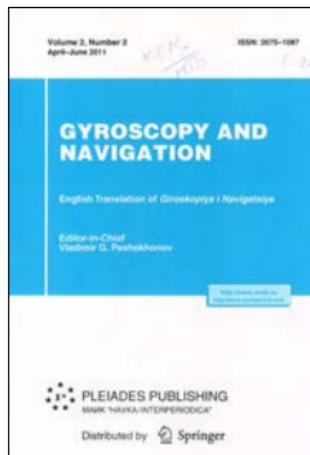
разработка и создание прецизионной интегрированной инерциальной системы для управления движением орбитальных аппаратов; создание гироскопической системы подземной навигации для работы в высоких широтах; разработка эффективных методов обработки навигационной информации; создание микромеханических гироскопов; разработка интегрированных инерциально-спутниковых систем и средств индивидуальной навигации. Большинство из указанных работ проводится при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Издаются монографии и учебные пособия по актуальным вопросам теории и практики построения информационно-навигационных систем: Г.И.Емельянцев и Г.И. Анучин «Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов» (СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 1999), Ю.А.Лукомский, В.Г. Пешехонов, Д.А.Скороходов «Навигация и управление движением судов» (СПб.: Элмор, 2002), О.А. Степанов «Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации» в двух частях «Введение в теорию оценивания» и «Введение в теорию фильтрации» (СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2009, 2012).



нием судов» (СПб.: Элмор, 2002), О.А. Степанов «Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации» в двух частях «Введение в теорию оценивания» и «Введение в теорию фильтрации» (СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2009, 2012).



Общая фотография участников XIV конференции «Навигация и управление движением».
13-16 марта 2012 г. ОАО «Концерн «Электроприбор», Санкт-Петербург, Россия.



Статьи сотрудников кафедры публикуются в ведущих научных журналах, в частности в издаваемом ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» журнале «Гирокопия и навигация» и созданном в 2010 году англоязычном журнале Gyroscopy and Navigation.



На открытии комплекса новых учебных помещений на базовой кафедре ИНС НИУ ИТМО 12 сентября 2011.

(Слева направо: на переднем плане: проф. Г.И.Емельянов, ректор НИУ ИТМО
член-корреспондент РАН В.Н.Васильев, академик РАН В.Г.Пешехонов,
на заднем плане: к.т.н., зав. лабораторией Л.П.Старосельцев, к.т.н., доцент Я.И.Биндер)

ПУТЬ К СЛАВНОМУ ЮБИЛЕЮ

У студентов, обучающихся на кафедре, не только интересные для изучения предметы, но и отличные перспективы трудоустройства. Лучшие из них, пройдя конкурсный отбор, могут попасть в группу целевой подготовки при ЦНИИ «Электроприбор», получать дополнительную стипендию и совмещать учебу с работой, при этом лекции и практические занятия в магистратуре проходят в учебных классах и лабораториях, расположенных на территории предприятия.

Для этого в 2011 году в ЦНИИ «Электроприбор» был открыт новый комплекс учебных помещений, включающий: современную лабораторию, класс, оснащенный интерактивной доской и мощными компьютерами, а также зону отдыха для студентов. Лаборатория, оснащенная современным оборудованием, фактически является центром коллективного пользования для ведущих вузов города, готовящих специалистов в области навигации и управления.



Сотрудники и аспиранты кафедры ИНС. 2012 г.

Студенты старших курсов проходят стажировки в лучших российских вузах и за рубежом, активно вовлекаются в научную работу, выступают на молодежных научных конференциях, являются лауреатами конкурса «УМНИК».

За 75 лет кафедра подготовила более 2000 инженеров, более 150 кандидатов и 20 докторов технических наук. Среди выпускников кафедры выдающиеся ученые – академик РАН М.Д. Агеев (1931–2005), создавший и долгое время возглавлявший Институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения РАН; академик национальной академии наук Украины академик В.Н. Кошляков (1922–2009) – один из создателей теории гирокомпасов; к.т.н. К.К. Филиппов, длительное время возглавлявший ОКБ «Электроавтоматика»; д.т.н., профессор В.З. Гусинский – разработчик прецизионных ИНС на электростатических гирокомпах; заслуженный деятель

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

науки РФ, профессор В.Я. Распопов – автор многочисленных книг и учебников по гироскопии и ее наиболее актуальному направлению, связанному с созданием микромеханических чувствительных элементов; д.т.н. Б.Е. Ландау – создатель современных систем ориентации для космических аппаратов; д.т.н. профессор Г.И. Емельянцев – один из разработчиков теории современных интегрированных инерциальнопспутниковых систем.



Общее фото преподавателей, сотрудников и студентов кафедры. 2011 г.

В результате в настоящее время на основе плодотворного сотрудничества ведущего университета России НИУ ИТМО с ведущим предприятием в области высокоточного приборостроения «ОАО Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» на кафедре создана и активно работает авторитетная научно-педагогическая школа «Интегрированные системы навигации и управления движением», а у молодых людей есть все необходимые предпосылки стать высококлассными, востребованными специалистами в этой области.

*Заместитель заведующего базовой кафедрой информационно-навигационных систем,
начальник научно-образовательного центра «ОАО Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»,
д.т.н. О. А. Степанов*

ГЛАВА 2

НАВИГАЦИЯ: ОТ ИСТОКОВ ДО НАШИХ ДНЕЙ

(Статьи руководителей кафедры)

ПРЕДИСЛОВИЕ

История кафедры неразрывно связана с научной и педагогической деятельностью ее руководителей.

На протяжении 75 лет кафедру возглавляли такие видные ученые и организаторы науки, как К.С. Ухов, С.Ф. Фармаковский, М.А. Сергеев, В.А. Каракашев. В настоящее время заведующим кафедрой является академик РАН В.Г. Пешехонов.

Творческую жизнь кафедры можно сравнить с жизнью театра. Приходит в театр новый главный режиссер, и через какое-то время формируется в творческом коллективе новое мышление, создается новый репертуар и, как следствие, рождается новый театр.

Так и в научном коллективе кафедры. Вокруг нового руководителя организуется новая инициативная группа исследователей, в нее вливается молодые аспиранты и студенты, появляются новые научные задачи области приложения научных устремлений. В конечном итоге формируется новая научная школа со своим направлением исследований.

Научная школа профессора К.С. Ухова была связана с развитием новых методов навигации, созданием отечественных гирокомпасов для морского применения, разработкой теории и методов анализа их погрешностей. Непосредственное участие в этом принимали профессора П.А. Ильин и М.М. Богданович, аспиранты В.В. Серегин, Ю.А. Бурьян.

Деятельность профессора С.Ф. Фармаковского как главного инженера ЦНИИ «Электроприбор» была направлена на приданье научным изысканиям кафедры конкретного практического содержания в области теории и практики создания новых инерциальных чувствительных элементов и навигационных приборов. Так, в это время была организована при кафедре научная лаборатория по разработке лазерных гирокомпасов под руководством П.А. Ильина. Основным организатором и исполнителем этих работ был Г.М. Кузнецов, в то время аспирант кафедры.

При профессоре М.А. Сергееве широкое развитие в научной работе кафедры получило направление, связанное с разработкой теории наземных гирокомпасов для проведения маркшейдерских работ.

С приходом к руководству кафедрой профессора В.А. Каракашева в научной жизни кафедры открылась новая страница. Сформировалась научная школа по разработке теории инерциальных навигационных систем для морского применения, исследованию их алгоритмов работы и моделей погрешностей. Эти работы базировались на научных результатах докторской диссертации В.А. Каракашева. Со временем организовался научный коллектив из молодых аспирантов и студентов старших курсов. Основу его составляли С.Г. Романен-

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

ко, О.Н. Анучин, Г.И. Емельянцев, В.М. Лесючевский, Л.П. Старосельцев, А.М. Тазьба.

Современная научная школа кафедры связана с именем академика РАН генерального директора ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» В.Г. Пешехонова. Основное направление научных работ кафедры лежит в области развития теории и практики создания интегрированных систем навигации и управления, разработки новых методов обработки навигационной информации. Основу построения таких интегрированных инерциально-спутниковых систем составляют бескарданные инерциальные измерительные модули на новых типах гироскопов: электростатических, волоконно-оптических и микромеханических. Область применения таких навигационных систем охватывает орбитальные космические аппараты дистанционного зондирования Земли, морские и наземные подвижные объекты, высокоманевренные авиационные объекты типа беспилотных летательных аппаратов и специальные службы.

Отличительной особенностью научной школы академика РАН В.Г. Пешехонова является включение в исследовательские работы, проводимые в лабораторном центре кафедры при ЦНИИ «Электроприбор», студентов, начиная с 3-го курса. Это позволило существенно поднять уровень педагогической работы, приблизить теоретическую подготовку студентов и аспирантов к практике научной работы.

Профессор Г. И. Емельянцев

Лаврентий Павлович Шишевов

(1888 – 1957)

Первый заведующий кафедрой с 1938 по 1941 год



Л.П.Шишевов родился в 1883 году в городе Оренбурге. В 1898г. поступил в Оренбургский Кадетский корпус, из которого в 1901г. перешел в Первый Кадетский корпус в Петербурге, который окончил в 1905 г. В 1908 г. поступил в Электротехнический институт по специальности «Радиотехнические измерения». С 1915 по 1920 г. учеба была прервана работой на оборонном заводе Сименса и Гальски – шла Первая мировая война. В августе 1920 г. подал заявление о восстановлении в Электротехническом институте, который и окончил в 1921 г., защитив диплом на тему «Радиотелеграфная станция Главной палаты мер и весов для передачи сигналов времени и эталона длины волн».

С 1921 и до 1930 гг. был деканом и преподавал в Ленинградском техникуме путей сообщения, с 1925 по 1930 г. преподавал и в Техникуме точной механики и оптики. В 1929 г. по совместительству работал в Ленинградском электротехническом институте и Ленинградском индустриальном институте.

С 1929 года Л.П.Шишевов работал в ЛИТМО: профессор, организатор и заведующий кафедрой электроизмерительных приборов (1931), декан факультета точной механики и заведующий лабораторией электроизмерительных и механических приборов (1931), заведующий кафедрой электротехнических и электрических приборов (1933), заведующий кафедрой точной механики (1935). Заместитель директора ЛИТМО по научно-учебной части (1936), декан факультета «А» (точной механики) (1938–1939).

Заведующий кафедрой навигационных приборов (1938–1941), руководитель Военно-производственной базы № 3 (1941–1942).

Профессор (1935), доктор технических наук (1938).

Автор более 10 научных трудов.

Вместе с институтом Л.П.Шишевов был эвакуирован на Северный Кавказ. В связи с рядом трагических обстоятельств остался жить и работать на оккупированной территории, исполняя обязанности технического переводчика. 28 февраля 1943 г. был вывезен в Австрию, где жил и работал до окончания войны, испытывая неимоверные лишения.

После возвращения в СССР Л.П.Шишевов подавал ходатайства о восстановлении на работу в ЛИТМО. В автобиографии он пишет: «Я был и остался честным советским человеком, не был ни предателем, ни палачом, я тяжело наказан судьбой, лишившей меня жены и сына, но у меня есть твердая уверенность, что привычная работа в ЛИТМО сделает из меня снова полноценного советского работника». Однако надежды Л.П.Шишевова на продолжение работы в ЛИТМО не сбылись.

Константин Сергеевич Ухов

(1889 – 1966)

Заведующий кафедрой с 1945 по 1962 год



К.С.Ухов окончил Морской корпус (1908), Штурманские офицерские классы (1915) и гидрографический факультет Военно-морской академии им. К.Е.Ворошилова (1928). С 1908 по 1925 г. служил на Балтийском флоте.

В 1925 г. К.С.Ухов поступил на гидрографический факультет Военно-морской академии, далее 10 лет работал в Гидрографическом управлении Военно-Морских Сил. Был начальником отдела Гидрографического управления (1928–1938). Осуществляя научное руководство аспирантами на кафедре навигационных приборов ЛИТМО (1937–1941), где был одним из первых преподавателей, приглашенных на кафедру для чтения лекций.

В конце 30-х годов Константин Сергеевич преподавал в Высшем военно-морском училище им. В.В.Фрунзе. Не прекращал он работу и в тяжелые годы Великой Отечественной войны, а далее до 1950 г. занимал должности старшего преподавателя и начальника кафедры кораблевождения в Высших специальных классах офицерского состава Военно-Морских Сил.

Крупный ученый в области навигации, гидрографии, штурманских приборов, К.С.Ухов с 1945 по 1950 г. работал заведующим кафедрой навигационных приборов ЛИТМО по совместительству. В 1950 году вышел в отставку в звании инженер-капитана 1 ранга. Сначала оставался в должности заведующего кафедрой навигационных приборов (с 1956 года – кафедра гирокомпасов и навигационных приборов), а с 1963 по 1966 г. был профессором-консультантом.

Профессор (1941). Доктор технических наук (1957).

К.С.Ухов – один из инициаторов и организаторов систематических общесоюзных конференций по гирокомплике. Основоположник научно-педагогической школы «Навигационные приборы». По инициативе К.С.Ухова на кафедре был организован научно-исследовательский сектор (НИС), который выполнял работы по договорам с промышленностью. Под руководством К.С.Ухова сотрудники сектора разработали гирокомпас МГК-1 для торгового флота. Его опытный образец был изготовлен на опытно-экспериментальном заводе ЛИТМО и передан для освоения в промышленности. Совместно с Всесоюзным научно-исследовательским маркшейдерским институтом был разработан и изготовлен первый в СССР маркшейдерский гирокомпас для подземных работ. Разработка была удостоена Государственной премии. Составной частью НИС был механический участок, на котором были изготовлены оригинальные лабораторные установки для учебного процесса. При непосредственном участии К.С.Ухова были разработаны учебные планы и программы специальности «Гирокомпликационные устройства».

К.С.Ухов – автор более 30 научных работ, в том числе учебника «Навигация», изданного впервые в 1939 году. Длительное время этот учебник являлся единственным и переиздавался четыре раза.

Действительный член Географического общества СССР (1931). Награжден орденами Ленина, Красного Знамени и медалями СССР.

Именем К.С.Ухова названо учебно-производственное судно Ленинградского высшего инженерного морского училища им. адмирала С.О. Макарова – «Профессор Ухов».



Учебно-производственное судно «Профессор Ухов»

К. С. УХОВ

КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК*



С древнейших времен наши далекие предки, славяне, были известны как смелые и искусные мореплаватели. Славянские племена, расселившиеся по берегам больших рек восточной части Европы, со временем дошли по течению рек до их устьев и освоили берега Черного, Балтийского и Белого морей. Различные исторические памятники свидетельствуют о плавании славян по Средиземному морю и прилегающим к нему окраинным морям. Сохранились сведения о плавании славян по Адриатическому морю, Славянскому Ядранию, на берегах которого возникла славянская Венеция — Дубровник. Поморские славяне были равноправными хозяевами Балтийского моря и доходили до берегов Англии, где ими были основаны славянские поселения.

Первые русские морские походы в конце VIII — начале IX вв. хорошо известны в русской морской истории. Во времена походов Олега, Игоря, Владимира и Ярослава и их борьбы с Византией на суше и на море Черное море получает название «Русского моря». В этот же период русские мореходы, используя реки, проходили и в Каспийское море.

Появление в XII в. в южных степях кочевого народа — половцев затруднило плавание русских по южным морям более чем на три столетия, до появления на Черном море запорожских казаков (XVI и XVII вв.).

На севере и северо-западе Великий Новгород с древнейших времен развивал свое мореплавание на Балтийском море; Северная Двина и Обь вывели новгородцев в Студеное море. Сотни лет враждебная деятельность датчан, шведов и ливонских рыцарей оттесняла новгородцев от берегов Балтики. В половине XIII века шведы захватили Финляндию, которую они до этого считали принадлежащей русским, и в одной из своих современных хроник отметили: «Русский король мог теперь не досчитаться потерянной области».¹

На севере наши погоры продолжали прокладывать новые морские пути. К началу XIV в. по Северному Ледовитому океану плавало много русских судов, поддерживая связи с западным побережьем Норвегии. Путь из Белого моря в обход Скандинавского полуострова был широко известен русским с конца XV в. В этот период русские осваивают и пути в Арктику.

* Из книги К.С. Ухова «Навигация». Ленинград. — Водтрансиздат. — 1954 г.

¹ В с е л а г о Ф. Очерк русской морской истории, ч. I. 1875, стр. 37.

Связь с Европой только по Северному пути не могла удовлетворить потребности постепенно развивавшегося и набиравшего силу Московского государства. Уже в конце XV века внешняя политика России ориентируется в сторону Балтийского моря. Особенно ярко она выразилась в борьбе Ивана IV за возвращение берегов Балтийского моря.

Феодальная раздробленность страны и неблагоприятная международная обстановка явились обстоятельствами, в результате которых на рубеже XVI—XVII вв. Россия оказалась отброшенной от южных морей и Балтики. Возвращение Россией при Петре I своих исконных владений и возрождение ее как морской державы явились исторической справедливостью.

Сохранившиеся письменные источники, служащие для изучения плаваний наших предков, излагают различные события на море, описывают маршруты и берега, т. е. носят характер логий, но не дают никаких сведений ни о методах судовождения, ни о технических средствах судовождения, которыми тогда пользовались. Известные в настоящее время материалы по методике судовождения относятся только к началу XVIII в. Возможно, что это обстоятельство и явилось причиной ограниченного взгляда на то, что история русского мореплавания начинается с Петра I.

Находка в 1940—1941 гг. советскими исследователями в Арктике на острове Фаддея, на берегу залива Симса, уникальных навигационных приборов: медного компаса, бумажных карточек от компаса и солнечных часов в деревянных футлярах, относящихся к первой четверти XVII в., представляет существенный интерес. Эта находка указывает на сравнительно высокое качество применявшихся в это время навигационных приборов и их полное сходство с более поздними приборами, описание которых можно найти в письменных материалах XVIII в. Можно предполагать, что найденные предметы представляют типичные русские навигационные приборы, применявшиеся мореплавателями того времени, и что часть из них представляет собой изделия русских мастеров, скорее всего, поморов.

Деятельность Петра I по созданию русского флота, связанная с его успешной борьбой за возвращение России ее исконных морей, была настолько яркой, что надолго определила дальнейшее развитие русского флота и оставила глубокий след в истории России.

14 января 1701 г. Петр издает указ об учреждении навигацкой школы «... во избаву же и пользу православного христианства быть Математических и Навигацких, то есть мореходных хитростно наук учению». С этого дня можно считать начало в России организованного обучения морским математическим наукам.²

Навигацкая школа в первые годы своего существования была по сути дела политехнической школой, так как, кроме моряков, подготовляя геодезистов, топографов, артиллеристов, инженеров и даже преподавателей для открытых тогда губернских школ.

Одним из преподавателей школы был Леонтий Филиппович Магницкий, образованнейший человек того времени. Л. Ф. Магницким был составлен учебник арифметики, третья часть которого посвящена навигации и мореходной астрономии. Арифметика Магницкого по праву является первым учебным пособием, по которому учились многие прославленные русские моряки.

Магницкий занимал в школе ведущее положение, и, по свидетельству одного современника, иностранные учителя школы Грейс и Грин, «хотя и навигаторами написаны, но до Леонтия науку не дошли».

Составленная Магницким «Арифметика» была напечатана в Москве в 1703 г. славянским шрифтом с арабскими цифрами. Последняя часть арифметики — логистика, «не ко гражданству токмо, но и к движению небесных кругов принадлежаща», носит заглавие «Обще о земном размрении, и яже мореплаванию принадлежит». Здесь помещены некоторые сведения из астрономии и навигации, а для решения задач приложено довольно много различных таблиц, как, например, склонение Солнца, рефракции, параллакса, широты и долготы 26 примечательных городов и мест и др. Широта места определялась посредством астрономического кольца, долгота — по сравнению показаний местных солнечных часов с исправными карманными, установленными по начальному меридиану.

² Еще ранее, в 1697 г. были отправлены три партии столпников в Венецию и четвертая — в Англию и Голландию для усвоения морского искусства.

НАВИГАЦИЯ: ОТ ИСТОКОВ ДО НАШИХ ДНЕЙ

Арифметика Магницкого — первое русское сочинение по математике и частично по навигации, в котором, по словам самого автора, он «...разум весь собрал и чин, природно русский, а не немчин».

Для учеников навигацкой школы в 1703 г. в Москве напечатаны «Таблицы логарифмов и синусов, тангенсов и секансов». В этих таблицах текст напечатан славянским шрифтом, цифры — арабским. Эти таблицы были переизданы в 1716 г. уже гражданским шрифтом. Библиотекарем Куприяновым в 1723 г. в Москве были изданы «Таблицы склонения солнца, сочиненный по амстердамскому меридиану, от лета господня 1720 по 1741 год». Под этим заглавием имеется книга, в которой в одном переплете собраны различные навигационные таблицы, как, например, таблица разности широт и отществий, меридиональных частей и другие. Можно предположить, что это были первые русские пособия по судоходству.

Петр I, обращая исключительное внимание на развитие русского флота, непосредственно принимал деятельное участие в развитии знаний, необходимых для мореплавателей. Он руководит рядом гидрографических работ; при съемке Финского залива дает указание, чтобы расстояния между островами мерились зимою по льду «понеже вернее будет». Ему же принадлежит идея первого гидрографического трала. В своей инструкции по промеру Финского залива Петр I предлагает искать подводные камни «... опустя веревку фут на пятьдесят, у которой внизу гири, а наверху поплавки подлежат быть, якобы неводы давы мог зацепить где есть подводный камень».

Океанограф Мори свидетельствует, что «честь первой попытки достать образцы морского дна с большой глубины принадлежит Петру Великому».

При Петре I издано около двух десятков различных сочинений по всем отраслям морского дела, как оригинальных, так и переводных. В числе немногих известных рукописей того времени, подготовленных к печати, находятся учебные руководства по навигации и мореходной астрономии. Но наибольшего развития наука о судоходстве достигает уже после смерти Петра, когда приобрели практический опыт ученики навигацкой школы и морской академии, учрежденной осенью 1715 г.

2 марта 1721 г. в России состоялось большое производство моряков в мичманы иunter-лейтенанты. Среди произведенных многие оставили свое славное имя в истории развития судоходства. Из них следует отметить Ст. Малыгина, известного своими описаниями Северных берегов Сибири. Его труд «Сокращенная навигация по карте де-редукцион», изданный в 1733 г., является первой русской работой по частному вопросу навигации. Товарищами Малыгина по производству были Алексей Чириков, открывший северо-западный берег Америки на полутора суток раньше Беринга, и Алексей Нагаев, учений гидрограф. Созданные последним карты и лоции служили нашим мореплавателям около 60 лет, до 1812 г.

В 1739 г. Ф. Соймонов издает «Экстракт штурманского искусства из наук, принадлежащих к мореплаванию, сочиненный в вопросах и ответах для пользы и безопасности мореплавания».

Полный курс навигации составляется капитаном морского корабельного флота Семеном Мордви-



Заглавный лист «Книги полного собрания о навигации, морском корабельном флоте капитаном Семеном Мордвиновым сочиненные

новым. Этот труд под заглавием «Книги полного собрания о навигации», изданный в 1748 г., по справедливости может считаться первым полным курсом навигации и по своей полноте позволяет судить о состоянии науки о судовождении в середине XVIII в. Первая часть этого учебника, состоящая из двух книг, посвящена вопросам геометрии и тригонометрии. Вторая часть также состоит из двух книг: первая – «О сфере небесной» рассматривает вопросы космографии, вторая – «О земноводном корпусе» посвящена географии.

Часть третья – под длинным названием «Наука о выяснении расстояния светил от главных кругов и времени, по выяснениям ширин и длины, всякой на земноводном корпусе места и таблицы разные в себе содержащая» относится к мореходной астрономии. В первой книге третьей части – «О выяснении расстояния светил от главных кругов» разбираются вопросы, связанные с движением небесных светил, а вторая книга – «О выяснении времени и мест на земноводном корпусе» посвящена вопросам времени и расчету прилива по прикладному часу. В разделе, где рассматривается определение широты, приведено подробное описание современных автору морских астрономических приборов. Интересно отметить, что в книге определение долготы рассматривается только для астрономов по затмениям Луны и спутников Юпитера, а для мореплавателей дается указание, что секрет определения долготы не известен, и только через «много трудные» разные способы можно рассчитать долготу с погрешностью.

Четвертая часть работы С. Мордвинова подробно разбирает те вопросы, которые теперь относят к навигации. В этом разделе указывается, что, по имевшимся тогда сведениям, магнит привез в Европу Марк Павел Венецианин из своего путешествия в Китай в 1260 г.; неаполитанский купец Дамадий открыл способность магнита указывать на магнитный полюс, а Иоанн Жира построил магнитный компас в 1300 г. Для определения магнитного склонения компаса рекомендуются четыре способа: а) по кульминации светила; б) по двум соответствующим наблюдениям одного светила по обе стороны меридиана; в) по двум наблюдениям восхода и захода одного светила и г) по азимуту светила в момент восхода и захода.

Основным содержанием всего раздела является весьма подробный разбор плавания по счислению, задачи на которое решаются графически и по пятизначным логарифмам с точностью, значительно превышающей возможности навигации того времени. Для облегчения графического решения задач по письменному счислению используется карта де-редукцион, представляющая собой простой прямоугольный график, на котором проведены радиусы, соответствующие румбам, и дополнительные окружности, разделенные на градусы. Такой график позволяет решать прямоугольные треугольники, следовательно, и задачи письменного счисления. Для этой же цели служила и «гонтиурская школа», составленная из графического изображения таких тригонометрических функций, как синус, тангенс и секанс. Получаемые по письменному счислению места исправлялись астрономическими определениями. Отметим, что в книге совершенно не применяются навигационные определения места судна, хотя пеленги уже известны и подробно рассмотрены как средство для составления карт. В книге приведен пример, как два судна, стоя на якоре на определенном расстоянии один от другого, берут пеленги при-метных мест и определяют таким образом их положение.

Можно предположить, что навигационные обсервации не применялись в то время, вследствие неточности самих карт. Только в одном месте имеется указание, что следует взять пеленг берегового предмета при удалении от берега на 5 миль, чтобы в дальнейшем вести письменное счисление.

Кроме разобранного капитального труда, Семен Мордвинов оставил еще несколько сочинений по морским вопросам, в том числе каталог мореплавателям, содержащий астрономические таблицы и таблицы приливов.

Вторая половина XVIII в. особенно богата работами русских ученых в области мореплавания. Разработкой этих вопросов занялась Петербургская Академия наук.

Академик Леонард Эйлер выпускает работу под заглавием «Полное умозрение строения и вождения кораблей». Академик Даниил Бернуlli пишет трактат по гидродинамике; уравнение Бернуlli до сего времени лежит в основе теории гидравлических лагов.

НАВИГАЦИЯ: ОТ ИСТОКОВ ДО НАШИХ ДНЕЙ

Еще более важное значение имеют работы Михаила Васильевича Ломоносова.

Рассматривая работы М. В. Ломоносова только в области судовождения, следует указать, что в своем знаменитом труде «Рассуждение о большой точности морского пути», доложенном на собрании Академии наук 8 мая 1759 г., М.В.Ломоносов со свойственной ему прозорливостью и точностью мысли формулирует основы кораблевождения и приводит соображения о необходимости дальнейшего развития навигационных приборов.

«Думя, как известно, между собой разными образы положение корабля на море ищут и определяют. Первое ширину из высоты светил, долготу по сравнению времени на меридиане корабельном со временем на первом меридиане. Второе по указанию компаса и по скорости корабельного хода, которой вервью измеряют или по силе ветра и по числу и положению парусов примечают, и по тому долготы и широты места корабельного ищут», — говорит Ломоносов и сейчас же предлагает целый ряд приборов для более точного решения поставленной задачи. В ряду навигационных приборов, по его собственным словам, «... из сих суть главнейшие: самопищий компас, дромометр, клизометр, циматометр и салометр, которые на своем месте описаны и употребление их истолковано».

Самопищий компас, явившийся первым по времени курсографом, состоял из картишки, вокруг которой мог передвигаться и устанавливаться на заданный курс легкий обод с карандашом. Часовой механизм передвигал бумагу, а карандаш писал на ней кривую линию — курсограмму, которая, по словам Ломоносова «... покажет стоящего у управления прошибки и оплошность». Для определения отклонений от курса Ломоносов предлагал вырезать из курсограммы отдельно отклонения вправо и влево, а затем взвешивать куски бумаги на чувствительных весах, что должно показать, в какую сторону корабль больше отклонялся.

Клизометр или дрейфомер предназначался для определения дрейфа по отклонению тонкого линя, на котором бусировался продолговатый предмет (палка). Дромометр, предложенный Ломоносовым, явился первым образом стационарного лага с вертушкой. Вращение вертушки с помощью тонкой веревки передается на ряд шестерен, составляющих счетчик. Так как при качке ось вертушки наклоняется под некоторым углом к горизонту, что создает небольшую ошибку в показании лага, Ломоносов предусмотрел специальный прибор циматометр для учета этой ошибки. Циматометр состоит из тяжелого отвеса, установленного в диаметральной плоскости судна, и двух систем шестеренок. Верхняя пара шестеренок соединена храповиком с продолжением отвеса, и при отклонении отвеса при кильевой качке храповик поворачивает первую шестеренку на число градусов, равное отклонению отвеса от вертикали; вторая шестеренка является счетчиком, суммирующим отклонение отвеса в градусах. Нижняя пара шестеренок считает число колебаний отвеса. Таким образом, «имея общее число градусов от всех колебаний, должно оно разделить на число зыбей или корабельных наклонений; выйдет из того общий угол к горизонту, который познав, сравнить можно кривую линию общия волны с другою, которая есть путь корабля на поверхности моря, и оттуда истинное его расстояние найдено быть может».

Салометр предназначен для определения направления и скорости течения и состоит из тяжелого шара, «... который чем глубже опустится, тем больше чувствовать будет сопротивление от тихой воды в глубине». Шар соединен линем со стержнем, укрепленным на двух взаимно перпендикулярных осях, позволяющих ему, соответственно, наклоняться. Верхний конец стержня представляет индекс, по которому можно определить наклон стержня по двум также взаимно перпендикулярным шкалам «... из обеих наклонений удобно съществует скорость и сторона течения морского, что все сперва опытами в меру привести должно».

Создавая новые приборы, чтобы предотвратить опасности, «которым не токмо корабли, великими трудами и многим изждевением построенные..., но и жизни человеческие подвергаются», Ломоносов широко рассматривает все вопросы, связанные с мореплаванием. В третьей части работы, озаглавленной «О ученом мореплавании», Ломоносов говорит о мореплавательской академии, о состоянии истинной магнитной теории, о сочинении теории морских течений о предсказании погоды, а «особливо» ветров. Работы М. В. Ломоносова составляют золотой фонд истории русского мореплавания.

В этот же период в Петербурге издается ряд переводных трудов по судовождению, что свидетельствует о большом внимании русских моряков к морскому делу и высоком уровне морской их подготовки. Из переводных работ следует упомянуть руководство по навигации Пьера Бугера. «Бугерова навигация» была переведена и переработана Николаем Гавриловичем Кургановым, русским ученым, астрономом, сподвижником М. В. Ломоносова, профессором высшей математики и навигации в морском корпусе. В своем «Уведомлении» в начале книги Бугера Н. Г. Курганов пишет, что она переведена и напечатана, «... оставя (т. е. пропустив — К. У.) некоторые таблицы, для того, что весьма полнее и в великом числе прежде при корпусе напечатаны... коих и в подлиннике нет». А далее указывает, что в корпусе таблицы меридиональных частей полнее, чем у Бугера.

По содержанию «Бугерова навигация» мало чем отличается от навигации Мордвинова, но перевод ее сделан изящным русским языком, более современным, чем язык Мордвинова, что несомненно является заслугой Курганова. Впоследствии, в 1801 г., Курганов издает свои «Пополнение Бугеровой науки мореплавания».

Начало XIX в. не было благоприятно для дальнейшего развития русского флота. Россия сосредоточила все свои силы на борьбу с Наполеоном I на сухом пути и в этот период, так же как и в последующие годы, не могла обратить должного внимания на свой флот. Однако отлично подготовленные русские моряки не могли и не хотели оставаться бездеятельными и сосредоточили свою энергию, знание и пытливый ум на гидрографических исследованиях дальних стран. На военных судах и судах, принадлежащих Российско-Американской компании, русские моряки в первой четверти XIX в. совершили 21 кругосветное плавание и провели ряд научных экспедиций.

Имена замечательных русских моряков, руководителей и участников этих экспедиций — Крузенштерна и Лисянского, Беллинсгаузена и Лазарева, Головина, Коцебу и других вписаны в страницы мировой истории мореплавания.

Научные труды этих экспедиций расширили наши географические познания и способствовали дальнейшему развитию науки о судовождении. В этот период создает свой знаменитый учебник

«Теория и практика кораблевождения» капитан-командор, член Академии наук Платон Гамалея. Труд Гамалея за период с 1806 по 1830 гг. выдержал три издания и в течение четверти века являлся основным учебником по навигации.

Учебник Гамалея «Теория и практика кораблевождения» состоит из трех частей: части первой, рассматривающей вопросы навигации, части второй, посвященной мореходной астрономии, и части третьей, содержащей необходимые для судовождения таблицы.

Первая часть учебника, несколько своеобразно озаглавленная Гамалеей: «Часть первая, содержащая географические средства кораблевождения, или собственно называемую навигацию», по своей структуре уже значительно приближается к современным учебникам. Она делится на четыре книги, первая из которых посвящена изучению «Образа Земли» и координированию места, на земной поверхности.

Вторая книга «О измерении пути корабля» рассматривает в большей своей части магниты и магнитный компас, различные курсы судна и исправление румбов; причем курсы определяются по отношению к ветру с учетом дрейфа и по компасу, а скорость судна измеряется ручным лагом. Гамалея указывает, что лаг применяется на флотах с 1607 г., но изобретатель его неизвестен; значительное внимание в книге удалено проверке склянок. В заключение Гамалея проводит описание нескольких образцов механических лагов, но отмечает, что ими не пользуются по причине сложности. Эта книга заканчивается главой, рассматривающей учет влияния течения при судовождении.

Книга третья «О изображениях земноводной поверхности» посвящена вопросам картографии. После довольно подробного рассмотрения меркаторской проекции приводятся сведения об условных изображениях на картах. Здесь же впервые встречается указание на ограждение банок вехами, причем говорится, что в Финском заливе на северных оконечностях банок стоят белые, а на южных красные вехи (так же как и в наше время).

Специальная глава разбирает вопросы, связанные с использованием морских карт; решаются ос-

НАВИГАЦИЯ: ОТ ИСТОКОВ ДО НАШИХ ДНЕЙ

новные задачи на карте и даются методы прокладки и определения места судна по пеленгам. Определение расстояния делается или по специально построенному «косому масштабу» для широт через один градус или довольно сложным способом — через экваториальные мили. При определении по пеленгам рекомендуется брать не менее трех пеленгов. В то же время Гамалея указывает: «С другой стороны, я не могу согласиться с теми, которые советуют брать сколько можно больше пеленгов, и думаю, что будучи под парусами, всегда должно довольствоваться тремя или четырьмя исправными». В книге впервые описан кройб-пеленг, определение по пеленгу и антретному расстоянию, а также сочетание пеленга с обсервированной астрономической широтой.

Книга четвертая «О счислении пути корабля» детально разбирает вопросы письменного счисления, которое находилось на высокой степени развития. Отдельная глава отведена «разным сложным вопросам», решаемым при помощи счисления. Приведем для примера одну из задач главы. «Есть некоторый порт, в который, чтобы войти, надобно его и мельницу, стоящую от него в 4 милях на Ost, привести прямо на Wst, и в то же время бакан, находящийся в 5 милях от мельницы на NOfNst/O, видеть на NOf³/O; тогда должно идти прямо на бакан, и у самого его повернуть в порт. Спрашивается, какой есть лучший ветер в NW-ой четверти для судна, идущего равно обоними галсами; также какое расстояние должно пройти на каждый галс от помянутого места до порта». К сожалению, размеры краткого очерка не позволяют детально разобрать методы решения таких интересных задач.

Заключительная часть книги дает указания «О исправах счисления», о плавании по дуге «великого круга», а также «содержит общие примечания на кораблевождение, с показаниями, как располагать курсы, измерять глубину, вести журнал и пр.». Здесь впервые дается определение лоции как части морского искусства, которое заключается в том, чтобы «... знать глубины, грунты, створы, фарватеры, течения, царствующие ветры и прочие местные обстоятельства, безопасности плавания служащие».

Появление на флоте паровых судов, а затем переход к железному судостроению, увеличение скорости хода паровых судов поставило перед судовождением две основные задачи: улучшение картографического материала и изучение работы магнитного компаса на железном судне; создается новая дисциплина судовождения — девиация магнитного компаса.

В то время гидрография находился ученый моряк Сарычев, организовавший большие гидрографические работы на Балтийском, Белом, Черном и Азовском морях, в результате которых была произведена систематическая опись этих морей и к середине XIX века получен высококачественный картографический материал, сохранивший свое значение до наших дней.

В 1824 г. И. Ф. Круzenштерн производит первое определение девиации магнитного компаса на Кронштадтском рейде на бриге «Олимп».

В 1865 г. ученый-моряк И. П. Белавенец издает свой труд «О девиации компасов и о диаграммах». Труды И. П. Белавенца, а особенно его ученика И.П. Колонга ставят изучение девиации магнитного компаса в России на первое место в мире. Ученики И. П. Колонга академик А. Н. Крылов, профессора Н. Н. Оглоблинский и В. Я. Павлинов достойным образом продолжали развивать компасное дело в русском флоте. Следует указать, что еще в 1856 г. русский академик Ленц со своим сотрудником несколько раз опускался на подводной лодке для определения влияния погружения в море на работу магнитного компаса. Не обнаружив никаких изменений в показании магнитного компаса на трех различных глубинах, Ленц пришел к заключению, что погружение не оказывает на магнитный компас никакого влияния. Во второй половине XIX в. основными трудами по навигации считаются работы Зыбина «Руководство к ко-раблевождению» и Лукина «Навигация», в которых продолжает развиваться методика определения места судна в море.

Существенное изменение в методах определения места судна в море внесло применение на флоте радиопеленгования, впервые осуществленное в период первой мировой войны.

Еще А.С. Попов указал на возможность создания радиомаяков для навигационных целей. Разработкой и конструированием судовых радиопеленгаторов при их зарождении занимался русский ученый академик Н. Д. Папалекси.

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Великая Октябрьская социалистическая революция объединила все советские народы в дружную семью и призвала их к плодотворной созидательной работе. Выступая на первой сессии Верховного Совета СССР в 1938 г., товарищ Молотов сказал, что у могучей Советской державы должен быть соответствующий ее интересам, достойный нашего великого дела, морской и океанский флот. На эти слова наша страна ответила деятельной работой как по созданию морского флота в целом, так и по разработке различных вопросов, связанных с судовождением. В Советском Союзе широко развивается создание самых новых, самых лучших навигационных приборов, в том числе и радиотехнических средств судовождения.

Работы академиков Н.Д. Папалеки, Л.И. Мандельштама, А.И. Берга, проф. Е.Я. Щеголова и других способствуют созданию самой совершенной навигационной радиоаппаратуры. Их труды служат образцами для иностранных ученых. Советские ученые Ю.Б. Кобзарев, А.А. Погорелко и Н.Я. Черненцов в 1941 г. удостоены Сталинской премии за работы в области радиолокации.

Развитие судовождения в советский период не ограничивается созданием новых технических средств, создаются также и новые методы, использования этих средств. Проф. Н. А. Сакеллари составил первый советский учебник навигации, по которому учились первые советские моряки. П. А. Домогаров работал над созданием еще более совершенного магнитного компаса.

Лауреат Сталинской премии проф. В.В.Каврайский разрабатывает «Обобщенный способ линий положений» и создает ряд новых навигационных приборов.

Проф. Н. Н. Матусевич многие из своих работ посвятил вопросам навигации; среди них наиболее крупные: «Определение места корабля по радиопеленгам», «О плавании на течении», «Прямоугольные координаты их применение в гидрографии, картографии и навигации» и ряд других.

Из ряда многочисленных работ по навигации, опубликованных за последнюю четверть века, следует отметить работы гидрографа Струйского по изучению скорости хода судна в свежую погоду и предложенный им метод определения места судна по исправленному крюйс-пеленгу; М. Н. Андреева «О новом универсальном методе прокладки циркуляции корабля» и «Определение радиуса циркуляции по лагу и гирокомпасу».

Большое количество работ за последнее время посвящено вопросу о точности навигационных определений.

Подводя итоги деятельности флота в Великой Отечественной войне, товарищ И. В. Сталин сказал, что моряки восприняли и развили все ценное из вековых традиций русского флота.

В исторических решениях XIX съезда Коммунистической партии Советского Союза вновь уделяется огромное внимание строительству флота и оснащению его новейшими техническими средствами судовождения. Задачей советских моряков является дальнейшее совершенствование своих знаний и развитие современных методов судовождения.

Сергей Федорович Фармаковский

(1911 – 2004)

Заведующий кафедрой с 1963 по 1970 год



С. Ф. Фармаковский родился 15 июля 1911 года в городе Сухуми.

В 1934 г. он окончил Ленинградский электротехнический институт им. В.И. Ульянова (Ленина). Еще будучи студентом, в 1932 г. начал работать техником на заводе «Электроприбор».

Сергей Федорович, окончив институт по специальности «Приборы управления стрельбой» (ПУС), начал в 1934 г. разработку системы ПУС главного калибра эсминцев пр.7 и 7у.

В апреле 1939 г. Сергей Федорович назначается главным конструктором завода и занимал эту должность до 16 июля 1942 г., после чего был вызван в Москву и назначен главным инженером СКБ МПС СССР, где и находился весь период Великой Отечественной войны, обеспечивая руководство по выполнению правительственные заданий для фронта.

В 1945 г. С.Ф. Фармаковский добился организации на базе завода «Электроприбор» Ленинградского филиала СКБ НКСП и был назначен его главным инженером. В 1949 г. предприятие было преобразовано в самостоятельный научно-исследовательский институт НИИ-303, а в

1966 г. – в ЦНИИ «Электроприбор». Все это время (до 1967 г.) С. Ф. Фармаковский работал в должностях главного инженера. С 1967 по 1978 г. был заместителем директора по научной работе, а с 1978 по 1996 г. – научным консультантом.

Страна высоко оценила заслуги С. Ф. Фармаковского. Он лауреат Ленинской премии (1963), дважды лауреат Сталинской премии (1942, 1950), кавалер орденов Ленина, Трудового Красного Знамени, Красной Звезды.

В 1952 г. ему присвоено звание кандидата технических наук, в 1961 г. – доктора технических наук, в 1962 г. он стал профессором.

В 1942 г. работы по созданию приборной техники для боевых кораблей были отмечены Сталинской премией I степени, и С. Ф. Фармаковский, руководивший этими работами, был среди награжденных.

С 1943 г. С.Ф. Фармаковский многие годы являлся ответственным редактором первого в стране отраслевого научно-технического сборника «Приборостроение».

В течение десятилетий Сергей Федорович Фармаковский определял техническую политику института. Внес решающий вклад в развитие научных исследований, в становление ученых и превращение института в один из ведущих научных центров приборостроения.

Ярким примером личного творческого вклада С. Ф. Фармаковского являлся оригинальный преобразователь угловых координат (ПКУ) – шедевр точной механики.

В 1950 г. в числе авторов работ по созданию отдельных приборов (ПКУ, ЦАС-4, ДМ-81) систем управления стрельбой был отмечен Сталинской премией .

В 1955–1965 гг. были созданы и изготовлены навигационные комплексы (НК) «Сила» и «Сигма» для подводных лодок различного назначения. Разработка НК «Сила» была отмечена Ленинской премией, одним из лауреатов которой стал и Сергей Федорович.

В 1961–1968 гг. предприятие участвовало в создании противолодочного комплекса «Выюга» для ПЛ как ответственный исполнитель по системе управления в целом. Эти работы явились важным теоретическим и практическим вкладом в проектирование нового вида оружия. Эти работы организовывались и велись под общим руководством С. Ф. Фармаковского.

Стабильному росту научно-технического уровня института способствовал ряд предпосылок как идеологического, так и организационного характера, а также прозорливость и интуиция С. Ф. Фармаковского, принимавшего решения, оказавшиеся провидческими.

Организуя и участвуя во всех перечисленных выше работах, С. Ф. Фармаковский большое внимание

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

ние уделял подготовке научных кадров для института, в декабре 1950 г. в НИИ была создана аспирантура. Впоследствии была образована и докторантура.

С 1963 г. по 1970 г. профессор С.Ф. Фармаковский по совместительству заведовал кафедрой гироколических и навигационных приборов в ЛИТМО.

С. Ф. Фармаковский был постоянным консультантом по вопросам приборостроения для проектирующих организаций. Длительное время он был членом ученых советов НИИ, вузов, членом научно-технического совета Министерства судостроительной промышленности.

Длительное время С. Ф. Фармаковский возглавлял Ленинградскую секцию навигационных систем и их чувствительных элементов Научного совета по управлению движением и навигации Академии наук СССР, был Почетным членом международной общественной организации «Академия навигации и управления движением».

Имя С. Ф. Фармаковского внесено в книги «Приборостроители», «Морской биографический словарь», «Знаменитые люди Санкт-Петербурга», «Инженеры Санкт-Петербурга», «Блокада Ленинграда».

С. Ф. ФАРМАКОВСКИЙ

**СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ГИРОСКОПИЧЕСКИХ И НАВИГАЦИОННЫХ ПРИБОРОВ***

На VII конференции памяти Н.Н. Острякова в 1970 г. был приведен прогноз развития гироскопических проблем до конца столетия (рис. 1 и 2).

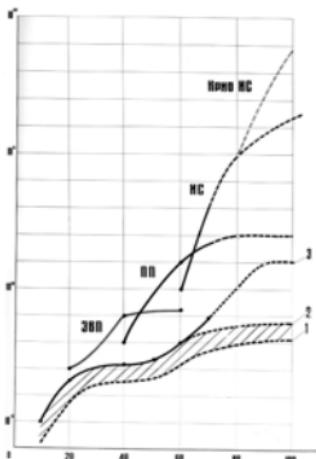


Рис. 1. Прогноз сокращения габаритов.
1,2 – роторы точных гироскопов, 3 – роторы гироскопов
с пониженными требованиями точности

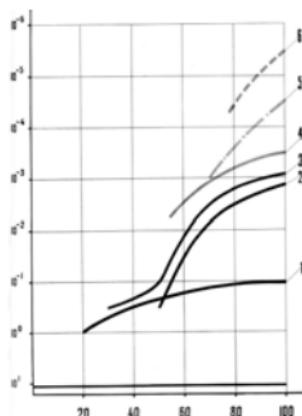


Рис. 2. Определение точности гироскопов.
1 – на шарикоподшипниках, 2 – поплавковые, 3 – на аэродинамическом подвесе, 4 – на электромагнитном подвесе,
5 – на электростатическом подвесе, 6 – на криогенном подвесе.

За прошедшие после этой конференции 4 года сделан большой шаг вперед в части совершенствования обычных гироскопов и освоения гироскопов на новых физических принципах. Изготовлена опытная партия новых гироскопов, проведены их испытания, решен ряд конструктивных и технологических вопросов. Вместе с тем следует отметить, что развитие идет несколько медленнее, чем

*Доклад на IX научно-технической конференции, посвященной памяти Н.Н. Острякова, 1974 г.

предполагалось по прогнозу. Например, полученную на отдельных гироскопах, высокую точность пока не удалось реализовать в приборах и системах.

Рассмотрение состояния работ начнем с шарикоподшипниковых и поплавковых гироскопов. В со-здании этих гироскопов классических типов за истекший период достигнут значительный прогресс. Точность их перешагнула рубеж 10^{-1} град/ч и подходит к 10^{-2} град/ч. Сейчас серийно изготавливаются гироскопы с уходом $(3\text{-}5)\cdot10^{-2}$ град/ч.

Значительно расширились применение и практическое использование методов автокомпенсации, что в некоторых случаях позволяет поднять точность работы шарикоподшипникового гироскопа на десятичный порядок. Освоено серийное производство поплавкового трехстепенного гироскопа типа ТПГ-2М, ухода которого составляют $3\text{-}10^{-3}$ град/ч при вертикальном положении главной оси. На их базе изготовлен прибор, однако эти точности реализовать пока не удалось. В гироскопах этих типов имеется еще много неясностей. Так, например, попадание капли масла между внутренним кольцом шарикоподшипника и его гнездом приводит к кратковременной разбалансировке, которая выводит гироскоп за пределы допуска. Это явление кратковременное и самоустраниющееся, и сейчас ищутся пути борьбы с ним.

Значительный прогресс достигнут во внедрении цифровых устройств съема информации и систем управления датчиком моментов этих гироскопов. Большие успехи в нашей стране и за рубежом достигнуты также в применении шарикоподшипниковых гироскопов, построенных по обращенной схеме с шарикоподшипниковым подвесом или с упругим подвесом (рис. 3). Характерной особенностью их является то, что приводы двигателя отделены от ротора. Карданный система размечена внутри ротора и имеет механический вал, который неподвижен относительно корпуса прибора. Вращающийся маховик, создающий кинетический момент, вынесен на периферию ротора. Вследствие этого радиус инерции активных масс намного больше радиуса инерции карданных колец, что улучшает характеристики гироскопа. В обращенных гироскопах последних типов карданный подвес заменен упругой связью в виде тонкой «шейки». При прецессионном отклонении гироскопа упругое сопротивление «шейки» компенсируется механическими или электрическими специальной пружинной связью (находящейся в нулевом положении в неустойчивом равновесии) в виде датчиков момента. Отклонение гироскопа от нулевого положения фиксируется датчиками углов и компенсируется следящей системой.

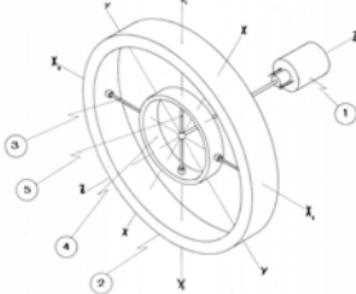


Рис. 3. Обращенный гироскоп.

1 – приводной синхронный электродвигатель и главная ось вращения, 2 – маховик ротора,
3 – наружная ось кардана, 4 – карданное кольцо, 5 – внутренняя ось кардана

Гироскопы этого типа получили название «гирофлекс».

На базе этих гироскопов предприятием авиационной промышленности изготовлен экспериментальный образец, который проходит испытания в инерциальной системе для ТУ-144. Предполагаемая погрешность ИНС – не более 2 км/ч полета. Это очень большое достижение.

НАВИГАЦИЯ: ОТ ИСТОКОВ ДО НАШИХ ДНЕЙ

Американская фирма «Сперри» рекламирует (т.е. выпустила проспект и предлагает официальную продажу) систему «Минс». Это – гирогоризонткомпас на гироскопах типа «гирофлекс». В ней применены очень интересные многоцелевые инерциальные чувствительные элементы, разработанные фирмой «Литтон», которые представляют собой одновременно двухстепенные гироскопы и двухстепенные акселерометры-интеграторы. На двух концах вала синхронного мотора посажены на гибких «шейках» два ротора. Один из них отбалансирован так, что центр его тяжести совпадает с точкой подвеса (с гибкой «шейкой»), а другой – так, что имеет осевое смещение центра тяжести ротора относительно гибкой «шейки» (рис. 4).

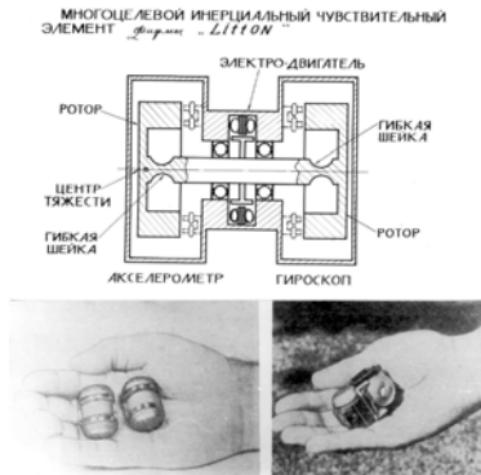


Рис. 4. «Гирофлексы»

Один ротор используется качестве трехстепенного гироскопа, дающего сигнал поворота корпуса прибора вокруг осей, перпендикулярных оси синхронного двигателя, а второй – в качестве двухстепенного акселерометра, дающего замер ускорений вдоль осей, перпендикулярных оси синхронного двигателя.

Установка двух таких гироблоков при перпендикулярном положении их осей вращения позволяет замерять повороты и ускорения вокруг и вдоль всех трех осей, причем замеры дублируются вторым гироблоком. Фирма «Сперри» обеспечивает не очень высокие точности, которые находятся примерно на уровне точностей, гарантированных по гирокомпасам марки 19, но вновь созданный прибор имеет меньшие вес и габарит.

Фирма «Литтон» также выпустила авиационные инерциальные системы, основанные на подобных ЧЭ («гирофлексах»), которые оказываются конкурентоспособными с рекламированными системами «Микрон», основанными на электростатических гироскопах. Следовательно, гироскопы типа «гирофлекс» не только по точностным характеристикам, но и по весогабаритным оказались конкурентоспособными с электростатическими гироскопами с диаметром ротора порядка 10 мм. Это свидетельствует об их очень большой перспективности, и, видимо, судовые приборостроители недооценивают возможности этих гироскопов.

Гироскопы на новых физических принципах, имеющие механический кинематический момент, также сильно продвинулись вперед. К этим гироскопам следует отнести гироскопы с различными подвесами – аэродинамическим, электромагнитным, электростатическим, криогенным, основанным на сверхпроводимости.

В настоящее время изготовлены опытные партии приборов с аэродинамическим, электромагнитным и электростатическим гироскопами, подтвердивших данные, которые от этих приборов следовало ожидать. Однако практическое использование в приборах гироскопов с такими подвесами оказалось задачей значительно более сложной, чем представлялось ранее. Очень небольшие нарушения формы ротора, например его деформация под действием центробежных сил, приводят к значительным уходам, в связи с чем вызывает сомнения стабильность. На гироскопах, поставленных в ось Мира, кроме суточных колебаний, обнаружены колебания с периодом значительно большим – в пределах 2–4 суток, для одного и того же образца гироскопа сохраняющие свою частоту от пуска к пуску. Пока не создано какой-либо теории, способной объяснить эти колебания. Однако исключение этих колебаний позволяет повысить точность до уровня $5 \cdot 10^{-4}$ – 10^{-5} .

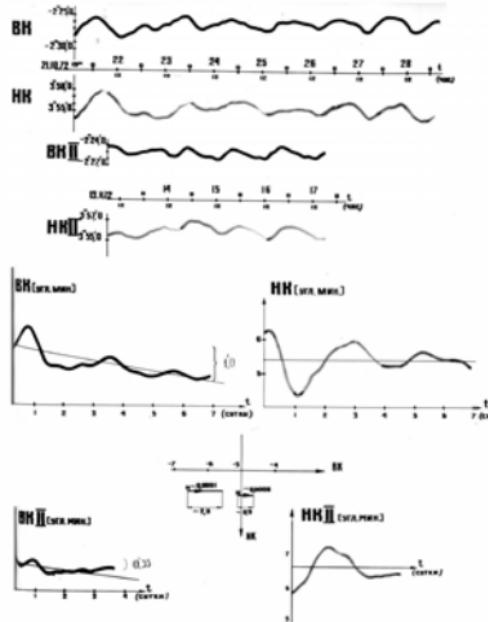


Рис. 5. Реализация уходов электромагнитного гироскопа с полярным расположением

В качестве примера можно привести две реализации (рис. 5), полученные от электромагнитного гироскопа, ориентированного в оси мира. Одна из них имела около 180 ч, другая – 120 ч, период между реализациями – два месяца. Величина постоянного ухода в обеих реализациях находилась на

НАВИГАЦИЯ: ОТ ИСТОКОВ ДО НАШИХ ДНЕЙ

уровне 10^{-2} град/ч. На его фоне вариации носили характер суточных колебаний (верхние кривые на рис. 5) с амплитудой 2-5 угл. мин при периоде, близком к суткам. Если исключить из уходов эти суточные колебания (что очень легко сделать, имея готовую реализацию, и затруднительно при работе прибора), то остаточные вариации (средние кривые на рис. 5) будут находиться на уровне 10^{-3} и вновь иметь явно выраженный колебательный характер. Амплитуда – около 1 угл. мин, период – около 3,5 суток (80-85 ч). После исключения этих колебаний заметных уходов вокруг горизонтальной оси не обнаруживалось. Во всяком случае, этот уход за полное время реализации составлял менее 0,1 угл. мин.

Вокруг перпендикулярной оси, т.е. вокруг оси, расположенной в плоскости меридiana перпендикулярно к оси мира, в обеих реализациях наблюдался закономерный уход в направлении видимого движения светила. Величина его в первое реализации составляла около 1 угл.мин, во второй – 0,35 угл. мин, что дает уход 10^{-4} и $6 \cdot 10^{-6}$ соответственно.

Приведенные цифры показывают, что путем тщательной обработки информации, получаемой от свободного неуправляемого гироскопа, Можно повысить его точность на 2-3 десятичных порядка. Однако для практическое реализации необходимо обеспечить определение в работающем приборе амплитуды и фазы действующих колебаний, которые заранее предсказать невозможно. По этим величинам находится среднее положение гироскопа и обеспечивается прогнозирование его текущих координат. Все это приходится делать на фоне всевозможных помех, сшибок счисления, случайных кратковременных уходов, вызываемых колебаниями температуры, давления, напряжения и питающей частоты электроэнергетических систем.

Сказанное выше относилось к гироскопам, кинетические моменты которых расположены параллельно оси мира. Но для нас нужны гироскопы, кинетические моменты которых располагаются в плоскости небесного экватора или занимают промежуточное положение между полярными либо экваториальными осями.

В этом случае положение гироскопа по отношению к полю земного тяготения будет переменным, и в обработке информации необходимо учитывать изменение моментов, вызываемых в гироскопе гравитационными силами. Первой причиной, вызывающей уходы, является отклонение ротора гироскопа от идеальной сферической формы. Сейчас проводится большая работа, связанная с тем, чтобы технологический процесс учтивал и ликвидировал несферичность ротора. Для этого ротору в спокойном состоянии придаются несферическая форма в расчете на то, что центробежные силы при работе гироскопа сделают этот ротор сферичным. Однако требования к сферичности находятся уже в пределах 0,01-0,001 мкм, в связи с чем вряд ли можно надеяться на то, что такая точность будет сохранена длительное время. Кроме того, не должна быть нарушена не только геометрическая форма, но и магнитная проницаемость, а также электропроводимость, что технологически достичь очень трудно. Совершенно очевидно, что проводимость, а тем более магнитная проницаемость, будут неравномерны. Следовательно, единственным выходом из положения остается определение уходов и учет их с помощью вычислительной техники. А это требует создания методов и алгоритмов обработки получаемой информации. Еще более трудную задачу составляет учет всех случайных ускорений, перемещений и вибраций. Информация о действующих ускорениях содержится внутри всех этих подвесов. В аэродинамическом подвесе такой информацией является давление в отдельных его точках, в электромагнитном и криогенном – ток, в электростатическом – напряжение. Задача состоит в том, чтобы извлечь эту информацию и соответствующим образом ее обработать. Обработка информации является сейчас главным вопросом.

Проблема применения свободных гироскопов, в частности электростатических, появилась в американской литературе в 1962–1963 гг. Вскоре была испытана система «Монитор», основанная на электростатическом гироскопе. Однако на вооружение она не была принята. По имеющимся литературным данным, трем фирмам – «Ханиуэлл», «Отонетикс» и «Сперри» – выдано задание на разработку навигационной инерциальной системы с электростатическим гироскопом для подводных лодок, вооруженных ракетами типа «Грайден». Эти системы должны иметь точность, которая в 10-20 раз

будет превосходить точность инерциальных систем, находящихся на вооружении ПЛ, оснащенных ракетами типа «Полярис». Что дают навигационные системы ПЛ, оснащенных «Полярисками», сказать трудно, но на основании различных источников можно констатировать, что среднеквадратическая погрешность определения места в ИНС со свободными гироскопами должна находиться на уровне 100–500 м. По имеющимся сведениям, все платформы используют для подвеса свободных гироскопов четырехосные карданные подвесы. Бескарданных систем ни одна фирма не делает. Гироскопы имеют свободное вращение вокруг всех трех осей, однако их расположение не описывается. Имеются предположения, что это будут не классические оси и что четвертая ось применяется с целью исключения возможности складывания рамок.

За последние два года значительно улучшилось положение с криогенной техникой. Разворачиваются работы по созданию криогенных гироскопов, которые дают обнадеживающие результаты. Применение криогенных гироскопов позволяет использовать глубокое охлаждение не только для создания, сверхпроводящего подвеса, но и для улучшения свойств существующих подвесов даже таких гироскопов, как лазерный. Охлаждение даст возможность повысить механическую и тепловую стабильность применяемых материалов.

В заключение следует обратить внимание на возможность создания электростатического подвеса с питанием не за счет внешнего питающего источника электроэнергии, а за счет радиоактивного излучения. В этом случае ротор и электропроводящий подвес получают одноименный электрический заряд; ротор автоматически центрируется в подвесе. Однако сразу возникает задача защиты от радиоактивности; поэтому эта идея еще далека от практического осуществления.

Гироскопические устройства, основанные на квантовых генераторах, или лазерные гироскопы, являются первыми, которые находят практическое применение. По этим разработкам сделан значительный шаг вперед.

Потенциальные возможности лазерных гироскопов претерпели интересную эволюцию. Если обратиться к 1965 г., то в то время предсказывался уход лазерных гироскопов 1 мин в неделю, т.е. на уровне 10^4 град/ч. К концу 60-х годов точность гироскопов оказалась на уровне 10^1 , да и то с трудом. Однако конструкторы лазерных гироскопов справились со своей задачей. Сейчас лазерные гироскопы за достаточно большое время дают уход на уровне $5 \cdot 10^{-3}$. Важным свойством лазерных гироскопов оказалось то, что он не дает ухода от начального положения больше, чем $\pm 2\text{--}3$ угл. мин за любое время.

В разработке лазерных гироскопов самые трудные являются обеспечение стабильности работы этих устройств. Вопрос долговечности более или менее решен тем, что сама трубка вынесена в виде отдельного элемента из общего контура. Труднее всего обеспечить сдвиг частоты. Имеется много способов, но это как раз говорит о том, что нет ни одного достаточно хорошего, поэтому разработка методов автокомпенсации ухода является наиболее серьезным вопросом.

Лазерные гироскопы коренным образом отличаются от обычных тем, что последние имеют пространственную память, т.е. они стремятся сохранять направление своей главной оси неизменным в пространстве.

Лазерный гироскоп не имеет пространственной памяти и, в отличие от широко распространенного мнения, не измеряет непосредственно угловой скорости в инерциальном пространстве. Он лишь фиксирует поворот резонатора в инерциальном пространстве на некоторый элементарный угол, определяемый размерами резонатора. Поворот на этот угол сопровождается выдачей импульса, знак которого соответствует знаку угла.

Для резонатора со стороной около 200 мм значение элементарного угла составляет около половины угловой секунды. Если принять нижний предел измеряемой угловой скорости 10^3 град/ч, то это значит, что будем получать один импульс за 500 с (8 мин 20 с). Если принять за верхний предел измеряемой угловой скорости 10 град/сек, что приемлемо для корабельных условий, то за это же время протечет $6 \cdot 10^8$ импульсов, которые надо пересчитать и не потерять ни одного импульса. Эта величина сразу показывает, какие требования предъявляет указанный гироскоп к вычислительной технике.

НАВИГАЦИЯ: ОТ ИСТОКОВ ДО НАШИХ ДНЕЙ

Следует отметить, что в ракетной технике верхним пределом измерений угловой скорости следует считать 100 град/с, и требования соответственно возрастут, или надо снижать требования по точности.

Для лазерных гироскопов можно считать решенной проблему стабильности и долговечности. Проблемой является применение их в приборах и системах. Этим еще предстоит заниматься.

Так же как в свободных гироскопах, в лазерных стоит проблема комплексной обработки информации. Но если свободный гироскоп представляет собой имитацию астрономических светил и к их использованию могут быть приложены все выводы мореходной астрономии, но к лазерным гироскопам этот опыт не может быть приложен. Вопросы использования лазерных гироскопов в навигационных системах приходится разрабатывать почти с нуля.

Основной задачей является разработка методов и алгоритмов обработки информации, получаемой от лазерных гироскопов; в отличие от всех других гироскопов лазерный имеет цифровой импульсный выход, что облегчает его стыковку с ЭЦВМ. Пространственная память резко повышает требования как к разрядности, так и к памяти и быстродействию. Представляется целесообразным вести дальнейшие исследования применения лазерных гироскопов по следующим направлениям:

- применение в приборах курсоуказания;
- применение в инерциальных системах геометрического типа;
- применение в инерциальных системах полуаналитического типа;
- применение в бескарданных инерциальных системах.

Во всех этих направлениях уже существуют методы и алгоритмы обработки информации, которые надо приспособить к требованиям лазерных гироскопов. Это нелегкая, но сулящая практический выход задача.

По «экзотическим» гироскопам положение за последние четыре года изменилось мало. Прогресс здесь может быть достигнут только в результате создания фундаментальной теории, которая дала бы ключ к проведению инженерных расчетов. Такой фундаментальной теории пока нет, если не считать плазменно-инерционных акселерометров. Поnim усилиями кафедры физики Московского металлургического института и ЛГУ созданы основы теории; на этом основании удалось создать опытные образцы акселерометров, имеющие чувствительность на уровне 10^{-5} и дрейф нуля на уровне 10^{-4} (от величины ускорения силы тяжести). Это не блестящие точности, но поскольку акселерометры представляют собой электровакуумный прибор, малогабаритный, легко заменяемый и не имеющий механических движущихся деталей, то они могут найти применение в приборах стабилизации и в автоматике управления движением.

За истекшие годы по устройствам автоматики тоже сделан большой шаг вперед. Сюда следует отнести списывающие устройства, датчики угла, преобразователи информации, датчики моментов, следящие системы. За этот период были разработаны и изготовлены образцы оптических и оптико-электронных бесконтактных датчиков угла с чувствительностью на уровне 1-2 угл. с. Значительно усовершенствованы списывающие устройства индукционного типа, обеспечивающие работу магнитных гироскопов. Создание таких датчиков позволяет обеспечить необходимую для судовых навигационных устройств точность съема информации.

Был разработан комплексный заказ «Кремний», по которому изготовлены типовые устройства ввода и вывода для ЭЦВМ, в том числе преобразователь вал-код, обеспечивающий кодирование угла с точностью 5-10 угл. с. Это достигнуто применением двух- и многополосных плоских вращающихся трансформаторов, в которых применена электрическая редукция с передаточными числами 108 и 128 (108 и 128 пар полюсов соответственно).

Создание таких блоков решило проблему взаимодействия гироскопических элементов и ЭЦВМ. Создание специальных электронных блоков, позволяющих сравнить коды, выдаваемые преобразователями вал-код, с кодами, получаемыми от ЭЦВМ, также решило задачу ввода углов в аналоговые устройства. Правда, указанные преобразователи могут обеспечить преобразование только в пределах 15-18 двоичных разрядов.

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Большой прогресс достигнут в создании систем управления датчиками моментов. Создана и вне-драна система широтно-импульсной модуляции, дающая хорошую точность. Создан образец безре-дукторной следящей системы с датчиками момента ограниченного и неограниченного вращения. Эта система дает динамические погрешности в условиях корабельной качки на уровне 10-15 угл. с, что является очень большим достижением.

Сейчас начата разработка маломощных следящих систем с бесколлекторными двигателями посто-янного тока и электронным управлением. Это должно дать большой выигрыш в габаритах и потреб-ляемой мощности.

Представляется целесообразным на следующей конференции сделать специальную секцию для за-слушивания докладов по автоматике и ее элементам.

При подготовке пятилетнего плана на 1971-1975 годы был сделан прогноз требуемой информа-тивности навигационных комплексов до 1985 г. и уровней, которые могут быть достигнуты по от-дельным направлениям. Такими направлениями были избраны вычислительная техника (ЭЦВМ), первичные датчики, главным образом гироскопы, и средства преобразования информации – датчики угла, момента, следящие системы и преобразователи вал-код.

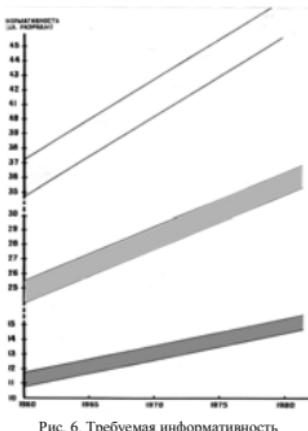


Рис. 6. Требуемая информативность



Рис. 7. Информативность первичных датчиков

Требуемые уровни информативности приведены на рис. 6. Нижние кривые отражают требования информативности по курсоуказанию, средние – по координатам места; верхняя кривая – общая ин-формативность комплекса.

Для более ясного представления можно считать, что информативность представляет собою число двоичных разрядов, которое необходимо для переработки информации.

Современные ЭЦВМ могут содержать 30 и более разрядов или могут работать с удвоением раз-рядной сетки.

Таким образом, по точностным характеристикам современные ЭЦВМ могут удовлетворять всем требованиям, которые будут предъявлять к ним навигация.

Как показывает опыт проектирования навигационных комплексов, ЭЦВМ типа «Карат» удовле-творяет их требованиям. Только по соображениям надежности или пропускной способности приходится ставить две или даже три ЭЦВМ типа «Карат» параллельно. Прогноз развития информативно-сти датчиков первичной информации показал на рис. 7. Определяющим здесь является главным обра-

зом погрешности гироскопов.

На пути дальнейшего их совершенствования стоят конструктивно-технологические факторы, повышение требований к точности изготовления и стабильности механических размеров деталей. Достигать этого становится все труднее и поэтому кривые на рис. 7 имеют тенденцию к «насыщению». Информативность датчиков первичной информации лежит на уровне 12-16 двоичных разрядов. Это близко к необходимой информативности по курсоуказанию, но явно недостаточно для удовлетворения требований по координатам места (см. рис. 6).

В части устройств преобразования информации достигнут значительный прогресс, и эти устройства перестали лимитировать точность в общей, цепочке, Лимитирующими опять являются датчики первичной информации. Их развитие приведено на рис. 8. Разрыв между требуемой точностью и возможностями первичных датчиков по точности может быть компенсирован только за счет комплексной обработки информации от большого числа разнородных датчиков первичной информации. Здесь огромную роль играет применение методов оптимального фильтрации, основанных на априорном знании статистических характеристик первичных измерителей и комплексной их обработки. Вопрос нахождения рациональных методов комплексной обработки информации в навигационных комплексах сейчас особенно актуален.

Если обратиться к рассмотрению состава комплексов, то окажется, что собственно гироскопические приборы (т.е. первичные датчики) занимают не такое большое место по габаритам, весам и мощности; они составляют по этим показателям менее четверти или трети. Остальное приходится на «стойки», т.е. всевозможные устройства, которые занимаются преобразованием информации, согласованием информации и т. д. И здесь разработка и применение интегральных схем на полупроводниках, возможность микроминиатюризации устройств открывают большие возможности.

Выше упоминался гирогоризонткомпас «Минис» фирмы «Сперри», у которого гироскопический прибор ненамного отличается от наших привычных представлений. Но внутри этого прибора поставлены устройства первично, обработки информации, все устройства питания, даже аварийная аккумуляторная батарея. Все это достигнуто за счет применения интегральных схем. Система имеет очень высокий к.п.д.

Она дает небольшое тепловыделение, потому что прибор работает без искусственного охлаждения. Направление усилий по этому пути может дать значительный выигрыш за счет рассредоточения устройств первичной обработки информации из ЦВМ и упрощения устройств ввода и преобразования информации. За счет применения микроминиатюризации могут быть сокращены весогабаритные характеристики, комплексность устройства.

Несколько слов о возможности применения бесплатформенных инерциальных систем. Бесплатформенными называются такие системы, в которых только система координат, связанная с объектом, моделируется физически. Все остальные координатные системы определяются в виде кода в вычислительной цифровой или аналоговой машине. Очевидно, что при тех точностях, которые требуются для корабельных условий, моделирование может быть только цифровое. Возможности применения бесплатформенных инерциальных систем определяются возможностями вычислительной техники.

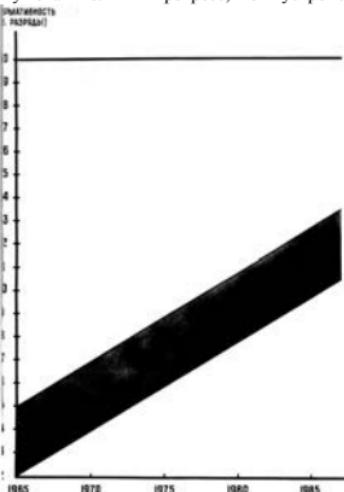


Рис. 8. Информативность преобразователей интервал-код

На рис. 9 в логарифмическом масштабе показаны угловые скорости различных движений. При этом линейные скорости ветра, морских течений, кораблей, самолетов и космических аппаратов приведены к угловым делениям на радиус Земли.

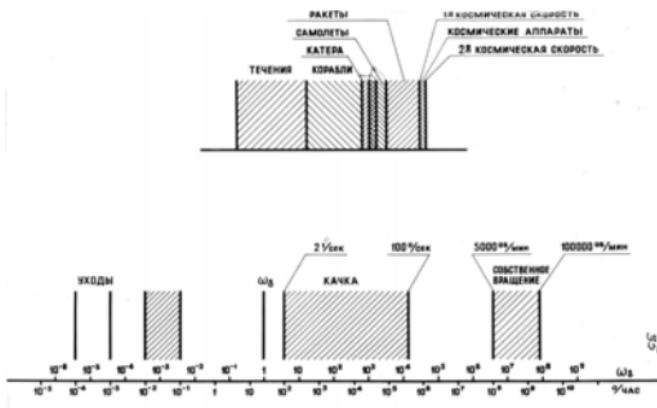


Рис. 9. Диаграмма угловых скоростей и скоростей движения.

Из рисунка видно, что скорости движения объектов (даже космических аппаратов) лишь незначительно превышают низшие пределы скоростей качки кораблей. Поэтому естественно, что определяющей величиной будет не скорость движения, а скорость качки. Вот почему здесь с таким трудом идет практическое освоение бесплатформенных инерциальных систем. Внедрить бесплатформенные системы в корабельные комплексы можно, если удастся создать достаточно простые алгоритмы обработки информации, с которыми смогут справиться современные ЭЦВМ. Тогда бесплатформенным инерциальным системам будет открыта свободная дорога.

Марк Антонович Сергеев

(1921 – 1982)

Заведующий кафедрой с 1970 по 1982 год



М.А.Сергеев окончил рабфак Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта (1939). Служил в Красной Армии в 195-м истребительном авиационном полку в должности авиамеханика (1941–1946).

После армии в 1946 году поступил в ЛИТМО на вечерний факультет, который окончил по специальности «Навигационные приборы». В 1952 году зачислен в очную аспирантуру ЛИТМО. С самого начала научной деятельности Марк Антонович проявляет интерес к наземным гирокомпасам. Первые исследования посвящены двухступенчатым гирокомпасам, которые он выполняет под руководством профессора П.А.Ильина. Гирокомпас по схеме гироскопа Фуко первого рода с воздушными полусферическими опорами был создан и исследован на кафедре «Гироколические и навигационные приборы» ЛИТМО.

В 1956 году М.А.Сергеев защищает диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук и избирается на должность доцента кафедры «Гироколические и навигационные приборы».

Он продолжает успешное научное сотрудничество со Всесоюзным научно-исследовательским маркшейдерским институтом (ВНИМИ). По результатам исследований в 1969 году М.А.Сергеев публикует монографию «Наземные гирокомпасы», посвященную построению обобщенной теории движения чувствительных элементов (ЧЭ) наземных гирокомпасов и разработке методик расчета их параметров с общим случаем движения ЧЭ с точкой подвеса. На примерах показано, что применение обобщенной теории существенно сокращает время, затрачиваемое на исследование и расчет проектируемых приборов с линейной и нелинейной характеристиками восстанавливающих моментов. Важным результатом стала разработка теории ускоренного приведения ЧЭ гирокомпаса в меридиан при заданном законе разгона гиромотора. Эти идеи были развиты аспирантами под руководством М.А.Сергеева. Результаты были успешно внедрены в конструкциях, разработанных во ВНИМИ.

В 1969 году М.А.Сергеев защищает диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. В 1973 году ему присваивается ученое звание профессора кафедры «Гироколические и навигационные приборы».

В 1970 году М. А. Сергеев становится заведующим кафедрой «Гироколические и навигационные приборы» (с 1973 г. – кафедра «Бортовые приборы управления»). Под его руководством выполнялись важные опытно-конструкторские и научно-исследовательские работы, результаты которых внедрены в промышленности. Большой объем этих работ был выполнен по ходоворкам с Институтом земного магнетизма Академии наук СССР по теме «Теория построения и разработка авиационного комплекса бортовых приборов и наземного оборудования для глобального магнитного картографирования территории СССР». Научные руководители работ: профессор М.А.Сергеев (1970–1982), доцент М.А.Кирст (1982–1989). Изготовленный в ЛИТМО комплекс для измерения вектора магнитного поля Земли был установлен на самолете ИЛ-72 и прошел успешную эксплуатацию. Были решены проблемы размещения векторных магнитометров при минимальном воздействии магнитного поля самолета и согласования угловых перемещений в местах установки магнитометров и навигационно-гироколического комплекса. Также были разработаны методика и программы камеральной обработки результатов измерений магнитометрических и навигационных параметров. Технические решения защищены пятью авторскими свидетельствами на изобретения.

Обслуживание комплекса в полетах и камеральную обработку информации осуществляли сотрудники научно-исследовательской лаборатории астроориентации, созданной при кафедре «Гироколические и навигационные приборы» и возглавляемой с.н.с. В.И.Ющенко. Исполнители работ защищили четыре кандидатские диссертации. Опубликовано более 30 статей и тезисов докладов по теме выполненных работ. В выполнении НИР активное участие принимали аспиранты и студенты кафедры. Исследования студентов, проводившиеся в студенческом научном обществе по этой тематике, были отмечены дипломами 1-й степени на Всесоюзных конкурсах студенческих научных работ.

Много сил, опыта и знаний отдавал М. А. Сергеев делу подготовки высококвалифицированных научных и инженерных кадров. Подготовил ряд учебных и методических пособий для студентов.

М.А.Сергеев награжден четырьмя медалями СССР.

М. А. СЕРГЕЕВ

ОБ ОБОБЩЕННОЙ СХЕМЕ НАЗЕМНЫХ ГИРОКОМПАСОВ*

В статье рассматривается движение чувствительного элемента (ЧЭ) обобщенной схемы наземных гирокомпасов, при этом учитываются не только его углы поворота, но и поступательные перемещения. Для гирокомпасов с упругим восстанавливющим моментом получено выражение ошибки от наклона корпуса, а также рекомендован метод ее компенсации. В заключение приводятся формулы периодов свободных незатухающих колебаний ЧЭ в зависимости от природы восстанавливающего момента.

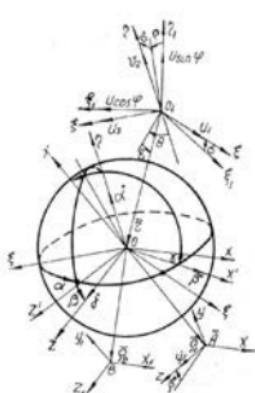


Рис. 1. Обобщенные координаты, определяющие положение чувствительного элемента

С момента создания первого наземного гирокомпаса (1950 г.) у нас и за рубежом появилось большое количество различных конструкций таких приборов [1, 5]. Одна из причин столь многочисленных конструктивных решений состоит в том, что в наземных гирокомпасах начали применять для создания восстанавливающего момента не только силу веса ЧЭ, но и его подъемную силу, а также различные упругие элементы, связывающие ЧЭ с корпусом прибора или следящей системой. Кроме того, были построены приборы, в которых ЧЭ совершает движения не только по углам Эйлера, но и поступательные перемещения [2, 3].

В связи с большим многообразием появившихся конструкций естественно стремление установить преимущества одних схем относительно других. С этой целью целесообразно ввести такую обобщенную схему, из исследования которой, как частный случай, получаются соотношения применительно, если не ко всем известным схемам, то хотя бы к большинству. Такое исследование позволяет выяснить характерные свойства приборов, объединенных по какому-нибудь общему признаку. В частности, в настоящей статье объединяются наземные гирокомпасы в зависимости от физической природы восстанавливающего момента ЧЭ.

Рассмотрим движение ЧЭ, состоящего из кожуха (поплавка) и ротора в системе координат $O_1\xi\eta\zeta$, наклоненной относительно географической $O_1\xi_1\eta_1\zeta_1$ на углы σ и ρ (рис. 1). Поступательное перемещение ЧЭ определяется сферическими координатами Θ, ε, r вращательное — углами Эйлера (α, β, γ), а ротора гироскопа относительно кожуха — еще углом ϕ . На дви-

*Журнал «Известия вузов. Приборостроение». - 1968.-№ 3.- С. 83-88.

НАВИГАЦИЯ: ОТ ИСТОКОВ ДО НАШИХ ДНЕЙ

жение ЧЭ считаем наложена геометрическая связь, обеспечивающая движение его полюса O по сфере вида

$$r^2 - \xi^2 - \eta^2 - \zeta^2 = 0.$$

Положение центра тяжести ЧЭ и центра его объема в системе координат $OXYZ$, связанной с кожухом, определяется соответственно координатами $(l_x l_y l_z)$ или $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$ и $(L_x L_y L_z)$ или \vec{p}_2 . Главная ось AZ ротора образует угол β^* с направлением оси OZ , а AX и AY — оси Резалия.

Если предположить, что обобщенная сила $Q_\phi = 0$, то $H = \text{const}$. Тогда для составления уравнений движения по нециклическим координатам воспользуемся функцией Райса:

$$\begin{aligned} R = T - H\dot{\psi} &= \frac{1}{2}mv^2 + m\vec{v}(\vec{\Omega} \times \vec{p}) - J_{XY}\Omega_X\Omega_Y - J_{XZ}\Omega_X\Omega_Z - J_{YZ}\Omega_Y\Omega_Z + \\ &+ \frac{1}{2}[J_X\Omega_X^2 + J_Y\Omega_Y^2 + J_Z\Omega_Z^2 + 2H(\Omega_Z \cos\beta^* + \Omega_Y \sin\beta^*)] - \frac{1}{2}\frac{H^2}{J}, \end{aligned}$$

где m — масса чувствительного элемента; v — линейная скорость полюса O ; $\Omega_x, \Omega_y, \Omega_z$ — проекции вектора угловой скорости кожуха на оси OX, OY, OZ ; J_x, J_y, J_z — моменты инерции ЧЭ вокруг соответствующих осей системы координат $OXYZ$; J_{XY}, J_{XZ}, J_{YZ} — центробежные моменты инерции ЧЭ относительно тех же осей; J — момент инерции ротора вокруг главной оси. Уравнения движения имеют вид:

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial R}{\partial q} - \frac{\partial R}{\partial q} = Q_q \quad (q = \alpha, \beta, \gamma, \theta, \varepsilon). \quad (1)$$

Выпишем выражение элементарной работы δA , действующих на ЧЭ активных сил \vec{F}_v , на их возможном перемещении $\delta \vec{r}_v$:

$$\delta A = \sum_{v=1}^n \vec{F}_v \delta \vec{r}_v.$$

Если выразить $\delta \vec{r}_v$ в зависимости от перемещений по обобщенным координатам, то получим

$$\delta A = F_0 r \cos \varepsilon \theta + F_e r \delta \varepsilon + M_\eta \delta \alpha + M_{X'} \delta \beta + M_z \delta \gamma, \quad (2)$$

где F_0, F_e — проекции главного вектора активных сил на оси сферической системы координат, соответствующей точке O , $M_\eta, M_{X'}, M_z$ — проекции главного момента активных сил вокруг полюса O , соответственно на оси O_η — пресессии, OX' узлов и OZ собственного вращения.

Из выражения (2) следует, что

$$Q_\theta = F_0 r \cos \varepsilon; \quad Q_e = F_e r, \quad Q_\alpha = M_\eta = M_X \sin \gamma \cos \beta + M_Y \cos \gamma \cos \beta - M_Z \sin \beta;$$

$$Q_\beta = M_{X'} = M_X \cos \gamma - M_Y \sin \gamma; \quad Q_\gamma = M_z.$$

Предположим, что на ЧЭ, кроме силы веса P и его подъемной силы Q , действуют еще силы упругости, обусловленные наличием упругого элемента, связывающего ЧЭ с корпусом прибора или слеющей системой. Действие упругого элемента, считаем, происходит при смещении полюса O от оси O_η и при повороте чувствительного элемента на углы β и γ и в первом приближении определяется выражениями:

$$M_X = -c_1 \beta - c_2 r \theta, \quad M_Y = -b_1 \gamma + b_2 r \varepsilon,$$

$$F_0 = -c_3 r \theta - c_2 \beta, \quad F_e = -b_3 r \varepsilon + b_2 \gamma,$$

где c_i, b_i ($i=1, 2, 3$) — коэффициенты пропорциональности, которые определяются для каждой схемы в зависимости от конкретной реализации упругого элемента, обеспечивающего подвес ЧЭ [4].

Определим положение равновесия ЧЭ, для чего сохраним слева в (1) только нулевую часть функции Райса, тогда система уравнений первого приближения будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
 & HU \cos \varphi \cdot \alpha + \mathfrak{M}_x \beta + (\mathfrak{M}_z - HU \sin \varphi) \gamma = (HU \sin \varphi - \mathfrak{M}_z) \sigma - \mathfrak{M}_x \rho; \\
 & \mathfrak{M} \beta + c_2 r \theta = \mathfrak{M}_z - HU \sin \varphi + \mathfrak{M}_y \rho + HU \cos \varphi \cdot \beta^*; \\
 & c_2 \beta + c_1 r \theta = L \rho; \\
 & \mathfrak{M}_x \gamma - b_2 r \varepsilon = \mathfrak{M}_y \rho - \mathfrak{M}_x; \\
 & b_2 \gamma - b_1 r \varepsilon = L \sigma,
 \end{aligned} \tag{3}$$

где

$$\begin{aligned}
 \mathfrak{M}_x &= PI_x - QL_x, \quad \mathfrak{M}_y = PI_y - QL_y, \quad \mathfrak{M}_z = PI_z - QL_z; \quad L = P - Q, \\
 \mathfrak{M} &= c_1 - \mathfrak{M}_y, \quad \mathfrak{M}_1 = b_1 - \mathfrak{M}_y, \quad c = c_2 + \frac{L}{r}, \quad b = b_2 + \frac{L}{r}.
 \end{aligned}$$

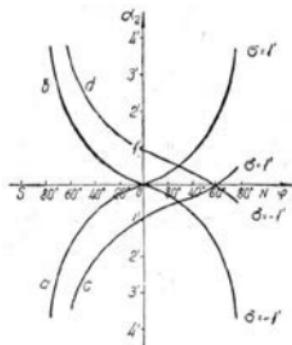
Приведем решение системы (3) только по координате

$$\begin{aligned}
 \alpha_r &= \frac{1}{HU \cos \varphi} \left\{ (HU \sin \varphi - \mathfrak{M}_z) \left[\left(1 - \frac{Lb_2 - b \mathfrak{M}_y}{\Delta_1} \right) \sigma + \left(\frac{c}{\Delta} - \frac{b}{\Delta_1} \right) \mathfrak{M}_x \right] - \right. \\
 &\quad \left. - \mathfrak{M}_x \left[\left(1 + \frac{c \mathfrak{M}_y - Lc_2}{\Delta} \right) \rho + \frac{c HU \cos \varphi}{\Delta} \beta^* \right] \right\},
 \end{aligned} \tag{4}$$

здесь $\Delta_1 = \mathfrak{M}_1 b - b_2^2$, $\Delta_1 = \mathfrak{M} c - c_2^2$.

Из приведенного результата (4) следует, что положение равновесия зависит от дебаланса ЧЭ ($\mathfrak{M}_x \neq 0$, $\mathfrak{M}_z \neq 0$). Однако при выполнении балансировки ($\mathfrak{M}_x = 0$ и $\mathfrak{M}_z = 0$) ось OZ не располагается в плоскости меридиана, а будет отклонена на угол

$$\alpha_r = \left(1 - \frac{Lb_2 - b \mathfrak{M}_y}{\Delta_1} \right) \operatorname{ctg} \phi; \quad \left(0 \leq \frac{Lb_2 - b \mathfrak{M}_y}{\Delta_1} \leq 1 \right). \tag{5}$$



Угол σ в рассматриваемой задаче определяет наклон корпуса прибора. Построим зависимость $\alpha_r = f(\phi)$ (рис. 2). Ошибка (5) от наклона корпуса может быть компенсирована за счет дебаланса по оси OZ .

Действительно, из (4) при $\mathfrak{M}_x = 0$ следует

$$\alpha_r = \frac{1}{HU \cos \varphi} (HU \sin \varphi - \mathfrak{M}_z) \left(1 - \frac{Lb_2 - b \mathfrak{M}_y}{\Delta_1} \right) \sigma.$$

Если в приборе выполнено условие $HU \sin \varphi - \mathfrak{M}_z = 0$. Для наземных гирокомпасов, применяемых на средних широтах в одном из полушарий, можно рекомендовать частичную компенсацию ошибки от наклона корпуса на некоторой расчетной широте ϕ_0 . Это приведет, как видно из рис. 2, к уменьшению ошибки от наклона корпуса на средних и высоких широтах.

Заметим, что гирокомпасы с восстанавливающими моментами от силы веса и подъемной силы не имеют ошибки от наклона корпуса. Приведем уравнения малых колебаний ЧЭ предполагая, что $l_x = l_z = L_x = L_z = 0$ и $\sigma = \rho = \beta^* = 0$. При этом

движение по координатам u и ε при нулевых начальных условиях отсутствует, и колебание чувствительного элемента отображается системой уравнений:

$$\left. \begin{array}{l} J_Y \ddot{\alpha} + HU \cos \varphi \alpha - H \dot{\beta} = 0; \\ J_X \ddot{\beta} + \mathfrak{M} \beta + H \dot{\alpha} + ml_Y r \dot{\theta} + \\ + c_2 r \theta = -HU \sin \varphi; \\ mr \ddot{\theta} + cr \theta + ml_Y \dot{\beta} + c_2 \beta = 0. \end{array} \right\} \quad (6)$$

Уравнение частот, соответствующее системе (6), имеет вид

$$f(\mu^2) = J_Y J_c m \mu^6 - (H^2 m + J_Y D + J_c m H U \cos \varphi) \mu^4 + \\ + [(c \mathfrak{M} H^2 + J_Y \mathfrak{M}_0) c + D H U \cos \varphi] \mu^2 - c \mathfrak{M}_0 H U \cos \varphi = 0,$$

$$\text{где } \mathfrak{M}_0 = \mathfrak{M} - \frac{c^2}{c}, D = J_X c + \mathfrak{M} m - 2c_2 m l_Y, J_c = J_X - ml_Y^2.$$

Приближенное значение квадрата частоты прецессионного движения определим по способу Ньютона. Принимаем за нулевое приближение к искомому $\mu^2 = 0$. Тогда первое приближение находим по формуле:

$$\mu_1^2 = - \frac{f(0)}{\left. \frac{df(\mu^2)}{d(\mu^2)} \right|_{\mu^2=0}} = \frac{c \mathfrak{M}_0 H U \cos \varphi}{c(H^2 + J_Y \mathfrak{M}_0) + D H U \cos \varphi}.$$

Квадраты остальных частот имеют значения:

$$\mu_2^2 = \frac{c}{m} + \frac{1}{H^2 m} \left[c(J_Y \mathfrak{M}_0 - J_c H U \cos \varphi) + D(H U \cos \varphi - \frac{J_Y c}{m}) \right] \approx \frac{c}{m}; \\ \mu_3^2 = \frac{H^2}{J_Y J_c} + \frac{D}{J_c m} + \frac{H U \cos \varphi}{J_Y} - \mu_1^2 - \mu_2^2 \approx \frac{H^2}{J_Y J_c}.$$

Общее решение системы (6) будет иметь вид:

$$\alpha = \sum_{i=1}^3 C_i \cos(\mu_i t + \eta_i); \quad \beta = \sum_{i=1}^3 C_i a_i \sin(\mu_i t + \eta_i) + \beta_r; \\ \theta = \sum_{i=1}^3 C_i b_i \sin(\mu_i t + \eta_i) + \theta_r, \quad (7)$$

где C_i, η_i – произвольные постоянные;

$$a_i = \frac{H U \cos \varphi - J_Y \mu_i^2}{H \mu_i}; \quad b_i = \frac{ml_Y \mu_i^2 - c_2}{r(c - m \mu_i^2)} a_i; \\ \beta_r = \frac{c H U \sin \varphi}{c \mathfrak{M} - c_2^2}; \quad \theta_r = \frac{c_2 H U \sin \varphi}{r(c \mathfrak{M} - c_2^2)}.$$

Анализируя полученное решение (7), убеждаемся, что на основное прецессионное движение накладываются весьма малые колебания с частотами μ_2 и μ_3 . Поэтому движение ЧЭ приближенно можно представить происходящим только с частотой μ_1 . Выпишем формулы периодов свободных незатухающих колебаний прецессионного движения ЧЭ в зависимости от природы восстанавливающего момента.

Для поплавковых гирокомпасов с упругим и маятниковым восстанавливающими моментами

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{H}{M_0 U \cos \varphi} + \frac{J_Y}{HU \cos \varphi} + \frac{D}{c M_0}} \approx 2\pi \sqrt{\frac{H}{M_0 U \cos \varphi} + \frac{J_Y}{HU \cos \varphi}},$$

$$\text{где } M_0 = c_l - Pl_Y + QL_Y - \frac{c_2^2}{c_3 + \frac{P-Q}{r}}.$$

Можно показать, что период свободных колебаний поплавковых маятниковых гирокомпасов, у которых допустимо считать $P \approx Q$, определяется по формуле

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{H}{Pl_0 U \cos \varphi} + \frac{J_Y}{HU \cos \varphi} + \frac{J_c}{Pl_0}} \approx 2\pi \sqrt{\frac{H}{Pl_0 U \cos \varphi}},$$

где $l_0 = L_y - l_y$ – расстояние между центром тяжести ЧЭ и центром его объема по оси OY .

Период маятникового гирокомпаса вычисляется по формуле ($l_y = -l$)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{H}{Pl_0 U \cos \varphi} + \frac{J_Y}{HU \cos \varphi} + \frac{J_X}{Pl} + \frac{r}{g}} \approx 2\pi \sqrt{\frac{H}{Pl_0 U \cos \varphi}},$$

где l – расстояние от полюса до центра тяжести ЧЭ.

Заметим, что в гирокомпасах, имеющих точку подвеса, полюс O следует считать неподвижным, т. е. $\theta = \varepsilon = 0$ и приведенные соотношения несколько упрощаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ливров В. И., Оглобин В. Н. Маркшейдерские гирокомпасы СССР и зарубежных стран. «Уголь», 1965, № 7.
2. Василенко В. П., Темченко М. Е. К теории гирокомпаса на торсионном подвесе. «Механика твердого тела», 1966, № 1.
3. Селезнев С. Р. Точный гирокомпас на неподвижном основании. «Инженерный журнал», 1963, т. III, вып. 4.
4. Сергеев М. А. Поплавковый гирокомпас с жестким торсионным подвесом. Изв. вузов СССР — «Приборостроение», 1965, т. VIII, № 3.
5. Liersch W. Der Entwicklungsstand bei Vermessungen Kreiselgerat. Vermessungs-technik, 1964, Nr. 9.

Владимир Александрович Каракашев

(1928 – 1991)

Заведующий кафедрой с 1982 по 1991 год



В.А.Каракашев в 1951 году окончил Ленинградское высшее морское инженерное училище им. адмирала С.О. Макарова (Ленинградское высшее мореходное училище) по специальности «Судоходение». С 1952 по 1953 г. работал инженером в ЦНИИ морского флота.

В 1953 г. он перешел на работу в ЛИТМО. В 1953–1957 гг. – старший лаборант, в 1957 – 1961 г. – ассистент кафедры № 56.

В 1958 г. В.А.Каракашев защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук.

С 1961 по 1973 г. занимал должность доцента кафедры «Гироколические и навигационные приборы» ЛИТМО.

В 1963 г. В.А.Каракашеву присвоено ученое звание доцент по кафедре «Гироколические и навигационные приборы».

В 1973 г. он защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

В 1973 г. В.А.Каракашеву присвоено звание профессора кафедры «Гироколические и навигационные приборы».

По предложению В.А.Каракашева в учебный план подготовки студентов по специальности «Гироколические устройства» была введена дисциплина «Инерциальные навигационные системы». Им была подготовлена программа дисциплины, написан конспект лекций и поставлен цикл лабораторных работ. Развитию этой дисциплины в учебном процессе Владимир Александрович уделял постоянное внимание.

С 1957 г. по 1981 годы по совместительству работал в Государственном научно-исследовательском навигационно-гидографическом институте МО, где возглавлял научно-исследовательские работы по теории навигационных систем для атомного подводного флота. С 1982 г. по 1991 г. В.А.Каракашев занимал должность заведующего кафедрой «Бортовые приборы управления». С 1986 г. 1991 г. являлся деканом факультета точной механики и вычислительной техники ЛИТМО.

Важным результатом научной деятельности В.А.Каракашева стал предложенный им принципиально новый подход к исследованию ошибок инерциальных навигационных систем: «Аналоговая форма описания ошибок инерциальных навигационных систем» (Изв. вузов СССР – Приборостроение, 1978, № 10). При таком подходе выводятся кинематические уравнения, связывающие ошибки в выработке курса, широты и долготы объекта с ошибками в моделировании вертикали места и инерциальной системы координат. С помощью кинематических уравнений осуществляется преобразование дифференциальных уравнений ошибок из классической в аналоговую форму. Последняя обладает большей физической наглядностью и уменьшает трудности, связанные с интегрированием дифференциальных уравнений ошибок ИНС.

В.А.Каракашев – известный специалист в области систем навигации, геодезии и управления движением. Он признан в научной среде основоположником научной школы «Навигационные и геодезические системы». Им подготовлены 15 кандидатов технических наук. По результатам дальнейших работ в этом направлении О.Н.Анучин и Г.И.Емельянцев защищили диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук.

В.А.Каракашев – автор около 90 научных трудов и изобретений.

Большой вклад в развитие ЛИТМО В.А.Каракашев внес, будучи долгое время Ученым секретарем Ученого совета ЛИТМО.

Награжден медалью «За трудовую доблесть» (1981) и другими медалями СССР.

В. А. КАРАКАШЕВ

ОБОБЩЕННЫЕ УРАВНЕНИЯ ОШИБОК ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ*

Выводятся уравнения ошибок инерциальных навигационных систем в выработке навигационной информации о движении объекта в зависимости от ошибок аналогов, моделирующих инерциальную и горизонтную системы координат; приводятся векторные дифференциальные уравнения ошибок моделирующих аналогов.

Координаты местоположения объекта вырабатываются инерциальными навигационными системами (ИНС) на основании определения угловой ориентации вертикали места относительно выбранной инерциальной навигационной системы координат. Для объектов, перемещающихся по земной поверхности или вблизи нее, естественно определять местоположение p некоторой земной навигационной системе координат. В вычислительном устройстве ИНС информация о движении объекта относительно инерциальной системы координат преобразуется в информацию относительно земной системы [1]. Таким образом, в ИНС посредством механических и аналитических аналогов моделируются три заранее выбранные системы координат: горизонтная, инерциальная и земная.

Найдем уравнения ошибок ИНС в выработке навигационных параметров движущегося объекта в зависимости от ошибок аналогов моделируемых систем координат. Пусть вертикаль ξ_n текущего местоположения объекта определяется в некоторой инерциальной системе отсчета $\xi_n \eta_n \zeta_n$ сферическими координатами μ_n, v_n (рис. 1)¹.

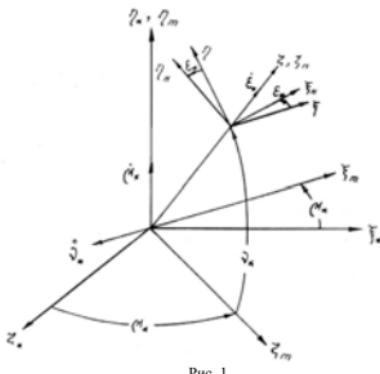


Рис. 1

Оси ξ_n, η_n горизонтной системы координат $\xi_n \eta_n \zeta_n$ лежат в горизонтальной плоскости и развернуты

относительно плоскости $\eta_n O \zeta_n$ на угол ε_n .

Положим, что в ИНС система координат $\xi_n \eta_n \zeta_n$ моделируется с точностью до трех малых углов α, β, γ трехгранником $x \eta z$ (рис. 2), а система $\xi_n \eta_n \zeta_n$ — с точностью до трех малых углов α, β, γ трехгранником $x_n y_n z_n$ (рис. 3).

* Журнал Известия вузов. «Приборостроение». — 1973, — т. XVI, № 3. С. 87–93.

¹ Высота (глубина) объекта с длительным временем движения обычно вырабатывается вне ИНС.

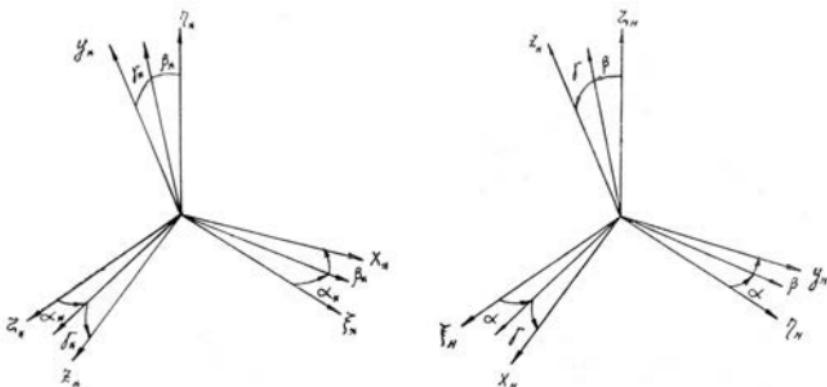


Рис. 3.

Рис. 3.

Переход от системы координат $\xi^*\eta^*\zeta^*$ к системе $\xi_{\mu}\eta_{\mu}\zeta_{\mu}$ возможно осуществить путем трех последовательных поворотов соответственно на углы μ^* , ν^* , ϵ^* . При этом матрица преобразования имеет следующий вид:

$$A = \begin{bmatrix} \cos \mu_* \cos \epsilon_* & \cos \nu_* \sin \epsilon_* & -(\sin \mu_* \cos \epsilon_* + \\ -\sin \mu_* \sin \nu_* \sin \epsilon_* & \cos \nu_* \sin \epsilon_* & +\cos \mu_* \sin \nu_* \sin \epsilon_*) \\ -(\cos \mu_* \sin \epsilon_* + & \cos \nu_* \cos \epsilon_* & \sin \mu_* \sin \epsilon_* - \\ +\sin \mu_* \sin \nu_* \cos \epsilon_*) & \sin \mu_* \cos \epsilon_* & -\cos \mu_* \sin \nu_* \cos \epsilon_* \\ \sin \mu_* \cos \epsilon_* & \sin \nu_* & \cos \mu_* \cos \nu_* \end{bmatrix} \quad (1)$$

Для определения искомых зависимостей найдем матрицу преобразования от трехгранника xyz к трехграннику $x_{\mu}y_{\mu}z_{\mu}$

$$B = A_{\mu} A A^T \quad (2)$$

где A_{μ} — матрица преобразования от трехгранника $\xi_{\mu}\eta_{\mu}\zeta_{\mu}$ к трехграннику $x_{\mu}y_{\mu}z_{\mu}$, а A^T — матрица, транспонированная по отношению к матрице A , характеризующей преобразование от трехгранника $\xi^*\eta^*\zeta^*$ к трехграннику xyz .

Если положить углы α , β , γ , α_* , β_* , γ_* малыми и не учитывать величин второго и высшего порядков относительно рассматриваемых ошибок аналогов, то матрицу (2) можно представить в виде

$$B = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} \end{bmatrix}$$

где

$$\begin{aligned} B_{11} &= A_{11} + A_{12}\beta_* - A_{13}\gamma_* + A_{21}\alpha - A_{31}\gamma^*, \quad B_{12} = -A_{11}\beta_* + A_{12} + A_{13}\gamma^* + A_{22}\alpha - A_{23}\gamma^*, \\ B_{21} &= -A_{11}\alpha + A_{21} + A_{22}\beta_* - A_{23}\gamma_* + A_{31}\beta^*, \quad B_{22} = -A_{12}\alpha - A_{21}\beta_* + A_{22} + A_{23}\gamma^* + A_{32}\beta^*, \\ B_{31} &= A_{11}\gamma - A_{21}\beta + A_{31}\alpha + A_{32}\beta_* - A_{33}\alpha^*, \quad B_{32} = A_{12}\gamma - A_{22}\beta - A_{31}\beta_* + A_{32} + A_{33}\gamma^*, \\ B_{13} &= A_{11}\alpha_* - A_{12}\gamma_* + A_{13}\alpha - A_{33}\gamma^*, \\ B_{23} &= -A_{12}\alpha + A_{21}\alpha_* - A_{22}\gamma_* + A_{31}\alpha + A_{33}\beta^*, \\ B_{33} &= A_{13}\gamma^* - A_{23}\beta + A_{31}\alpha_* - A_{32}\gamma_* + A_{33}, \end{aligned} \quad (3)$$

A_{ij} — элементы матрицы (1).

В силу неизбежно существующих ошибок аналогов, координаты μ_* , v_* вырабатываются с некоторыми погрешностями $\Delta\mu_*$, Δv_* . Следовательно, матрицу (3) можно по аналогии с матрицей A представить в виде

$$B = \begin{bmatrix} \cos \mu_{*c} \cos \varepsilon_* & \cos \nu_{*c} \sin \varepsilon_* & -(\sin \mu_{*c} \cos \varepsilon_* + \\ -\sin \mu_{*c} \sin \nu_{*c} \sin \varepsilon_* & \cos \nu_{*c} \cos \varepsilon_* & +\cos \mu_{*c} \sin \nu_{*c} \sin \varepsilon_*) \\ -(\cos \mu_{*c} \sin \varepsilon_* + & \sin \mu_{*c} \sin \nu_{*c} \cos \varepsilon_*) & \sin \mu_{*c} \sin \nu_{*c} - \\ \sin \mu_{*c} \cos \nu_{*c} & \sin \nu_{*c} & -\cos \mu_{*c} \sin \nu_{*c} \cos \varepsilon_* \\ \end{bmatrix} \quad (4)$$

где

$$\mu_{*c} = \mu_* + \Delta\mu_*, \quad \nu_{*c} = \nu_* + \Delta\nu_*$$

Считая $\Delta\mu_*$, $\Delta\nu_*$ малыми и приравнивая элементы B_{12} , B_{22} , B_{33} матриц (3) и (4), найдем из полученных равенств искомые уравнения ошибок в выработке условного курса K_y и координат μ_* , ν_* , объекта в зависимости от ошибок моделирования β , γ вертикаль и α , β_* , γ инерциальной системы координат

$$\begin{aligned} z &= \frac{1}{\cos \nu_*} [(\beta_* \cos \mu_* + \gamma_* \sin \mu_*) + (\beta \sin \varepsilon_* + \gamma \cos \varepsilon_*) \sin \nu_*], \\ \Delta\nu_* &= -(\beta_* \sin \mu_* + \gamma_* \cos \mu_*) + (-\beta \cos \varepsilon_* + \gamma \sin \varepsilon_*) \sin \nu_*, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\Delta\mu_* = -z_* + \frac{1}{\cos \nu_*} [(\beta_* \cos \mu_* + \gamma_* \sin \mu_*) \sin \nu_* + (\beta \sin \varepsilon_* + \gamma \cos \varepsilon_*)]$$

Вводя переменные

$$z_* = \beta_* \cos \mu_* + \gamma_* \sin \mu_*, \quad p_* = -\beta_* \sin \mu_* + \gamma_* \cos \mu_*, \quad (6)$$

представим уравнения ошибок (5) в виде

$$\begin{aligned} z &= \frac{1}{\cos \nu_*} [z_* + (\beta \sin \varepsilon_* + \gamma \cos \varepsilon_*) \sin \nu_*], \\ \Delta\nu_* &= p_* + (-\beta \cos \varepsilon_* + \gamma \sin \varepsilon_*), \\ \Delta\mu_* &= -z_* + \frac{1}{\cos \nu_*} [z_* \sin \nu_* + (\beta \sin \varepsilon_* + \gamma \cos \varepsilon_*)]. \end{aligned} \quad (7)$$

Малые углы τ_* , ρ_* представляют собой ошибки аналога $x_m y_m z_m$ системы координат $\xi_m \eta_m \zeta_m$ (рис. 1) в моделировании оси η_m (η_*).

Уравнения ошибок в выработке составляющих абсолютной линейной скорости V объекта на выходе ИНС нетрудно получить, воспользовавшись известными зависимостями [2]:

$$\dot{\varphi}_* = \frac{V_\eta}{R_{\nu_*}}, \quad \dot{\mu}_* = \frac{V_\xi}{R_{\mu_*} \cos \nu_*}, \quad (8)$$

где V_ξ , V_η — составляющие скорости V вдоль осей сопровождающего трехгранника $\xi \eta \zeta$ а $R_\eta R_\mu$ — радиусы кривизны земной поверхности соответственно в плоскости углов v и в перпендикулярной плоскости, проходящей через вертикаль ξ . При учете несферичности Земли R_{ν_*} , R_μ — величины переменные. Варьируя зависимости (8), найдем искомые уравнения ошибок

$$\begin{aligned} \Delta V_\xi &= R_{\mu_*} (\dot{\mu}_* \cos \nu_* - \Delta\nu_* \dot{\mu}_* \sin \nu_*) + \Delta R_{\mu_*} \dot{\mu}_* \cos \nu_*, \\ \Delta V_\eta &= R_{\nu_*} \Delta\nu_* + \Delta R_{\nu_*} \dot{\nu}_*. \end{aligned} \quad (9)$$

Если не учитывать ошибок ΔR_μ , ΔR_ν в формировании численных значений радиусов R_{μ_*} , R_ν в вычислительном устройстве ИНС, то уравнения (9) примут более простой вид:

$$\begin{aligned} \Delta V_\xi &= R_{\mu_*} (\dot{\mu}_* \cos \nu_* - \Delta\nu_* \dot{\mu}_* \sin \nu_*), \\ \Delta V_\eta &= R_{\nu_*} \Delta\nu_*. \end{aligned} \quad (10)$$

Уравнения для ошибок $\Delta\nu_\xi$, $\Delta\nu_\eta$ в выработке относительной скорости v объекта легко получить из

НАВИГАЦИЯ: ОТ ИСТОКОВ ДО НАШИХ ДНЕЙ

уравнений (9), (10), полагая

$$V_{\xi} = v_{\xi}, \quad V_{\eta} = v_{\eta}, \quad p_x = p, \quad v_x = v, \quad R_{\mu} = R_{\mu}, \quad R_{v_x} = R_v, \quad (11)$$

где μ, v — координаты объекта в некоторой земной навигационной системе координат $\xi_E \eta_E \zeta_E$, а $R_v R_{\mu}$ — радиусы кривизны земной поверхности в плоскости углов v и в перпендикулярной плоскости.

Уравнения ошибок в выработке условного курса, координат и составляющих линейной скорости объекта справедливы как для автономных, так и для корректируемых инерциальных систем и не зависят от типа и конструкции ИНС, а также выбранных навигационных систем координат.

Для целей анализа и синтеза различных схем ИНС необходимо ввести уравнения ошибок моделирующих аналогов. Следует отметить, что уравнения ошибок механических и аналитических аналогов описываются идентичными векторными дифференциальными уравнениями. В случае корректируемой ИНС векторное уравнение ошибок аналога $x_u y_u z_u$ в моделировании некоторой горизонтной системы координат $\xi_u \eta_u \zeta_u$ можно представить в виде

$$\ddot{\bar{\Lambda}}_u + \bar{m}_u \times \bar{\Lambda}_u = \ddot{\bar{\delta}} + \Delta \bar{m}_u + \bar{q}_u, \quad \bar{\Lambda}_u = \bar{\alpha} + \bar{\beta} + \bar{\gamma}, \quad (12)$$

а для аналога $x_y z$, моделирующего инерциальную систему координат $\xi_y \eta_z \zeta$, в виде

$$\frac{d\bar{\Lambda}_*}{dt} = \ddot{\bar{\delta}} + \bar{q}_*, \quad \bar{\Lambda}_* = \bar{\alpha}_* + \bar{\beta}_* + \bar{\gamma}_*, \quad (13)$$

где $\bar{\Lambda}_u, \bar{\Lambda}_*$ — векторы малых угловых ошибок аналогов; $\ddot{\bar{\delta}}$ — вектор абсолютной угловой скорости вращения механического аналога при отсутствии сигналов, управляющих работой его исполнительных элементов; \bar{q}_u, \bar{q}_* — векторы дополнительной угловой скорости вращения аналогов, обусловленных специальными корректирующими сигналами для уменьшения ошибок моделирования.

Полагая в (12) и (13)

$$\bar{q}_u = \bar{q}_* = 0, \quad (14)$$

получим векторные уравнения ошибок аналогов для автономных ИНС.

Формирование специальных корректирующих сигналов осуществляется на основании внешней информации о скорости, курсе и координатах объекта, а также за счет использования систем слежения за небесными телами и гироскопов на новых физических принципах. Внешняя навигационная информация непосредственно или после специальной обработки сравнивается с выходной информацией ИНС, и в результате выделяются ошибки инерциальной системы с точностью до ошибок внешних навигационных устройств. Выделенные ошибки ИНС используются для коррекции аналогов вертикальной и инерциальной системы координат, компенсации инструментальных погрешностей измерительных элементов системы и для сброса накопившихся ошибок системы.

Предлагаемый метод позволяет с помощью уравнений (5) или (7) исключить из дифференциальных уравнений (12) и (13) аналогов ошибки $\alpha, \Delta\mu, \Delta v$ и свести теорию ошибок ИНС к теории ошибок аналогов, а проблему увеличения точности инерциальных систем — к проблеме увеличения точности аналогов вертикальной системы координат.

В случае автономной ИНС уравнения ошибок аналога инерциальной системы координат можно представить в виде

$$\dot{x}_* = \dot{\delta}_{y_m}, \quad \dot{\tau}_* - \dot{\mu}_* \dot{p}_* = \dot{\delta}_{z_m}, \quad \dot{p}_* + \dot{\mu}_* \tau_* = \dot{\delta}_{x_m}, \quad (15)$$

где $\delta_{x_m}, \delta_{y_m}, \delta_{z_m}$ — проекции угловой скорости $\ddot{\bar{\delta}}$ на оси x_m, y_m, z_m .

Уравнения (15) легко получить, проектируя векторное уравнение (13) на оси x_m, y_m, z_m . Отметим также, что уравнения ошибок в моделировании оси η_* могут быть получены дифференцированием по времени равенств (6).

Интегрируя уравнения (15), получаем

$$\begin{aligned} \tau_* &= \tau_*(0) + \int_0^t \tilde{\delta}_{y_m} dt, \\ \tau_* &= \tau_*(0) \cos [\mu_*(t) - \mu_*(0)] + \rho_*(0) \sin [\mu_*(t) - \mu_*(0)] + \\ &\quad - \cos \mu_*(t) \int_0^t [\tilde{\delta}_{z_m} \cos \mu_*(t) - \tilde{\delta}_{x_m} \sin \mu_*(t)] dt + \\ &\quad + \sin \mu_*(t) \int_0^t [\tilde{\delta}_{x_m} \cos \mu_*(t) + \tilde{\delta}_{z_m} \sin \mu_*(t)] dt, \quad (16) \\ \rho_* &= \rho_*(0) \cos [\mu_*(t) - \mu_*(0)] - \tau_*(0) \sin [\mu_*(t) - \mu_*(0)] + \\ &\quad + \cos \mu_*(t) \int_0^t [\tilde{\delta}_{x_m} \cos \mu_*(t) + \tilde{\delta}_{z_m} \sin \mu_*(t)] dt - \\ &\quad - \sin \mu_*(t) \int_0^t [\tilde{\delta}_{z_m} \cos \mu_*(t) - \tilde{\delta}_{x_m} \sin \mu_*(t)] dt. \end{aligned}$$

Если теперь из уравнений ошибок аналога вертикали исключить с помощью зависимостей (7) переменные α , $\Delta\mu_*$, $\Delta\nu$, а также переменные ΔV_z , ΔV_y , то получим два дифференциальных уравнения для β и γ , в правые части которых, помимо инструментальных погрешностей гироскопов и акселерометров, будут входить известные теперь ошибки τ и ρ . Интегрирование этих уравнений позволит найти аналитические выражения для ошибок β и γ аналога вертикали.

Подставляя полученные выражения для переменных α_* , τ_* , ρ_* , β , γ в (7) и (10), легко найти уравнения ошибок анализируемой схемы ИНС в выработке навигационной информации о движении объекта относительно выбранной инерциальной системы координат [3, 4]. Преобразование навигационной информации в некоторую земную навигационную систему координат может быть осуществлено посредством формул преобразования [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Каракашев В. А. Преобразование навигационной информации в вычислительном устройстве инерциальной навигационной системы // Изв. вузов СССР. Приборостроение, 1968, т. XI, № 9.
2. Булгаков Б. В. Прикладная теория гироскопов. ГИТЛ, 1955.
3. Каракашев В. А. Использование кинематических уравнений ошибок для анализа инерциальных навигационных систем // Изв. вузов СССР. Приборостроение, 1970, т. XIII, № 8.
4. Каракашев В. А., Роженский С. Я. К вопросу о погрешностях инерциальной навигационной системы, построенной на основе гирогоризонткомпаса // Изв. вузов СССР. Приборостроение, 1972, т. XV, № 4.

Владимир Григорьевич Пешехонов

Заведующий кафедрой с 1991 года



В.Г.Пешехонов в 1958 г. окончил с отличием радиофизический факультет Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина.

Работает в ЦНИИ «Электроприбор» с 1958 г. Прошел путь от инженера до генерального директора ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

Выдающийся ученый в области систем навигации и управления движением, крупный организатор науки.

С 1973 г. главный конструктор высокоточных навигационных комплексов крупных подводных и надводных кораблей Военно-Морского Флота.

Им создано три поколения комплексов и решена проблема прецизионной автономной навигации, обеспечивающей плавание в любом районе Мирового океана и составляющих основу навигационного вооружения кораблей всех классов.

Участвовал в испытаниях атомных подводных лодок четырех проектов и головного атомного крейсера. В ходе испытаний нового навигационного комплекса участвовал в качестве технического руководителя в первом зимнем походе отечественной атомной подводной лодки к Северному географическому полюсу в марте 1980 г.

В последние годы В.Г. Пешехоновым и его сотрудниками завершено создание прецизионного морского навигационного комплекса для вновь строящихся и модернизируемых атомных подводных лодок всех проектов. Впервые в полном объеме обеспечено выполнение требований вооружения кораблей к навигационно-геодезическому обеспечению. Создан первый российский многофункциональный перископический комплекс непроникающего типа, который устанавливается на всех строящихся в стране подводных лодках, в том числе экспортных.

В настоящее время работает над созданием интегрированных систем боевого управления подводных лодок и структурой морских сетецентрических систем. На этой основе под его руководством начата разработка интегрированной системы освещения обстановки.

Автор более 270 опубликованных научных работ.

В. Г. Пешехонов ведет большую научно-организационную и преподавательскую работу: председатель научно-координационного экспертного совета по федеральной целевой программе «Развитие гражданского судостроения и морской техники»; председатель секции Научно-технического совета Военно-промышленной комиссии при Правительстве РФ; член Совета по научной и технической политике при Министерстве обороны Российской Федерации; председатель секции Межведомственного совета по премиям Правительства РФ в области науки и техники; член бюро Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН; председатель Научного совета РАН по проблемам транспорта; член бюро Научного совета РАН по проблеме «Координатно-временное и навигационное обеспечение»; руководитель Санкт-Петербургской территориальной группы Российского национального комитета по автоматическому управлению; член Научно-технического совета при Правительстве Санкт-Петербурга; член Промышленного совета Санкт-Петербурга; председатель Комиссии по проведению конкурса по поддержке научных, научно-образовательных и научно-популярных периодических изданий Санкт-Петербурга.

Президент международной общественной организации «Академия навигации и управления движением», объединяющей более 400 ведущих ученых из 11 стран: Белоруссии, Болгарии, Германии, Индии, Китая, России, США, Турции, Украины, Франции, Южной Кореи.

Главный редактор журнала «Гирокопия и навигация» и английской версии этого журнала Gyroscopy and Navigation; член редколлегии журналов: «Автоматика и телемеханика» (РАН), «Судостроение», «Морская радиоэлектроника», «Навигация и гидрография», «Авиакосмическое приборостроение», «Мехатроника, автоматика, управление», «Теория и системы управления».

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Председатель программного и организационного комитетов ежегодной Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам и конференции памяти выдающегося конструктора гироскопических приборов и систем Н.Н. Острякова, председатель программного комитета Российской мультиконференции по проблемам управления.

Заведующий базовой кафедрой «Информационно-навигационные системы» Национального исследовательского университета «Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики».

Лауреат Ленинской премии, лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, лауреат премии им. академика А.Н.Крылова в области технических наук Правительства Санкт-Петербурга и Санкт-Петербургского научного центра РАН.

Почетный судостроитель, Почетный доктор Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ». Награжден орденами «За заслуги перед Отечеством» III и IV степеней, Золотой медалью Леонарда Эйлера за создание современных систем навигации, лауреат «Золотой Книги Санкт-Петербурга».

Имя В.Г.Пешехонова присвоено планете № 11444.

В. Г. ПЕШЕХОНОВ

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ СИСТЕМ*

Рассмотрены итоги российских работ в области гироскопических средств навигации и ориентации за последние пятнадцать лет. Анализируется уровень современных разработок и прогнозируется развитие инерциальных технологий на обозримую перспективу.

Введение

Пятнадцать лет назад был опубликован обзор [1], в котором рассматривалось состояние и перспективы развития инерциальных средств навигации в России. Представляется целесообразным проанализировать итоги прошедшего периода, оценить, что удалось, а что предстоит сделать в следующие пятнадцать лет – до конца первой четверти XXI века. Пятнадцатилетний отрезок времени выбран не случайно: опыт показывает, что примерно такой период времени проходит от начала разработки гироскопа до начала серийного выпуска инерциальной системы на его основе.

Обзор, естественно, отражает личную точку зрения автора. Она основывается как на опыте ЦНИИ «Электроприбор», который продолжает активно работать в области инерциальных технологий, так и на базе знаний в этой области, содержащейся в выпусках журнала «Гироскопия и навигация», трудах конференции памяти Н.Н.Острыкова, Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам, Штутгартского симпозиума по гиroteхнологиям (теперь симпозиум Университета г. Карлсруэ), а также в ряде монографий.

В середине девяностых годов в стране доминирующим был процесс совершенствования инерциальных технологий, созданных в предыдущие десятилетия, но уже было понятно, что в новых экономических условиях требуется пересмотр направления работ.

Кратко рекомендации работы [1] сводились к следующему:

- в области гироскопов усилия сосредоточить на развитии волновых оптических гироскопов (лазерного, волоконно-оптического) и волнового твердотельного;
- в области инерциальных систем развивать бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС) на основе волновых гироскопов (имеющиеся акселерометры обеспечивают создание БИНС и в настоящей статье не рассматриваются);
- в области вычислительных средств и технической электроники перейти на современную элементную базу мирового уровня.

Последняя проблема была критической при поставке гироскопических приборов и систем на

*Журнал «Гироскопия и навигация» № 1 (72), 2011. – С. 3-16.

экспорт и в сжатые сроки решилась единственным возможным в то время путем – за счет использования импортной элементной базы. Сегодня если и существует задача в этой области, то только возвращении к российской элементной базе по мере ее совершенствования.

Первые две проблемы, однако, не утратили своей актуальности, так как в достаточном объеме решить их в прошедшие пятнадцать лет не удалось.

Механические гироскопы и инерциальные навигационные системы

Прецизионные гироскопы (случайный дрейф менее 10^{-3} град/ч). Электростатический гироскоп (ЭСГ) был и остается безусловным лидером среди наиболее точных (стабильных) гироскопов. Разработанный в 70-е годы ЭСГ с полым берилиевым ротором и оптическим списыванием положения ротора обладает большим модернизационным ресурсом, реализация которого обеспечивает эволюционное повышение точностных и эксплуатационных характеристик.

Известно, что точностные характеристики ЭСГ определяются прежде всего степенью отклонения ротора от идеального. В последнее десятилетие исследовались задачи снижения влияния наведенных на ротор зарядов, уменьшения его дисбаланса и несферичности. Стекание с ротора заряда, наведенного при взвешивании ротора, является одним из источников нестабильности дрейфа ЭСГ. Задачу уменьшения заряда удалось решить за счет специальной системы электродов подвеса [2]. Снижение дисбаланса ротора было достигнуто благодаря изменению метода взвешивания ротора при балансировке. Интегральная сферичность ротора повышена путем подбора частоты его вращения по критерию минимальной чувствительности дрейфа к изменению положения ротора в камере [3].

Наряду с гироскопами источниками погрешности инерциальной навигационной системы (ИНС) являются элементы гироориентатора – карданов подвес, в котором размещается ЭСГ, и датчики угла на осах кардановых колец. Для снижения этих погрешностей в алгоритм калибровки ИНС введен фильтр Калмана, вектор состояния которого включает наряду с коэффициентами модели дрейфа ЭСГ также и погрешности гироориентатора [4, 5, 6].

В ходе этих исследований был предложен общий подход к использованию избыточной информации при наблюдении двух векторов для повышения точности навигационных определений не только ИНС на ЭСГ, но и в ряде других задач [7].

В работе [1] отмечено, что для поддержания чрезвычайно сложной технологии ЭСГ необходимы новые области применения этого вида гироскопов. Предварительные исследования показали, что такой областью может стать ориентация космических аппаратов (КА). Преимущества ЭСГ в космических применениях очевидны. Во-первых, при прочих равных условиях в космосе точность ЭСГ должна быть выше, чем на Земле, так как уводящий момент, действующий на ротор, пропорционален квадрату напряженности поля подвеса, которая в космосе значительно снижается. Во-вторых, использование позиционных гироскопов взамен датчиков угловой скорости в системе ориентации КА позволяет снять ограничения на динамику углового движения КА, в том числе на развороты относительно орбиты для повышения информативности съемки.

Однако для реализации этих преимуществ было необходимо переработать ЭСГ и инерциальную систему ориентации, радикально снизить массогабаритные характеристики и энергопотребление, обеспечить работу на вращающемся КА.

Были разработаны малогабаритный ЭСГ со сплошным берилиевым ротором и бесплатформенная инерциальная система ориентации на его основе (БИС-ЭГ). Реализованные в БИС-ЭГ новые конструктурско-технологические решения [8] себя оправдали, и эти системы нашли в последнее десятилетие применение на ряде КА дистанционного зондирования Земли [9].

При этом были решены многие специфические задачи, в том числе задача уточнения коэффициентов модели дрейфа гироскопов в условиях полета КА по данным бортового астродатчика в

НАВИГАЦИЯ: ОТ ИСТОКОВ ДО НАШИХ ДНЕЙ

условиях недостаточной жесткости базы между БИС-ЭГ и астродатчиком [10]. Исследования дальнейших путей повышения точности ориентации привело к предложению [11] о комплексировании информации от двух гироскопических систем, имеющих отличные спектры погрешностей: БИС-ЭГ (малый дрейф при значительной шумовой составляющей) и триады волоконно-оптических гироскопов (значительный дрейф при высоком угловом разрешении).

Актуальной остается задача повышения точности списывания углового положения ротора гироскопа в связанный системе координат в полном телесном угле.

В целом тематика ЭСГ выдержала испытания временем и эволюционно развивается в интересах подводной навигации и космических применений. Мировой опыт показывает, что ресурсы повышения точности ЭСГ велики.

Об этом свидетельствует завершившийся в 2006 г. космический эксперимент по проверке общей теории относительности, проведенный Стенфордским университетом (Калифорния, США) и Национальным космическим агентством США (NASA). Задача эксперимента заключалась в измерении с помощью специального КА Gravity-Probe B деформации пространства-времени вблизи вращающейся Земли. [12]. Успех этого фантастически тонкого эксперимента определялся тем, что на борту КА опорная система координат материализовалась четырьмя криогенными ЭСГ со случайным дрейфом 10^{-11} град/ч.[13]. Очевидно, что в обозримой перспективе ЭСГ останется наиболее точным гироскопом.

Высокоточные механические гироскопы (случайный дрейф порядка 10^{-3} град/ч). К 80-м годам прошлого столетия были разработаны, освоены в производстве и выпускались серийно три вида высокоточных механических гироскопов: с поплавковым (ПГ), аэродинамическим (ШГ) и с магниторезонансным (МСГ) подвесом ротора.

Наиболее широко применялись ПГ. Они использовались в высокоточных гироскопических системах ракетно-космической техники и частично – в авиационных и морских системах. На высокоточных трехступенных поплавковых гироскопах была построена ИНС стратегических атомных подводных лодок, а на среднеточных двухступенных ПГ – система гироскопической стабилизации вооружения надводных кораблей [14]. Кроме того, морские ИНС строились на ШГ (многоцелевые атомные подводные лодки) и МСГ (дизель-электрические подводные лодки).

Новые экономические реалии 90-х годов не позволили поддерживать все ранее разработанные гироскопические технологии, а тем более разрабатывать новые. Было необходимо сократить число видов имеющихся в производстве гироскопов и ИНС на их основе. Не сразу, но в новых морских разработках выбор был сделан в пользу двухступенного ПГ. Трехступенной ПГ к тому времени необратимо отстал по точности от ЭСГ, а ШГ и МСГ безусловно уступали двухступенному ПГ по надежности и ресурсу. Однако для того, чтобы заменить ШГ и МСГ на ПГ, необходимо было на порядок поднять точность последнего. Были реализованы следующие новые технические решения: в устройство центрирования поплавковой камеры азимутального гироскопа внедрен радиальный электростатический подвес, пересмотрен технологический процесс стабилизации параметров ПГ в процессе изготовления, применена двухконтурная система термостабилизации (гироскопа и гироориентатора), использована схема автокомпенсации систематической составляющей дрейфа ПГ вращением гиростабилизированной платформы вокруг вертикальной оси, для выработки сигналов коррекции применен фильтр Калмана высокого порядка.

На базе модернизированного ПГ и вновь разработанного центрального гироскопического прибора (ранняя версия использовалась в ИНС на МСГ) была создана система инерциальной навигации и стабилизации (СИНС) «Ладога-М» [15].

Точность СИНС «Ладога-М» оказалась достаточной для решения задач навигации и стабилизации надводных кораблей всех классов – от ракетных и артиллерийских катеров для авианосца. Дополнительное повышение точности выработки навигационных параметров в процессе отра-

ботки технологии изготовления ПГ открыло еще одно направление использования СИНС – в навигационных комплексах дизель-электрических подводных лодок взамен ИНС на МСГ.

Серийность производства ПГ была дополнительно увеличена за счет их использования в гиростабилизаторе мобильного (морского и авиационного) гравиметра «Чекан-АМ», предназначенного для геологоразведочных работ на морском шельфе и других применений [16]. Этот гравиметр оказался конкурентоспособным на мировом рынке и выпускается серийно.

В итоге удалось решить задачи высокоточной морской навигации и стабилизации и сохранить выпуск ПГ и ИНС на уровне, обеспечивающем экономическую эффективность производства, и прекратить выпуск ШГ, МСГ и систем на их основе.

Механические гироскопы средней точности ($10^{-1} - 10^{-2}$ град/ч). Этот класс механических гироскопов представлен прежде всего динамически настраиваемым гироскопом (ДНГ), который до недавнего времени был основным чувствительным элементом авиационных, морских и наземных систем курсоуказания и ориентации. Однако в последние годы область применения ДНГ сужается вследствие появления более экономически эффективных (в том числе и из-за большего ресурса) волновых гироскопов.

Впрочем в некоторых применениях позиции ДНГ сохраняются. Примером могут служить инклинометрические приборы, где существуют жесткие ограничения на габариты гироскопа и необходимо обеспечить его работу в большом диапазоне температур, магнитных полей и механических воздействий. В этом отношении ДНГ пока не имеет реальных конкурентов и разработка инклинометров на базе ДНГ продолжается [17].

Следует отметить, что за последнее десятилетие достигнуты серьезные успехи в развитии теории и техники инклинометрических систем:

- разработаны новые схемы и алгоритмы малогабаритных бесплатформенных инклинометров, работающих в режиме точечного компасирования в произвольно ориентированных скважинах;
- разработана и внедрена новая схема гироскопического инклинометра, осуществляющего высокопроизводительную непрерывную съемку скважин произвольной ориентации в процессе движения вдоль ствола скважины.

В последние годы началась разработка еще одного среднеточного механического гироскопа – вибрационного гироскопа с металлическим резонатором. Очевидным достоинством этого гироскопа является простота конструкции, но оценить его параметры пока затруднительно, так как еще продолжаются испытания [18].

Волновые оптические гироскопы и бесплатформенные инерциальные системы

Волновые оптические гироскопы, реализующие эффект Саньяка, обладают рядом преимуществ перед механическими гироскопами. Они работают в широком диапазоне угловых скоростей и ускорений, обладают высокой разрешающей способностью, инвариантны к ориентации оси чувствительности относительно вектора силы тяжести, т.е. наилучшим образом подходят для построения БИНС.

Среди волновых гироскопов наибольшее распространение получили лазерные гироскопы (ЛГ) класса точности $10^{-3} - 10^{-2}$ град/ч. Сегодня это самый распространенный в мире высокоточный гироскоп. Только для гражданской и военной авиации ежегодно выпускаются тысячи БИНС на ЛГ.

Как и ЭСГ, ЛГ нашел применение в фундаментальных исследованиях – в области геодинамики. Для этой цели созданы уникальные прецизионные ЛГ, измеряющие скорость вращения Земли

НАВИГАЦИЯ: ОТ ИСТОКОВ ДО НАШИХ ДНЕЙ

с относительной погрешностью $2 \cdot 10^{-8}$ [19]. Правда, габариты и чувствительность к вибрационным возмущениям этого ЛГ столь велики, что его невозможно использовать на подвижных объектах.

К сожалению, нашу страну бум развития ЛГ обошел стороной. Возникшее еще в восьмидесятые годы технологическое отставание в этой области углубилось в девяностые годы из-за недостаточного финансирования и устаревшего оборудования. Максимум, что удалось сделать, это наладить выпуск небольшими партиями среднеточных ЛГ и БИНС. Однако работы низкой интенсивности по совершенствованию ЛГ продолжались.

В последние годы отмечается рост публикаций, посвященных исследованию вопросов зависимости погрешности ЛГ от факторов, определяющих ширину зоны захвата, прогнозированию срока службы ЛГ [20], его эксплуатационной надежности [21], методам настройки резонатора ЛГ [22]. Есть основания ожидать, что в ближайшие годы будет освоена современная технология ЛГ и начнется серийный выпуск ЛГ класса точности 10^{-2} град/ч.

Устойчиво развиваются разработки ЛГ с круговой поляризацией встречных волн и управлением режимом их генерации на основе магнитооптического эффекта Зеемана. Зеемановский ЛГ обладает существенными эксплуатационными преимуществами перед классическим ЛГ с вибрационной подставкой, но значительно уступает по точности, и поэтому область его применения достаточно узкая. Для повышения точности зеемановского ЛГ необходимо уменьшить их чувствительность к пространственно-временным вариациям внешних магнитных полей. Ведутся исследования по использованию квазичастотного режима, уменьшающего это влияние [23].

Задержка в развитии технологии ЛГ стимулировала интерес к другому виду волновых гироскопов – волоконно-оптическому (ВОГ), также основанному на эффекте Саньяка, но реализующему его в интерферометрической схеме. Потенциальное преимущество ВОГ по сравнению с ЛГ – большую величину масштабного коэффициента за счет большой длины волокна, компактно уложенного в катушке со встречной намоткой – долго не удавалось реализовать из-за значительных потерь в волокне.

Радикального снижения потерь добились разработчики волоконно-оптических линий связи. Для той же цели были разработаны эффективные источники света и оптоэлектронные преобразователи. Таким образом, без усилий со стороны разработчиков гироскопов была создана технологическая база для создания ВОГ. Первой в стране промышленный выпуск ВОГ начала фирма «Физоптика» [24], разработавшая серию ВОГ разомкнутого типа, вначале с ограниченной длиной волоконной линии и дрейфом порядка 10 град/ч, а затем с увеличенной длиной и дрейфом порядка 1 град/ч. Этот проект оказался чрезвычайно удачным, и был создан продукт, востребованный не только в стране, но и в мире. В частности, ЦНИИ «Электроприбор» разработал на базе ВОГ «Физоптики» измерители вертикальных перемещений, гиросвертикали, гироазимуторизонты и транспортные курсоуказатели, которые выпускаются мелкими сериями последние десять лет (рис. 1). При этом точность, необходимая для выработки курса, была достигнута с помощью автокомпенсации дрейфа ВОГ путем его вращения вокруг вертикальной оси [25, 26].



Рис. 1. Гироазимуторизонткомпас «Омега» для морских судов

Ключевая задача – создание БИНС – не может быть решена на базе ВОГ разомкнутого типа. Необходимы гироскопы со случайным дрейфом 10^{-2} град/ч и менее. Мировой опыт показывает, что подобные ВОГ должны строиться по более сложной схеме с замкнутой обратной связью. В настоящее время разработку высокоточных ВОГ ведут Пермская научно-производственная приборостроительная компания [27], зеленоградская компания «Оптоплинк» [28] и ЦНИИ «Электроприбор» совместно с СПбГУИТМО. Сравнительные испытания экспериментальных образцов ВОГ показали [29], что погрешность всех трех ВОГ примерно одинакова и лежит в пределах 10^{-2} град/ч. при 100-секундном осреднении. Проведенные одновременно и по той же методике испытания триады ВОГ (шифр IMU-120) одной из ведущих в этой области фирм мира IXSEA дало такой же результат.

Дальнейшие работы по созданию высокоточного ВОГ идут по пути снижения влияния на его характеристики внешних воздействий – изменений температуры окружающей среды, магнитного поля, вибраций и т.д. ВОГ особо чувствителен к температурным воздействиям. Наиболее неблагоприятны для него нестационарные радиальные температурные перепады в цилиндрической волоконной катушке [30]. Для снижения негативного влияния изменений температуры используется квадрупольная намотка волокна на катушку, тепловая модель и активная термостабилизация катушки. Реализация этих мер обеспечила стабильность дрейфа ВОГ на уровне 10^{-2} град/ч в диапазоне температур 15–35°C. Это позволило приступить к экспериментальной отработке среднеточной БИНС для надводных кораблей. Следует ожидать завершения разработки, постановки на производство и начала поставок корабельной БИНС в течение ближайших двух лет. Отработка среднеточной авиационной БИНС, которая должна работать в значительно более широком диапазоне температур, потребует большего времени, равно как и создание высокоточной БИНС (класс точности 10^{-3} град/ч), необходимой для навигационных комплексов подводных лодок и ряда других применений. Но то, что эти БИНС будут разработаны, сомнений не вызывает.

Если сопоставить этот прогноз с прогнозом развития БИНС на ЛГ, то можно сделать вывод, что БИНС на обоих типах оптических гироскопов появятся в нашей стране практически одновременно, а не с разницей более десяти лет, как это произошло за рубежом. Такое положение дел открывает для БИНС на ВОГ в нашей стране более широкие возможности, чем они имеют на зарубежных рынках, где долгие годы был представлен только ЛГ.

Волновой твердотельный гироскоп

Исследование и разработки волнового твердотельного гироскопа (ВТГ) ведутся более тридцати лет. Интерес к нему вызван уникальным сочетанием свойств: простота конструкции, высокая потенциальная точность, практически неограниченный технический ресурс, небольшие габаритные размеры и энергопотребление.

Разработку ВТГ в восемидесятые годы начал ряд ведущих гироскопических фирм страны. Были исследованы теория ВТГ [31], основы его проектирования [32] и технологии [33]. В девяностые годы появились первые экспериментальные образцы, однако стадия их исследований затянулась и не завершена до настоящего времени [34]. Не преодолены технологические трудности, прежде всего материаловедческого характера.

Тем временем в США фирма Litton (входит в корпорацию «Нортроп Грумман») начала промышленный выпуск ВТГ, который нашел ограниченное применение в космической аппаратуре, а также в инклинометрах [35]. Интересно отметить, что в этой разработке использованы некоторые достижения отечественных ученых [36].

В сложившейся ситуации трудно прогнозировать широкое применение ВТГ.

**Микроминиатюрные механические гироскопы
и инерциальные измерительные модули**

В середине восьмидесятых годов за рубежом были начаты интенсивные поиски путей создания микроминиатюрных, дешевых, пригодных для крупносерийного производства гироскопов. Во Франции фирма Sagem разработала гироскоп с четырьмя вибрирующими кварцевыми стержнями, который в дальнейшем стала выпускать крупными сериями. В США Лаборатория им. Ч. Дрейпера развila другое направление – микромеханических вибрационных гироскопов [37], которые сегодня выпускаются миллионами штук фирмами ряда стран. Класс точности этих приборов 0,01–0,1 град/с.

В России исследования микромеханических гироскопов (ММГ) начались в конце девяностых годов [38, 39, 40, 41]. Вскоре появилось первое учебное пособие для студентов [42]. Разработки микромеханических гироскопов достаточно быстро привели к созданию экспериментальных (макетных) образцов [43, 44] указанного выше класса точности.

Для освоения промышленного выпуска ММГ необходимо решить широкий круг задач:

- освоить технологию изготовления микромеханической части гироскопа с характерными размерами менее 10 мкм, соотношением размеров 1:100, зазорами в конструкции 2 мкм, точностью изготовления лучше 0,1 мкм, шероховатостью поверхности менее 0,02 мкм;
- обеспечить измерение емкости между вибраторами и основанием величиной порядка 1 пФ с погрешностью измерения не более 10^{-4} пФ;
- создать непрерывно поддерживать вакуум не хуже 10^{-3} мм рт.ст. в объеме, где размещается микромеханическая часть;
- спроектировать и изготовить специализированную большую интегральную микросхему, размещаемую в корпусе объемом менее 1 см³ вместе с микромеханической частью.

К моменту начала разработки ММГ в России подобный набор технологий отсутствовал, и это остановило ряд организаций, начавших исследовать проблему ММГ. Те, кто довел эту работу до экспериментальных образцов, пошли двумя альтернативными путями. Один путь предполагал доработку имеющихся в стране технологий и оборудования и основывался в значительной степени на искусстве технологов. Другой – изначально ориентировался на имеющиеся в мире технологии с последующим переносом их в Россию. Именно по этому пути пошел ЦНИИ «Электроприбор», разработавший свой ММГ R-R типа и привлекший в качестве изготовителя французскую специализированную фирму Tronics Microsystems [43]. Даже этой фирме потребовалось значительное время, чтобы освоить весь комплекс технологий по изготовлению ММГ, но когда процесс освоения завершился, изготовление образцов ММГ в необходимых количествах стало быть проблемой.

В мировой практике микромеханические датчики параметров движения получили широкое применение в разнообразных системах управления движением гражданско-го (от автомобилей, до управляемых игрушек) и военного назначения [45, 46]. Эта тематика не рассматривается в рамках данной статьи. Однако в последние годы работы по повышению точности ММГ привели к созданию образцов навигационной точности (лучше 15 град/ч). В литературе появились сведения о том, что фирма Thales в сотрудничестве с фирмой Tronics Microsystems получила опытные образцы ММГ с нестабильностью нуля в пуске (по вариации Аллана) на уровне 0,1 град/ч [47]. Вскоре были получены опытные образцы ММГ российской разработки того же класса точности [48].

Вибрационный минигироскоп, при изготовлении которого используются стандартные технологии микроЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, разработала фирма «Айсенс» (Москва). Разработка включает гироскоп «АИСТ-100» и ИНС «АИСТ-320» на его основе. Стабильность нуля гироско-

на в пуске при осреднении 10–100 с составила 2,5 град/ч [49].

О еще более высоких точностных характеристиках сообщалось группой норвежских авторов, разработавших на базе MEMS технологий MMG SAR-500, построенный по схеме «бабочка» из двух идентичных вибрационных систем. Заявленные характеристики гироскопа: стабильность нуля в пуске 0,04 град/ч при ширине полосы 100 Гц и диапазоне измеряемых угловых скоростей ± 500 град/с [50].

Эти достижения позволяют рассчитывать, что MMG потеснят низкоточные механические и оптические волновые гироскопы. Основное применение они найдут в интегрированных системах навигации (ИСН), где точностные характеристики обеспечиваются спутниковой навигационной системой (СНС), а инерциальный измерительный модуль (ИИМ) используется для слаживания шумов СНС и хранения навигационных данных в случае кратковременных перерывов спутниковой информации. При этом использование MMG впервые открыло возможность построения ИИМ эквивалентных аппаратуре потребителей СНС по массогабаритным характеристикам, энергопотреблению и стоимости.

Интегрированные инерциально-спутниковые системы навигации

Уже первые опыты в конце девяностых – начале двухтысячных годов показали высокую эффективность ИСН. Первоначально в составе ИСН использовались ИИМ на доступной в тот период элементной базе (ДНГ и малогабаритные ВОГ) и GPS приемники. Обработка информации велась тоже по простейшей – слабо связанной схеме. Подобная конструкция не обеспечивала адекватных массогабаритных характеристик и стоимости составных частей ИСН, но имела вполне удовлетворительные точностные характеристики и нашла применение.



Рис. 2. Интегрированная навигационная система, разработанная ЦНИИ «Электроприбор»

доплеровские сдвиги.

Преимущества сильносвязанной системы известны. Она работает способна, когда число наблюдаемых спутников меньше четырех – минимально необходимого для навигационного определения по СНС. Что это дает на практике, иллюстрирует рис. 3, где сравнены навигационные данные, полученные при движении автомобиля, непосредственно от аппаратуры потребителя СНС и от сильносвязанной ИСН. Пока автомобиль движется по набережной, по мосту и вблизи него, где наблюдается значительное число спутников, эти данные совпадают. Но на улицах даже при частичном затенении домами ошибки СНС возрастают на порядок, тогда как погрешность ИСН остается в разумных пределах.

Затем, когда появились MMG зарубежного производства, были сконструированы миниатюрные ИИМ (рис. 2) и началась отработка миниатюрных ИСН. Впоследствии в ряде случаев импортные MMG были заменены на экспериментальные отечественные, а GPS приемники – на аппаратуру потребителей ГЛОНАСС.

Интенсивное развитие отечественной спутниковой навигационной системы ГЛОНАСС открыло новые возможности развития ИСН. В частности, стало возможным построение сильносвязанной ИНС, в которой в отличие от слабосвязанной ИСН совместно обрабатываются не координаты и скорости, вырабатываемые составными частями ИСН, а дальности (квазидальности) и



Рис. 3. Испытания сильносвязанной интегрированной навигационной системы

К настоящему времени этап исследования ИСН можно считать законченным. Серийный выпуск ИСН зависит прежде всего от потребителей. Ими могут быть любые производители транспортных средств различного назначения и даже отдельные пешеходы. В замкнутых объемах, где недоступны сигналы СНС, навигационные системы могут строиться на базе микромеханических ИИМ, одометров и локальных радиомаячков.

Заключение

В прошедшее пятнадцатилетие российским разработчикам удалось полностью уйти от неэффективной элементной базы вычислительной техники и автоматики. Сохранена и развивается уникальная технология ЭСГ – единственного прецизионного гироскопа. Полностью отказаться от высокоточных механических гироскопов пока не получилось, но число их уменьшилось до одного – поплавкового.

Не удалось наладить серийный выпуск высокоточных волновых гироскопов, конкурентоспособных на мировом рынке. Однако серийно выпускаются среднеточные лазерные и волоконно-оптические гироскопы и бесплатформенные системы на их основе и завершаются разработки высокоточных волновых оптических гироскопов и БИНС.

Появились первые отечественные экспериментальные образцы микромеханических гироскопов, но технологии их производства не освоены и требуют существенных вложений.

Замедленное освоение современных инерциальных технологий определяется прежде всего отсутствием адекватного спроса на новую отечественную гироскопическую технику. В последние годы в связи с переходом российской промышленности на выпуск продукции нового поколения такой спрос начал формироваться.

В связи с этим в области инерциальных технологий будет завершена структурная перестройка и продуктовый ряд будет следующим:

- механические гироскопы будут применяться только в прецизионных ИНС, выпускаемых мелкими сериями по традиционным технологиям;
- высокоточные и среднеточные БИНС будут строиться на оптических волновых гироскопах и выпускаться крупными сериями;
- микромеханические гироскопы станут массовым продуктом, предназначенным для систем управления движением и интегрированных навигационных систем.

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Необходимый для этого научно-технический потенциал имеется. Развитие технологической базы целесообразно вести двумя путями. Производство ВОГ может быть обеспечено имеющимися технологиями. Производство высокоточных лазерных гироскопов так же, как и микромеханических быстрее можно освоить с привлечением зарубежных технологий.

В последние годы определенный интерес вызывают поиски новых видов гироскопов. Правда, только в одном случае этот интерес был вызван конкретной новой задачей – создание суперточной гироскопической системы для научного эксперимента Gravity Probe-B [12]. Созданный в рамках этой работы криогенный гироскоп предназначен исключительно для космических применений. Другие обсуждаемые виды гироскопов (интерферометрические на волнах материи, с использованием бозе-энштейновского конденсата, на сверхтекущем гелии) пока находятся в зоне интересов небольших академических исследовательских групп [51].

ЛИТЕРАТУРА

1. Пешехонов В.Г. Ключевые задачи современной автономной навигации // Гироскопия и навигация. - 1996. - № 1 (12). - С.48-55.
2. Анифногенов А.С., Дряпак О.Г., Парфенов О.И., Сумароков В.В. Потенциал ротора электростатического гироскопа при различных структурах подвеса // Гироскопия и навигация. - 2003 № 3 (42). - С.37-40.
3. Гусинский В.З., Парфенов О.И. Об одном способе повышения точности электростатического гироскопа // Гироскопия и навигация. - 2004. - № 4 (47). - С.67.
4. Гусинский В.З., Лесочевский В.М., Столбов А.Л. Автоматизированная калибровка инструментальных погрешностей прецизионной инерциальной навигационной системы на электростатических гироскопах // Гироскопия и навигация. - 2000. - № 4 (31). - С. 59.
5. Гусинский В.З., Лесочевский В.М., Столбов А.Л. Автоматическая калибровка списывающих устройств гироординатора карданной инерциальной системы на неуправляемых гироскопах // Гироскопия и навигация. - 2000. - № 1 (28). - С. 16-23.
6. Аленикки И.В., Гусинский В.З., Литманович Ю.А., А.А.Столбов. Методика калибровки геометрической погрешности кардановых подвесов инерциальной навигационной системы на неуправляемых гироскопах // Гироскопия и навигация. - 2004. - № 4 (47). - С. 76-77.
7. V.Z.Gusinsky, Y.A.Litmanovich. Use of Redundant Information in Attitude Determination from Two Vector Observations // Symposium Gyro Technology 2006, Stuttgart, Germany, p.13.0.
8. С.С.Гуревич, В.З.Гусинский, Б.Е.Ландau и др. Система ориентации космических аппаратов на базе бескарданных электростатических гироскопов со сплошным ротором // Сборник докладов VIII Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. - СПб.:ЦНИИ «Электроприбор», 2001. - С.52-59.
9. Г.П.Аншаков, В.Г.Пешехонов, Б.Е.Ландau, Л.П.Несенок. Автономная система ориентации для спутника дальнего зондирования Земли//Труды Международного семинара ИФАК «Аэрокосмическое наведение, навигация и системы управления полетом», Самара, 30 июня - 2 июля 2009 г.
10. Г.И.Емельянцев, Б.Е.Ландau, С.Л.Левин, Романенко С.Г. Калибровка инерциальной системы ориентации на электростатических гироскопах по данным астронавиризующего устройства в условиях космического аппарата // Гироскопия и навигация. 2005. - № 2 (49). - С. 69-78.
11. В.З.Гусинский, Ю.А.Литманович. Повышение точности угловой ориентации космического аппарата путем совместной обработки данных электростатических и волоконно-оптических гироскопов // Гироскопия и навигация. 2003. - № 4 (43). - С.50-58.
12. Paul S. Wesson and Mark Anderson. The Gravity Probe B Bailout // IEEE Spectrum/The Gravity Probe B Bailout, 02.04.2009.
13. Everitt C.W.F. A Superconducting Gyroscope to test Einstein General Theory of Relativity // Proceedings of the society of Photo-Optical Instrumentation Engineers August 1978, p.175-178.
14. Берман З.М., Зельдович С.М., Окон И.М., Ривкин С.С. Определение параметров качки корабля с учетом его деформаций, Л., ЦНИИ «Румба», 1989.
15. Берман З.М., Канущин В.М., Миронов Ю.В., Мохов В.П., Шарыгин Б.Л. Система инерциальной навигации и стабилизации «Ладога-М»: результаты разработки и испытаний // Гироскопия и навигация. -2002. - № 4 (39). - С.29-38.
16. Блажнов Б.А., Элинсон Л.С., Несенок Л.П., Пешехонов В.Г. Морские и авиационные гиростабилизированные гравиметры, разрабатываемые в ЦНИИ «Электроприбор». Сборник трудов I Санкт-Петербургской конференции по гироскопической технике ЦНИИ «Электроприбор», 1994. - С.114-121.
17. Биндер Я.И., Лысенко А.С., Падерина Т.В., Федорович А.Н. Об использовании различных схем гиронаклонометров для непрерывной съемки скважин различной ориентации // Гироскопия и навигация. 2010. - № 4 (71). - С. 53-72.
18. Чиковани В.В., Яценко Ю.А., Миколишин И.Т. Результаты испытаний кориолисового вибрационного гироскопа с

НАВИГАЦИЯ: ОТ ИСТОКОВ ДО НАШИХ ДНЕЙ

- металлическим резонатором на чувствительность к вибрации и удару.
- 19. Великосельцев А., Шрайбер У., Клюгер Т., Вайгат С., Грэм Р. Интерферометрия Санька для определения вращения Земли в геодезии и сейсмологии // Гирроскопия и навигация. - 2008. - № 3 (62). - С. 37-45.
 - 20. Молчанов А.В., Остров И.В., Чиркин М.В. Проблемы качества в технологиях лазерного гироскопа // X Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. - СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2003. - С.207-209.
 - 21. Молчанов А.В., Морозов Д.А., Остров И.В., Чиркин М.В. Эксплуатационная надежность колыцевых лазеров, используемых в БИНС // XI Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. - СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2004. - С.147-149.
 - 22. Чиркин М.В., Мишин В.Ю., Молчанов А.В., Морозов Д.А., Захаров М.А. Цифровая обработка сигналов колыцевого лазера при оценке характеристик лазерного гироскопа // XVII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. - СПб.: «Электроприбор», 2010. - С.53-55.
 - 23. Винокуров Ю.А., Голев Ю.Д., Дмитриев В.Г., Колбас Ю.Ю., Назаренко М.М., Тихменев Н.В. Трехосный земноводский ЛГ повышенной точности // XV Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. - СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2008. - С.116-120.
 - 24. www.fizoptika.ru
 - 25. Пешехонов В.Г., Несенюк Л.П. и др. Гирогоризонтокомпас на волоконно-оптических гироскопах с вращением блока чувствительных элементов // VIII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. - СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2001. - С.30-34.
 - 26. Адамов И.Н., Усков А.В., Шарыгин Б.Л. Измеритель деформаций корабля // Труды научно-технической конференции НПО «Агат», Москва, 2002. - С.86.
 - 27. <http://www.ppk.perm.ru>
 - 28. Колеватов А.П. и др. Волоконно-оптический гироскоп бесплатформенных инерциальных систем навигационного класса. Разработка, термокомпенсация, испытания // Гирроскопия и навигация. - 2010. - № 3 (70). - С.49-60.
 - 29. www.optolink.ru
 - 30. Мешковский И.К., Стригалив В.Е., Дайнека Б., Пешехонов В.Г., Несенюк Л.П. Трехосный волоконно-оптический гироскоп для морских навигационных систем. Гирроскопия и навигация. - 2009. - № 3 (66). - С.3-9.
 - 30. Джашитов В.Э., Панкратов В.М. Датчики, приборы и системы авиакосмического и морского приборостроения в условиях тепловых воздействий. ЦНИИ «Электроприбор», 2005.
 - 31. Журавлев В.Ф., Климов Д.М. Волновой твердотельный гироскоп. - М.: Наука, 1985.
 - 32. Матвеев В.А., Линятников В.И., Алексин А.В. Проектирование волнового твердотельного гироскопа. - М.: Изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 1998.
 - 33. Лукин Б.С. Физико-химические основы разработчик полусферических резонаторов волновых твердотельных гироскопов. - М.: Изд-во МАИ, 2005.
 - 34. Джанджава Г.И., Бахонин К.А., Виноградов Г.М., Требухов А.В. Бесплатформенная инерциальная навигационная система на базе твердотельного волнового гироскопа // Гирроскопия и навигация. - 2008. - № 1 (60). - С. 22-32.
 - 35. Линч Д., Мэттьюз А., Варти Т. Перенесение технологии создания датчиков, используемых в космических системах, в разработки, предназначенные для бурения нефтяных скважин // Гирроскопия и навигация. - 1998. - № 4 (23). - С. 132-141.
 - 36. Журавлев В.Ф., Линч Д.Д. Электрическая модель волнового твердотельного гироскопа // Известия РАН. Механика твердого тела. - 1995. - № 5. - С. 12.
 - 37. Бабур И., Шмидт Дж. Направления развития инерциальных датчиков // Гирроскопия и навигация. - 2000. - № 1(28). - С. 3-15.
 - 38. Доронин В.П., Новиков Л.З., Харламов С.А. Основные проблемы создания миниатюрного инерциального измерительного прибора на базе микромеханических чувствительных элементов // Гирроскопия и навигация. - 1996. - № 4 (15). - С.55.
 - 39. Лестев А.М., Попова И.В. Современное состояние теории и практических результатов разработки микромеханических гироскопов // Гирроскопия и навигация. - 1998. - № 3 (22). - С.81-93.
 - 40. Будкин В.Л., Паршин В.А., Прозоров С.В., Соломатин А.К., Соловьев В.М. Разработка кремниевых датчиков первичной информации для систем навигации и управления // Гирроскопия и навигация. - 1998. - № 3(22). - С.94-101.
 - 41. Северов Л.А., Пономарев В.К., Парфенов А.И., Несенюк Л.П., Кучерков С.Г. Микромеханические гироскопы - новый класс чувствительных элементов. Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции «Приборы и приборные системы». Тула, 2001.
 - 42. Распопов В.Я. Микромеханические приборы. Учебное пособие. Тул.гос.университет, Тула, 2002.
 - 43. Пешехонов В.Г., Несенюк Л.П., Кучерков С.Г., Евстифеев М.И., Некрасов Я.А., Ренар С., Пфлюгер П., Пизелла К., Коле Ж. Результаты разработки микромеханического гироскопа // Гирроскопия и навигация. - 2005. - № 3. - С. 44-51.
 - 44. Попова И.В., Лестев А.М., Семенов А.А., Иванов В.А., Ракитенский О.И., Буриев В.А. Капсулированные микромеханические гироскопы и акселерометры для цифровых систем навигации и управления// Сборник материалов XV Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным на-

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

- вигационным системам. Изд-во ЦНИИ «Электроприбор», 2008.
- 45. **Barbour N., Connelly J., Gilmore J., Greff P., Kourepenis A., Weinberg M.** Micro-electromechanical and systems development at Draper Laboratory // 3rd Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. Part I. - SPb., CSRI "Elektropribor", 1996. - С. 3.
 - 46. **Гай Э.** Наводящиеся спиральды с инерциальной навигационной системой на микромеханических датчиках, интегрированной с GPS // Навигация и гироскопия. - 1998. - № 3 (22). - С. 72-80.
 - 47. **Chaument B., Le-Vezzier B., Rongeot C., Bouyat S.** A new Silicon Tuning Fork Gyroscopes for Aerospace Applications // Symposium Gyro Technology, Universität, Karlsruhe, 2009.
 - 48. **Пешехонов В.Г., Некрасов Я.А., Пфлюгер П., Кергерис П., Хаддара Х., Эльсайд А.** Результаты испытаний микромеханического гироскопа RR-типа // Гироскопия и навигация. - № 1 (72), 2011. - С.
 - 49. **Мезенцев А.П., Фролов Е.Н., Климкин М.Ю., Мезенцев О.А.** Среднеточная ИНС «АИСТ-320» с корниловым вибрационным гироскопом «АИСТ-100». Идеология и результаты разработки, производства и испытаний // Гироскопия и навигация. - 2007. - № 3 (58). - С. 3-19.
 - 50. **Blixhaven B., Lapadatu D., Holm R., Kvisterfy T.** SAR-500-A novel high-precision gyroscope Symposium Gyro Technology. Karlsruhe, Germany, 2010.
 - 51. **Кробка Н.Н.** Квантовая механика: гироскопы на волнах де Брояля и квантовых свойствах сверхтекущей жидкости. Тенденции развития и состояние разработок. // Гироскопия и навигация. - 2009. - № 3 (66). - С. 36-55.

ГЛАВА 3

ВКЛАД ВЫПУСКНИКОВ КАФЕДРЫ В НАУКУ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Tретья глава сборника открывается двумя публикациями. Это статья бывших сотрудников кафедры В.П.Василенко, Н.К.Кошликова и М.А.Шифа, опубликованная в 1967 году, и статья выпускника кафедры 1959 года профессора В.В.Серегина, опубликованная в 1977 году, по теории корректируемого гирокомпасирования. Несмотря на господствовавшее вплоть до шестидесятых годов представление, что научно обоснованным является условие невозмущаемости Шулера, на флоте получили распространение короткопериодные и многорежимные гирокомпасы и гирогоризонткомпасы. Две указанные работы иллюстрируют достижения кафедры в период классической гирокопии, которая ушла в историю.

Далее в сборнике представлены знаковые работы выпускников кафедры, преимущественно за последние полтора десятилетия, когда в центре внимания оказались интегрированные навигационные комплексы. Случилось так, что ведущее положение в учебной и научной деятельности кафедры и ЦНИИ «Электроприбор» заняли выпускники 1970 года; это О.Н.Анучин (1945–2003), Г.И.Емельянцев, В.М.Лесючевский, Л.П.Старосельцов. О.Н.Анучин и Г.И.Емельянцев являются авторами фундаментальной монографии «Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов» (под ред. В.Г.Пешехонова), активно используемой и по сей день в учебном процессе.

К числу авторов старшего поколения относятся выпускник кафедры 1963 г., лауреат государственной премии, заслуженный изобретатель Российской Федерации, д.т.н. В.З.Гусинский, бывший в числе руководителей работ по высокоточным навигационным комплексам. Его статья в соавторстве с В.М.Лесючевским и ученым секретарем ЦНИИ «Электроприбор» Ю.А.Литмановичем также представлена в этом сборнике.

Самостоятельное направление – разработка и создание комплекса угловой ориентации для специальных искусственных спутников Земли на гирокомпасах со сферическими роторами на электростатическом подвесе представлено обзорной публикацией Б.Е.Ландау, специально подготовленной для данного сборника.

Из выпускников кафедры, работавших и/или работающих в других городах, представлены двое выдающихся ученых. М.Д.Агеев (1931–2005), академик РАН с 1992 года, окончил ЛИТМО в далеком 1954 году. В течение многих лет он работал во Владивостоке, возглавляя созданный им Институт проблем морских технологий Дальневосточного центра РАН. Руководил работами по автономным подводным роботам с манипуляторами, приспособ-

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

ленным к работам на больших глубинах. В данном сборнике представлена его посмертная обзорная публикация.

В.Я.Распопов, выпускник ЛИТМО 1962 года, заведующий кафедрой Тульского государственного университета, возглавляет научную школу специалистов по микромеханическим приборам и является руководителем ряда исследовательских работ в этой области. Его учебное пособие «Микромеханические приборы», вышедшее в 2007 году, до сих пор вполне всего освещает прикладную и научную тематику в этой области.

Две последние работы этого сборника представляют научные достижения преимущественно молодого поколения сотрудников ЦНИИ «Электротриборт», выпускников ИТМО последнего десятилетия, обучающихся аспирантов или уже получивших учёные степени кандидатов технических наук. Высокий уровень проведенных или исследований подтверждается тем, что публикации представляют статьи по докладам, сделанным на международных конференциях высокого уровня.

Таким образом, материалы сборника безусловно дадут представление о вкладе выпускников кафедры в научно-технический прогресс.

И. Б. Челпанов, доктор технических наук, профессор

В. П. ВАСИЛЕНКО, В. Н. КОШЛЯКОВ, М. А. ШИФ

К ТЕОРИИ КОРРЕКТИРУЕМОГО ГИРОГИРДИКТОМПАСА*

(Киев, Москва)

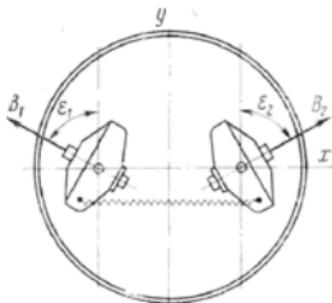
В предлагаемой работе рассматривается движение магнитниковой двухгироскопной гирорамы (фиг. 1), отличающейся от известной схемы пространственного гирокомпаса Геккелера — Аншютца [1, 2] отсутствием секторной или иной связи между гироскопами, обеспечивающей разворот осей фигур гироскопов на равные углы ε в противоположные стороны. Вследствие этого гироскопы могут поворачиваться относительно оболочки на разные углы ε_1 и ε_2 , предполагается наличие датчиков, способных непрерывно передавать информацию о значении углов ε_1 и ε_2 [3] (на фиг. 1 эти датчики не изображены). Формулируются условия, обеспечивающие невозмущаемость гиросистемы и исключение скоростной девиации.

1. Допустим, что центр O подвеса гирорамы перемещается произвольным образом по поверхности Земли, принимаемой за сферу радиуса R . В точке O поместим начала двух правых ортогональных трехгранников $x'y'z'$ и $x'uz$, из которых последний связан с рамой. Что касается трехгранника $x'y'z'$, то его движение примем поступательным, вследствие чего его оси остаются параллельными осям трехгранника $x^*y^*z^*$, ориентированного по неподвижным звездам [1].

В указанном предположении в числе сил, действующих на раму, следует предусмотреть лишь силу тяготения \mathbf{F} , приложенную к центру тяжести рамы и направленную по геоцентрической вертикали, и силу инерции \mathbf{Q} переносного движения рамы вместе с поступательно перемещающейся системой координат $x'y'z'$.

Пусть центр тяжести рамы расположен на отрицательной части оси z на расстоянии l от центра подвеса. Применительно к рассматриваемой схеме сформулируем необходимые условия, при соблюдении которых ось z будет направлена по геоцентрической вертикали, каков бы ни был закон движения точки подвеса рамы по поверхности Земли. Воспользуемся сначала теоремой моментов количества движения в рамках прецессионной теории. Имеем

$$d\mathbf{H}'/dt + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{H} = \mathbf{M}. \quad (1.1)$$



Фиг. 1

*Журнал «Механика твердого тела». - 1967. - № 5. - С. 41-44.

Здесь штрих означает локальную производную; \mathbf{H} — вектор собственного кинетического момента рамы; \mathbf{M} — суммарный момент сил, действующих на раму; $\boldsymbol{\omega}$ — угловая скорость трехгранника xyz , связанного, как указывалось выше, с самой рамой.

Проектируя (1.1) на оси x , y , z и учитывая, что векторы собственных кинетических моментов гирокопов лежат в плоскости xy , вследствие чего $H_z = 0$, получим, при условии направления оси z по геоцентрической вертикали, следующую совокупность уравнений [1]:

$$\begin{aligned} \frac{dH_x}{dt} - \omega_z H_y &= -mlR\left(-\frac{d\omega_x}{dt} + \omega_y \omega_z\right), \\ \frac{dH_y}{dt} - \omega_z H_x &= mlR\left(\frac{d\omega_y}{dt} + \omega_z \omega_x\right), \quad \omega_x H_y - \omega_y H_x = 0, \end{aligned} \quad (1.2)$$

где m — масса рамы.

Уравнения (1.2) тождественно удовлетворяются, если принять

$$H_x = mlR\omega_x, \quad H_y = mlR\omega_y. \quad (1.3)$$

При этом величина ω_z может быть совершенно произвольной и, в частности, равной нулю.

Выражения (1.3) получаются также из более общих рассуждений, если воспользоваться условиями невозмущаемости, приведенными в работах [4, 5].

В проекциях на оси x , y , z указанные условия имеют вид

$$K_x + mlV_y = 0, \quad K_y - mlV_x = 0, \quad K_z = 0. \quad (1.4)$$

Здесь K_x , K_y , K_z — проекции полного вектора кинетического момента системы (т. е. без перехода к прецессионной теории) относительно точки O при движении гирорамы относительно трехгранника $x'y'z'$; V_x , V_y — проекции скорости точки подвеса рамы. В случае, если оси xyz совпадают с направлениями главных осей инерции рамы в точке O , имеем

$$K_x = I_x \omega_x + H_x, \quad K_y = I_y \omega_y + H_y. \quad (1.5)$$

Здесь I_x , I_y — моменты инерции относительно соответствующих осей. В рассматриваемом случае ось z направлена по вертикали, поэтому

$$V_x = \omega_y R, \quad V_y = -\omega_x R. \quad (1.6)$$

Из первых двух уравнений (1.4) имеем

$$H_x = (mlR - I_x)\omega_x, \quad H_y = (mlR - I_y)\omega_y. \quad (1.7)$$

Реальные величины I_x и I_y обычно пренебрежимо малы по сравнению с большой величиной mlR ; поэтому формулы (1.3), являющиеся частным случаем (1.7), имеют достаточную практическую точность [6].

Обратимся к уравнению моментов относительно оси z . Его вообще следует писать в форме

$$I_z \frac{d\omega_z}{dt} + (I_y - I_x)\omega_x\omega_y + \omega_x H_y - \omega_y H_x = M_z^*. \quad (1.8)$$

Здесь M_z^* — суммарный момент каких-либо сторонних сил, помимо сил тяготения и инерции.

В случае, если $M_z^*=0$ и выполняются условия (1.7), из (1.8) немедленно следует интеграл

$$\omega_z = C. \quad (1.9)$$

Здесь C — постоянная интегрирования. При этом начальное значение угловой скорости ω_z можно выбрать так, чтобы постоянная интегрирования в (1.9) обратилась в нуль. В этом случае будет $\omega_z = 0$; что касается момента инерции I_z , то он может быть произвольным.

Результат (1.9) — наиболее существенный из того, что можно извлечь, выходя за пределы прецессионной теории. Он свидетельствует, что движение оболочки сферы относительно оси z определяется лишь начальным значением ω_z . Компасным свойством это движение не обладает.

2. Для дальнейшего используем уравнения, описывающие движения гироскопов вокруг вертикальных осей их кожухов. В рамках прецессионной теории эти уравнения имеют вид

$$B(\omega_x \cos \varepsilon_1 + \omega_y \sin \varepsilon_1) = N_1, \quad B(\omega_x \cos \varepsilon_2 - \omega_y \sin \varepsilon_2) = N_2, \quad (2.1)$$

где B — собственный кинетический момент каждого из двух роторов, имеющихся в раме. Учитывая, далее, что

$$H_x = -B(\sin \varepsilon_1 - \sin \varepsilon_2), \quad H_y = B(\cos \varepsilon_1 + \cos \varepsilon_2), \quad (2.2)$$

и исключая из уравнений (2.1) величины ω_x и ω_y посредством формул (1.3), имеем

$$N_1 = \frac{B^2}{mIR} \sin(\varepsilon_1 + \varepsilon_2), \quad N_2 = -\frac{B^2}{mIR} \sin(\varepsilon_1 + \varepsilon_2), \quad (2.3)$$

Выражения (2.3) определяют искомую форму зависимости моментов N_1 и N_2 от углов ε_1 и ε_2 , обеспечивающую невозмущаемость в указанном выше смысле. Моменты N_1 и N_2 имеют по существу ту же структуру, как и в пространственном гирокомпасе с секторной связью между гироскопами. Действительно, вычисляя разность $N_2 - N_1$ и полагая затем $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$, приходим к формуле Ишлинского

$$N_2 - N_1 = -\frac{4B^2}{mIR} \sin \varepsilon \cos \varepsilon. \quad (2.4)$$

В дополнение к сказанному уместно заметить, что обычная секторная связь между гироскопами обеспечивает не только их разворот на равные углы, но и определенное механическое взаимодействие между гироскопами и оболочкой [7]. При исключении секторной связи характер указанного взаимодействия изменяется. Так, например, в случае пружинной связи, указанной на фиг. 1, вертикальный момент M_z , приложенный к оболочке, передается на гироскопы (при пренебрежении трением в осах их кожухов) только через пружинную связь (при $\varepsilon_1 \neq \varepsilon_2$). Если же пружинная связь между гироскопами вообще отсутствует и моменты N_1 и N_2 формируются посредством специальных устройств соответственно условиям (2.3), то $N_1 = -N_2$, и момент M_z на гироскопы не передается.

3. Определим ориентацию оболочки относительно трехгранника, ориентированного по вектору V абсолютной скорости точки подвеса [1].

Из (1.6) имеем

$$\omega_x^2 + \omega_y^2 = V^2 / R^2. \quad (3.1)$$

Затем из (1.3), с учетом (3.1), получаем

$$H_x/H_y = \omega_x / \omega_y, \quad H_x^2 + H_y^2 = (mIV)^2. \quad (3.2)$$

Таким образом, суммарный собственный кинетический момент гироскопов направлен по горизонтальной составляющей угловой скорости вращения оболочки, и, следовательно, перпендикулярно

вектору \mathbf{V} , составляющему с направлением на истинный Север угол α^* , соответствующий скоростной девиации.

Подставляя значения H_x и H_y , определяемые согласно (2.2), в уравнения (3.2), будем иметь

$$\operatorname{tg} \alpha' = -\omega_x / \omega_y, \quad \cos \frac{1}{2}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) = mlV / 2B, \quad (\alpha' = \frac{1}{2}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)). \quad (3.3)$$

Здесь α' — угол, отсчитываемый от оси y оболочки до касательной к «компасному» меридиану.

Если посредством приложенного извне вертикального момента установить оболочку так, чтобы величина α' обратилась в нуль, то ось y оболочки будет составлять с истинным меридианом места угол, соответствующий скорости девиации α^* . При этом, как следует из (3.3), $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$. Указанный коррекционный момент, удерживающий оболочку в положении, соответствующем наличию лишь скоростной девиации, можно, например, формировать по закону

$$M_z^{(h)} = \lambda(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \quad (\lambda = \text{const}) \quad (3.4)$$

используя информацию об углах ε_1 и ε_2 .

В случае ориентации оболочки в компасном меридиане необходимая для невозмущаемости структура моментов N_1 и N_2 обеспечивается обычной пружинной связью Геккелера — Аншютца, указанной на фиг. 1. В этом легко убедиться, полагая в (2.3) $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$.

Следует вообще указать, что при наложении вертикального момента интеграл (1.9) естественно не имеет места. Однако, при выполнении условий (2.3), относящихся к невозмущаемости гirosистемы, указанный момент влияет только на азимутальное движение оболочки, не передаваясь на тирокопы. Характер азимутального слежения оболочки за гirosистемой определяется выбранным законом коррекции, угловой скоростью вращения плоскости компасного меридиана относительно оси z и каким-либо сторонним моментом, если он присутствует.

4. Рассмотрим в заключение вопрос, относящийся к ориентации оболочки относительно географического трехгранника.

Допустим, что оси x и y трехгранника, связанного с рамой, оставаясь в плоскости геоцентрического горизонта, ориентированы соответственно на Восток и на Север. В этом случае можем положить

$$\omega_x = -v_N/R, \quad \omega_y = u \cos \varphi + v_E / R, \quad (4.1)$$

где v_N , v_E — соответственно северная и восточная составляющие собственной скорости корабля; u — угловая скорость вращения Земли; φ — геоцентрическая широта места. Называя через ε_1^* и ε_2^* те значения углов ε_1 и ε_2 , которые соответствуют ориентации оболочки по географическим осям, имеем, в силу (1.3), (2.2) и (4.1),

$$B(\sin \varepsilon_1^* - \sin \varepsilon_2^*) = mlv_N, \quad B(\cos \varepsilon_1^* + \cos \varepsilon_2^*) = ml(Ru \cos \varphi + v_E). \quad (4.2)$$

Отсюда находим

$$\begin{aligned} \varepsilon_1^* &= \arccos \frac{mlV}{2B} + \alpha^*, & \varepsilon_2^* &= \arccos \frac{mlV}{2B} - \alpha^*, \\ \left(V = \sqrt{(Ru \cos \varphi + v_E)^2 + v_N^2}, \alpha^* = \arctg \frac{v_N}{Ru \cos \varphi + v_E} \right). \end{aligned} \quad (4.3)$$

Затем, разделив первое из уравнений (4.2) на второе, получаем

$$\frac{1}{2}(\varepsilon_1^* - \varepsilon_2^*) = \alpha^* \quad (4.4)$$

Это важное соотношение можно использовать для формирования коррекционного момента относительно оси z , удерживающего оболочку в истинном меридиане места.

Тогда коррекционный момент, по аналогии с (3.4), будет выражаться формулой

$$M_z^{(b)} = \lambda \left[\frac{1}{2}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) - \alpha^* \right] \quad (4.5)$$

Для его формирования необходимо располагать выражением скоростной ошибки. На фиг. 2 ξ , η — оси географического трехгранника; ξ_1 , η_1 — оси трехгранника, ориентированного по вектору V ; v — скорость движения гирокомпаса относительно земной поверхности; ψ_0 — курс, отсчитываемый от оболочки, $\alpha = \alpha'$. Обозначив через ψ_k компасный курс, имеем

$$\psi_k = \psi + \alpha^* = \psi_0 + \alpha'. \quad (4.6)$$

Следовательно, располагая информацией о значениях α' и ψ_0 , требуемую величину скоростной ошибки можно вычислить по известной формуле

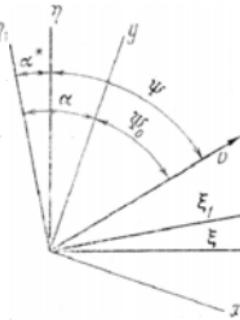
$$\sin \alpha^* = \frac{v \cos \psi_k}{R u \cos \phi} \quad (4.7)$$

Для ликвидации скоростной ошибки в показаниях оболочки следует, конечно, располагать также внешней информацией от лага и датчика широты места.

При ориентации оболочки в истинном меридиане моменты N_1 и N_2 должны, как указывалось, соответствовать условиям (2.3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ишлинский А.Ю. Механика гирокомпенсационных систем. Изд-во АН СССР, 1963.
2. Geckeler J. W. Kreiselmechanik imd Schifffmanover. Ing. Archiv., 1933, B. 4. N. 1—2.
3. Ишлинский А. Ю. Об автономном определении местоположения движущегося объекта посредством пространственного гирокомпенсатора. ПММ, 1959, т. 23, вып. 1.
4. Блюмин Г. Д., Чичинадзе М. В. Условия невозмущаемости однороторного гирокомпаса. Изв. АН СССР. Механика и машиностроение, 1964, № 3.
5. Клинов Д. М. Об условиях невозмущаемости гирокомпенсационной рамы. ПММ, 1964, т. 28, вып. 3.
6. Меркин Д. Р. Об устойчивости движения гирорамы. Инж. ж. МТТ, 1966, № 5.
7. Ишлинский А. Ю. Теория двухгирокомпенсационной вертикали. ПММ, 1957, т. 21, вып. 2.



Фиг. 2

В. В. СЕРЕГИН

ОБОБЩЕННЫЙ АЛГОРИТМ АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА ГИРОКОМПАСИРОВАНИЯ*

В работе выведен обобщенный алгоритм аналитического метода гирокомпасирования для случая неподвижного основания с учетом выполнения условий разворотов входной оси измерительного преобразователя на оптимальные значения углов и показан способ перехода от этого алгоритма к частным реализациям. Кроме того, приведены выражения погрешностей, характеризующие все рассмотренные частные случаи.

1. Для решения целого ряда навигационных задач необходимо обеспечить приборную реализацию горизонтно-географической системы координат. Это осуществляется путем построения аналога вертикали и аналога полуденной линии [1]. Считая, что аналог вертикали реализован одним из известных способов, рассмотрим, каким образом может быть решена вторая часть задачи.

Гирокомпасирование — способ определения положения плоскости меридиана, основанный на использовании горизонтальной составляющей вектора угловой скорости вращения Земли в качестве орта оси, совпадающей с северным лучом полуденной линии. Для случая неподвижного относительно Земли основания достаточно определить только направление вектора угловой скорости вращения плоскости горизонта (или аналога вертикали) в инерциальном пространстве.

В настоящее время известно много способов гирокомпасирования, которые реализуются с помощью различных измерительных преобразователей. Однако все они сводятся к измерению угловой скорости, или угла поворота, что не имеет принципиальной разницы, а отражает приборную реализацию.

В случае измерения угловой скорости выходной сигнал измерительного преобразователя может быть представлен в следующем виде:

$$F(t) = F_0(t) + F_c(t) + k\Omega(t), \quad (1)$$

где $F_0(t) = F_n + a_1 t$ — смещение нуля, которое аппроксимируем полиномом первой степени со случайными коэффициентами; $k = k_0 + \Delta k$ — масштабный коэффициент преобразователя, который представим в виде суммы его номинального значения и отклонения от этой величины; $F_c(t)$ — флюктуации выходного сигнала, имеющие случайный характер; $\Omega(t)$ — проекция вектора измеряемой угловой скорости на входную ось измерительного преобразователя.

Аналитическим будем называть метод гирокомпасирования, при реализации которого входная ось измерительного преобразователя неподвижна или имеет конечное число дискретных положений относительно плоскости меридиана, причем азимут одного из этих положений, принятый за основной, вычисляется в ЭЦВМ. В дальнейшем за основное всегда будем принимать исходное положение вход-

*Журнал Известия вузов «Приборостроение». – 1977. - № 1. - С. 77-83.

ной оси преобразователя, при котором производится первое измерение. Так как это положение осп может быть зафиксировано в плоскости горизонта, то после вычисления азимута будет определено и положение плоскости меридiana.

2. Определение. Квазидеальным будем считать такой измерительный преобразователь, который имеет инвариантные ко времени смещение нуля и масштабный коэффициент. Применимально к выражению (1)

$$F_0(t) = F_n = \text{const}; \quad k = \text{const}; \quad F_x(t) = 0.$$

Теорема I. Для того чтобы измерение направления стационарного вектора угловой скорости было инвариантно к величине масштабного коэффициента квазидеального измерительного преобразователя, необходимо и достаточно выполнить измерения модуля этого вектора в проекциях на два неколлинеарных направления входной оси этого преобразователя, лежащие в одной плоскости с вектором.

Доказательство. Дан стационарный вектор $\bar{\omega}$. Выберем ортогональную систему координат $Oxyz$ (рис. 1) так, чтобы одна из ее осей (например, Ox), совпадала с направлением этого вектора. В одной из плоскостей, проходящей через вектор $\bar{\omega}$ (например, Oxy), расположим входную ось измерительного преобразователя, направление которой зададим ортом \bar{j}_1 . Угол между векторами $\bar{\omega}$ и \bar{j}_1 обозначим A . Спроектируем вектор $\bar{\omega}$ на направление вектора \bar{j}_1 . При измерении этой проекции на выходе преобразователя получим сигнал

$$F_1 = F_n + k \cos A. \quad (2)$$

Для определения величины угла A из уравнения (2) необходимо знать величину масштабного коэффициента k , которая отличается от ее номинального значения, и поэтому также должна считаться неизвестной. Таким образом, для определения направления вектора $\bar{\omega}$ уравнения (2) оказывается недостаточно.

Чтобы получить дополнительную информацию, выполним еще одно измерение с помощью этого же измерительного преобразователя, изменив положение его входной оси на известный угол A_0 (см. рис. 1) путем поворота вокруг оси Oz . Новое направление входной оси зададим ортом \bar{j}_2 . Аналогично первому измерению

$$F_2 = F_n + k \cos (\mathcal{A}_0 - A). \quad (3)$$

Необходимость и достаточность выполненных измерений для определения положения вектора $\bar{\omega}$ относительно орта \bar{j}_1 , при неизвестной величине масштабного коэффициента следует из того, что при $A_0 \neq 0$ уравнения (2) и (3) являются линейно независимыми. Алгоритм вычисления угла A имеет вид

$$A = \arctg \frac{(F_2 - F_n) - (F_1 - F_n) \cos A_0}{(F_1 - F_n) \sin A_0} \quad (4)$$

Теорема 2. Для того чтобы измерение направления стационарного вектора угловой скорости было инвариантно к величине смещения нуля квазидеального измерительного преобразователя, необходимо и достаточно выполнить измерения модуля этого вектора в проекциях на два произвольных направления входной оси этого преобразователя, лежащие в одной плоскости с вектором.

Доказательство теоремы выполняется аналогично предыдущему доказательству. Алгоритм вычисления угла A имеет вид

$$A = \frac{A_0}{2} - \arcsin \frac{F_1 - F_n}{k \cos A_0 / 2}. \quad (5)$$

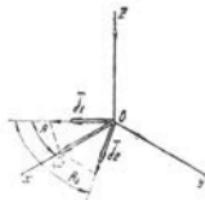


Рис. 1. Положение входной оси измерительного преобразователя угловой скорости, задаваемые ортами \bar{j}_1, \bar{j}_2

Варьируя выражения (4) и (5) и суммируя полученные дисперсии, находим формулы для среднеквадратической погрешности вычисления угла A :

$$\sigma_{1,A} = \frac{\sigma_m}{\omega} \sqrt{\frac{\cos^2 A + \cos^2(A_0 - A)}{\sin^2 A_0}}, \quad (6)$$

$$\sigma_{2,A} = \frac{\sigma_m}{\omega} \frac{\sqrt{2}}{\cos(A_0/2 - A) \sin A_0 / 2}, \quad (7)$$

где σ_m — среднеквадратическая погрешность измерения проекций вектора $\bar{\omega}$, приведенная ко входу измерительного преобразователя.

Анализируя кривые (рис. 2), построенные по формулам (6) и (7), приходим к выводу, что минимальные погрешности измерения направления вектора $\bar{\omega}$ получаются при развороте входной оси измерительного преобразователя на углы 90° и 180° соответственно для алгоритмов (4) и (5).

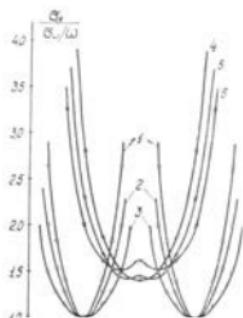


Рис. 2. Изменения относительной величины погрешности угла A в зависимости от угла поворота входной оси измерительного преобразователя. Кривые 1, 2, 3 построены по формуле (6) при $A = 30, 60, 75^\circ$; кривые 4, 5, 6 — по (7) при $A = 90, 75, 60^\circ$

системе координат определим уголом A . Спроектировав горизонтальную составляющую угловой скорости вращения Земли на направления векторов \bar{j}_k ($k = 1, 2, 3, 4$), учтя (1), получим:

$$\begin{aligned} F_1 &= F_{n1} + a_1 l + F_{c1}(l) + k_1 U \cos \phi \cos A; \\ F_2 &= F_{n2} + a_2 l + F_{c2}(l) + k_2 U \cos \phi \cos A; \\ F_3 &= F_{n3} + a_3 l + F_{c3}(l) + k_3 U \cos \phi \cos A; \\ F_4 &= F_{n4} + a_4 l + F_{c4}(l) + k_4 U \cos \phi \cos A. \end{aligned} \quad (8)$$

В общем случае выражение для вычисления угла A (см. рис. 3) может быть найдено из (8)

$$\operatorname{tg} A = \frac{k_1 + k_3}{k_2 + k_4} \cdot \frac{F_2 - F_4 + F_{n4} - F_{n3}}{F_1 - F_3 + F_{n3} - F_{n1}}. \quad (9)$$

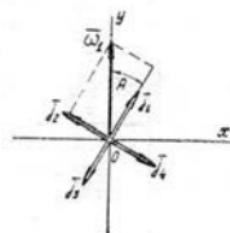


Рис. 3. Взаимное расположение входных осей измерительных преобразователей в горизонтальной плоскости. Ось Oy направлена на север

ВКЛАД ВЫПУСКНИКОВ КАФЕДРЫ В НАУКУ

Алгоритмы частных случаев гирокомпасирования получаются из (9) с помощью условий перехода, приведенных в таблице. Например, для случая однократного измерения при использовании одного измерительного преобразователя алгоритм вычисления азимута имеет вид

$$\cos A = \frac{F_1 - F_{a1}}{k_1 U \cos \varphi}. \quad (10)$$

4. Понятно, что не все неизвестные величины, входящие в систему (8), могут быть из нее определены. Поэтому для вычисления соответствующего алгоритма приходится вводить априорную информацию о смещении нуля, масштабном коэффициенте или широте местоположения объекта, которая известна с некоторой погрешностью. Это приводит к появлению погрешности в величине угла A . Кроме того, погрешность вычисления угла A определяется систематической составляющей смещения нуля измерительного преобразователя и случайными флуктуациями его выходного сигнала.

С точностью до величин первого порядка малости из выражения (10) могут быть получены следующие формулы для расчета погрешностей гирокомпасирования:

$$\begin{aligned} \sigma_{A1} &= \sigma_0 \frac{\operatorname{cosec} A}{k U \cos \varphi}; \quad \sigma_{A2} = \sigma_a T_{u3} \frac{\operatorname{cosec} A}{2 k U \cos \varphi}; \quad \sigma_{A3} = \sigma_k \frac{\operatorname{ctg} A}{k}; \\ \sigma_{A4} &= \sigma_\varphi \operatorname{tg}_\varphi \operatorname{ctg} A; \quad \sigma_{A5} = \sigma_F \frac{\operatorname{cosec} A}{k U \cos \varphi}, \end{aligned} \quad (11)$$

где $\sigma_0, \sigma_a, \sigma_k, \sigma_\varphi, \sigma_F$ — среднеквадратические отклонения смещения нуля, скорости дрейфа нуля, масштабного коэффициента, погрешности ввода широты, флуктуаций выходного сигнала измерительного преобразователя.

В таблице приведены погрешности соответствующих вариантов схемы гирокомпасирования, выраженные через погрешности (11).

Число измерений входных разработок	Кратность измерений	Используемые орты	Условные переходы от обобщенного алгоритма к частному	Погрешности					Время измерения
				от смещения нуля	от дрейфа нуля	от масштабного коэффициента	от ввода широты	от флуктуаций	
1	1	\bar{j}_1	$F_{a1} = F_a; k_1 = k_2 = k; k_3 = k_4 = 0;$ $F_2 = F_{a2} = k U \cos \varphi \sin A;$ $F_3 = F_{a3} = F_4 = F_{a4} = 0.$	σ_{A1}	σ_{A2}	σ_{A3}	σ_{A4}	σ_{A5}	T
1	2	$\bar{j}_1 \rightarrow \bar{j}_2$	$F_{a1} = F_{a2} = F_a; k_1 = k_2 = k; k_3 = k_4 = 0;$ $F_2 = F_{a2} = k U \cos \varphi \sin A;$ $F_3 = F_{a3} = 0; k_4 = 0.$	0	$\frac{\sigma_{A1}}{2}$	σ_{A3}	σ_{A4}	$\frac{\sqrt{2}}{2} \sigma_{A5}$	$2T$
1	2	$\bar{j}_3 \rightarrow \bar{j}_2$	$F_{a1} = F_{a2} = F_a; k_1 = k_2 = k;$ $F_4 = F_{a4} = F_3 = F_{a3} = 0;$ $k_3 = k_4 = 0.$	$\sigma_{A1} \sin A \times$ $\times (\cos A -$ $- \sin A)$	$\sigma_{A2} \sin A \times$ $\times (\cos A -$ $- 2 \sin A)$	0	0	$\sigma_{A5} \sin A$	$2T$
1	3	$\bar{j}_1 \rightarrow \bar{j}_2 \rightarrow \bar{j}_3$	$F_{a1} = F_{a2} = F_{a3} = F_{a4} = F_a;$ $k_1 = k_2 = k_3 = k_4 = k;$ $F_4 = F_1 - F_2 + F_3,$	0	$\sigma_{A2} \sin^2 A$	0	0	$\frac{\sqrt{2}}{2} \sigma_{A5} \sin A \times$ $\times \sqrt{1 - 2 \cos^2 A}$	$3T$
2	1	$\bar{j}_1 \rightarrow \bar{j}_4$	$F_2 = F_{a2} = F_3 = F_{a3} = 0;$ $k_3 = k_4 = 0.$	$\sigma_{A1} \sin A$	$\sigma_{A2} \sin A$	$\sqrt{2} \sigma_{A3} \sin^2 A$	0	$\sigma_{A5} \sin A$	T
2	2	$\bar{j}_1 + \bar{j}_4 \rightarrow \bar{j}_2 + \bar{j}_3$	$F_{a1} = F_{a3} = F'; k_1 = k_3 = k';$ $F_{a2} = F_{a4} = F''; k_2 = k_4 = k''.$	0	$\sigma_{A3} \sin A$	$\sqrt{2} \sigma_{A5} \sin^2 A$	0	$\frac{\sqrt{2}}{2} \sigma_{A5} \sin A$	$2T$

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

5. Полученные результаты позволяют решить задачу выбора оптимального варианта схемы гирокомпасирования, обеспечивающего в заданных условиях минимум среднеквадратической погрешности измерения азимута при известных характеристиках измерительных преобразователей и ограничениях на время гирокомпасирования.

Так, например, если при однократном измерении погрешность из-за изменения масштабного коэффициента измерительного преобразователя преобладает над другими погрешностями, то непосредственно из таблицы видно, что двухкратное измерение с разворотом оси на 90° обеспечивает большее снижение погрешности, чем при развороте на 180° .

Кроме того, полученные формулы позволяют выполнять и количественные оценки погрешностей при решении задачи синтеза схемы гирокомпасирования. Анализ их показывает, что оптимизацию положения в азимуте входной оси измерительного преобразователя необходимо выполнять с учетом характеристик выходного сигнала преобразователя.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Липтон А.** Выставка инерциальных систем на подвижном основании. М., «Наука», 1971.
2. **Богданович М. М., Ильин П. А.** Гироколические приборы и устройства. Л., Судпромгиз, 1961.

О. Н. АНУЧИН, Г. И. ЕМЕЛЬЯНЦЕВ

**О ВЛИЯНИИ УГЛОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ОБЪЕКТА
НА ТОЧНОСТЬ И ВРЕМЯ ВЫСТАВКИ ПО КУРСУ
ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ***

Анализируется возможность оценки погрешностей бескарданных инерциальных измерительных модулей (БИИМ) по курсу на фоне систематических и случайных со-ставляющих дрейфов гироскопов в условиях угловых колебаний объекта при модуля-ционных поворотах его измерительного блока (ИБ) от 0 до 360° в плоскости палубы и при установки ИБ БИИМ на значительном отстоянии от центра масс судна.

К числу основных информационных задач, решаемых в настоящее время на кораблях и морских судах, относятся задачи навигации, стабилизации и управления движением. Для решения этих задач требуется соответствующее информационное обеспечение по выработке навигационных параметров (НП), характеризующих поступательное движение центра масс (ц.м.) объекта в низкочастотной об-ласти его спектра и динамических параметров (ДП), характеризующих высокочастотное угловое и линейное движение объекта. Эффективным измерителем параметров движения морских подвижных объектов как в низкочастотной, так и в высокочастотной областях спектра его линейных и угловых перемещений в интересах всех корабельных потребителей, как известно [1], являются интегрирован-ные системы ориентации и навигации (ИСОН) на базе бескарданных инерциальных измерительных модулей (БИИМ), приемной аппаратуры (ПА) спутниковой навигационной системы (СНС) и модулей электронной карты.

С появлением относительно дешевых гироскопических чувствительных элементов (ЧЭ) – дина-мически настраиваемых (ДНГ), волоконно-оптических (ВОГ) и твердотельных волновых (ТВГ) гиро-скопов, а также так называемых микромеханических гироскопов и акселерометров – с нестабильностью дрейфа на уровне 110 град/ч становится реальным создание дешевых и малогабаритных БИИМ в составе ИСОН для вспомогательных кораблей ВМФ и коммерческих морских судов различного класса. Информационная автономность таких ИСОН в части выработки НП не превышает единиц минут, что обеспечивает их работоспособность только на время сбоев в приеме данных СНС.

Одна из проблем на пути создания рассматриваемых ИСОН с достаточностью «грубыми» ЧЭ БИИМ – выполнение требований по точности выработки курса для обеспечения навигационной безопасности судовождения, которую в последнее время пытаются решить, в частности, за счет создания для подвижных объектов ПА СНС с фазовыми интерферометрическими измерениями, обеспечивающей выработку поправки курса [2]. Однако этот путь ведет к усложнению ПА СНС, значительному по-вышению ее стоимости и, кроме того, в этом случае имеет место потеря информационной автоном-ности ИСОН по курсу.

*Журнал «Гироскопия и навигация». - 1997.-№ 3(18). - С. 7-14.

Рассмотрим возможность уточнения данных БИИМ по курсу в условиях угловых колебаний объекта при модуляционных поворотах на $\pm 180^\circ$ его измерительного блока в плоскости палубы и при установке БИИМ в штурманской рубке судна (т.е. при существенном удалении его от ц.м. судна). В качестве опорной информации используются данные СНС о составляющих V_E, V_N, V_h вектора \vec{V} линейной скорости судна (без их сглаживания, которое обычно осуществляется в стандартной ПА СНС [3]), приведенные от точки размещения приемной антенны к месту установки БИИМ. Для обеспечения информационной автономности ИСОН по курсу при длительном отсутствии данных СНС могут быть использованы данные относительного лага также с приведением их к месту размещения БИИМ.

Структура построения ИСОН на ДУС приведена на рис. 1 и включает: блок чувствительных элементов, устанавливаемый непосредственно на корпусе объекта и содержащий три датчика угловых скоростей ДУС_x, ДУС_y, ДУС_z, и три линейных акселерометра A_x, A_y, A_z ; ПА СНС и пульт управления, контроля и обработки данных.

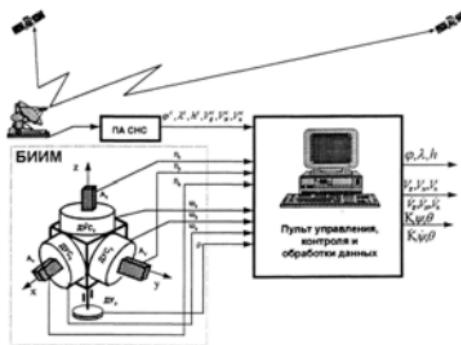


Рис. 1. Структурная схема ИСОН на ДУС

Исходной информацией для выработки выходных данных ИСОН являются:
информация блока ЧЭ:

составляющие n_x, n_y, n_z вектора \vec{n} кажущегося ускорения на оси трехгранника $x_0y_0z_0$, ориентация которого относительно системы координат $x_0y_0z_0$, связанной с осями объекта, в общем случае определяется углом ρ «азимутального» модуляционного поворота;

составляющие $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ вектора $\vec{\omega}$ угловой скорости вращения трехгранника $x_0y_0z_0$ на свои оси;

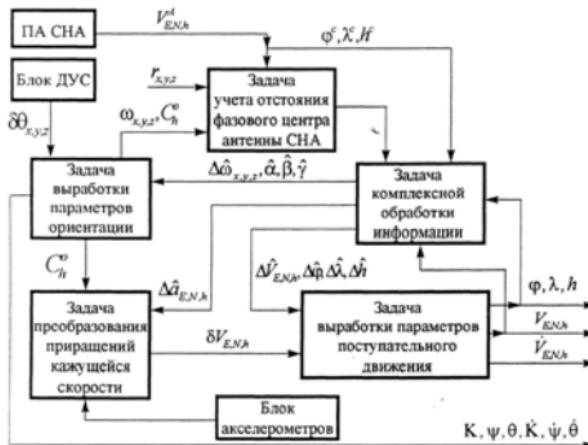
угол ρ , определяющий ориентацию блока ЧЭ относительно системы координат $x_0y_0z_0$;

информация от ПА СНС о составляющих V_E^c, V_N^c, V_h^c линейной скорости и координатах ϕ^c, λ^c, h^c объекта.

Выходной информацией ИСОН являются:

$K, \psi, \theta, \dot{K}, \dot{\psi}, \dot{\theta}$ — углы курса, килевой и бортовой качки, определяющие взаимную ориентацию системы координат $x_0y_0z_0$, связанной с осями объекта, и горизонтного трехгранника ENh с географической ориентацией осей, а также скорости их изменения; $V_E, V_N, V_h, \dot{V}_E, \dot{V}_N, \dot{V}_h$ — восточная, северная и вертикальная составляющие векторов линейной скорости и ускорения объекта относительно Земли; φ, λ, h — географические широта, долгота и высота места объекта соответственно.

Для обеспечения наблюдаемости низкочастотных случайных составляющих инструментальных погрешностей ЧЭ в целях их непрерывной оценки и коррекции в связанных осях введены модуляционные повороты блока ЧЭ на $\pm 180^\circ$ в плоскости палубы с угловой скоростью $0,1 \text{ c}^{-1}$.



Основу ИСОН составляют алгоритмы корректируемой бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС) на ДУС, включающие алгоритмы предварительной обработки инерциальных датчиков, алгоритмы выработки параметров поступательного и вращательного движения, а также алгоритмы оптимального линейного фильтра Калмана.

Блок-схема взаимодействия основных задач, решаемых в вычислителе ИСОН, представлена на рис. 2, где $\hat{\alpha}, \hat{\beta}, \hat{\gamma}, \hat{\Delta}V_{E,N,h}, \hat{\Delta\phi}, \hat{\Delta\lambda}, \hat{\Delta h}, \hat{\Delta\dot{\phi}}_{x,y,z}, \hat{\Delta\dot{\lambda}}_{x,y,z}$ — оценки погрешностей БИИМ в моделировании горизонтного трехгранника с географической ориентацией осей, выработке составляющих линейной скорости и координат места объекта, а также оценки низкочастотных случайных составляющих дрейфов ДУС и погрешностей акселерометров в связанных осях соответственно.

Для выставки ИСОН по курсу и углам качки формируются следующие измерения:

$$\begin{aligned}
 Z_{VE} &= V_E - V_E^C = \Delta V_E + v_{VE}, \\
 Z_{VN} &= V_N - V_N^C = \Delta V_N + v_{VN}, \\
 Z_{Vh} &= V_h - V_h^C = \Delta V_h + v_{Vh},
 \end{aligned} \tag{1}$$

где v_{VE}, v_{VN}, v_{Vh} — соответствующие погрешности СНС в выработке линейной скорости, аппроксимируемые здесь процессами типа «белый» шум с $1\sigma = 0,1 \text{ м/с}$ на частоте 1 Гц .

При численном моделировании данной задачи на ПЭВМ для формирования измерений фильтра Калмана использовалась имитационная модель погрешностей ИСОН 21-го порядка. Численные значения (1σ) инструментальных погрешностей ЧЭ и начальные неопределенности выходных данных БИИМ приведены в табл. 1.

Расчетная модель погрешностей ИСОН представлена в виде

$$\frac{dX(t)}{dt} = F(t) \cdot X(t) \cdot C(t) \cdot U(t) + w(t), \quad X(t_0) = X_0, \quad (2)$$

где в соответствии с уравнениями погрешностей ИСОН на ДУС вектор состояния и ненулевые элементы матрицы динамики имеют вид [4]:

$$X^T(t) = [\alpha \beta \gamma \Delta V_E \Delta V_N \Delta V_h \Delta \omega_x \Delta \omega_y \Delta \omega_z \Delta a_x \Delta a_y \Delta a_z], \quad (3)$$

$$f_{1,1} = -f_{1,3} = \omega_E = -\dot{\phi} = -\frac{V_E}{R_\lambda},$$

$$f_{1,2} = -f_{2,1} = \omega_N = (\Omega + \dot{\lambda}) \cdot \cos \varphi = \Omega \cdot \cos \varphi + \frac{V_E}{R_\lambda},$$

$$f_{2,2} = -f_{3,2} = \omega_h = (\Omega + \dot{\lambda}) \cdot \sin \varphi = \Omega \cdot \sin \varphi + \frac{V_E}{R_\lambda} \cdot \operatorname{tg} \varphi,$$

$$f_{1,4} = \frac{1}{R_\lambda} \cdot \operatorname{tg} \varphi, f_{2,5} = -\frac{1}{R_\varphi}, f_{3,4} = \frac{1}{R_\lambda},$$

$$f_{6,3} = -f_{3,1} = a_E = \dot{V}_E + V_h \cdot (2\Omega + \dot{\lambda}) \cdot \cos \varphi - V_N \cdot (2\Omega + \dot{\lambda}) \cdot \sin \varphi,$$

$$f_{4,1} = -f_{6,2} = a_N = \dot{V}_N + V_E \cdot (2\Omega + \dot{\lambda}) \cdot \sin \varphi + V_h \cdot \dot{\phi},$$

$$f_{5,2} = -f_{4,3} = g + a_h = g + \dot{V}_h - V_E \cdot (2\Omega + \dot{\lambda}) \cdot \cos \varphi - V_N \cdot \dot{\phi},$$

$$f_{1,7} = f_{6,10} = -\cos \rho \cdot \cos \psi \cdot \sin \theta - \sin \rho \cdot \sin \psi,$$

$$f_{1,8} = f_{6,11} = -\sin \rho \cdot \cos \psi \cdot \sin \theta + \cos \rho \cdot \sin \psi, f_{1,9} = f_{6,12} = \cos \psi \cdot \cos \theta,$$

$$f_{2,7} = f_{4,10} = \cos \rho \cdot (\cos K \cdot \cos \theta + \sin K \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta) - \sin \rho \cdot \sin K \cdot \cos \psi,$$

$$f_{2,8} = f_{4,11} = \sin \rho \cdot (\cos K \cdot \cos \theta + \sin K \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta) + \cos \rho \cdot \sin K \cdot \cos \psi,$$

$$f_{2,9} = f_{4,12} = \cos K \cdot \sin \theta - \sin K \cdot \sin \psi \cdot \cos \theta,$$

$$f_{3,7} = f_{5,10} = \cos \rho \cdot (-\sin K \cdot \cos \theta + \cos K \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta) - \sin \rho \cdot \cos K \cdot \cos \psi,$$

$$f_{3,8} = f_{5,11} = \sin \rho \cdot (-\sin K \cdot \cos \theta + \cos K \cdot \sin \psi \cdot \sin \theta) + \cos \rho \cdot \cos K \cdot \cos \psi,$$

$$f_{3,9} = f_{5,12} = -(\sin K \cdot \sin \theta + \cos K \cdot \sin \psi \cdot \cos \theta).$$

Отметим здесь, что коэффициенты $f_{6,1}, f_{5,1}, f_{6,2}, f_{6,3}$, формируемые по данным линейных акселерометров блока ЧЭ, обусловлены в основном рысканием и качкой судна при отстояли места установки БИИМ относительно его ц.м. Действительно, вектор $\dot{\vec{r}}$ линейного ускорения места установки БИИМ связан с вектором $\dot{\vec{V}}_{\text{ц.м.}}$ линейного ускорения ц.м. судна и вектором \vec{r} отстояния БИИМ следующим векторным соотношением:

$$\dot{\vec{V}} = \dot{\vec{V}}_{\text{ц.м.}} + \dot{\vec{\omega}} \times \vec{r} + \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}), \quad (5)$$

где $\vec{\omega}, \dot{\vec{\omega}}$ — векторы угловой скорости и углового ускорения связанный с корпусом объекта системы координат $x_0y_0z_0$ относительно горизонтного трехгранника ENh .

Если, например, углы K, ψ, θ малые, выражения для горизонтальных составляющих \dot{V}_E, \dot{V}_N линейного ускорения места установки БИИМ будут иметь вид:

$$\dot{V}_E = (\dot{\vec{V}}_{\text{ц.м.}})_E + \ddot{\vec{\theta}} \cdot r_z - \dot{\vec{K}} \cdot r_y + \dot{\vec{\psi}} \cdot (\dot{\vec{\theta}} \cdot r_y + \dot{\vec{K}} \cdot r_z) - r_x \cdot (\dot{\vec{\theta}}_y^2 + \dot{\vec{K}}_z^2),$$

$$\dot{V}_N = (\dot{\vec{V}}_{\text{ц.м.}})_N + \dot{\vec{K}} \cdot r_x - \dot{\vec{\psi}} \cdot r_z + \dot{\vec{\theta}} \cdot (\dot{\vec{\psi}} \cdot r_x + \dot{\vec{K}} \cdot r_z) - r_y \cdot (\dot{\vec{\psi}}_y^2 + \dot{\vec{K}}_z^2). \quad (6)$$

Таблица 1

Источник погрешностей	Численные значения
Линейный акселерометр: смещение нуля, м/с ²	0,02
нестабильность масштабного коэффициента, %	0,1
нестабильность смещения нуля-марковский процесс первого порядка: 1σ , м/с ²	0,002
μ , 1/с	0,01
“шумовая” составляющая на частоте 50 Гц, м/с ²	0,04
Датчик угловой скорости: смещение нуля, рад/с	$1,8 \cdot 10^{-4}$
нестабильность масштабного коэффициента, %	$3,0 \cdot 10^{-2}$
нестабильность смещения нуля — марковский процесс первого порядка: 1σ , рад/с	$1,0 \cdot 10^{-5}$
μ , 1/с	$3,0 \cdot 10^{-3}$
“шумовая” составляющая на частоте 50 Гц, рад/с	$1,8 \cdot 10^{-4}$
Начальные неопределённости: по углам качки, град	0,5
по курсу, град	5
по координатам места, м	30
по составляющим линейной скорости, м/с	0,1

Численное моделирование осуществлялось для шести вариантов, условия которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Номер варианта	Отстояние	Рыскание	Качка судна	Модуляционные повороты
1	Нет	Нет	Нет	Нет
2	Нет	нет	Нет	Есть
3	Нет	“Малое”	“Малая”	Есть
4	Нет	“Большое”	“Большая”	Есть
5	Есть	“Малое”	Нет	Есть
6	Есть	“Большое”	Нет	Есть

Причем отстояние характеризовалось следующими значениями: по поперечной оси 2 м, по продольной 20 м, а по вертикальной 5 м. Параметры «малой» и «большой» качек принимались следующими:

«малая» качка и рыскание:

рыскание — $\varphi_r = 1,5^\circ$, $T_\varphi = 25$ с,

килевая качка — $\psi = 1,5^\circ$, $T_\psi = 10$ с,

бортовая качка — $\theta_k = 2,0^\circ$, $T_\theta = 15$ с;

«большая» качка и рыскание:

рыскание — $\varphi_r = 3,0^\circ$, $T_\varphi = 20$ с

килевая качка – $\psi = 2,5^\circ$, $T_\psi = 5$ с
бортовая качка – $\theta_k = 12,0^\circ$, $T_\phi = 9$ с.

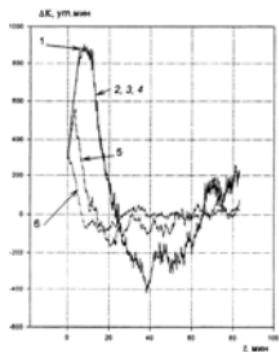


Рис. 3. Погрешности ИСОН
в выработке угла курса

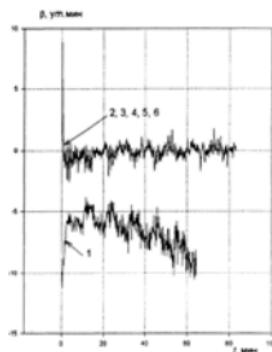


Рис. 4. Погрешности ИСОН
в выработке углов качки

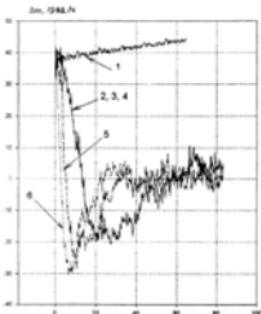


Рис. 5. Погрешности ИСОН
в выработке угловых скоростей

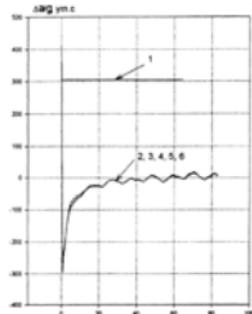


Рис. 6. Погрешности ИСОН
в выработке линейных ускорений

Результаты численного моделирования погрешностей ИСОН представлены на рис. 3 – 6, на которых цифры от 1 до 6 означают номер варианта моделирования в соответствии с табл. 2.

Анализ приведенных результатов позволяет сделать следующие выводы.

Использование модуляционных поворотов БИИМ на «грубых» инерциальных датчиках обеспечивает устойчивость рассматриваемой ИСОН по курсу, калибровку инструментальных погрешностей его ЧЭ при выставке как в условиях неподвижного основания, так и при качке с размещением БИИМ в ц.м. судна. При этом принималось, что начальная неопределенность по курсу не превышает 5–6°, что может быть обеспечено использованием, например, данных от магнитного компаса. Время пере-

ВКЛАД ВЫПУСКНИКОВ КАФЕДРЫ В НАУКУ

ходного процесса в этом случае при обеспечении погрешностей по курсу на уровне $0,5^\circ$ составляло около 2 ч.

При установке БИИМ на судне с существенным отстоянием от его ц.м. резко сокращается время выставки ИСОН в условиях качки и составляет примерно 20-30 мин. Кроме того, следует ожидать, что в этом случае будет значительно снижаться уровень динамических погрешностей ИСОН при воздействии ступенчатых возмущений, связанных, например, с изменением уровня инструментальных погрешностей ЧЭ БИИМ или при сбоях в опорной информации СНС по линейной скорости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев С.П., Емельянцев Г.И. Об интеграции информационного обеспечения задач навигации, стабилизации и управления движением морских подвижных объектов//Навигация и гидрография.— 1996.—№2 – С.73-76.
2. Резинченко В.И., Шашков А.Л. Фазовый метод определения ориентации по сигналам спутниковой навигационной системы//Навигация и гидрография.—1996.—№ 2.—С. 56-60.
3. Зайцев А.В., Резинченко В.И. Особенности функционирования спутниковой навигационной аппаратуры на морском объекте//Навигация и гидрография.—1995.—№ 1.—С. 56-60.
4. Анучин О.Н. др. Инерциальный измерительный модуль интегрированного навигационного комплекса для морских судов//Гирoscopия и навигация.—1994.—№1.—С. 32-44.

В. З. ГУСИНСКИЙ, В. М. ЛЕСЮЧЕВСКИЙ, Ю. А. ЛИТМАНОВИЧ, В. Г. ПЕШЕХОНОВ,
ДЖОРДЖ Т. ШМИДТ

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ
В ИНЕРЦИАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ
НА СВОБОДНЫХ ГИРОСКОПАХ^{*}**

Исследуется проблема использования избыточной информации в карданных инерциальных навигационных системах (ИНС) на двух электростатических гироскопах (ЭСГ) для повышения эффективности калибровки дрейфов ЭСГ. Рассматриваются два основных варианта построения гирокопического прибора: с установкой ЭСГ в индивидуальные кардановы подвесы и на гиростабилизированной платформе. Показано, что в рассматриваемых ИНС может быть сформировано дополнительное автономное измерение в виде разности косинусов угла между векторами кинетических моментов гироскопов, выраженных через проекции этих векторов на оси связанных с объектом и инерциального базисов. Приводятся модели погрешностей измерений, на основании которых исследуется наблюдаемость составляющих вектора погрешностей гирокопического трехгранника и обосновывается повышение эффективности решения задачи калибровки с использованием автономного измерения при запуске ИНС и в процессе эксплуатации.

Введение

За последние десятилетия в ряде стран предпринимались усилия по созданию карданных ИНС на свободных гироскопах. Практических результатов в этой области удалось достичь только с использованием ЭСГ в США, России и Франции.

Известны два варианта построения гирокопического прибора для таких ИНС. В одном (вариант A) два ЭСГ установлены в отдельные кардановы подвесы с индивидуальными гирокопическими следящими системами [1]. В этом случае приборный гирокопический трехгранник (ГТ) моделируется аналитически в вычислительном устройстве. В другом (вариант B) блок из двух гироскопов установлен на гиростабилизированной платформе, которая физически строит ГТ с помощью общей гирокопической следящей системы [2]. Исследуется наиболее эффективный вариант ориентации ЭСГ для обеих ИНС, когда при запуске наведение одного гироскопа производится в полярном направлении, а другого – в плоскости экватора Земли.

Традиционно задача выставки и калибровки ИНС решается с использованием информации о координатах места и скорости объекта. Однако этого может быть недостаточно для наблюдения и выработки оценок всех составляющих вектора погрешностей гирокопического трехгранника. Напри-

^{*} В сб. материалов III Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. – СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 1996. – С. 12–18.

мер, хорошо известна проблема ненаблюдаемости в ряде ИНС составляющей дрейфа ГТ, приводящей к погрешности в курсе. Учитывая, что в ИНС на двух свободных гироскопах при построении ГТ имеется информационная избыточность, актуальной является задача формирования дополнительных автономных измерений в ИНС, обеспечивающих оценку всех компонент вектора погрешностей не только при запуске ИНС, но и в процессе эксплуатации. В данной работе рассматривается возможность построения автономного измерения и обосновывается повышение эффективности решения задачи калибровки погрешностей инерциального трехгранника при совместном использовании автономного, скоростного и позиционных измерений для обоих вариантов ИНС.

Модель дрейфа ЭСГ и погрешности ИНС

Уравнение прецессионного движения орта (e) вектора кинетического момента ЭСГ относительно неподвижного базиса $\{\xi, \eta, \zeta\}$ для случая карданной ИНС имеет вид [3]:

$$\dot{e} = \left(n_1 + n_2 \frac{\sin 2\gamma}{\sin \gamma} + n_3 \frac{\sin 3\gamma}{\sin \gamma} + \dots \right) (e_f \times e) + \left(m_1 + m_2 \frac{\sin 2\gamma}{\sin \gamma} + m_3 \frac{\sin 3\gamma}{\sin \gamma} + \dots \right) \times \\ \times ((e \times e_f) \times e) + m_0 e_{zk} - n_0 e_{xk}; \\ \gamma = \arccos(e \cdot e_f).$$

Здесь обозначено: e_f – орт вектора «кажущегося» ускорения; f, e_{xk}, e_{zk} – орты осей x_k, z_k трехгранника / x_k, y_k, z_k / связанный с корпусом ЭСГ; m_p, n_j ($j=0, 1, 2, \dots$) – коэффициенты модели дрейфа ЭСГ.

Уравнение (1) в общем виде устанавливает зависимость скорости дрейфа ЭСГ от возмущающих моментов консервативных и неконсервативных сил, приложенных к ротору. При современном уровне развития технологии производства ЭСГ и условий работы ИНС на морских объектах с достаточной точностью в уравнении (1) можно учитывать только часть коэффициентов, исключив из рассмотрения члены более высокого порядка относительно y , начиная с $\sin 3\gamma$, и все составляющие m_j ($j=1, 2, \dots$):

$$\dot{e} = (n_1 + 2n_2 \cdot M)(e_f \times e) + m_0 e_{zk} - n_0 e_{xk}; \\ M = (e \cdot e_f). \quad (2)$$

В ИНС на основе интегрирования уравнения (2) от начальных условий $e_1(0), e_2(0)$ для полярного и экваториального гироскопов определяются текущие значения проекций векторов e_1 и e_2 на оси $\{\xi, \eta, \zeta\} - e_{11}(t), e_{12}(t)$ и рассчитывается матрица X преобразующей оси гироскопического трехгранника $\{I, I_2, I_3\}$ построенного на этих векторах, к осям $\{\xi, \eta, \zeta\}$.

По измерениям углов поворота колец карданова подвеса рассчитываются проекции векторов e_1 и e_2 на связанные с объектом оси $\{x, y, z\} - e_{b1}(t), e_{b2}(t)$, матрица B , преобразующая оси $\{I, I_2, I_3\}$ к осям $\{x, y, z\}$. С использованием матриц B и X определяется матрица C угловой ориентации объекта, преобразующей оси $\{x, y, z\}$ к осям географического трехгранника $\{E, N, H\}$. При этом

$$C = N_* \cdot X^T \cdot B, \quad (3)$$

где N_* – матрица преобразования осей $\{\xi, \eta, \zeta\}$ к осям $\{E, N, H\}$, элементы которой являются функциями углов широты ϕ и λ_* , $\lambda_* = \lambda + \omega t$ (λ – долгота места, ω – скорость вращения Земли), $(\cdot)^T$ – символ транспонирования матрицы.

Варьируя уравнение (3), можно получить следующее кинематическое уравнение, связывающее погрешности построения соответствующих трехгранников в ИНС:

$$\delta C = \delta N_* + N_* \cdot \delta X^T \cdot N_*^T, \quad (4)$$

где δC , δN_* , δX – кососимметрические матрицы, составленные из элементов векторов малых поворотов Λ_c , Λ_n , Λ_* , имеющих вид:

$$\begin{aligned}\Lambda_*^T &= \left\{ -\Delta e_{\zeta 1}, -\frac{1}{\sin \Psi} \Delta e_{\xi 2} + \frac{\cos \Psi}{\sin \Psi} \Delta e_{\xi 1}, \Delta e_{\xi 1} \right\}, \\ \Lambda_n^T &= \{ -\Delta \phi, \Delta \lambda \cos \phi, \Delta \lambda \sin \phi \}, \\ \Lambda_c^T &= \{ \beta, \gamma, \Delta K \}, \\ V &= \arccos(e_1 \cdot e_2),\end{aligned}$$

где $\Delta e_{i1}, \Delta e_{i2} (i = \xi, \eta, \zeta)$ – погрешности расчета проекций векторов e_1, e_2 на оси $\{\xi, \eta, \zeta\}$, $\Delta \phi, \Delta \lambda$ – погрешности вычисления координат места объекта; $\beta, \gamma, \Delta K$ – погрешности построения вертикали места и определения курса объекта.

Здесь и далее из рассмотрения исключены погрешности гирокомпенсаторов следящих систем и измерения углов поворота кардановых колец.

Точность ИНС впрямую зависит от точности определения коэффициентов модели дрейфа (2) при запуске и возможности их уточнения в процессе эксплуатации. Поэтому проблема эффективного использования корректирующей информации является важной, и от ее решения зависит реализация инструментальной точности гирокомпенсаторов. Наиболее предпочтительной является автономная измерительная информация, доступная в любой момент времени.

Модель измерительных сигналов в ИНС (A)

В ИНС (A) можно сформировать следующее измерение:

$$Y_a = (e_{i1} \cdot e_{i2}) - (e_{b1} \cdot e_{b2}).$$

Рассмотрим на качественном уровне информационное содержание этого измерения.

Полагаем, что $\psi \approx 90^\circ$, поскольку в ИНС для выполнения этого условия используются различные инструментальные методы автокомпенсации дрейфа гирокомпенсаторов. Поэтому выражение (5) можно представить в виде:

$$Y_a = \Delta e_{\eta 2} + \Delta e_{\xi 1} + V_a, \quad (6)$$

где V_a – погрешность измерения.

Интегрируя уравнения для погрешностей $\Delta e_1, \Delta e_2$, записанные в соответствии с (2), и подставляя результат в уравнение (6), получим:

$$\begin{aligned}Y_a &= \frac{\Delta m_{01}}{\omega} (\sin \lambda_* - \sin \lambda_{*0}) + \frac{\Delta \tilde{n}_{12} - \Delta \tilde{n}_{11}}{\omega} \cos \phi (\cos \lambda_* - \cos \lambda_{*0}) + \\ &\quad \frac{\Delta n_{22}}{2\omega} \cos^2 \phi (\cos 2\lambda_* - \cos 2\lambda_{*0}) + \Delta m_{02} b_0 t + V_a;\end{aligned}$$

здесь обозначено:

$$\Delta \tilde{n}_{11} = \Delta n_{11} + \Delta n_{01} \frac{1}{\cos \phi} + \Delta n_{21} \cdot 2 \sin \phi;$$

$$\Delta \tilde{n}_{12} = \Delta n_{12} + \Delta n_{02} \frac{b_0}{\sin \phi},$$

где b_0 – известный коэффициент ($b_0 < 1$), зависящий от $\varphi, \Delta m_{01}, \Delta n_{j1}, \Delta m_{02}, \Delta n_{j2}$ ($j = 0, 1, 2$) – пусковые погрешности калибровки коэффициентов модели дрейфа ЭСГ-1, ЭСГ-2; $\lambda_{*0} = \lambda$ при $t = 0$;

Из уравнения (7) можно видеть, что оптимальная обработка измерения К, например, с использованием фильтра Калмана, позволит получить оценки погрешностей коэффициентов $\Delta m_{01}, \Delta m_{02}, \Delta n_{22}$ и $(\Delta \tilde{n}_{12} - \Delta \tilde{n}_{11})$.

Проследим влияние этих погрешностей на погрешности выработки основных данных ИНС – координат места ($\Delta\phi, \Delta\lambda$) и курса (ΔK). Используя кинематические уравнения связи погрешностей (4), получим соотношения для $\Delta\phi, \Delta\lambda, \Delta K$:

$$\begin{aligned}\Delta\phi &= -\Delta e_{\zeta 1}(0) \cos \lambda_* - \Delta e_{\zeta 1}(0) \sin \lambda_* + \frac{\Delta \tilde{n}_{11}}{\omega} \cos \varphi (1 - \cos \omega t) - \frac{\Delta m_{01}}{\omega} \sin \omega t + V_\phi; \\ \Delta\lambda \cos \varphi &= \Delta e_{\zeta 2}(0) \cos \varphi + \Delta \tilde{n}_{12} t \sin \varphi \cos \varphi + \frac{\Delta \tilde{n}_{22}}{\omega} \sin 2\varphi \cos \varphi (\sin \lambda_* - \sin \lambda_{*0} + \\ &+ \Delta e_{\zeta 1}(0) \sin \varphi \cos \lambda_* - \Delta e_{\zeta 1}(0) \sin \varphi \sin \lambda_* - \frac{\Delta \tilde{n}_{11}}{\omega} \cos \varphi \sin \varphi \sin \omega t - \\ &- \frac{\Delta m_{01}}{\omega} \sin \varphi (1 - \cos \omega t)) + V_\lambda \cos \varphi; \\ \Delta K \cos \varphi &= -\Delta e_{\zeta 1}(0) \cos \lambda_* - \Delta e_{\zeta 1}(0) \sin \lambda_* + \frac{\Delta \tilde{n}_{11}}{\omega} \cos \varphi \sin \omega t + \frac{\Delta m_{01}}{\omega} (1 - \cos \omega t) + V_K.\end{aligned}\quad (8)$$

Здесь обозначено: V_ϕ, V_λ, V_K – погрешности измерений, включающие в себя погрешности вертикали места и акселерометров; $\Delta e_{i1}(0), \Delta e_{i2}(0)$ – погрешности определения начальных значений e_{i1}, e_{i2} .

Погрешности $\Delta\phi, \Delta\lambda$ наблюдаются при проведении позиционной коррекции по сигналам измерения $Y_\phi = \varphi - \varphi_t, Y_W = (\lambda - \lambda_t) \cos \varphi$, где φ_t, λ_t – эталонные значения координат. Оптимальная обработка непрерывно поступающих измерений Y_ϕ, Y_W на этапе калибровки при запуске ИНС, согласно уравнениям (8), позволяет выработать оценки $\Delta \tilde{n}_{11}, \Delta \tilde{n}_{12}, \Delta n_{22}$ и линейную комбинацию $\Delta e_{i1}(0)$ с Δm_{01} . В этом случае погрешность выработки курса будет иметь смещение из-за $\Delta m_{01}/\omega \cos \varphi$.

Таким образом, использование в ИНС (4) только позиционных измерений Y_ϕ, Y_W приводит к известной проблеме ненаблюдаемости скорости дрейфа Δm_{01} , приводящего к погрешности выработки курса.

В случае совместной непрерывной обработки измерений Y_ϕ, Y_W, Y_a могут быть выработаны следующие оценки составляющих вектора погрешностей ГТ (X):

$$X^T = [\Delta e_{\zeta 1}(0), \Delta e_{\zeta 1}(0), \Delta m_{01}, \Delta \tilde{n}_{11}, \Delta e_{\zeta 2}(0), \Delta e_{\zeta 2}(0), \Delta m_{02}, \Delta \tilde{n}_{12}, \Delta n_{22}].$$

В этом случае точность ИНС будет обеспечена в месте проведения запуска. Данная схема уточнения вектора погрешностей может быть использована также в процессе эксплуатации ИНС. На вход фильтра Калмана в этом случае поступают единичные измерения погрешностей координат (достаточно только Y_W), информация о скорости для получения измерений (Y_ϕ, Y_W) и непрерывно автономное измерение (Y_a). По Y_ϕ, Y_W фильтр уточнит составляющие вектора $\Delta e_{i1}(0)$ (это обеспечит демпфирование суточных колебаний). По Y_a фильтр уточнит линейную комбинацию $\Delta \tilde{n}_{12} - \Delta \tilde{n}_{11}, \Delta m_{01}, \Delta n_{22}$, по Y_W уточнит $\Delta \tilde{n}_{12}$ и, следовательно, сделает наблюдаемой часть дрейфа ЭСГ – полюс $\Delta \tilde{n}_{11}$. При изменении широты по составляющим $\Delta \tilde{n}_{12}, \Delta \tilde{n}_{11}$ могут быть получены оценки соответственно $\Delta n_{11}, \Delta n_{01}, \Delta n_{21}, \Delta n_{12}, \Delta n_{02}$. Таким образом, могут быть уточнены все составляю-

щие вектора погрешностей гироскопического трехгранника в процессе эксплуатации. Схематично процедура калибровки в ИНС (A) представлена на рис. 1.



Рис. 1. Калибровка погрешностей гироскопического трехгранника в ИНС (A)

Модель измерительных сигналов в ИНС (B)

В ИНС (B), как известно, управление следящей системой гиростабилизированной платформы имеет избыточную координату. При этом, если сигнал с гироскопического датчика угла ЭСГ с экваториальной ориентацией в плоскости, содержащей векторы e_1 e_2 ($\delta\psi$), может быть измерен, то для него выполняется равенство

$$\delta_\psi = e_{b1} \cdot e_{b2}. \quad (9)$$

Поскольку здесь так же, как и в ИНС (A), по векторам формируется матрица X , то в этом случае может быть получено измерение, аналогичное (5):

$$Y_a = (e_{l1} \cdot e_{l2}) - \delta_\psi. \quad (10)$$

Рассмотрим информационное содержание этого измерения. Обратимся к уравнению (2) с тем, чтобы установить отличительные особенности систем A и B . Входящая в уравнение (2) составляющая $(n_l + 2n_2 M)(e_f \times e)$ определяет зависимость скорости дрейфа ЭСГ от угла между вектором «кажущегося» ускорения и вектором кинетического момента. В этой части оба варианта ИНС не отличаются. Однако в них по-разному движутся системы координат, связанные с корпусом ЭСГ относительно инерциального базиса. В случае ИНС (A) системы координат $\{x_{k1}, y_{k1}, z_{k1}\}$ корпуса ЭСГ-1 и

$\{x_{k2}, y_{k2}, z_{k2}\}$ для ЭСГ-2 не совпадают и вращаются с разными угловыми скоростями вокруг осей y_{k1}, y_{k2} из-за угловых колебаний объекта и вращения Земли.

В случае ИНС (B) те же системы координат жестко связаны между собой и движутся относительно (ξ, η, ζ) с угловой скоростью дрейфа гироскопов. В результате уравнение для Y_a может быть записано в виде

$$Y_a = (\Delta m_{01} + \Delta m_{02})t + \frac{\Delta n_{12} - \Delta \tilde{n}_{11}}{\omega} \cos \varphi (\cos \lambda_* - \cos \lambda_{*0}) + \\ + \frac{\Delta n_{22}}{2\omega} \cos^2 \varphi (\cos 2\lambda_* - \cos 2\lambda_{*0}) + V_a. \quad (11)$$

Здесь обозначено: $\Delta \tilde{n}_{11} = \Delta n_{11} + \Delta n_{21} \cdot 2 \sin \varphi$. Соотношения для погрешностей $\Delta \varphi, \Delta \lambda, \cos \varphi, \Delta K$, полученные аналогично (8), имеют вид:

$$\Delta \varphi = -\Delta e_{\xi 1}(0) \cos \lambda_* - \Delta e_{\zeta 1}(0) \sin \lambda_* + \frac{\Delta \tilde{n}_{11}}{\omega} \cos \varphi (1 - \cos \omega t) - \Delta m_{01} t \cos \lambda_* + \\ + \Delta n_{01} t \sin \lambda_* + V_\varphi; \\ \Delta \lambda \cos \varphi = \Delta e_{\xi 2}(0) \cos \varphi + \Delta \tilde{n}_{12} t \sin \varphi \cos \varphi + \frac{\Delta \tilde{n}_{22}}{\omega} \sin 2\varphi \cos \varphi (\sin \lambda_* - \sin \lambda_{*0}) + \\ + \Delta e_{\zeta 1}(0) \sin \varphi \cos \lambda_* - \Delta e_{\zeta 1}(0) \sin \varphi \sin \lambda_* - \frac{\Delta \tilde{n}_{11}}{\omega} \cos \varphi \sin \varphi \sin \omega t - \Delta n_{01} t \sin \varphi \cos \lambda_* - \\ - \Delta m_{01} t \sin \varphi \sin \lambda_* + V_\lambda \cos \varphi; \\ \Delta K \cos \varphi = -\Delta e_{\xi 1}(0) \cos \lambda_* + \Delta e_{\zeta 1}(0) \sin \lambda_* + \frac{\Delta \tilde{n}_{11}}{\omega} \cos \varphi \sin \omega t + \Delta n_{01} t \cos \lambda_* + \\ + \Delta m_{01} t \sin \lambda_* + V_K. \quad (12)$$

Здесь обозначено:

$$\Delta \tilde{n}_{12} = \Delta n_{12} + \Delta n_{02} \frac{1}{\sin \varphi}.$$

Как следует из (12), в ИНС (B), в отличие от ИНС (A), при выработке курса не возникает смещение из-за погрешностей калибровки дрейфа ЭСГ и точность выработки выходных данных обеспечивается в месте проведения запуска. Однако в процессе эксплуатации в ИНС (B) при единичных замерах погрешностей координат, возникнет проблема ненаблюдаемости составляющей дрейфа $\Delta \tilde{n}_{11}$. Эта проблема может быть решена с использованием измерения Y_a . В этом случае вектор состояния примет вид

$$X^T = [\Delta e_{\xi 1}(0), \Delta e_{\zeta 1}(0), \Delta m_{01}, \Delta n_{01}, \Delta \tilde{n}_{11}, \Delta e_{\xi 2}(0), \Delta e_{\zeta 2}(0), \Delta m_{02}, \Delta n_{02}, \Delta \tilde{n}_{12}, \Delta n_{22}].$$

Уточнение всех составляющих вектора погрешностей гироскопического трехгранника в ИНС (B) в процессе эксплуатации по непрерывному автономному измерению Y_a и единичным измерениям Y_w , с привлечением скоростных измерений $Y_\phi, Y_{\dot{\phi}}$ может быть произведено по схеме, описанной ниже.

По поступающим на вход фильтра измерениям $Y_\phi, Y_{\dot{\phi}}$ уточняются погрешности $\Delta e_{\xi 1}(0), \Delta m_{01}, \Delta n_{01}$; по измерению Y_a уточняются $\Delta m_{02}, \Delta n_{22}$ и $\Delta n_{12} - \Delta \tilde{n}_{11}$.

По единичному измерению Y_{ff} уточнится $\Delta\tilde{\eta}_{12}$. С изменением широты оценка $\Delta\tilde{\eta}_{12}$ разделится на составляющие $\Delta\eta_{12}$ и $\Delta\eta_{02}$, что позволит получить $\Delta\tilde{\eta}_{11}$. Затем также с изменением ϕ будут получены $\Delta\eta_{11}$ и $\Delta\eta_{21}$.

Таким образом, и в случае ИНС (B) применение автономного измерения обеспечит уточнение всех составляющих вектора погрешностей гироскопического трехгранника как на этапе запуска ИНС, так и в процессе эксплуатации. Схематично процедура калибровки в ИНС (B) представлена на рис. 2.



Рис. 2. Калибровка погрешностей гироскопического трехгранника в ИНС (B)

Выводы

В рассмотренных вариантах ИНС с установкой двух ЭСГ в отдельные кардановы подвесы с индивидуальными следящими системами (A) и с установкой двух ЭСГ на гироскопической платформе с общей гироскопической следящей системой (B) имеется возможность сформировать автономное измерение погрешности косинуса угла между векторами кинетического момента. При этом в ИНС (A) такое измерение может быть реализовано программными средствами. В ИНС (B) необходимо дополнительно иметь преобразованный в код сигнал с гироскопического датчика угла по избыточной координате.

Совместная обработка автономного измерения и данных позиционной коррекции при запуске и калибровке ИНС A, B позволяет произвести оценку всех составляющих вектора погрешностей гироскопического трехгранника. При эксплуатации также имеется возможность производить уточнение всех составляющих дрейфа при непрерывном использовании автономного измерения на фоне единичной позиционной коррекции. Следует отметить, что в этом случае разовая коррекция по долготе

ВКЛАД ВЫПУСКНИКОВ КАФЕДРЫ В НАУКУ

делает наблюдаемым дрейф Δp_{11} ЭСГ с полярной ориентацией в обоих вариантах ИНС, который обычно не уточняется.

Данное исследование было спонсировано Лабораторией Ч.С.Дрейпера в рамках программы поддержки научных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусинский В.З., Голубчин Б.И., Яковлев И.Д. Корабельная навигационная система на электростатических гироскопах//Морское приборостроение. – 1973. – N 3. – С. 3-14.
2. Elton O.L. and Moore J.P. Marine ESG Navigation as a Capability for the Present Navigation//Journal of the Institute of Navigation, Summer, 1973. Vol. 20, N.2. – P. 126-136.
3. Мартыненко Ю.Г. Движение твердого тела в электрических и магнитных полях. – М.: Наука, 1988.

М. Д. АГЕЕВ

СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СЕТИ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНПА С СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКОЙ*

В кругах научных организаций существует общее мнение о невозможности собирать достаточное количество данных, с помощью которых можно было бы с приемлемой точностью описать динамику химических, биологических и физических параметров и процессов в озерах, морях и океанах. Основания для такой позиции весьма разнообразны – от чрезмерности объема необходимой информации и трудности ее получения и обработки до сомнений в доступности и надежности соответствующего оборудования. В то же время необходимо лучшее понимание таких явлений, как физические и биологические взаимодействия, биохимические процессы и циклы, и естественные, и обусловленные внешними воздействиями. Разреженность океанологических измерений в пространстве и во времени является важным фактором, на который давно обращали внимание океанологи [1–4]. Хотя необходимость более детальных измерений для мониторинга океана очевидна, применение современных методов и аппаратуры оказывается либо слишком дорогим, либо вообще невозможным.

Одним из возможных путей решения упомянутых задач является создание автоматизированных распределенных систем неподвижных и движущихся платформ, способных производить непрерывные измерения в выделенном районе океана. Подобные автономные сети океанологических измерений (АСОИ) способны обеспечить эффективный мониторинг значительных районов океана. Сеть позволит производить измерения в заданном районе с высоким разрешением как по времени, так и в пространстве. Благодаря ее автономности удельная стоимость сбора данных окажется много меньшей, чем при применении традиционных методов. Определяющим элементом АСОИ является автономная платформа с длительным временем работы. В качестве такой платформы нами рассматривается АНПА, использующий солнечную энергию [1–8].

Солнечные батареи, как известно, используются очень широко в различных областях техники, в частности, для навигационных и гидрометеорологических буев. В свежую погоду они, естественно, заливаются водой, так что возможность работы солнечной батареи в воде не вызывает сомнений. Более того, в США произошла невольно проверка солнечной панели фирмы «Solarex» при погружении ее на глубину 275 м примерно на один год, когда затонул исследовательский буй. После подъема буя рыболовным судном оказалось, что солнечная панель вполне работоспособна, а после очистки от обрастания она показала исходные параметры. Кроме того, в ИПМТ ДВО РАН были проведены испытания в барокамере при давлении 65 МПа, показавшие способность кремниевых преобразователей выдерживать такое давление без изменения их свойств.

Исторически океанография столетиями была под гнетом крайней ограниченности объема собираемых данных. Ранние технологии, использовавшие батометры, свисавшие с бортов судна, давали вертикальные профили, основанные на считанных точечных замерах. Введение электронных инстру-

*Подводные исследования и робототехника. 2006. № 2, стр. 5-12.

ментов типа СТД, обеспечивающих непрерывные измерения, увеличило объем выборки по вертикали, однако по-прежнему в ограниченном числе мест и моментов времени, соответствовавших расположению и числу станций. Буйковые станции увеличили плотность данных во временном масштабе, но с еще большими пространственными ограничениями при сравнении с судовыми измерениями. Несмотря на огромные капиталовложения в океанографию, даже в наиболее полных атласах океанов приводятся крайне разреженные данные по большей части поверхности океана и по времени. Эти ограничения были отчасти сняты введением спутниковых измерений с их поистине глобальным охватом поверхности океанов. Хотя их возможности ограничены лишь поверхностным слоем вод океана в безоблачные дни, они отражают богатство структуры и динамики вод, которые оказываются в значительной степени скрытыми при использовании традиционных технологий судовых измерений. При возможности объединять спутниковый сбор данных с данными измерений с высоким разрешением в толще вод по большой площади многие океанские процессы могли бы быть лучше поняты. Автономная сеть океанографических измерений (АСОИ) – концепция, предлагающая решение проблемы ограниченности объема измерений в океанах. Основной принцип сводится к тому, что некоторое число автономных узлов сети, осуществляющих измерения, может взаимодействовать друг с другом и получать океанографические данные одновременно, благодаря чему оказывается возможным получение данных о крупномасштабных океанских явлениях с высоким разрешением по времени и пространству на протяженном промежутке времени. Концепция АСОИ развивалась в течение многих лет и была рассмотрена многими исследователями. Одна из первых публикаций, которой было введено это понятие, была представлена Генри Стоттлем из Вудхоллского океанографического института в 1989 г., где он предложил концепцию SLOCUM – использование множества аппаратов, перемещающихся в океанских просторах и транслирующих информацию в центр анализа данных [9]. В 1993 г. доктор Том Куртин усовершенствовал это понятие в статье, описывающей его версию множественной автономной системы, которую он назвал AOSN (АСОИ) [10].

Реальное значение АСОИ существенно возрастает, если обеспечить связь между измерительными платформами, которыми могут быть буи, подводные аппараты и иные устройства. Это позволяет координировать их взаимодействие при осуществлении измерений в районе того или иного океанского процесса. Например, легко себе представить распределенную гидроакустическую antennную систему, составленную из объектов АСОИ, конфигурация которой задается из центра, а предварительная обработка данных производится на месте, поскольку обеспечивается связь между объектами (узлами сети).

АСОИ должна быть составлена из группы автономных объектов, оснащенных датчиками, — узлов сети, которые работают согласованно, чтобы собирать океанографические данные. Эти узлы могут быть подвижны (АНПА) или неподвижны (буйковые станции). Для простоты изложения мы обозначим их как автономные инструментальные платформы (АИП). Каждый узел должен иметь возможность производить измерения, иметь связь с другими узлами, систему энергообеспечения, которая допускает длительное время работы, интеллектуальный процессор, способный обеспечить сотрудничество с другими узлами в АСОИ в режиме, обеспечивающем выполнение определенной задачи. При выполнении этой задачи АНПА должны быть способны стыковаться с закоренными буями, действующими как для зарядки АНПА, так и как узлы связи с удаленным пользователем. Таким образом, удаленный пользователь может оперативно взаимодействовать с АНПА. Предполагается, что АСОИ обеспечивает достаточно длительное время работы благодаря подзарядке АНПА во время их стыковки.

Представляется, что использование группы автономных измерительных платформ — единственный приемлемый вариант сбора достаточного количества данных для понимания и мониторинга процессов, которые продолжительны во времени и имеют значительный пространственный масштаб. Космические спутники – примеры таких систем, которые могут дистанционно получать большой объем данных в пространственном и временном измерениях, что позволяет понимать и оценивать глобальные процессы. Возможно, более важной является их способность идентифицировать высоко-

коэнергетические явления, которые сохраняются лишь малые промежутки времени, но имеют значительное влияние на рассматриваемые процессы. Спутниковые системы, однако, не могут производить измерения в толще вод, чтобы накапливать данные, крайне необходимые для понимания влияния океана на глобальные процессы.

Альтернативное решение этой и других подобных проблем может дать АСОИ, использующая множество индивидуальных систем (АИП), каждая из которых контролирует сравнительно малые области в ограниченных периодах времени. Дистанционно собранные данные затем могут быть совместно обработаны, чтобы извлечь требуемую информацию относительно явлений, представляющих интерес. Это минимизирует трудозатраты и затраты на исследовательские суда, которые должны были бы непрерывно курсировать в больших областях, чтобы обеспечить требуемые наблюдения. В данном случае их роль может быть ограничена наблюдением за функционированием АСОИ и управлением процессом сбора информации. Эта способность более эффективно использовать ограниченные человеческие и другие ресурсы при выполнении указанных задач является желательной целью и в ближайшее время станет возможной за счет использования автономных систем. Ключ к этому потенциалу – возможность эффективно управлять большим количеством АИП персоналом ограниченной численности. При этом не потребуется непрерывное управление каждой платформой и оно, вероятно, понадобится лишь эпизодически, если состояние определенного АИП или их группы потребует непосредственного вмешательства оператора.

Любая реализация АСОИ должна быть определена задачей, подлежащей разрешению, т. е. изучаемому явлению. Это касается выбора комплекта датчиков, соответствующих параметрам, подлежащим измерению. Необходимо также принимать во внимание пространственные и временные масштабы рассматриваемого процесса. Важное значение имеет точность измерений, от которой, в частности, зависит распознавание временных характеристики явления. Наконец, конфигурация АСОИ должна быть определена надлежащим образом.

Всегда имеются ограничения на выбор доступных датчиков и платформ. Их размещение и способ взаимодействия друг с другом определяются исходами из свойств изучаемого явления. Ответы на все эти вопросы должны быть найдены потребителем данных раньше конфигурирования АСОИ. Отдельные представители сообщества океанологов уже начинают рассматривать и признавать широкие возможности использования рассматриваемых методов. Технологии, необходимые для развития систем АСОИ, в настоящее время быстро развиваются, и уже предпринимались попытки организации совместной работы группы АНПА. Еще многое нужно сделать, однако успешное решение этих задач сулит революционизировать океанские системы сбора данных в ближайшее время.

В ряде организаций существует мнение, что для развития АСОИ необходимы исследования и разработки в трех областях:

- 1) поиск инженерно-технологических решений оборудования АИП;
- 2) проблемы, связанные с созданием инфраструктуры, необходимой для эффективного взаимодействия АИП;
- 3) программное обеспечение – разработка алгоритмов и методов решения реальных задач.

Инженерно-технологические задачи

Рассматривая функционирование АСОИ в целом, мы можем выделить три вида платформ, которые должны входить в состав сети. Первый тип платформы – это АНПА, оснащенный необходимым набором датчиков. Аппарат совершает пространственное движение в толще вод и производит изменения тех параметров среды, которые соответствуют целям исследования процесса (рис.1).

Второй тип платформы должен обеспечивать обмен информацией между объектами АСОИ и центром сбора информации и управления. Эта платформа может находиться на поверхности, связь с погруженными АНПА осуществляется по гидроакустическому каналу, а с платформами на поверхности

– по радиоканалу. Для связи с центром, очевидно, большей частью будут использоваться спутниковые системы. Наконец, третий тип платформы предназначается для энергоснабжения других АИП. Эта платформа должна вырабатывать такое количество энергии, которое необходимо для других платформ, входящих в состав АСОИ. АНПА могут стыковаться с платформой энергоснабжения для подзарядки бортовой системы. Для выполнения двух последних функций, очевидно, можно использовать одну платформу.

Альтернативный метод реализации функции пополнения энергии используется в солнечном АНПА. Как описано выше, САНПА черпает энергию из окружающей среды. Возможно использовать и другие формы экологически доступной энергии типа течений или волнового движения. В некоторых системах используются изменения плотности для обеспечения движения аппарата. В этом случае время работы аппарата определяется запасом энергии, необходимым для работы систем управления и измерений. Наряду с необходимостью использовать различные типы платформ концепция АСОИ подразумевает применение в АИП широкого набора подсистем, чтобы обеспечивать необходимые функциональные свойства АИП.



Рис. 1. Схема варианта построения АСОИ. TCP/ IP – протокол управления передачей (Transmission Control Protocol)/протокол Интернета (Internet Protocol); TAT Cable – трансатлантический телефонный кабель (Trans Atlantic Telephone Cable)

Измерительная подсистема. Хотя в настоящее время доступен широкий выбор разнообразных океанологических датчиков, применение их на платформах сети выдвигает специфические требования, которые должны учитываться. Продолжительное время автономной работы АСОИ обуславливает необходимость высокой надежности и стабильности характеристик измерительных устройств во времени. Поэтому должны использоваться различные методы самоконтроля и самокалибровки. Кроме того, автономность систем при ограниченных ресурсах энергии налагает требование экономичности по энергопотреблению. Аналогичным образом обстоит дело и с габаритными характеристиками. Короче говоря, аппаратура должна быть малогабаритной и потребляющей возможно меньше энергии.

Навигационная подсистема. Обеспечение точной навигации на протяженном промежутке времени является важным фактором полноценного функционирования АСОИ. Очевидно, что измеренные данные должны быть привязаны к временным и пространственным координатам с высокой точностью. Наряду с этим координация движений отдельных АИП возможна лишь тогда, когда есть уверенность в знании их точного взаимного положения. Решение проблемы навигации облегчается, если

часть платформ постоянно находится на поверхности океана. Эти платформы могут использовать спутниковые навигационные системы, обеспечивающие высокую точность определения места, и служить опорной базой для определения положения подвижных АИП. Однако последние и в этом случае должны располагать информацией о положениях других аппаратов для согласования маршрутов и предотвращения столкновений в зоне действия АСОИ. Необходима, следовательно, некая локальная навигация, которая может быть реализована с помощью гидроакустических средств.

Подсистема связи. Реальное значение АСОИ существенно возрастает, если обеспечить связь между измерительными платформами, которыми могут быть буи, подводные аппараты и иные устройства. Это позволяет координировать их взаимодействие при осуществлении измерений в районе того или иного океанского процесса. Например, легко себе представить распределенную гидроакустическую антеннную систему, составленную из объектов АСОИ, конфигурация которой задается из центра, а предварительная обработка данных производится на месте, поскольку обеспечивается связь между объектами (узлами сети). Необходима, разумеется, связь базового АИП с удаленным пользователем или оператором. При больших дальностях неизбежно применение спутниковых систем связи. В других случаях можно использовать различные средства радиосвязи, включая сотовую телефонную связь [11].

Движение. Как говорилось выше, методы приведения в движение подводных аппаратов и эффективность этих методов – важные проблемы для концепции АСОИ. Для большинства реальных задач, выполняемых АСОИ, характерна значительная длительность операции. Это побуждает рассматривать наряду с традиционными и новые способы формирования пропульсивной силы.

Энергия. Важнейшим ограничительным фактором для любых автономных платформ является доступный резерв энергии. С одной стороны, для увеличения времени автономной работы желательно увеличить объем источника энергии, с другой, наоборот, уменьшить с целью снижения габаритов и стоимости аппарата. Поэтому при разработке АСОИ необходимо рассматривать как методы сохранения энергии на борту, так и методы получения ее из окружающей среды. Другой особенностью АСОИ, связанной с энергообеспечением, является необходимостьстыковки подвижного аппарата с базовой платформой для зарядки вторичного источника. Для этого требуется создание надежных устройств стыковки в воде, возможно, при высоком давлении и организации процессов инициации, управления и завершения зарядки в автономном режиме.

Конечно, имеются другие технологии, которые требуются для АСОИ, но приведенный выше обзор наиболее существенных задач, исследуемых в настоящее время многими организациями, лишь подчеркивает факт, что АСОИ является пока концепцией системы и требует внимательного учета современного состояния различных технологий, касающихся ее подсистем.

Инфраструктура, необходимая для эффективного взаимодействия элементов АСОИ. АСОИ представляет собой многослойную разветвленную систему со сложными связями и взаимодействием ее элементов (АИП). Поэтому создание и развитие системы определяется как функциональными свойствами подсистем различных уровней, так и инфраструктурой системы, под которой мы будем подразумевать технические и программные средства обмена информацией, выработки и принятия согласованных решений с участием центра или без такого. Отдельные АИП, входящие в состав АСОИ, могут иметь различное инструментальное оснащение от простейшего набора датчиков до многофункциональных измерительных систем и систем управления с элементами искусственного интеллекта. Очевидно, что и рабочие миссии АИП могут оказаться существенно разными. Вероятно, в этих условиях уровень самостоятельности объектов АСОИ должен варьироваться в некоторых пределах. Иными словами, образуется некоторая иерархическая структура, в вершине которой находится удаленный центр управления. При этом структура АСОИ должна быть гибкой и допускать эпизодическую реконфигурацию. Например, участвующие в работе АНПА должны время от времени пополнять запас энергии, следовательно, состав АСОИ неизбежно будет меняться. Удаленный центр управления, разумеется, должен располагать возможностью, во-первых, получать полную информацию о работе АСОИ и анализировать ее, во-вторых, передавать команды управления. При значи-

тельном удалении центра от района работ трудно рассчитывать на непрерывную связь, и автономное управление АСОИ приобретает исключительно большое значение.

Интересна реализация АСОИ при использовании в качестве АИП солнечных АНПА. Такие аппараты должны регулярно всплывать в дневное время для зарядки аккумуляторов. В это же время должна производиться связь с удаленным центром управления или пользователем. После анализа принятых данных оператор может откорректировать или полностью заменить программу выполнения миссии. Работа полноценной АСОИ возможна при использовании группы согласованно действующих АИП. Это предоставляет уникальные возможности, но одновременно требует решения проблем, связанных с таким полуавтоматическим управлением группой автономных объектов. Задача сводится к управлению многими АНПА с ограниченными вычислительными ресурсами и ограниченными возможностями связи (ориентировочно, один-два раза в сутки), цель которых — согласованно провести сбор океанографических данных. Стратегия такого полуавтономного управления должна давать возможность пользователю собрать и проанализировать данные, модифицировать и разослать некоторому числу взаимодействующих аппаратов информации, необходимую для управления их действиями при выполнении задания. Стратегия управления должна быть четко определена, выработана программная информация, соответствующая данной стратегии, обеспечено функционирование интерфейса, позволяющего пользователю взаимодействовать с АИП на базе этой информации.

Если проанализировать рассмотренные выше два случая, то видно, что периодичность связи оператор—АИП может изменяться в широких пределах. В случае АСОИ, в которой имеются базовая платформа и связь ее с пользователем, последний может обмениваться информацией с любым АИП практически непрерывно с задержкой, обусловленной лишь ограниченностью гидроакустического канала связи. Как показывает опыт, такие задержки имеют порядок минут. В случае применения удаленной группы САНПА, не содержащей базовой платформы, как уже говорилось, периодичность связи может быть низкой. В обоих случаях аппараты должны быть способны работать автономно на достаточноном отрезке времени. Предшествующий опыт показывает, что проведение сложных работ в океане возможно и при значительных задержках в передаче команд управления. Впрочем, АНПА изначально были ориентированы на длительную автономную работу. Организация их коллективных действий, разумеется, выдвигает специфические требования. По существу, возникает задача применения супервизорного управления, широко используемого в робототехнике. Такое управление предоставляет пользователю симуляцию внешней среды, в которой работает объект управления, и его ожидаемого движения в этой среде. Надежность и точность супервизорного управления будет определяться соотношением точности предсказания поведения системы во времени и периодичностью вмешательства оператора.

Проблема состоит в том, чтобы создать стратегию полуавтономного управления, которая даст возможность пользователю управлять множеством сотрудничающих АИП при сравнительно редкой возможности связи (от нескольких часов до суток). Эта работа еще не выполнена к настоящему времени, но исследователи понимают проблему и ведется поиск возможных решений.

Характеристики АСОИ

По современным представлениям использование множества кооперирующих АНПА и иных платформ с целью получения данных в океане, будь они буйковыми станциями или подвижными аппаратами, может быть описано рядом характеристик системы.

Мобильность и масштаб АСОИ. Разнообразие явлений в океанах, сущности, форм, масштабов и подвижности порождают и разнообразие в подходах к методам изучения этих явлений. Легко представить себе, что такая фундаментальная проблема в океанографии, как циркуляция водных масс в океане, может быть разделена на задачи, для решения которых в одних случаях достаточна стационарная система сравнительно малого масштаба, в других — подвижная с большим охватом области, в которой происходит исследуемое явление. Например, в первом случае речь может идти о замерах те-

ченных в сравнительно узком проливе, во втором – об исследовании жизненного цикла крупномасштабных вихрей. Таким образом, АСОИ можно характеризовать их способностью отслеживать подвижные явления, т. е. мобильностью и масштабом, отражающим пространственные размеры области распределения объектов АСОИ, каковыми являются АИП (рис. 2).

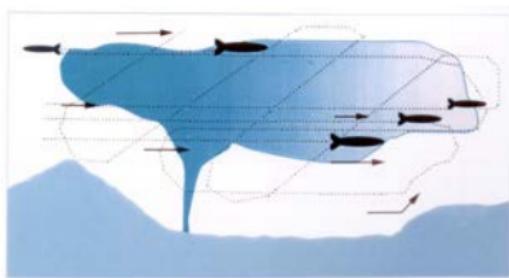


Рис. 2. Схематическое изображение процесса обследования вод в районе гидротермы с помощью группы АИП

АСОИ – открытые системы. Они существуют в непредсказуемой и изменяющейся подводной среде. Априорное знание этой среды ограничено вообще, а задача АСОИ в том и заключается, чтобы формировать высококачественное знание среды.

Компоненты системы АСОИ — аппаратные средства АИП — реальны и выполняют свои функции с погрешностями и со случайными сбоями. В составе системы могут происходить изменения, даже во время выполнения одного задания. АИП может отказать и, следовательно, выйти из состава системы временно или постоянно. Система должна быть способна вводить новые АИП как для подмены, так и для увеличения возможностей системы за счет ввода новых измерительных платформ, если они становятся доступными или необходимыми вследствие изменения задания. Открытый характер системы АСОИ накладывает несколько важных требований. Во-первых, способы управления и связи должны быть достаточно гибкими, чтобы изменяться в то время, когда изменяется состав системы. Во-вторых (относится и к первому случаю), информация об элементах, составляющих систему, и их возможностях и, следовательно, возможности системы в целом не должны быть жестко закодированы. Переходировка, например, может понадобиться при возникновении запроса: какие из присутствующих АИП подлежат замене во время выполнения задания, каковы функциональные возможности индивидуальных АИП. В-третьих, программное обеспечение АСОИ нуждается в протоколе для выбывающих АИП, и АИП, подменяющих выбывшие. В-четвертых, АСОИ должна быть способна распознавать ситуацию, когда необходима реконфигурация, т. е., например, когда состав (число АИП) изменяется. Наконец, в-пятых, методы управления и связи АСОИ должны обеспечивать распознавание нечеткой и неполной локальной (возможно, и глобальной) информации и адекватную реакцию на непредвиденные события, включая отказы.

Задачи АСОИ имеют долговременный характер. Здесь возникает несколько вопросов. Во-первых, критическим фактором является то, что система полуавтономна. Включение человека в цикл на длительное время увеличивает стоимость системы, кроме того, заставляет оператора выполнять крайне утомительную задачу. Во-вторых, в системе могут возникать сбои и другие непредвиденные события, и, чем длительней задание, тем, естественно, больше их число. В-третьих, должен детально планироваться расход энергии. В-четвертых, АИП время от времени будут входить в систему и оставлять ее вследствие возникновения сбоев, ротации оборудования для профилактики и добавления новых воз-

можностей и платформ. В-пятых, программа миссии может корректироваться или изменяться по мере того, как пользователь, анализируя поступающие данные, будет вникать в существо задачи.

Для решения задач АСОИ необходима связь между АИП. Связь необходима по двум причинам. Во-первых, данные часто нужны в реальном времени либо для удаленного пользователя, либо для использования другими АИП для осуществления адаптивного управления группой АИП. Вторая причина обусловлена тем, что необходимо управлять и координировать АИП. Связь в АСОИ особенно важна при осуществлении работы «по событию» и адаптивном управлении процессом измерений. Чтобы поддерживать связь, АИП должны быть оборудованы системами телеметрии. Кроме того, будут необходимы протоколы для установки и обслуживания сети подводной связи и для взаимодействия с другими сетями, к которым обращается АСОИ или пользователи. Протоколы должны быть достаточно гибкими, чтобы справиться с открытым характером системы.

Задачи АСОИ требуют, чтобы АИП сотрудничали. Имеются два общих способа управления функцией АСОИ: с централизованным или с распределенным управлением. При централизованном управлении уровень интеллекта, требуемый в каждом АИП, минимален, так как оператор управляет всеми АИП из центрального поста. По мере увеличения числа АИП и длительности задачи централизованное управление становится затруднительным, если не невозможным. В этом случае процесс управления АИП должен быть распределен некоторым способом. Распределенное управление позволяет преодолеть три недостатка централизованного подхода. Во-первых, в правильно организованной распределенной системе одиночный сбой не может привести к сбоям всей системы, лишь ограничит возможности полной системы, но не выведет ее из строя. Во-вторых, локальная обработка информации и локальная выработка решения, основанного на этой информации, снижают требования на производительность канала связи. В-третьих, скорость принятия решений возрастет за счет распределения. Более быстрые решения в реальной системе могут оказаться лучшими и обеспечить более высокую живучесть АИП.

Алгоритмы и методы, необходимые для выполнения эксплуатационных целей

Цель концепции АСОИ состоит в том, чтобы обеспечить инструментальные средства и методы, требуемые для эффективного отображения океанской изменчивости. Чтобы достичь этой цели, модели изменчивости должны легко воспринимать информацию АСОИ, которую нужно использовать для решения задачи. Предполагается также, что выходные параметры модели могут быть подтверждены новыми данными в рамках методов моделирования. Таким образом, процесс сбора данных управляется моделью, требующей эти данные, а последние позволяют уточнить модель. Эффективная реализация концепции АСОИ дает возможность экономично собирать пространственные параметры вод в океане с высоким разрешением. Внутренним свойством концепции системы является высокая надежность, доступ к полученным данным географически рассеянным пользователям.

Методы выполнения сбора океанографических данных могут быть разделены на три типа: *традиционный*, в котором измерения производятся в одном заданном районе регулярно в течение длительного периода времени; *управляемый по событиям*, в котором до возникновения некоторого события производятся лишь ограниченные измерения; *адаптивный*, в котором стратегия производства измерений корректируется самой системой на основании распознавания трендов в текущих данных. Универсальная АСОИ должна быть способна использовать все три метода по одному или одновременно.

Традиционный метод. В общем случае имеется потребность в сборе данных в некотором районе длительный период времени. Обычно это делается с помощью буйковых станций, имеющих связь с береговой базой, где данные анализируются и общаются. Первым шагом в практическом использовании концепции АСОИ является добавление к буйковой станции ряда донных станций и далее АНПА, работающих по жесткой программе.

Метод измерений по событию. Часто возникает необходимость производить детальные измерения лишь в том случае, когда обнаруживается некоторое событие, представляющее особый научный

интерес. Проектом с такой спецификой является CONVEX (Convection Experiment) program. Этот проект связан с изучением конвективного опрокидывания столба воды (апвеллинг) в арктических районах, процесса, создающего существенное воздействие на глобальные изменения климата. В проекте CONVEX будут исследоваться физические процессы опрокидывания и перемешивания при использовании сочетания моделирования и непосредственных измерений. Основным измерительным устройством является буйковая станция с гирляндой датчиков температуры и электропроводности, профилограф скорости течений и донный датчик давления. Хотя в проекте будут применяться лучшие современные приборы, будет невозможно собрать всю информацию о неоднородности конвективных течений, что крайне желательно для четкого понимания их формирования. Это обусловлено тем, что неподвижная гирлянда датчиков если и может зафиксировать образование неоднородностей, но не может получить данные об окружающем пространстве, достаточно детальные, чтобы исчерпывающе охарактеризовать структуру нео-днородностей.

Адаптивный метод. Значение концепции АСОИ заключается в том, что она позволяет организовать надлежащее пространственное распределение датчиков в большой области в районе изучаемого процесса. Наряду с этим датчики могут выполнять измерения синхронно с частотой, наиболее приемлемой для понимания изучаемого явления. Особенно важно то, что возможности связи в концепции АСОИ позволяют получать информацию от множества распределенных датчиков АИП. Приходящие данные подвергаются анализу для проверки того, насколько корректен режим измерений. Если выясняется, что параметры, определяющие режим измерений, неудовлетворительны, параметры корректируются, и датчики группируются так, чтобы более эффективно получать нужную информацию. Способность адаптировать стратегию измерений, основанная на самих полученных данных, возможно, является наиболее важной особенностью концепции АСОИ. Методы и алгоритмы функционирования адаптивной системы находятся в настоящее время в стадии разработки. Когда измерительные сети типа АСОИ достигнут стадии практического применения, новые стратегии сбора данных позволят получать информацию в объеме и с качеством, недостижимыми в настоящее время.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автономные необитаемые подводные аппараты / под общ. ред. акад. М.Д. Агеева. Владивосток: Дальнаука, 2000. 272 с.
2. Агеев М.Д. Управление распределением энергии при работе АНПА с питанием от солнечных батарей // Морские технологии. Владивосток: Дальнаука, 1996. Вып. 1. С. 21–36.
3. Агеев М.Д., Горячев В.Е., Хмельков Д.Б. О разработке экспериментального образца солнечного автономного подводного аппарата // Вестн. ДВО РАН. 1998. 1'3. С. 3–11.
4. Ageev M.D. An Analysis of Long-Range AUV, Powered by Solar Energy // OCEANS'95 Conference. San Diego: IEEE. 1995.
5. Ageev M. D., Jalbert J. C., Blidberg D. R. Description and Analysis of a Solar Autonomous Underwater Vehicle // MTS Journal. Winter 1998-99. V. 32, N. 4.
6. Ageev, M.D., Blidberg, D.R., Jalbert, J., Melchin, C.J., Troop, D.P. Results of the Evaluation and Testing of the Solar Powered AUV and its Subsystems // Proc. of 11th International Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology, Durham, NH, August 23-25, 1999.
7. Blidberg D.R., Jalbert J.C., Ageev M.D. Experimental Results; The AUSI/IMTP Solar Powered AUV Project // Proc. of the Ocean Community Conference'98. Baltimore. Nov. 16–19. 1998.
8. Curtin T., Bellingham J., Catipovic J., Webb D. Autonomous oceanographic sampling networks // Oceanography. 1993. V. 6, N 3.
9. Hitchcock G. L. et al. A GPS Tracked Surface Drifter with cellular Telemetry Capabilities // MTS Journal. June 1996.V. 30, N 2.
10. Jalbert J. C. Irazoqui-Pastor P., Miles S., Blidberg D. R., Darwin J., Ageev M. D. AUV Technology Evaluation and Development Project // Proceedings of the 10th International Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology. Durham, 1997. P. 75–87.
11. Stommel H. The Slocum Mission // Oceanography. April. 1989.

Б.Е. ЛАНДАУ

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ ГИРОСКОП СО СПЛОШНЫМ РОТОРОМ^{*}

Представляется история разработки в ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» электростатического гироскопа со сплошным ротором (ЭСГ), его особенности конструкции, технологии изготовления, методы и результаты испытаний.

1. Состояние разработок и особенности ЭСГ со сплошным ротором

Разработка электростатического гироскопа (ЭСГ) в ЦНИИ «Электроприбор» начата с начала 60^х годов прошлого века[1]. В это время разработкой ЭСГ в России занимались в НИИ ПМ, МИЭА г. Москва, РПКБ, г. Раменское.[2] За рубежом разработки велись в США и Франции[3-8]. Разработка электростатических гироскопов (Micron) со сплошным ротором проводилась в США (Rockwell).

По отдельной программе в Stanford University, США создавался гироскоп с электростатическим подвесом сплошного квадцевого ротора, используемый в космическом пространстве для проверки теории относительности[9-15].

Разработка ЭСГ проводится в КНР[16-21].

В России разработкой ЭСГ со сплошным ротором занимались два ведущих предприятия отечественного навигационного приборостроения и гироскопии: ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор» (Санкт-Петербург) и НИИ ПМ (Москва). Также, как и в США, основное направление использования таких гироскопов – бескарданные системы ориентации, навигации и управления. Эти работы подтвердили перспективность использования ЭСГ со сплошным ротором и определили основные конструкторско-технологические направления создания такого прибора.

Общая задача, которая должна быть решена при разработке любого ЭСГ, может быть сформулирована в следующем виде:

- необходимо создать физический и магнитный вакуум;
- взвесить в нем с помощью сил Кулона абсолютно круглый сплошной проводящий ротор;
- обеспечить его разгон и устойчивое вращение;
- снять информацию об угловом положении оси его вращения в системе координат, связанной с корпусом прибора.

Практическое решение перечисленных выше задач предполагает разработку (с учетом их взаимосвязей) ряда систем, узлов и блоков, составляющих ЭСГ (рис. 1), а также создание всей научно –

^{*} Статья подготовлена специально для этого сборника.

технической базы для конструирования, изготовления, проведения испытаний и обеспечения эксплуатации этих приборов в различных условиях применения.

К началу 60-х годов прошлого века развернуты в ЦНИИ «Электроприбор» теоретические исследования, опыт изготовления и эксплуатации электростатических гироскопов с полым ротором [1,2,5] для карданных систем подтвердили возможность создания гироскопа, точности которого значительно выше всех известных к тому времени типов гироскопов [61,73]. Разработка новых уникальных технологий, новых конструкционных материалов, электронных компонентов, метрологического оснащения создала базу для разработки электростатического гироскопа нового поколения – электростатического гироскопа со сплошным ротором (ЭСГС).

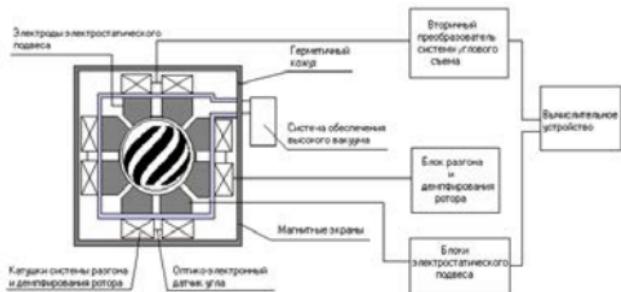


Рис. 1. Структура ЭСГС

Необходимость создания этого прибора была вызвана дальнейшим повышением требований к точности, надежности, долговечности гироскопов, задачами снижения их весогабаритных характеристик, расширением областей применения с развитием требований к эксплуатационным характеристикам. Перспективы применения такого гироскопа обусловлены его свойствами, позволяющими наилучшим образом реализовать все достоинства электростатического гироскопа. Отметим здесь те основные особенности ЭСГ со сплошным ротором, которые позволяют существенно повысить точность и эксплуатационные характеристики такого прибора по сравнению с ЭСГ на полом роторе:

1. Возможность изготовления ротора гироскопа с малыми отклонениями диаметра от выбранного номинального значения, что позволяет сохранять малую и стабильную от прибора к прибору величину зазора в электростатическом подвесе ротора и использовать относительно малые рабочие напряжения в подвесе.

2. Высокая тепловая стабильность формы ротора в широком диапазоне температурных воздействий [55,56]. Благодаря быстрому выравниванию температуры в сплошном роторе малых размеров, при амплитуде внешнего температурного поля в несколько десятков градусов, деформации ротора имеют величину порядка 10^6 мкм.

3. Возможность использования высоких скоростей вращения ротора без заметных деформаций его формы с частотами существенно выше собственной частоты подвеса, что, в свою очередь, позволяет построить систему пассивной стабилизации скорости вращения ротора с использованием остаточного радиального дисбаланса.

4. Высокая стабильность геометрических параметров сплошного ротора от запуска к запуску гироскопа позволяет с высокой точностью паспортизовать параметры его модели дрейфа и сократить время готовности прибора за счет уменьшения времени его калибровок при каждом запуске или полного их исключения.

5. Устойчивость гироскопа к аварийным посадкам за счет относительно малой кинетической энергии ротора и высокой механической прочности корпусных деталей прибора и ротора.

Все эти специфические свойства ЭСГС делают возможным достижение высоких результатов в разработке нового класса гироскопов – ЭСГ для бескарданных систем ориентации, навигации и управления.

Основными задачами в создании ЭСГС для бескарданных гироскопических систем явилась разработка:

- модели дрейфа гироскопа;
- конструкции, технологии и метрологического обеспечения изготовления сплошного ротора;
- системы съема информации об угловом положении ротора относительно корпуса гироскопа в неограниченном диапазоне углов, создание модели погрешностей такой системы;
- системы разгона, демпфирования нутационных колебаний и «пространственной» стабилизации скорости вращения ротора;
- системы магнитного экранирования прибора;
- методов, средств и программно-математического обеспечения для испытаний, проверок и калибровок прибора, в том числе решение задачи идентификации параметров разработанных моделей погрешностей.



Рис. 2

Ротор ЭСГС. Ротор гироскопа (рис. 2) – определяющий элемент прибора, к которому предъявляется большое количество различных требований, зачастую противоречивых. Отметим некоторые из них.

1. Распределение масс в роторе должно обеспечивать создание эллипсоида инерции, обеспечивающего устойчивое вращение ротора относительно оси с преобладающим моментом инерции после его разгона.

2. Форма поверхности ротора должна быть максимально приближена к сферической при номинальной угловой скорости вращения и в реальном диапазоне температурных полей, окружающих ротор.

3. Поверхность ротора должна быть однородно электропроводной с минимальным электрическим сопротивлением.

4. Распределение масс в роторе должно обеспечивать положение центра масс, совпадающее с центром сферы вдоль оси максимального момента инерции (минимальный осевой дисбаланс) и смешенное от этой оси на заданную величину (нормированный радиальный дисбаланс).

5. На поверхность ротора должен быть нанесен контрастный рисунок для первичного преобразователя оптико-электронной системы съема информации.

6. Поверхность ротора должна иметь минимальный коэффициент трения с элементами конструкции корпуса, которых ротор касается при выключенном подвесе.

7. Размеры и вес ротора должны быть такими, чтобы в рабочих зазорах электростатического подвеса не создавались напряженности электрического поля, вызывающие автозаделционную эмиссию.

8. В конструкции ротора не должны применяться магнитные материалы.

10. При рабочих скоростях вращения ротора его деформации должны быть минимальны и стабильны. Расчет центробежных деформаций может быть сделан по формуле

$$\Delta R = \frac{\rho \omega^2 R_0^3}{E} \cdot \frac{(1+v)(2+v)}{7+5v},$$

где ρ – плотность материала ротора; ω – угловая скорость его вращения; R_0 – радиус недеформированного ротора; E – модуль Юнга; v – коэффициент Пуассона.

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Анализ приведенного выражения показывает, что бериллий, имеющий малую плотность и относительно большое значение E наилучшим образом подходит для его использования в качестве основного материала сплошного ротора, центробежные деформации которого на несколько порядков меньше деформаций полого ротора при одинаковых условиях работы.

К настоящему времени решены задачи создания конструкции и технологии изготовления сплошного бериллиевого ротора с диаметром 10 \cdot 000 мм. Среди различных вариантов конструкции сплошного бериллиевого ротора выбрана конструкция, в которой градиенты плотности обеспечиваются армированием ротора в экваториальной плоскости четырьмя медными пластинками цилиндрической формы с последующей диффузионной сваркой бериллиевых заглушек[22-28].

Для гироскопа бескарданных систем на роторе добавлен симметричный относительно экваториальной плоскости рисунок, представляющий собой равно чередующиеся полосы с равным угловым размером в сечениях, параллельных экваториальной плоскости ротора. Широтный угол охвата рисунка около 50°.

Электростатический подвес ротора. Выбор направлений проектирования электростатического подвеса ротора определяет основную стратегию разработки всего гироскопа. Основные технические требования к подвесу: надежность, максимальная перегрузочная способность, равножесткость, малое энергопотребление, высокая стабильность центрирования ротора в условиях статических и динамических перегрузок, обеспечение пассивной стабилизации скорости вращения ротора, обеспечение стабильности заряда ротора и т. д.

Выбор вида управляющих напряжений. При выборе вида управляющих напряжений предпочтение отдано подвесу на постоянном токе, обладающему лучшими энергетическими характеристиками.

Выбор структуры подвеса. Принципиальным является выбор между ортогональной (в простейшем случае шестиэлектродной) и восьмиэлектродной структурой подвеса. Отметим некоторые преимущества восьмиэлектродной схемы:

- простота формирования электродной структуры и конструкции чувствительного элемента;
- возможность обеспечения максимальной площади электродов;
- возможность обеспечения нулевого потенциала в зазоре подвеса за счет формирования управляющих напряжений с чередующейся полярностью.

Но восьмиэлектродная структура подвеса обладает принципиальными недостатками, которые делают невозможным ее использование, по крайней мере, для ЭСГ карданного применения:

1. При любой ориентации вектора кинетического момента в связанный системе координат для несферичного ротора производная по углу возмущающего момента консервативной природы не может быть нулевой, в отличие от ортогональной схемы, где это условие обеспечено при совпадении этого вектора с осями симметрии электродов. Для карданного применения это вызывает высокую чувствительность дрейфа гироскопа к нестабильности работы следящей системы карданного подвеса.

2. Невозможность обеспечения астатического регулирования в контуре подвеса прямым включением интегрирующих звеньев в каждый из четырех каналов подвеса. Это может быть обеспечено только путем схемного преобразования сигналов восьмиэлектродного подвеса в ортогональную структуру (преобразования четырехканальной системы в трехканальную), введения интегрирующих звеньев в каждый из трех каналов полученной системы с последующим преобразованием этой системы в четырехканальную для формирования управляющих напряжений на электродах. Такое решение достаточно громоздко и снижает точность работы подвеса.

Таким образом, разработка прибора ЭСГ для различных вариантов использования с максимальной унификацией узлов и блоков должна базироваться на использовании ортогонального подвеса.

Развитие новой элементной базы и, в частности, появление новых типов высоковольтных транзисторов с малыми габаритами и энергопотреблением, с высокими частотными характеристиками позволило использовать электростатические подвесы постоянного тока с без использования трансформаторов в выходном каскаде высоковольтного усилителя. Основным достоинством этой схемы является широкая полоса пропускания, что позволяет создавать подвесы с большой жесткостью и пере-

грузочной способностью, повысить их технологичность и простоту настройки, а также надежность за счет исключения большого числа высоковольтных трансформаторов.

В существующей конструкции электростатический подвес ротора обеспечивается шестью ортогонально расположенными массивными металлокерамическими электродами, имеющими форму сферического сегмента и расположенными на гранях куба [29-34]. Рабочий зазор в подвесе 30 мкм, зазор между опорными элементами и ротором – 15 мкм. Стабильность положения ротора в подвесе не хуже сотых долей микрона.

Система съема угловой информации об угловом положении ротора. Задача съема информации об угловом положении ротора относительно системы координат, связанный с корпусом гироскопа, – одна из наиболее сложных проблем при его разработке. В гироскопе для бескарданных систем ориентации эта задача является ключевой. Разработки ЭСГ со сплошным ротором в США и в НИИ ПМ использовали электронно-емкостную систему съема информации об угловом положении ротора в связанный системе координат [3, 4, 6, 7]. Эта система основана на измерении и обработке сигналов подвеса, вызванных биениями радиально разбалансированного ротора. Использование такой системы съема существенно упрощает конструкторские и технологические проблемы при создании ротора гироскопа, но она обладает низкой помехоустойчивостью при динамических возмущениях основания. В ЦНИИ «Электроприбор» разработка ЭСГ базируется на использовании оптико-электронной растровой системы съема. [35-37]. Реализация этого принципа потребовала решения новых научных и прикладных проблем, как в разработке самого гироскопа, так и в выборе направлений и создании отдельных узлов и блоков такого прибора.

Важной предпосыпкой применения оптических методов является возможность использования поверхности ротора в качестве высококачественного сферического зеркала – оптического элемента датчика в системе съема.

Анализ различных вариантов построения оптических систем съема информации показал, что лучшим направлением является разработка оптико-электронной растровой системы съема фазоимпульсного типа. Принцип действия такой системы основан на сравнении фаз сигналов модуляции лучистого потока, отраженного от поверхности вращающегося ротора с нанесенным на него растровым рисунком специальной формы и воспринимаемого двумя диаметрально противоположными датчиками. Три пары таких датчиков, расположенных вдоль ортогональных осей, образующих систему координат корпуса прибора, обеспечивают получение необходимой информации об угловом положении ротора относительно корпуса гироскопа.

Наиболее сложная часть системы съема для гироскопов бескарданных систем – электронный блок. Он формирует кодовую информацию об угле положения ротора с использованием измерения разности фаз двух сигналов, поступающих от предварительных усилителей датчиков, расположенных вдоль одной из осей прибора. По существу задача сводится к созданию цифрового фазометра для сигналов достаточно сложной формы, меняющихся в широком диапазоне частот, при отсутствии опорного генератора.

С учетом малого размера ротора систематические погрешности системы съема могут иметь значительные величины. Так, при погрешности нанесения растрового рисунка на ротор на уровне 10 мкм, систематическая погрешность измерения угла будет составлять около 7 угл. мин, что недопустимо для такого прибора.

Случайные погрешности первичного преобразователя системы съема – сравнительно малые величины. Так, при оптической схеме, когда диафрагма расположена на поверхности электродов подвеса, нестабильность распределения облученности вызовет ошибку измерения, не превышающую угловую секунду.

Система разгона и демпфирования нутационных колебаний ротора гироскопа. Среди различных принципов, используемых в системах формирования начального вектора кинетического момента гироскопов с неконтактным подвесом, для ЭСГ может быть применен только электромагнитный.

Основными задачами системы являются:

– разгон ротора до его рабочей скорости;

– демпфирование его нутационных колебаний до таких значений амплитуд этих колебаний, при которых возможна устойчивая работа системы списывания информации об угловом положении ротора;

– обеспечение требуемой начальной ориентации в связанной системе координат при запуске гироскопа или последующее его приведение к требуемому положению;

– торможение ротора перед отключением гироскопа.

В общем случае система состоит из разгонно-демпфирующих катушек (статоров привода), расположенных на корпусе чувствительного элемента, и электронного блока, формирующего в катушках токи по заданному алгоритму запуска гироскопа.

Необходимо учитывать относительно большую удаленность разгонно-демпфирующих катушек от поверхности ротора и наличие большого числа проводящих элементов конструкции сложной формы, расположенных между катушками и ротором.

Теория и опыт практической работы с ЭСГС показывают, что время, необходимое для разгона ротора до рабочих скоростей, мало по сравнению с временем, необходимым для демпфирования. С учетом того, что механическая характеристика двигателя существенно падает с увеличением частоты разгонного тока, одним из наиболее эффективных путей сокращения времени разгона ротора является использование скользящей частоты (частотного пуска), увеличивающейся по мере разгона ротора. Это решение существенно усложняет электронный блок системы разгона и демпфирования [38].

Длительность процесса демпфирования зависит от амплитуды нутационных колебаний в начальный момент работы гироскопа. Учитывая, что эффективность работы демпфирующих катушек резко падает с уменьшением амплитуды колебаний ротора, ужесточение требований к точности демпфирования приводит к существенному увеличению времени готовности и возможному перегреву прибора.

Обеспечение, поддержание и контроль вакуума в приборе. Этот комплекс научно – технических задач направлен на обеспечение вакуума внутри чувствительного элемента на уровне $10^7 \dots 10^8$ мм рт. ст. в течение всего периода эксплуатации прибора. Допустимый уровень давления в приборе определяется условиями минимизации тормозящего момента от остаточных газов в полости подвеса ротора. Коэффициент трения о газ определяется выражением:

$$b = \frac{8\pi r^4 P}{3\sqrt[3]{2\pi \frac{R_0 T}{M_0}}};$$

где r – радиус ротора; T – его температура; M_0 – молекулярная масса газа, уплотняющего зазор; R_0 – универсальная газовая постоянная; P – давление газа в зазоре.

Решение проблемы поддержания и контроля вакуума в чувствительном элементе гироскопа обеспечивается:

– созданием конструкции и технологии изготовления вакуумной камеры;

– разработкой средств поддержания и контроля вакуума в приборе при его хранении и эксплуатации.

Среди используемых типов микронасосов могут быть рассмотрены два основных: гетероионные на основе пассивного геттера и магниторазрядные, в которых при распылении геттера для ионизации газов используется высоковакуумный газовый разряд в скрещенных электрическом и магнитном полях. Любой тип насоса должен быть снабжен системой контроля вакуума в приборе.

В ЭСГС относительно большой вакуумный объем. При этом в меньшей степени сказываются десорбция газов и влияние микротечей, но требуется использование наиболее производительного средства откачки. Таким является магниторазрядный микронасос, более мощный по сравнению с гетероионным, но использующий высококоэрититивные материалы. Поэтому проблема применения такого насоса сводится к решению задачи экранирования прибора от внутренних магнитных полей насоса.

Микронасос прибора ЭСГС (рис. 3) – малогабаритный, магниторазрядный, с использованием постоянных магнитов на базе высококорзитивных сплавов SmCo₅ и монолитного анода из эрбия [39].

Уровень разряжного тока насоса является мерой вакуума в приборе. В логарифмическом масштабе зависимость тока насоса от остаточного давления внутри ЧЭ является линейной в диапазоне давлений от 10^{-9} мм. рт. ст. до 10^{-4} мм. рт. ст. Насос работает от источника постоянного напряжения 2кВ, встроенного в блок питания подвеса. Все это обеспечивает поддержание вакуума на уровне $10^7 \dots 10^{-8}$ мм. рт. ст.

Магнитное экранирование гироскопа. Задача минимизации влияния магнитных полей на вращающийся ротор ЭСГ в настоящее время является одной из важнейших при разработке гироскопа для бескарданных применений. В общем случае напряженность магнитного поля, действующего на ротор, может быть представлена в виде

$$\bar{H}_m = \bar{H}_{1m} + \bar{H}_{2m},$$

где \bar{H}_{1m} – напряженность поля, связанного с корпусом ЭСГ; \bar{H}_{2m} – напряженность внешнего по отношению к прибору поля.

Расчет допустимого значения напряженности магнитного поля, действующего на сплошной ротор ЭСГ, вращающийся с частотой 3кГц при уровне дрейфа не более 0,001 °/час, дает величину не более 0,4 А/м (для однородного магнитного поля, вектор напряженности которого направлен под углом 45° к вектору кинетического момента) [54].

Разработка системы защиты от внешних магнитных полей базируется на решении известных задач расчета магнитных экранов для обеспечения необходимых коэффициентов экранирования.

Конструкция ЭСГС, разработанного в ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»[62-68, 70-72,74] показана на рис. 4

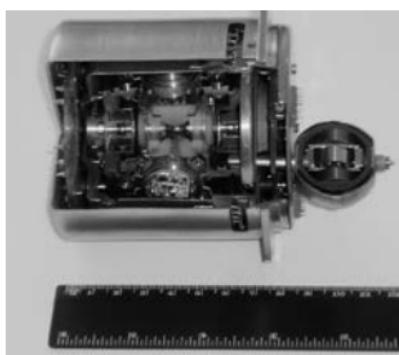


Рис. 4. Прибор ЭСГС



Рис. 3

Модель дрейфа гироскопа и задача идентификации параметров модели дрейфа. Исследования погрешностей ЭСГ со сплошным ротором показали, что этот тип гироскопа обладает уникальным консерватизмом параметров, определяющих его точность. Ротор такого гироскопа (в достаточно глубоком вакууме) подвержен воздействию только электрических и магнитных полей. Это позволяет, в отличие от других типов гироскопов, с высокой точностью проводить теоретические расчеты его погрешностей [40-53].

Основные моменты сил, действующих на сферический ротор, взвешенный в поле электрического подвеса, обусловлены отклонением формы ротора от правильной сферы, осевой и радиальной составляющими его дисбаланса, неравножесткостью каналов подвеса и остаточными магнитными полями.

В результате анализа погрешностей и данных

экспериментальных исследований в качестве базовой принятая детерминированная модель ухода ЭСГ, которая представляется в виде аналитических функций, связывающих геометрические параметры несферического и несбалансированного ротора с параметрами физических полей – источников уводящих моментов. При этом зависимости строятся с учётом произвольной ориентации ротора, а проекции ускорений характеризуются управляющими напряжениями на электродах, которые являются реакциями подвеса на силовые воздействия.

Так, скорость дрейфа в проекции на одну из осей корпуса гироскопа имеет вид:

$$\begin{aligned}\omega_x = k_0 \gamma_1 & \left[-\left(1 - \gamma_1^2\right) \gamma_1^2 + \gamma_2^4 + \gamma_3^4 \right] \\ & + k_1 \left[-\left(1 - \gamma_1^2\right) V_1 + \gamma_1 \gamma_2 V_2 + \gamma_1 \gamma_3 V_3 \right] + \\ & + k_2 \gamma_1 \left[-\left(1 - \gamma_1^2\right) V_1^2 + \gamma_2^2 V_2^2 + V_3^2 \right] V_3^2 + \\ & + k_3 \gamma_1 \left[-\left(1 - \gamma_1^2\right) \gamma_1 V_1 + \gamma_2^3 V_2 + \gamma_3^3 V_3 \right] + \\ & + k_4 \gamma_1 \left[-\left(1 - \gamma_1^2\right) \gamma_1^2 V_1^2 + \gamma_2^4 V_2^2 + \gamma_3^4 V_3^2 \right] + \\ & + (\bar{h}, \bar{\gamma}) \left\{ \frac{\alpha''}{H} (h_3 \gamma_2 - h_2 \gamma_3) + \frac{\alpha'}{H} [h_1 - \gamma_1 (\bar{h}, \bar{\gamma})] \right\} + \\ & + \gamma_1 (\mu_{12} \gamma_2^2 - \mu_{31} \gamma_3^2) + \gamma_2 \gamma_3 v_{23}.\end{aligned}$$

Здесь:

- V_i – относительные управляющие напряжения на электродах подвеса (отношение управляющих напряжений к опорному);

- V_θ, h_i – проекции напряженности магнитного поля на оси корпуса; α', α'' – действительная и мнимая части определяемого экспериментально коэффициента поляризуемости ротора;

- μ_{ij} – коэффициенты, характеризующие консервативную часть момента от взаимодействия неравноклетчатого подвеса с радиально несбалансированным ротором, а коэффициенты v_{ij} – диссипативную часть данного момента.

При этом γ, V_i являются измеряемыми величинами, а коэффициенты $k_i, \mu_{ij}, v_{ij}, h_i$ должны быть определены обработкой данных испытаний гироскопа [57, 60].

Представленная в таком виде модель не содержит параметров, требующих использования внешней информации при решении задачи определения (идентификации) её коэффициентов.

Все параметры модели имеют явно выраженный физический смысл. Так, например, коэффициенты модели ухода от консервативных составляющих определяются следующими формулами:

$$\begin{aligned}k_0 &= k_4 = 35 f_0 r a_4 S_{14} H^{-1} \\ k_1 &= 2 f_0 r (2 a_1 S_{11} - 3 a_3 S_{13}) H^{-1} \\ k_2 &= 3 f_0 r (2 a_2 S_{12} - 3 a_4 S_{14}) H^{-1} \\ k_3 &= 30 f_0 r a_3 S_{13} H^{-1} \\ f_0 &= \frac{1}{2} \varepsilon_0 V_0^2 d_0^{-2},\end{aligned}$$

где H – кинетический момент гироскопа, d_0 – номинальный рабочий зазор в подвесе.

Учитывая приведенную модель уходов, движение орта γ вектора кинетического момента относительно системы координат, связанной с корпусом ЭСГ и вращающейся с угловой скоростью ω_k , можно описать векторным уравнением

$$\frac{d\bar{\gamma}}{dt} = (\bar{\omega}_k - \bar{\omega})\bar{\gamma},$$

или, в виде проекций на оси той же системы координат (например, на ось X):

$$\begin{aligned}\dot{\gamma}_1 - \omega_3\gamma_2 + \omega_2\gamma_3 &= k_1(V_3\gamma_2 - V_2\gamma_3) + \gamma_2\gamma_3[-k_0(\gamma_2^2 - \gamma_3^2) + k_2(V_3^2 - V_2^2) + \\ &+ k_3(V_3\gamma_3 - V_2\gamma_2) + k_4(V_3^2\gamma_3^2 - V_2^2\gamma_2^2) + \mu_{23}] + (h_1\gamma_1 + h_2\gamma_2 + h_3\gamma_3)\gamma_2[\alpha_2(h_2\gamma_1 - h_1\gamma_2) + \\ &+ \alpha_1(h_3 - \gamma_3(h_1\gamma_1 + h_2\gamma_2 + h_3\gamma_3))] - \gamma_3(h_1\gamma_1 + h_2\gamma_2 + h_3\gamma_3)[\alpha_2(h_1\gamma_3 - h_3\gamma_1) + \\ &+ \alpha_1(h_2 - \gamma_2(h_1\gamma_1 + h_2\gamma_2 + h_3\gamma_3))] + \gamma_1(v_{31}\gamma_3^2 - v_{12}\gamma_2^2).\end{aligned}$$

Уравнение описывает общий характер прецессионного движения ЭСГ, а также параметры видимого движения относительно Земли. Структура траекторий определяется соотношением консервативных и диссипативных моментов и зависит от ориентации кинетического момента и корпуса относительно Земли.

Возмущающие моменты, вызванные влияниями на ротор остаточного магнитного поля, не стабильны и их идентификация представляет собой сложную проблему. Поэтому в конструкции гироскопа необходимо эффективно отградить ротор от магнитных полей.

Полученные зависимости позволили определить требования к основным параметрам гироскопа со сплошным ротором, исходя из требований интегральной точности прибора. Существующая технологическая и метрологическая база обеспечивают достижимые характеристики точности гироскопа на уровне единиц градусов в час, для систематической составляющей ухода на неподвижном основании и на уровне 10^{-2} – 10^{-3} град/ч, для случайной составляющей.

В общем виде теоретически решены задачи идентификации параметров детерминированной модели дрейфа, разработаны математическое обеспечение и методики испытаний, определены требования к аппаратуре испытаний и созданы образцы такой аппаратуры с использованием автоматизированной регистрации и обработки результатов испытаний.

Испытания нескольких десятков ЭСГ показали нестабильность уровня дрейфа гироскопа не хуже $0,007$ град/ч, погрешность системы съема информации об угловом положении ротора не хуже 40 угл. сек, перегрузочная способность подвеса до 15г, потребляемая мощность на уровне 7 Вт.

Заключение

Результаты теоретических, экспериментальных исследований, разработка и внедрение новых технологий, создание метрологической базы и подготовка производства позволили создать электростатический гироскоп для бескарданных гироскопических систем различного назначения [65–75].

Такой тип гироскопа наилучшим образом приближен к классическому свободному гироскопу. В настоящее время он используется в разработанных в ОАО "Концерн "ИЧИИ "Электроприбор" системах определения ориентации орбитальных космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли. В составе этой системы гироскопы прошли летно-конструкторские испытания на 10 КА, подтвердившие их высокие эксплуатационные характеристики.

Подготовлены решения об использовании ЭСГ в новых задачах развития отечественного приборостроения.

Работа была поддержанна российским Фондом фундаментальных исследований, проект № 108-00-904-а

ЛИТЕРАТУРА

1. Anfinogenov A.S., Gusinsky V.Z., Panferov O.I. *Electrostatic Gyro* // The Second Soviet-Chinese Symposium of Inertial Technology. Saint Petersburg. 1992. P. 71-73.

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

2. Чарышев Ш.Ф., Брюшков В.Г. Базовые чувствительные элементы ИНС. Электростатический гироскоп. М.: 1988. 148 с.
3. Leger P., Bihain F. A la Recherche Le Gyroscope a Suspension Electrostatique // Navigation. Revue Technique de Navigation Maritime Africaine et Spatiale. Avril 1984. Vol. 32. № 126. P.223-238.
4. Duncan R.R. A Strapdown Inertial Navigator Using Miniature Electrostatic Gyro // Proc. of the National Aerospace Meeting. Washington, 1973, March, 13-14. P.13.
5. Semiat J.N. Similarities Between Classical Celestial Navigation and Electrostatic Gyro Navigation // U.S. Navigation. 1979. Vol. 26. № 3. P. 54-60.
6. Blanchard R.L. High Accuracy Calibration of Electrostatic Gyro Strapdown Navigation System // Autonetics Div. of Rockwell Int. America Inst. of Aeronautics and Astronomic Inc. 1978. P. 130-136.
7. Murray Mc M.W. Ling J.S. Development and Testing of a Precise Marine Electrostatic Gyroscope // I.O.N. Annual Meeting. 1972, June. P. 17-27.
8. Andrews A. Calibrating the Drift Rates of Strapdown Electrostatic Gyroscopes // Autonetics Div. of Rockwell Int. NAECON. 1973. P. 76-81.
9. Fairbank W. M., Schiff L. I. Proposed Experimental Test of General Relativity, Letter to Dr. Abe Silverstein, NASA Office of Space Flight Programs, January 27, 1961.
10. Schiff L. I.. Possible New Experimental Test of General Relativity Theory. Physical Review Letters, Vol. 4, No. 5, March, 1960.
11. Everitt, C. W. F. A Superconducting Gyroscope to Test Einstein's General Theory of Relativity, Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, pp. 175-188, August 30-31, 1978.
12. Report on a Program to Develop a Gyro Test of General Relativity in a Satellite and Associated Control Technology, coordinated by C.W.F. Everitt, W. W. Hansen, Laboratories of Physics and the Department of Aeronautics and Astronautics, Stanford University, June 1980.
13. Everitt, C. W. F. The Gyroscope Experiment I: General Description and Analysis of Gyroscope Performance, Experimental Gravitation (B. Bertotti, ed.), Academic Press, pp.361-380, New York, 1973.
14. Hendriks LB. Karr C.R. Superconducting Gyroscope Reseach. Final report. The University of Alabama in Huntsville. February 1985.
15. Keiser G.M. Support dependent Torques in the Relativity Gyroscope Experiment // Proc. of the Grossman Meeting on General Relativity. 1986. P. 465-675.
16. Gao Z.Y., Song H., Hua Q.F., Kistner A. Optimization and Application of Identifying the Gyro Drift Error Model by Using a Servo Turntable // The First International Symposium on Inertial Technology. China. Beijing. 1989, May. P. 243-256.
17. Yang W.A., Teng Y.H., Zhang Y.S. Metods for improving the accuracy of electrostatic suspension systems. International Symposium on Experimental Gravitational Physics. Guangzhou, China, 3-8 August 1987. World Scientific. Singapore. New Jersey. Hong Kong.
18. Zhang Y.S., Teng Y.H., Yang W.Q. Development of a Strapdown North-Finder Using Electrostatically Suspended Gyroscope // The First International Symposium on Inertial Technology. China. Beijing. 1989. P. 219-229.
19. Zhang Yashen. Test and Evaluation of random Error in Electrostatic Gyro // The Second Soviet-Chinese Symposium of Inertial Technology. Saint Petersburg. 1992. P. 73-80.
20. Lu Kai & oth. The research of ESG Strapdown North-Seeking Instrument for Field Survey // The Fourth Russian-Chinese Symposium on Inertial Technology (Chinese Part). Saint Petersburg. 1993. P. 15-21.
21. Li Ping & oth. Quick-determination of Drift Error Coefficients of Gyros in a Platform // The Fourth Russian-Chinese Symposium on Inertial Technology (Chinese Part). Saint Petersburg. 1993. P. 23-34
22. Заготовка ротора электростатического гироскопа. Беляев Н.И., Ландau Б.Е. и др. // Авт. свидетельство № 2 114 396 от 27.06.1998
23. Способ регулировки осевого дисбаланса сферического ротора шарового гироскопа с аэродинамическим подвесом / Ландau Б.Е., Осипов С.М. // Авт. свидетельство № 312368 СССР.
24. Способ изготовления ротора шарового гироскопа // Авт. свидетельство № 2 286 535 от 27.10. 2006
25. Способ диффузионной сварки в вакуме деталей по плоским кольцевым поверхностям сопряжения / Беляев Н.И., Ландau Б.Е. // Авт. свидетельство № 307320 СССР.
26. Способ диффузионной сварки в вакуме / Ландau Б.Е., Щербак А.Г. // Авт. свидетельство № 329265 СССР.
27. Способ диффузионной сварки в вакуме / Беляев Н.И., Ландau Б.Е. // Авт. свидетельство № 332737 СССР
28. Способ диффузионной сварки деталей по плоским кольцевым поверхностям сопряжения и устройство для его осуществления / Беляев Н.И., Ландau Б.Е. и др. // Авт. свидетельство № 315249 СССР.
29. Электростатический подвес / Гуревич С.С., Ландau Б.Е. // Авт. свидетельство № 246485 СССР.
30. Гирокамера электростатического гироскопа // Авт. свидетельство № 2 193 159 от 20.11. 2002
31. Способ изготовления электродного блока гирокамеры ЭСГ и инструмент для изготовления электродного блока гирокамеры ЭСГ. // Авт. свидетельство № 2 202 103 от 20.11. 2002
32. Способ звешивания ротора электростатического гироскопа / Гусинский В.З., Ландau Б.Е // Авт. свидетельство № 318483 СССР.

ВКЛАД ВЫПУСКНИКОВ КАФЕДРЫ В НАУКУ

-
33. Система контроля за положением ротора электростатического гироскопа / Гуревич С.С., Ландау Б.Е. и др. // Авт. свидетельство №328346 СССР.
34. Губаренко С.И., Ландау Б.Е. и др. Синтез передаточной функции следящей системы подвеса ЭСГ // Гирокопия и навигация. 1994. № 2(5). Дмитриев С.П., Ландау Б.Е., Левин С.Л., Мартыненко Ю.Г. ЭСГ со сплошным ротором, применение в системе ориентации космических аппаратов // II Международная конференция по гирокопической технике и навигации. Спб., 1995.
35. Дюгурев С.М., Ландау Б.Е., Чуфарин В.А. Система съема угловой информации о положении ротора для БЭСГ // Материалы XVIII МНТК памяти Н.Н.Остякова Спб. 1993
36. А.с. 293744 СССР. Гирокоп с оптическим пульс-индикатором. / Дюгурев С.М., Ландау Б.Е. // Авт. свидетельство № 2 193 162 от 20.11.2002
37. Дюгурев С.М., Ландау Б.Е. Об измерительном трехграннике бескарданного электростатического гироскопа. Гирокопия и навигация. №1, 1999
38. Привод электростатического гироскопа. / Гуревич С.С., Ландау Б.Е. и др. // Авт. свидетельство № 2 208 764 от 20.07.2003
39. Магниторазрядный преобразователь. / Ландау Б.Е., Попкова С.Е. и др. // Авт. свидетельство № 803877 СССР. 1990.
40. Мартыненко Ю.Г. Движение твердого тела в электрических и магнитных полях, Наука, Москва, 1988.
41. Мартыненко Ю.Г. Уходы электростатического гироскопа, вызываемые несферичностью ротора // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. 1970. № 1. С. 10-18.
42. Мартыненко Ю.Г. Движение несбалансированного гироскопа с неконтактным подвесом // Изв. АН СССР. Механика твердого тела. 1974. № 4. С. 13-19.
43. Мартыненко Ю.Г. Гирокоп в неконтактном подвесе. Дисс. на соиск. уч. ст. докт. физ.-мат. наук. М.: МГУ. 1978. 279 с.
44. Буравлев А.П., Ландау Б.Е. и др. Модель дрейфа ЭСГ для БИНС // Материалы секции РАН. М., 1993.
45. Ландау Б.Е., Мартыненко Ю.Г. и др. Зависимость угловой скорости ЭСГ от температуры окружающей среды // Изв. АН. Механика твердого тела. 1993. № 3.
46. Буравлев А.П., Ландау Б.Е. и др. Модель дрейфа свободного ЭСГ и методы идентификации ее параметров // IV Российско-китайский симпозиум по инерциальной технике. Спб., 1993.
47. Губаренко С.И., Ландау Б.Е., Мартыненко Ю.Г. Нестабильность угловой скорости вращения несбалансированного ротора ЭСГ в неравножестком подвесе на подвижном основании // Материалы XIX МНТК памяти Н.Н.Остякова. Спб. 1994г.
48. Buravylov A.P. et al. "The drift model for a free ESG and the methods used to identify its parameters", Proceedings of the 4th Russian-Chinese Symposium on Inertial Technology, St.Petersburg, CSRI Elektropribor, 1993.
49. Буравлев А.П., Ландау Б.Е. и др. Модель дрейфа ЭСГ для БИНС // Материалы секции РАН. М., 1993.
50. Ландау Б.Е., Дюгурев С.М., Левин С.Л., Челапин И.Б. Интегрированная модель погрешностей бескарданного электростатического гироскопа для космического применения. Международный симпозиум «Аэрокосмические приборные технологии», СПб., ГУАП, 17-20 сентября. 2002
51. Buravylov A.P., Landau B.Ye., Levin S.L., Romanenko S.G.. A drift model of a strapdown electrostatic gyro and identification of its parameters. Actual problems of aviation and aerospace systems: processes, models, experiment, 1(13) 2002 Kazan State Technical University of A.N.Tupolev's name (KAI)
52. Buravylov A.P., Demidov A.N., Landau B.E. & oth. Free ESG Drift Rate Model and Methods of Parameter Identification // The Fourth Russian-Chinese Symposium on Inertial Technology (Russian Part). Saint Petersburg. 1993. P. 28-33.
53. Landau B. Ye. et.al. The motion of a strapdown electrostatic gyro influenced by conservative and nonconservative forces", Gyroscopy and Navigation, No 3, 1996.
54. Завгородний В.И., Ландау Б.Е., Мартыненко Ю.Г. Экспериментальное определение магнитной поляризумости вращающегося проводящего шара в однородном магнитном поле // Материалы XIX МНТК памяти Н.Н.Остякова. Спб. 1994г.
55. Ландау Б.Е., Мартыненко Ю.Г. Зависимость угловой скорости ЭСГ от температуры окружающей среды. // Изв. АН. Механика твердого тела. 1993. № 3.
56. В.Э.Джаниотов, Ландау Б.Е., В.М.Панкратов. Тепловые процессы, температурные возмущающие факторы и погрешности сферических гироскопов с бесконтактным подвесом ротора. Гирокопия и навигация, № 1(12), 1996
57. Мартыненко Ю.Г., Губаренко С.И., Кузьменко В.Г. Методы и алгоритмы идентификации систематических дрейфов неконтактного гироскопа // 18-я международная НТК. С.-Пб.: ЦНИИЭП. 1993. С. 30.
58. Martynenko Yu. G. The Electrostatic Gyroscope Motion in the Non uniform Gravitational Field // The First International Symposium on Inertial Technology. China. Beijing. 1989, May. P. 231-236.
59. Martynenko Yu. G. The Electrostatically Suspended Gyroscope Dynamics on the Rotating Earth // The Second Soviet-Chinese Symposium of Inertial Technology. Saint Petersburg. 1992. P. 80-83.
60. Гуревич С. С., Гусинский В. З., Завгородний В. И., Ландау Б. Е., Левин С.Л., Романенко С. Г. Определение коэффициентов модели ухода бескарданного электростатического гироскопа по результатам стендовых испытаний.. Гирокопия и навигация №2, 1999
61. Пешехонов В.Г. "Гирокопы начала XXI века // Гирокопия и навигация, 2003, № 4(43).

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

62. **Ландau Б.Е. и др.** Основные результаты разработки ЭСГ со сплошным ротором. // Материалы XVI МНТК памяти Н.Н.Острякова Л. 1988.
63. **Ландau Б.Е.** ЭСГ со сплошным ротором. //Материалы III китайско-советского симпозиума. Нанкин, 1992.
64. Гусинский В. З., **Ландau Б. Е., Пешехонов В.Г.** Electrostatic gyro in spacecraft strapdown inertial orientation system. Second International Symposium on Inertial Technology in Beijing (BISIT); Beijing, China, October, 1998 Academic Exchange Department, Chines Society of Internatinal Technology, Editorial Office, Journal Inertial Technology, p.104-113.
65. **Ландau Б.Е. Мартыненко Ю.Г.** Проблемы создания электростатического гироскопа со сплошным ротором, предназначенного для бескарданных инерциальных систем ориентации космических аппаратов. // III Международная конференция по гироскопической технике и навигации. Сиб., 1996
66. **Ландau Б.Е. и др.** Основные результаты разработки ЭСГ со сплошным ротором. // Материалы XVI МНТК памяти Н.Н.Острякова Л. 1988.
67. **Ландau Б.Е.** ЭСГ со сплошным ротором. //Материалы III китайско-советского симпозиума. Нанкин, 1992.
68. **Ландau Б.Е.** Электростатический гироскоп со сплошным ротором. // Гироископия и навигация. 1993. Вып. 1.
69. **Ландau Б.Е. Цветков В.Н. и др.** ЭСГ со сплошным ротором // Материалы XVIII МНТК памяти Н.Н.Острякова. СПб., 1993.
70. **Ландau Б.Е. Мартыненко Ю.Г.** Теоретические основы проектирования ЭСГ со сплошным ротором. (Конспект лекций, изданный на китайском языке). – Пекин: Университет Синьхуа, 1996. – 68 с.
71. **Ландau Б. Е., Гуревич С. С., Завгородний В. И., Левин С.Л., Романенко С. Г.** Электростатический гироскоп для космических систем ориентации. Проблемные вопросы проектирования и эксплуатации бортовых и наземных систем управления объектов ракетно-космической техники РВСН. Научно-техническая конференция (21-22 октября 1999 г.). Тезисы докладов. г. С-Петербург
72. **Ландau Б.Е.** Электростатический гироскоп со сплошным ротором. Гироископия и навигация. 1993, № 1, с.6-11,
73. **Ландau Б.Е.** Современные тенденции развития чувствительных элементов инерциальных навигационных систем. «Навигация и управление движением» по материалам 1^{ой} научно-технической конференции молодых ученых, Санкт-Петербург 1999
74. **Б.Е. Ландau, С.Л. Левин, С.Г. Романенко, И.Б. Челпанов.** Электростатический гироскоп со сплошным ротором для бескарданных систем навигации и ориентации. Труды конференции по теории колебаний и управлению. Москва. 2000 г.

В.Я. РАСПОПОВ

**МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ГИРОСКОПЫ И АКСЕЛЕРОМЕТРЫ
В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ***

Введение

Одним из перспективных направлений использования микромеханических гироскопов и акселерометров (ММГ и ММА) является их применение в качестве инерциальных датчиков для беспилотных систем ориентации и навигации (БСОиН) летательных аппаратов (ЛА), входящих в состав различных комплексов вооружения, малоразмерных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), а также для решения ряда задач по их управлению с помощью специальных информационно-управляющих систем, выполняющих функции обработки команд управления [1, 2].

1. Принципы построения БСОиН

В БСОиН решение навигационной задачи осуществляется автономными средствами, т.е. на основании показаний гироскопов, акселерометров и часов [3–5]. Обобщенная функциональная схема БСОиН приведена на рис. 1.

Функциональная схема иллюстрирует алгоритм системы, работающей в подвижной системе координат (наиболее часто – горизонтной). Гироскопы и акселерометры вместе с сервисной электроникой объединяются в инерциальный измерительный модуль (ИИМ), являющийся источником первичной навигационной информации. Информация с гироскопов в виде проекций вектора абсолютной угловой скорости Ω_c на связанные с ЛА оси подается в алгоритм ориентации. Алгоритм ориентации основан на решении кинематических уравнений, записанных относительно искомых параметров ориентации. В качестве параметров ориентации могут быть использованы углы Эйлера – Крылова, направляющие косинусы, кватернионы и др. Наиболее часто в алгоритмах БСОиН используются кватернионы, которые для передачи на регистрирующие устройства пересчитываются в традиционные углы рыскания ψ , тангажа θ и крена γ . Алгоритм ориентации также формирует матрицу C , с помощью которой осуществляется пересчет информации из связанной системы координат в горизонтную (географическую).

Для определения матрицы C необходимо привлечение информации об абсолютной угловой скорости горизонтного трехгранника Ω_g . Информация с акселерометров в виде проекций вектора текущего ускорения n_c на оси связанной системы координат передается в блок пересчета, с помо-

*Пленарный доклад на 3-й мультиконференции по проблемам управления, 2010.

цию которого осуществляется проектирование проекций кажущегося ускорения n_c , измеренных акселерометрами, на оси горизонтной системы координат n_g . Информация о проекциях кажущегося ускорения на оси горизонтной системы координат поступает в навигационный алгоритм, гдерабатываются координаты местоположения объекта X, Y, Z и скорость V . Здесь же определяется абсолютная угловая скорость Ω_g горизонтной системы координат, поступающая в алгоритм ориентации.

Главным недостатком инерциальной навигации является накопление погрешностей с течением времени. Основными источниками погрешностей БСОиН являются ошибки ММГ и ММА [6].

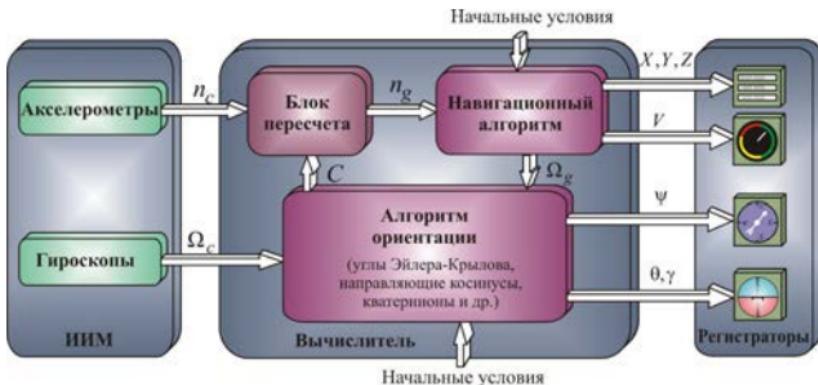


Рис. 1. Функциональная схема БСОиН

Дальность полета высокодинамичных ЛА тактического применения, а также малоразмерных БПЛА, как правило, находится в диапазоне 5-100 км, поэтому для описания движения центра масс подобных ЛА можно использовать прямоугольную земную систему координат с началом в точке старта ЛА.

При решении задачи о влиянии погрешностей ММГ и ММА на точность решения навигационной задачи такое допущение оправдано [6, 7]. Гравитационное поле Земли предполагается нормальным плоскости горизонта, а суточное вращение Земли отсутствует. Приведенные допущения приводят к разрыву связи в схеме алгоритма БИНС между блоком навигационного алгоритма и блоком ориентации (см. рис. 1).

Схема моделирования погрешностей БИНС приведена на рис. 2. На этом рисунке символами n и ω обозначены векторы кажущегося ускорения и абсолютной угловой скорости ЛА, которые поступают в «идеальный» и «возмущенный» алгоритмы работы БИНС. Возмущенный алгоритм работы БИНС отличается от идеального наличием воздействий в виде погрешностей гироканпов $\Delta\omega$ и погрешностей акселерометров Δa . Выходом алгоритма идеальной работы БИНС являются векторы истинной скорости V и координат местоположения ЛА S в земной системе координат, выходом возмущенного алгоритма – соответственно векторы \tilde{V} и \tilde{S} , содержащие погрешности. Сравнение выходных сигналов алгоритмом позволяет найти погрешности БИНС ΔV , ΔS .

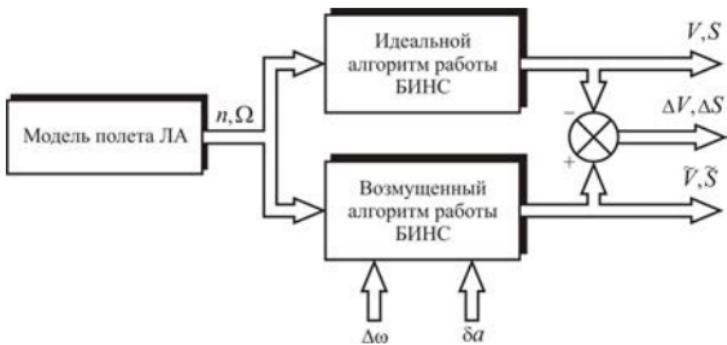


Рис. 2. Схема моделирования

2. Погрешности гироскопов

Инерциальный измерительный модуль (ИИМ) содержит триаду гироскопов $\Gamma_X, \Gamma_Y, \Gamma_Z$, выходные сигналы которых $u_X^\Gamma, u_Y^\Gamma, u_Z^\Gamma$ в идеальном случае можно представить в виде

$$u^\Gamma = K^\Gamma E\omega, \quad (1)$$

где $u^\Gamma = \begin{bmatrix} u_X^\Gamma & u_Y^\Gamma & u_Z^\Gamma \end{bmatrix}^T$ – вектор истинных показаний гироскопов,

$K^\Gamma = \begin{bmatrix} k_x^\Gamma & 0 & 0 \\ 0 & k_y^\Gamma & 0 \\ 0 & 0 & k_z^\Gamma \end{bmatrix}$ – матрица номинальных коэффициентов преобразования гироскопов, $k_x^\Gamma, k_y^\Gamma, k_z^\Gamma$ – коэффициенты преобразования гироскопов $\Gamma_X, \Gamma_Y, \Gamma_Z$ соответственно,

$\omega = [\omega_X \ \omega_Y \ \omega_Z]^T$ – столбцевая матрица, заданная проекциями вектора абсолютной угловой скорости связанной системы координат на свои ребра, E – единичная матрица.

В реальных условиях выходные сигналы гироскопов имеют вид

$$\tilde{u}^\Gamma = \tilde{K}^\Gamma M\omega + \varepsilon^u, \quad (2)$$

где $\tilde{K}^\Gamma = K^\Gamma + \Delta K^\Gamma$, ΔK^Γ – погрешность матрицы коэффициентов преобразования гироскопов,

$\varepsilon^u = [\varepsilon_X^u \ \varepsilon_Y^u \ \varepsilon_Z^u]^T$ – вектор смещений (дрейфов) нулей гироскопов (имеет размерность выходного сигнала гироскопов), M – матрица направляющих косинусов, характеризует отклонение системы координат $OX_HY_HZ_H$, связанной с ИИМ, от связанной с летательным аппаратом $OXYZ$ на углы

η_1, η_2, η_3 (рис. 3). Здесь и далее символом «~» отмечены параметры, содержащие погрешности.

Матричное уравнение для выходных сигналов гироскопов имеет вид:

$$\tilde{\omega} = (E + 10^{-2} \delta K^\Gamma) M \omega + \varepsilon, [\text{рад/с}] \quad (3)$$

где $\delta K^\Gamma = (K^\Gamma)^{-1} \Delta K^\Gamma \cdot 100\%$ – матрица относительных погрешностей коэффициентов преобразования гироскопов; $\varepsilon = (K^\Gamma)^{-1} \varepsilon^n$.

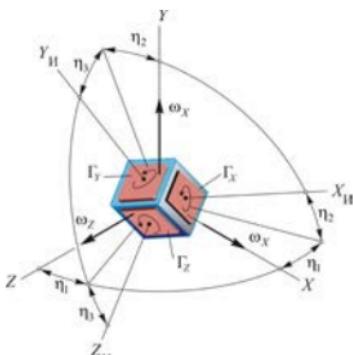


Рис. 3. Положение измерительных осей гироскопов относительно связанной системы координат

Для того чтобы получить уравнение погрешностей гироскопов, необходимо из соотношения (3) вычесть истинную угловую скорость ω

$$\Delta\omega = 10^{-2} \delta K^\Gamma \omega - [M]\omega + \varepsilon. \quad (4)$$

Первый член в уравнении (4) характеризует погрешности коэффициентов преобразования гироскопов, второй член – влияние неточности установки измерительных осей гироскопов относительно связанной системы координат, третий член – смещение нуля. Погрешность смещения нуля ε представляют в виде суммы систематической ε_S (Systematic Error) и случайной ε_R (Random Error) составляющей

$$\varepsilon = \varepsilon_S + \varepsilon_R, \quad (5)$$

Причина возникновения смещения выходного сигнала в ММГ вызвана воздействием возмущающих сил (моментов) на подвижные части гироскопа и разбалансом электронных узлов, систем съема и обработки ин-

формации [8].

Для анализа случайных погрешностей гироскопов широко применяют:

- спектральную плотность мощности (Power Spectral Density(PSD));
- вариацию Аллана (Allan Variance (AVAR)) [9–11].

Спектральная плотность мощности $S(\omega)$ определяется как двухстороннее преобразование Фурье от корреляционной функции $K(\tau)$

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} K(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad \left[\frac{\text{ед}^2}{\text{с}^{-1}} \right],$$

и характеризует распределение мощности случайного сигнала по частотам.

Вариация Аллана рассчитывается по следующей формуле:

$$\sigma^2(nT_0) = \frac{1}{2(M-2n)(nT_0)^2} \sum_{m=1}^{M-2n} (\theta_{m+2n} - 2\theta_{m+n} + \theta_m)^2, \quad (6)$$

где $\theta_m = \int_0^{mT_0} \omega(t) dt$ – угол, накопленный в результате интегрирования выходного сигнала гироскопа $\omega(t)$ в течение M отсчетов, каждый из которых имеет длительность T_0 (длина записи mT_0); $n = 1, 2, 3, \dots, n_{\max} \leq (M-1)/2$.

Чаще определяется не вариация Аллана, а отклонение Аллана (Allan Deviation (AD)) $\sigma(nT_0)$ как корень квадратный из вариации Аллана. Затем строится график отклонения Аллана, причем по оси

абсцисс откладывается десятичный логарифм среднего времени $\tau = nT_0$, а по оси ординат – десятичный логарифм отклонения Аллана. Далее осуществляется анализ наклона различных участков кривой отклонения Аллана, по которым судят о присутствии всевозможных составляющих погрешности ММГ.

Систематическую погрешность смещения нуля представляют в свою очередь следующим образом: $\varepsilon_S = \varepsilon_{SB} + \varepsilon_{SA}$, где ε_{SB} – основная (*Basic*) систематическая погрешность, ε_{SA} – дополнительная (*Additional*) систематическая погрешность.

Основная систематическая погрешность данного гироскопа, как правило, будет отличаться от систематической погрешности другого экземпляра гироскопа этого же типа, вследствие чего для группы однотипных гироскопов основная систематическая погрешность может рассматриваться как случайная погрешность, постоянная в данном запуске.

Дополнительные погрешности гироскопов вызываются его чувствительностью к изменению внешних факторов (*Environment*). К дополнительному дрейфу нуля гироскопов относят:

- чувствительность к ускорениям $\varepsilon_{SAa}\Delta t$, где ε_{SAa} – коэффициент чувствительности гироскопа к ускорению относительно соответствующей оси [(рад/с)/(м²)] или [(рад/с)/г], a – ускорение [м/с²].
- чувствительность к изменению температуры $\varepsilon_{SA\Delta t}$, где $\varepsilon_{SA\Delta t}$ – коэффициент чувствительности гироскопа к изменению температуры [(рад/с)/(К)] или [(рад/с)/°C], Δt – величина отклонения температуры от нормальной [К, °C].
- чувствительность к вибрациям $\varepsilon_{SAv}V$, где ε_{SAv} – коэффициент чувствительности гироскопа к частоте вибрации [(рад/с)/(с⁻¹)] или [(рад/с)/Гц], v – частота вибрации [с⁻¹], [Гц].

Случайные погрешности гироскопов представляют в виде:

$$\varepsilon_R = \varepsilon_{WN} + \varepsilon_{BI} + \varepsilon_{RRW} + \varepsilon_M,$$

где ε_{WN} – белый шум (*White Noise*), ε_{BI} – нестабильность нуля (*Bias Instability*), ε_{RRW} – случайное блуждание угловой скорости (*Random Rate Walk*) ε_M – экспоненциально-коррелированный (марковский) шум.

Термин «белый шум» возник по аналогии с белым светом, включающим электромагнитные волны на всех частотах видимого диапазона. Так и белый шум теоретически включает колебания сигнала на всех частотах. Теоретическая спектральная плотность мощности белого шума постоянна на всех частотах.

Выходной сигнал гироскопа подвержен различным возмущениям, например, ММГ подвержен термомеханическому шуму, который вызывает флюктуации угловой скорости, которые могут быть гораздо больше, чем истинная скорость датчика. Если сигнал гироскопа принимается в дискретные моменты времени длительностью T_0 , то шум гироскопа может быть описан белой последовательностью (дискретным белым шумом) с нулевым средним $M[\varepsilon_{WN}] = 0$. Причем белая последовательность, в отличие от непрерывного белого шума имеет конечную дисперсию σ_{WN}^2 .

Следовательно, при интегрировании шума гироскопа типа белой последовательности возникает случайная погрешность в определении угла поворота объекта с нулевым средним и средним квадратическим отклонением (СКО)

$$\sigma_\theta(t) = \sigma_{WN} \sqrt{T_0 \cdot t} \quad (6)$$

Формула (6) показывает процесс накапливания среднего квадратического отклонения угла $\sigma_\theta(t)$ в результате интегрирования за время t белой последовательности с временем дискретизации T_0 .

Обычно в технических описаниях к гироскопам используются характеристики не самого белого шума, а параметры случайного процесса, полученного в результате интегрирования белого шума. Такой случайный процесс называется винеровским случайнм процессом (*Wiener Random Process*) или случайнм блужданием (*Random Walk*), что в данном случае является случайнм блужданием угла.

Для характеристики белого шума используется величина, называемая случайнм блужданием угла (*Angle Random Walk (ARW)*), определяемая следующим образом:

$$ARW = \sigma_{WN} \sqrt{T_0} \quad (7)$$

с размерностью $\frac{\text{рад}}{\text{с}} \sqrt{\text{с}} = \frac{\text{рад}}{\sqrt{\text{с}}} \text{ (или } \text{°}/\sqrt{\text{с}}, \text{ °}/\sqrt{\text{ч}} \text{).}$

С учетом (7) соотношение (6) можно представить в виде

$$\sigma_\theta(t) = ARW \sqrt{t}. \quad (8)$$

Нестабильность нуля вызвана шумом в электронных компонентах съема и обработки информации гироскопов. Нестабильность нуля связывают с так называемым $1/f$ шумом или фликкер-шумом (*flicker noise*), имеющим спектральную плотность

$$S(\omega) = \begin{cases} \frac{B^2}{2\pi} \frac{1}{\omega} & \omega \leq \omega_0 \\ 0 & \omega > \omega_0, \end{cases} \quad (9)$$

где ω_0 – граничная частота, B – коэффициент нестабильности нуля.

Случайнное блуждание угловой скорости ε_{RRW} описывается винеровским случайнм процессом (случайнм блужданием) вида

$$\frac{d}{dt} \varepsilon_{RRW} = w(t), \quad (10)$$

где $w(t)$ – белый шум с нулевым средним $M[w(t)] = 0$.

Из (10) следует также

$$\varepsilon_{RRW} = \int_0^t w(\tau) d\tau.$$

СКО случайнного блуждания скорости накапливается со временем аналогично соотношению (6)

$$\sigma_\omega(t) = \sigma_{WN} \sqrt{T_0 \cdot t}, \quad (11)$$

где σ_{WN} – СКО белого шума $w(t)$.

Экспоненциально-коррелированный (марковский) шум ε_M описывается корреляционной функцией вида

$$K_M(\tau) = D_M e^{-\mu|\tau|}, \quad (12)$$

где D_M – дисперсия шума [$\text{рад}^2/\text{с}^2$], μ – коэффициент затухания корреляционной функции [с^{-1}]. Вместо коэффициента μ иногда используют времена корреляции $T_c = 1/\mu$ [с].

Экспоненциально-коррелированный шум подчиняется дифференциальному уравнению вида

$$\frac{d}{dt} \varepsilon_M(t) + \mu \varepsilon_M(t) = \sqrt{2D_M \mu} w(t), \quad (13)$$

где $w(t)$ – стационарный белый шум единичной интенсивности ($q = 1$).

Для дискретного времени уравнение (13) представляется в виде

$$\varepsilon_M(k+1) = \varepsilon_M(k) - T_0 \varepsilon_M(k) + T_0 \sqrt{2D_M \mu} w(k). \quad (14)$$

Для того чтобы адекватно перейти от непрерывной модели (13) к дискретной (14) необходимо задавать белую последовательность $w(k)$ с СКО $1/\sqrt{T_0}$.

В качестве примера тестировался инерциальный измерительный модуль беспилотной системы ориентации, содержащий триаду микромеханических гироскопов *ADXRS-150* фирмы *Analog Devices*. Осуществлялась запись выходных сигналов гироскопов на неподвижном основании длительностью 300 с и рассчитывались отклонения Аллана в соответствии с соотношением (6) (рис. 4).

Полученные с помощью отклонений Аллана характеристики шума гироскопов приведены в табл. 1.

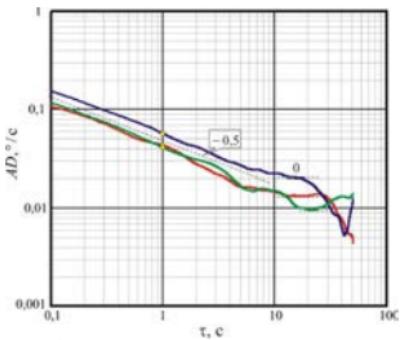


Рис. 4. Отклонения Аллана трех микромеханических гироскопов ADXRS-150

Таблица 1
Характеристики шума гироскопов

Гироскоп	$ARW, {}^{\circ}/\sqrt{\text{с}}$	Нестабильность нуля, %/с
1	0,04293	0,020
2	0,056292	0,031
3	0,040577	0,014

Таким образом, МЭМС-гироскопы данного типа имеют уровень шума $\sim 0,05 {}^{\circ}/\sqrt{\text{с}} = 3 {}^{\circ}/\sqrt{\text{ч}}$. Например, ИИМ тактического класса используют волоконно-оптические гироскопы, имеющие случайный шум $0,03\text{--}0,1 {}^{\circ}/\sqrt{\text{ч}}$.

3. Погрешности акселерометров

Номинальные выходные сигналы трех акселерометров A_X, A_Y, A_Z (рис. 5) представим в виде

$$u^A = K^A En, \quad (15)$$

где $u^A = \begin{bmatrix} u_X^A & u_Y^A & u_Z^A \end{bmatrix}^T$ – вектор номинальных показаний гироскопов, $K^A = \begin{vmatrix} k_x^A & 0 & 0 \\ 0 & k_y^A & 0 \\ 0 & 0 & k_z^A \end{vmatrix}$ –

матрица номинальных коэффициентов преобразований акселерометров, k_x^A, k_y^A, k_z^A – коэффициенты преобразования акселерометров A_X, A_Y, A_Z соответственно, $n = \begin{bmatrix} n_X & n_Y & n_Z \end{bmatrix}^T$ –

столбцевая матрица, заданная проекциями вектора кажущегося ускорения вершины связанных трехгранника на свои ребра, E – единичная матрица.

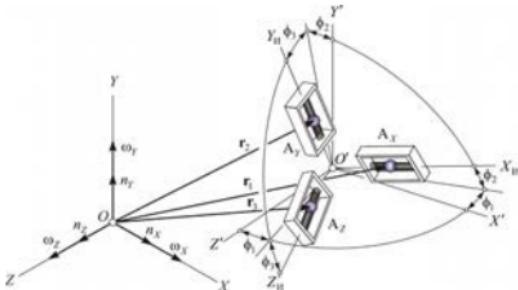


Рис. 5. Расположение акселерометров относительно осей связанных трехгранника

В реальных условиях выходные сигналы акселерометров имеют вид

$$\tilde{u}^A = \tilde{K}^A (M^A n + a^e + \delta a), \quad (16)$$

где $\tilde{K}^A = K^A + \Delta K^A$, ΔK^A – погрешность матрицы коэффициентов преобразования гироскопов, $\delta a = [\delta a_x^u \ \delta a_y^u \ \delta a_z^u]^T$ – вектор смещений нуля акселерометров (имеет размерность выходного сигнала акселерометров), M^A – матрица направляющих косинусов, характеризующая отклонение на углы ϕ_1 , ϕ_2 , ϕ_3 измерительных осей акселерометров $OX_HY_HZ_H$ от связанной с летательным аппаратом системы координат $OXYZ$, a^e – вектор переносного ускорения, вызванный изменением угловой скорости связанной системы координат $\dot{\Omega}$ и центробежным ускорением.

В размерности ускорения [м/с] уравнение (16) записывается следующим образом:

$$\tilde{a} = (E + 10^{-2} \delta K^A) (M^A n + a^e + \delta a) \quad (17)$$

где $\delta K^A = (K^A)^{-1} \Delta K^A \cdot 100\%$ – диагональная матрица относительных погрешностей коэффициентов преобразования акселерометров [%].

Соотношение (17) можно привести к виду:

$$\tilde{a} = (E + 10^{-2} \delta K^A) n - [M^A] n + (E + 10^{-2} \delta K^A) a^e + \delta a. \quad (18)$$

Вычитая из соотношения (20) вектор истинного кажущегося ускорения, получаем обобщенное уравнение погрешностей акселерометров

$$\Delta a = 10^{-2} \delta K^A n - [M^A] n + (E + 10^{-2} \delta K^A) a^e + \delta a. \quad (19)$$

Первый член соотношения (19) характеризует влияние погрешностей коэффициентов преобразования, второй – неточность выставки измерительных осей акселерометров. Третий член показывает влияние переносных ускорений на погрешности акселерометров, и, наконец, последний член – это смещение нулей акселерометров, которые, в свою очередь, могут быть записаны в виде

$$\delta a = \delta a_s + \delta a_r,$$

где δa_s , δa_r , – систематическая и случайная составляющие погрешности соответственно.

Систематические и случайные погрешности акселерометров имеют тот же самый характер и описываются аналогичными стохастическими уравнениями, что и гироскопы, поэтому подробно их рассматривать не будем. Остановимся только на эффектах, связанных с интегрированием белого шума.

Аналогично (11) можно получить СКО накопления погрешности в определении скорости

$$\sigma_V = \sigma_{WN} \sqrt{T_0 t}. \quad (20)$$

Из соотношения (20) следует, что СКО в определении скорости, вызванная присутствием в выходном сигнале акселерометра белого шума, нарастает пропорционально корню квадратному из времени. Уместно ввести случайное блуждание скорости (*Velocity Random Walk*)

$$VRW = \sigma_{WN} \sqrt{T_0}$$

с размерностью [м/с^{3/2}]. В технических описаниях к акселерометрам уровень шума обычно задается величиной квадратного корня из спектральной плотности (*root Power Spectral Density (rt PSD)*), которая равна случайному блужданию скорости

$$\sqrt{S} = VRW.$$

Для акселерометров часто используется размерность мкг/√Гц, где 1 мкг/√Гц = 9,81·10⁻⁵ м·с^{-3/2}.

Акселерометры авиационного класса имеют уровень шума 20 и 100 мкг/√Гц для ИИМ тактического класса. Кремниевые акселерометры имеют шум порядка 1000 мкг/√Гц.

В результате двойного интегрирования гауссовой белой последовательности определяется СКО погрешности в определении пройденного пути (*Error in Position*).

$$\sigma_p(t) = t^{3/2} \sigma_{WN} \sqrt{\frac{T_0}{3}}. \quad (21)$$

Из формулы (21) следует, что погрешность акселерометров типа белого шума вызывает погрешность в пройденном пути, СКО которого нарастает пропорционально $t^{3/2}$.

На рис. 6 приведена кривая отклонения Аллана микромеханического акселерометра ADXL 202 фирмы *Analog Devices*.

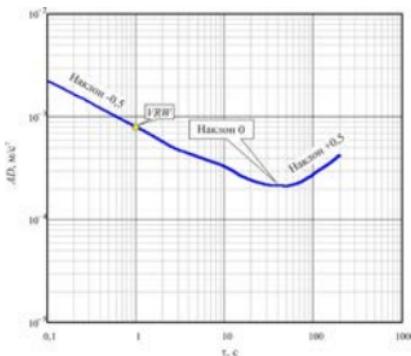


Рис. 6. Отклонение Аллана микромеханического акселерометра ADXL 203

4. Влияние погрешностей микромеханических гироскопов и акселерометров на точность определения БИНС параметров ориентации и навигации высокодинамичного летательного аппарата

В качестве высокодинамичного ЛА выбрана ракета, траектория полета которой имеет активный и пассивный участки полета. Исследование проводилось для двух вариантов движения ракеты относительно продольной оси:

- ЛА совершает гармонические колебания по крену с амплитудой 1° и частотой 1 Гц;
- ЛА вращается по крену с частотой 10 Гц.

Основные параметры движения ракеты приведены на рис. 7.

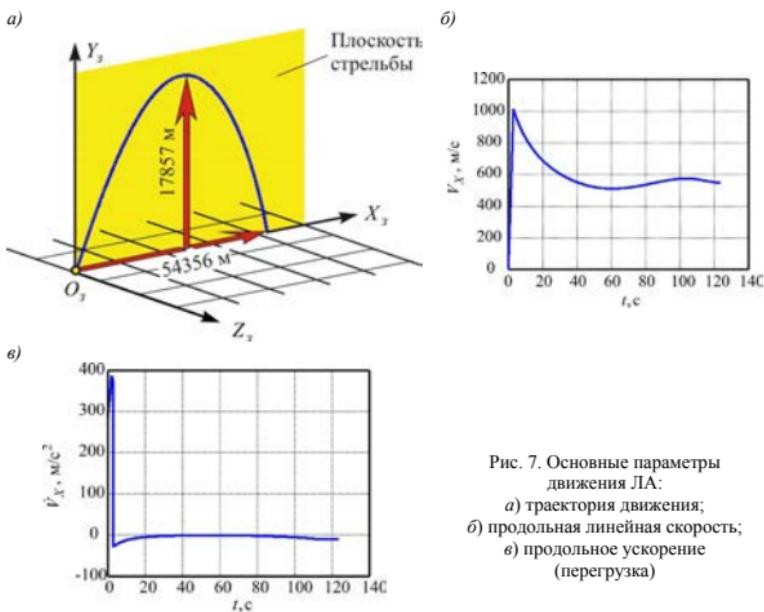


Рис. 7. Основные параметры движения ЛА:
 а) траектория движения;
 б) продольная линейная скорость;
 в) продольное ускорение (перегрузка)

Характеристиками точности попадания ЛА в заданную точку являются величины предельных отклонений точек падения ЛА от точки прицеливания по дальности и в боковом направлении, определяемые в естественной целевой системе координат. Начало целевой системы координат совмещается с точкой прицеливания, а по осям откладываются координаты отклонения по дальности ΔX и в боковом направлении ΔZ .

Предельное отклонение определяется как полуоси полного эллипса рассеивания: $\Delta X_n = 2,7\delta_{\Delta x}; \Delta Z_n = 2,7\delta_{\Delta z}$, где $\delta_{\Delta x}, \delta_{\Delta z}$ – среднеквадратическое отклонение (СКО) по дальности и в боковом направлении.

Канал гироскопов. Большинство МЭМС-гироскопов имеют значение случайного блуждания на уровне 0,02-0,06 %/с (соответственно плотность шума 0,02-0,06 °/с/Гц). Результаты моделирования показывают, что вращение ЛА по крену приводит к усреднению шумовых погрешностей гироскопов, содержащихся в выходных сигналах гироскопов. Вследствие этого уменьшается рассеивание траекторий ЛА в боковом направлении. Снижается также погрешность в определении скорости полета вращающегося ЛА по сравнению с невращающимся. Погрешности в определении углов рыскания и крена для обоих вариантов ЛА различаются незначительно.

МЭМС-гироскопы подвержены большим температурным вариациям, и поэтому погрешности их коэффициентов преобразования составляют 0,5-3%.

Из полученных результатов следует, что погрешности БИНС, вызванные погрешностями коэффициентов преобразования гироскопов, для вращающегося по крену ЛА в сотни раз превышают аналогичные погрешности БИНС для невращающегося ЛА. Это объясняется тем, что погрешность коэффициента преобразования гироскопа в 1 % при частоте вращения ЛА в 10 Гц приводит к ложной угловой скорости ЛА $\Delta\omega_x \approx 12960^{\circ}/\text{с}$!

Отсюда становится понятным, что к погрешностям коэффициентов преобразования гироскопов предъявляются повышенные требования. Например, чтобы погрешность измерения угловой скорости крена имела порядок 100 %/ч (это дрейф нуля недорогих МЭМС-гироскопов), необходимо, чтобы погрешность коэффициента преобразования составляла $10^{-3} \%$!

Значительное превышение погрешностей БИНС в определении линейной скорости и углов рыскания, тангажа и крена для вращающегося ЛА по сравнению с невращающимся ЛА имеет ту же самую причину.

Неисключенные систематические погрешности гироскопов вызваны неточностью введения поправок, полученных в результате проведения предстартовой калибровки. При моделировании неисключенные постоянные систематические погрешности гироскопов задавалась в виде случайной величины распределенной по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением 20 %/ч ($\sim 10^{-4}$ рад/с).

Из результатов исследования следует, что уровень погрешностей БИНС вращающегося ЛА в определении вертикальной скорости и угла тангажа на несколько порядков ниже, чем для невращающегося ЛА.

Нестабильность нуля гироскопов вызывается $1/f$ -шумом. Ввиду сложности описания дробного дифференцирования нестабильность нуля обычно описывают с помощью случайного блуждания (угловой скорости), являющегося результатом пропускания белого шума через интегратор.

Результаты моделирования БИНС с учетом нестабильности нуля на уровне 50 % показали, что преимущество в точности БИНС вращающегося ЛА по сравнению с невращающимся весьма существенно в погрешностях линейной скорости ΔV_{X_3} и угла тангажа $\Delta\vartheta$.

МЭМС-гироскопы в силу особенностей своих конструкций чувствительны к действию ускорений подвижного объекта (*g-sensitivity*) и большинство из них имеют погрешность на уровне 0,01 – 0,06 %/г по любой оси. При моделировании БИНС учитывалась только продольная перегрузка, а чувствительность гироскопов к ней задавалась как нормально распределенная случайная величина с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением 0,01 %/г.

Результаты моделирования показали, что чувствительность гироскопов к ускорениям приводит к резкому наклению погрешностей БИНС на активном участке траектории, когда наиболее быстро происходит изменение скорости. Затем в некоторых случаях погрешность даже может снизиться за счет изменения знака ускорения.

Канал акселерометров. При моделировании влияния белого шума акселерометров задавалась величина случайного блуждания скорости (*VRW*) на уровне $4 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^{3/2}$, что соответствует уровню шума семейства МЭМС-акселерометров фирмы *Analog Devices*.

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Как следует из результатов расчетов, белый шум акселерометров вызывает существенно меньшие погрешности БИНС, чем белый шум гироскопов.

Неисключенная систематическая погрешность акселерометров принималась случайной величиной с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением 10^{-3} м/с². Анализ результатов моделирования показал, что в большинстве случаев точность определения параметров движения БИНС для вращающегося ЛА ниже, чем для невращающегося.

Погрешность коэффициента преобразования акселерометров принималась случайной величиной, распределенной по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением 0,3%, что типично для МЭМС-акселерометров. Результаты моделирования показали, что погрешности БИНС в определении скоростей V_{X_3} , V_{Y_3} на активном участке траектории быстро достигают существенных значений, что объясняется высокой перегрузкой ЛА. На пассивном участке траектории погрешность расчета скорости V_{X_3} монотонно убывает.

При исследовании влияния *нестабильности нуля* она принималась на уровне $3 \cdot 10^{-4}$ м/с² и моделировалась случайным блужданием. Оказалось, что вращение ЛА положительно сказалось при определении координаты вертикального, бокового смещения и скорости V_{Z_3} .

При анализе суммарных погрешностей БИНС принималась гипотеза о независимости каждой j -й погрешности инерциального измерительного модуля, в силу чего предельные отклонения могут быть определены по формулам:

$$\Delta X_n^{\Sigma} = \sqrt{\sum_j \Delta X_{nj}}, \quad \Delta Z_n^{\Sigma} = \sqrt{\sum_j \Delta Z_{nj}},$$

где ΔX_{nj} , ΔZ_{nj} – предельные отклонения ЛА, вызванные j -й погрешностью ИИМ.

В табл. 2 приведены предельные отклонения, вызванные различными погрешностями ИИМ.

Таблица 2

**Предельные отклонения, вызванные различными погрешностями ИИМ
без вращения/с вращением**

j	Название погрешности	ΔX_{nj} , м	ΔZ_{nj} , м
1	Белый шум гироскопов	55,5 / 59,2	170,2 / 113,2
2	Погрешность коэффициентов преобразования гироскопов	233,7 / 2800	31,3 / 5959
3	Неисключенные систематические погрешности гироскопов	40,6 / 0,2	211,2 / 83,0
4	Нестабильность нуля гироскопов	148,2 / 0,4	499,8 / 167,8
5	Чувствительность гироскопов к перегрузкам	1406 / 20,3	1301 / 364,5
6	Белый шум акселерометров	0,9 / 0,8	1,8 / 1,4
7	Неисключенные систематические погрешности акселерометров	8,6 / 12,2	14,6 / 0,04
8	Погрешность коэффициента преобразования акселерометров	104,9 / 104,8	4,6 / 2,3E-7
9	Нестабильность нуля акселерометров	4,1 / 4,1	4,6 / 0,0008
	Σ	1438 / 1420	2819 / 5974

Из табл. 2 следует, что применение недорогих микромеханических гироскопов и акселерометров (общие применения) в составе БИНС приводит к значительным ошибкам в определении положения ЛА на траектории, что требует корректирующих воздействий на ЛА.

Заключение

Можно ожидать, что для известных принципов работы микромеханических гироскопов и акселерометров и улучшения их технических характеристик (военное применение) характер влияния на их выходные сигналы различных погрешностей о будет аналогичным данным табл. 2. Следует отметить, что существует тенденция применения БИНС в составе управляемых (или корректируемых) артиллерийских снарядов. В этом случае следует иметь в виду существенные ошибки в определении с помощью БИНС бокового отклонения ЛА.

Повышение точности работы БИНС путем комплексирования инерциальных и неинерциальных датчиков известно, но условия их применения на борту высокоманевренных ЛА требуют модернизации алгоритмов работы систем ориентации и навигации.

Разработчики комплексов управляемых ЛА рассматривают также варианты создания конструкций ЛА, обеспечивающих более комфортные условия работы БИНС [13 – 15].

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 10-08-00230.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пешехонов В.Г. Ключевые задачи современной автономной навигации // Гироскопия и навигация. – 1996. – № 12. – С. 48–55.
2. Салычев О.С. Автопилот БПЛА с инерциальной интегрированной системой – основа безопасности эксплуатации беспилотных летательных аппаратов / О.С. Салычев // Сборник докладов первого московского международного форума «Беспилотные многоцелевые комплексы в интересах ТЭК». – Москва, ЦВК «Экспоцентр». – С. 315–324.
3. Ишлинский А.Ю. Ориентация, гироскопы и инерциальная навигация. – М.: Наука, 1976. – 672 с.
4. Бранец В.Н., Шмыглевский И.Л. Введение в теорию беспилотных инерциальных навигационных систем. – М.: Наука, 1992. – 289 с.
5. Бромберг П.В. Теория инерциальных систем навигации. – М.: Наука, 1979. – 296 с.
6. Матвеев В.В., Распопов В.Я. Основы построения беспилотных инерциальных навигационных систем / Под. Ред. В.Я. Распопона. – СПб ОАО «Концерн «ЦНИИ Электроприбор». – 2009. – 280 с.
7. D. Corriveau, C. Berner and V.Fleck. Trajectory correction using impulse thrusters for conventional artillery projectiles / 23 International symposium on ballistics, Tarragona, Spain, 16–20 april, 2007.
8. Распопов В.Я. Микромеханические приборы. – М.: Машиностроение, 2007. – 380 с.
9. Oliver J. Woodman. An introduction to inertial navigation // Technical reports published by the University of Cambridge. № 696.2007.
10. IEEE Std 1431–2004 Standart Specification Format Guide and Test Procedure for Coriolis Vibratory Gyros, 2004.
11. www.xbow.com
12. F. Mond-Yasim, D.J. Nagel and C.E. Korman. Noise in MEMC / Measurement Sciene and Technology. Topical review – 21 (2010) 012001 (22 pp).
13. Gyroscope nozth seeker system and method. Патент США, US 7.412.775B1, 19.08.2008.
14. Смирнов В.Е., Темников О.И. Основные направления развития артиллерийских высокоточных боеприпасов автономного применения // Оборонная техника, 2006, №1 – 2. – С. 20–29.
15. Романовцев Б.М., Блинов Г.И., Самойлова А.В. История создания и дальнейшее развитие системы MLRS // Оборонная техника, 2005, №6–7. – С. 101–108.

Л.П. СТАРОСЕЛЬЦЕВ, Д.В. ВОЛЫНСКИЙ, А.А. УНТИЛОВ, В.Г. ОЛЕШКЕВИЧ, О.М. ЯШНИКОВА

МАЛОГАБАРИТНЫЕ ОБЩЕКОРАБЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ГИРОСКОПИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ И КУРСОУКАЗАНИЯ НА ОСНОВЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ГИРОСКОПОВ*

Представлены результаты разработки малогабаритных общекорабельных систем гироскопической стабилизации и курсоуказания на основе беспалтформенных инерциальных измерительных модулей (ИИМ) с волоконно-оптическими гироскопами и акселерометрами. Рассматриваются технические характеристики, особенности конструкции, области применения.

Введение

ЦНИИ «Электроприбор» имеет более чем полувековой опыт создания высокоточных инерциальных навигационных систем (ИНС) карданного типа, использующих гироскопы с электрическим, магниторезонансным и газодинамическим подвесами сферического ротора, а также двухстепенные поплавковые гироскопы. Эти системы, обеспечивающие автономную навигацию подводных и надводных кораблей, избыточны по точности, слишком дороги и сложны в обслуживании для использования их на малых судах и катерах. Это обстоятельство, а также впечатляющие успехи, достигнутые за рубежом в создании сравнительно недорогих и миниатюрных интегрированных инерциальных/спутниковых систем ориентации и навигации, определили необходимость создания аналогичных отечественных систем. В конце 90х в ЦНИИ «Электроприбор» были начаты работы в этом направлении.

Основными требованиями к новой разработке стали требования к минимизации габаритов и энергопотребления при сохранении достаточно высоких требований к основным точностным характеристикам. Что и было достигнуто за счет принятия принципиально новых технических решений:

- переход от карданной к бескарданной конструкции прибора на основе перспективных волоконно-оптических гироскопов;
- совмещение в одном приборе функций гирокомпаса и гировертикали;
- автокомпенсация ошибок гироскопов и акселерометров путем вращения блока инерциальных датчиков;
- применение электронных плат конструкции РС-104, позволивших совместить в едином инерциальном измерительном модуле (ИИМ) инерциальные датчики и бортовой вычислитель.

*Статья по материалам доклада на Всемирной морской технологической конференции, WMTC2012, 29 мая-1 июня, 2012, Санкт-Петербург, Россия.

1. Инерциальные датчики и бортовой вычислитель

При разработке миниатюрных бесплатформенных ИИМ (БИИМ) в целях уменьшения сроков и снижения расходов были использованы сравнительно грубые и недорогие инерциальные датчики, выпускаемые отечественными фирмами, а также отечественные или зарубежные цифровые электронные устройства. Это позволило сократить сроки разработки до двух-трех лет вместо обычных пяти-семи. Первой фазой разработки являлся выбор инерциальных датчиков. Для уточнения технических характеристик, объявленных изготовителями, были проведены лабораторные испытания инерциальных датчиков, перспективных для использования в интегрированных системах ориентации и навигации) [1,2]. Испытаниям подверглись семь миниатюрных гироскопов четырех различных типов: пьезокерамические вибрационные датчики угловой скорости ENC и ENV GyroStar фирмы "Murata" (Япония), кварцевый вибрационный датчик угловой скорости GyroChip фирмы Systron Donner (США), роторный вибрационный гироскоп РВГ-1, относящийся к динамически настраиваемым датчикам, и волоконно-оптические датчики угловой скорости разомкнутого типа ВГ910, ВГ941, ВГ951, поставляемые отечественными предприятиями «Темп-Авиа» и «Физоптика».

По результатам испытаний были разработаны математические модели ошибок гироскопов. Эти модели использовались для обоснования выбора структуры и параметров проектируемых систем [1,2]. Аналогичный подход использовался при выборе акселерометров. В результате для проектируемых ИИМ были выбраны волоконно-оптические гироскопы ВГ910 и ВГ951 фирмы «Физоптика» [3] (рис.1), а также акселерометры АК 10/41 ЦНИИ «Дельфин».



Рис. 1. Волоконные датчики вращения ВГ910 и ВГ951

рис. 2).

Гироскопы ВГ910 (класс точности 10 град/час, размеры Ø80×20 мм) выбраны для применения в ряде систем, где нет необходимости в автономном определении курса (БИИМ на рис.2). Более точный гироскоп ВГ 951 и его последующая модификация ВГ 035С (класс точности 1,0 – 0,5 град/час, размеры Ø150×30 мм) используются для систем, обеспечивающих автономное определение курса (ВИМ и ВИИМ-2 на



Рис. 2. Инерциальные измерительные модули разработки на волоконно-оптических гироскопах

Для проектирования бортового вычислителя ИИМ были выбраны электронные цифровые платы, выполненные в конструктиве PC-104. Этот выбор был обусловлен следующими важными характеристиками этого типа цифровых электронных плат. Во-первых, IBM-совместимые системное программное обеспечение и интерфейс позволили в полной мере реализовать имеющийся опыт работы на персональных компьютерах. Во-вторых конструкция плат удобна для встраивания вычислителя непосредственно в гироприбор и не требует создания бортового вычислителя как отдельного прибора, при этом объем встроенного вычислителя сопоставим с объемом ИИМ. И, наконец, широкая номенклатура электронных цифровых плат, выполненных в конструктиве PC-104 и изготавливаемых многими зарубежными и отечественными производителями, облегчает выбор как поставщиков, так и желаемых характеристик.

2. Прибор БИИМ

Представленный на рис.2 прибор БИИМ разработан для использования на малых судах и катерах. На основе прибора БИИМ в ЦНИИ «Электроприбор» разработаны изделия «Мининавигация-1», «Съемка-СИПК», «Зыбь-М». Разработанные изделия предназначены для определения параметров качки при выполнении детальных съемок рельефа дна, а также для измерения параметров качки в составе гидрографического комплекса, использования в качестве системы управления движением быстроходных судов и катеров, а также как резервные средства определения углов ориентации.

БИИМ представляет собой единый прибор весом 6 кг, габаритными размерами 260x200x90 мм и энергопотреблением =27 В, 50 Вт [4].

Погрешности измерений не превышают:

- 0,1 град. углов рыскания, бортовой и килевой качки;
- 0,1 град./с для угловых скоростей рыскания, бортовой и килевой качки;
- 0,1 м для вертикальной качки;
- 0,1 м/с для скорости вертикальной качки.

Приведенные характеристики точности обеспечиваются при прямолинейном движении судна с постоянной скоростью независимо от наличия данных от спутниковой системы навигации. Эти данные необходимы для сохранения указанной точности при маневрировании. Спутниковые данные, поддержанные инерциальными измерениями, также как и данные от компаса и лага могут транслироваться потребителям.



Рис. 3. Скоростной катамаран «Линда»

спутниковым приемником, гирокомпасом и доплеровским измерителем высоты над поверхностью воды.

В 1999 и 2000 годах система успешно использовалась при детальных промерах в обеспечение прокладки кабелей и трубопроводов по дну Финского залива. В 2002 году помимо промерных работ система «Мининавигация-1» на основе БИИМ была установлена на скоростном катамаране «Линда» (рис.3), где она используется в системе управления подводными крыльями, разработанной НПО «Аврора». Катамаран способен развивать скорость до 55 узлов и «Мининавигация-1» является весьма ответственным датчиком в его системе управления движением, наряду со

3. Прибор ВИМ

Следует отметить, что, не смотря на перечисленные выше преимущества, прибор БИИМ не обеспечивает выработку значения истинного курса. Для того, чтобы решить проблему выработки истинного курса был разработан гирогоризонткомпас, в котором использованы те же гироскопы ВГ910, но применено вращение ИИМ для автокомпенсации дрейфа и уточнения масштабного коэффициента гироскопов (прибор ВИМ на рис. 2).

На основе прибора ВИМ разработано изделие «МТКУ», использующееся в качестве автомобильной системы гироскопической стабилизации и курсоуказания.

Вращающаяся сборка, которая состоит из трех гироскопов, трех акселерометров и цифровых плат в стандарте РС 104, установлена на поворотном основании с безредукторным приводом. Набор плат включает в себя микропроцессор с памятью и последовательными портами, плату АЦП, расширитель интерфейса и плату вторичного электропитания, которые вместе образуют бортовую ЭВМ. Погрешности измерений прибора ВИМ не превышают: $-0,5$ град. углов бортовой и килевой качки; -1°sec ф для курса. Габаритные размеры прибора ВИМ $\varnothing 230 \times 198$ мм, вес 13кг, электропитание =27В, 50Вт.

4. Прибор ВИИМ-2

В рамках инициативной ОКР в ЦНИИ “Электроприбор” в 2001 году был разработан гирогоризонткомпас (прибор ВИИМ-2 на рис.2) в котором использованы более точные гироскопы ВГ951 и применено вращение ИИМ для автокомпенсации дрейфов гироскопов (аналогично описанному в приборе ВИМ).

На основе прибора ВИИМ-2 разработаны изделия «Мининавигация-К», «Зенит-СК», «ТКУ», «Бекар-Н» [5, 6, 7]. Эти изделия нашли широкое применение в качестве корабельных и автомобильных систем гироскопической стабилизации и курсоуказания. Следует отметить, что с момента создания, заказчикам отгружено около 100 подобных систем.

Так же, как и в приборе ВИМ, чувствительные элементы и бортовая ЭВМ прибора ВИИМ-2 расположены на поворотном основании. Там же расположены также элементы вторичного электропитания гироскопов и акселерометров и микроконтроллер, управляющий безредукторным приводом поворотного стола. Микроконтроллер подключен к микроЭВМ через последовательный порт. Для соединения вращающихся и неподвижных частей электрических цепей прибора использован токоподвод неограниченного вращения. Прием данных от спутниковой приемной аппаратуры и выдача данных потребителям обеспечивается через отдельные последовательные порты.

Габаритные размеры прибора ВИИМ-2 $\varnothing 252 \times 342$ мм, вес 17кг, электропитание =27В, 50Вт. Выходные данные выдаются с частотой до 100 Гц. При работе системы в компасном режиме максимальная ошибка курсоуказания не превышает $0,4^{\circ}\text{sec}$.

В 2003 г. система «Зенит-СК» на основе ВИИМ-2 была установлена на глубоководном аппарате.

Дальнейшее развитие гироскопических приборов с автокомпенсационным вращением блока чувствительных элементов привело к созданию гирогоризонткомпаса «Омега», центральный прибор которого изображен на рис. 5. Параметры изделия соответствуют характеристикам изделия «Зенит-СК».



Рис. 5. Вращающийся инерциальный модуль изделия «Омега»

5. НИМ на волоконно-оптических гироскопах собственного производства

Представленные в предыдущих разделах системы БИИМ, ВИМ и ВИИМ-2 в качестве чувствительных элементов использовали волоконно-оптические гироскопы производства фирмы «Физоптика», построенные по разомкнутой схеме.

Однако на базе этих гироскопов невозможно построение бесплатформенной ИНС. Для этой цели необходимы гироскопы со случным дрейфом 10^{-2} град/ч и менее. Мировой опыт показывает, что подобные волоконно-оптические гироскопы должны строиться по более сложной схеме с замкнутой обратной связью. Подобная разработка ведется в ЦНИИ «Электроприбор» совместно с СПбГУ ИТМО с 2005 года. За это время удалось получить высокоточную модель гироскопа со стабильностью дрейфа на уровне 10^{-2} град/ч. (рис. 6)



Рис. 6. Волоконно-оптический гироскоп

Это позволило приступить к экспериментальной отработке бесплатформенной ИНС «Бемоль» (рис. 7) для надводных кораблей [8].



Рис. 7. Бесплатформенная ИНС «Бемоль»

В дальнейшем на базе собственного волоконно-оптического гироскопа планируется разработать высокоточную ИНС класса точности 10^{-3} град/ч, необходимую для навигационных комплексов подводных лодок и ряда других применений.

Заключение

Представлены результаты разработки в ЦНИИ «Электроприбор» малогабаритных общекорабельных систем гироскопической стабилизации и курсоуказания на основе бесплатформенных инерциальных измерительных модулей с волоконно-оптическими гироскопами и акселерометрами. За последние 15 лет предприятием разработана широкая номенклатура приборов – гировертикали, датчики вертикальных перемещений, гирогоризонткомпасы и транспортные курсоуказатели, которые выпускаются серийно. Выполнена разработка собственного высокоточного волоконно-оптического гироскопа, по точностным характеристикам сравнимого с зарубежными аналогами, а также разработка БИНС на его основе.

ЛИТЕРАТУРА

1. **B.A. Blazhnov, L.P. Nesenjuk, V.G. Peshekhanov, L.P. Staroseltsev.** Miniature Integrated Inertial/Satellite Reference and Navigation System. The Institute of Navigation, Proceedings of the 55-th Annual Meeting, Navigational Technology for the 21-st Century, Cambridge MA, June 1999.
2. **B.A. Blazhnov, L.P. Nesenjuk, V.G. Peshekhanov, L.P. Staroseltsev.** Trends in the development of Miniature Strapdown Inertial Measurement Units in the CSRI “Elektropribor”. Proceedings of the Symposium Gyro Technology, Stuttgart, Germany, September 2000.
3. www.fizoptika.ru
4. **В.Г. Пешехонов, Л.П. Несенюк, Л.П. Старосельцев.** Новые инерциальные измерители для навигации, управления движением и съемки. / Труды научно-технической конференции ЦНИИ им. Крылова, 2003
5. **V.G.Peshekhanov, L.P.Nesenjuk, L.P.Staroseltsev, S.V.Ignatyev.** Strapdown Gyrocompass Trials with a Multi-Antenna GNSS Receiver Application. Symposium Gyro Technology. Stuttgart, Germany, September 2004.
6. **Л.П. Несенюк, Л.П. Старосельцев, С.В. Игнатьев, О.М. Евстифеева.** Автономная система ориентации подводных аппаратов на основе волоконно-оптических датчиков вращения. Сборник трудов Научно-технической конференции «Технические проблемы освоения Мирового океана». ИПМТ ДВО РАН, Владивосток. – Владивосток: Дальнаука, 2007
7. **Л.П. Несенюк, Л.П. Старосельцев, С.В. Игнатьев.** Малогабаритные общекорабельные системы гироскопической стабилизации и курсоуказания «Бекар». Результаты разработки и испытаний. Труды конференции «Навигация, гидроаэрофотосъёмка – 2008». СПб: ОАО ГНИИГИ, 2008
8. **В.Г. Пешехонов.** Современное состояние и перспективы развития гироскопических систем. Гирoscopia и навигация, №1, 2011

О.А.СТЕПАНОВ, О.М. ЯШНИКОВА, Д.О.ТАРАНОВСКИЙ, А.А.КРАСНОВ,
А.С. КОВАЛЕВ, П.В. ЮХТА

КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «НАВИГАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ»

Анализируется опыт проведения российских конференций молодых ученых «Навигация и управление движением». Обсуждаются основные особенности и некоторые результаты организации таких конференций.

Введение

ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», являющийся ведущей организацией России в области создания приборов высокоточной навигации, гравиметрии, комплексов радиосвязи и гидроакустики, регулярно проводит в своих стенах ряд научных конференций. Это конференция памяти Н.Н. Острыакова, посвященная вопросам теории и практики построения гирроскопических и инерциальных систем и проводящаяся раз в два года, и две ежегодных – международная конференция по интегрированным навигационным системам и конференция молодых ученых «Навигация и управление движением», в организации которой самое активное участие принимает базовая кафедра Информационно-навигационных систем НИУ ИТМО [1].

Целью данной работы является анализ опыта проведения молодежных конференций и используемых при этом технологий работы по обучению молодых ученых навыкам организации и участия в научных конференциях, а также написания научных статей.

О конференции

Конференция молодых ученых «Навигация и управление движением» проходит в ЦНИИ «Электроприбор» ежегодно, начиная с 1999 г. и является продолжением традиции научных молодежных конференций, проводившихся в 1953 - 1985 гг.

Организована конференция была по инициативе академика Российской академии наук В.Г. Пешехонова – президента международной общественной организации "Академия навигации и управления движением" (АНУД) и проводится при поддержке этой организации и двух ведущих технических университетов Санкт-Петербурга – Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики и государственного электротехнического университета «ЛЭТИ». АНУД была учреждена в феврале 1995 г. как общественное объединение уч-

По материалам доклада, представленного на международном симпозиуме в Нижнем Новгороде Advance Control Education Symposium-ACE12, июнь 2012.

ВКЛАД ВЫПУСКНИКОВ КАФЕДРЫ В НАУКУ

ных в области навигации и управления движением. Членами этой организации являются более 400 известных ученых, как правило докторов наук, из России и таких стран как США, Германия, Франция, Украина, Турция, Индия, Китай и Южная Корея. Важно заметить, что в составе АНУД создана молодежная секция, в члены которой принимаются молодые, перспективные ученые – кандидаты наук.

Основная тематика конференций связана с проблемами теории и практики создания современных систем навигации и управления движением различных объектов (рис.1). Традиционно на конференции работают секции:

- «Теория и системы управления»,
- «Навигация и управление подвижными объектами»,
- «Обработка информации в навигационных системах»,
- «Инерциальные и спутниковые системы навигации и ориентации»,
- «Чувствительные элементы систем навигации и управления»,
- «Гиростабилизированные системы»,
- «Микромеханические датчики, системы и технологии»,
- «Электронные и электромеханические устройства систем навигации и управления»,
- «Информационные технологии на предприятиях навигационного приборостроения».



Рис. 1. Информационный плакат о конференции

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

На XIV конференции яркой особенностью явилось проведение новой секции под названием «Новые образовательные технологии в навигации и управлении движением». Нестандартным был и формат секции, предполагавший проведение мастер-класса на английском языке. Порядок ведения секции включал следующие этапы: выступление докладчика на английском языке, вопросы аудитории к докладчику, комментарии специалистов и их рекомендации в целях повышения качества изложения докладов.



Рис. 2. На заседании секции

Организацией конференции занимаются совместно программный комитет, в чьи функции входит формирование общей содержательной концепции конференции и сортировка поступивших докладов по секциям, и организационный комитет, который отвечает за координацию действий всех участников работы и непосредственно занят техническими вопросами проведения мероприятий. Членами программного комитета являются как зрелые, так и молодые ученые – представители ведущих технических университетов России. Членами организационного комитета являются активные молодые ученые и аспиранты. Члены обоих комитетов, как правило, являются также руководителями, либо помощниками руководителя на одной из секций конференции (рис.2).

Задачи конференции и технологии их решения

Конференция находится в постоянном развитии. На ней проверяются новые технологии работы с научным сообществом, часть из которых впоследствии используется и при организации других конференций российского и международного уровня.

Проведение конференции молодых ученых «Навигация и управление движением» направлено на решение следующих основных задач, определяющих в то же время и рост её популярности:

- обучение молодых ученых навыкам представления результатов своей работы в форме реферата, презентации и доклада на научном мероприятии и, в конечном итоге, публикации статьи в научном издании;
- повышение научного уровня, как самих участников, так и подготовляемых ими докладов;
- обучение навыкам организации научных мероприятий;
- развитие у молодежи интереса к научной деятельности и повышение ее престижа.

ВКЛАД ВЫПУСКНИКОВ КАФЕДРЫ В НАУКУ

Начиная с 2008 года, рефераты и полные тексты докладов принимаются рабочей группой конференции через систему поддержки организации конференций «СПОК-ЭЛЕКТРОПРИБОР» исключительно в электронном виде. Весьма важно, что при формировании программы оргкомитет не отклоняет доклады, при условии, если его тематика соответствует тематике конференции.

В настоящее время конференция молодых ученых «Навигация и управление движением» представляет собой комплекс мероприятий по подготовке научных кадров и включает в себя следующие этапы:

- традиционная составляющая конференции, которая проходит во второй декаде марта в ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Здесь представляются доклады молодых ученых и ведущими учеными читаются обзорные лекции по различным направлениям науки.
- интернет-конференция с мая по октябрь, представляющая собой форум для обсуждения размещенных в Интернете докладов из числа отобранных оргкомитетом. Впервые этот этап был проведен в 2001 г.
- школа-семинар, проходящая раз в два года в конце сентября на берегу Ладожского озера, где читаются лекции и происходит более подробное обсуждение наиболее интересных тем, затронутых на первом и втором этапах конференции, с участием ведущих ученых. Такой семинар начал проводиться с 2004 года.
- отбор и редактирование докладов для публикации в сборнике трудов конференции, выпускаемом в конце каждого года.



Рис. 3. Лауреат нобелевской премии, академик РАН Ж.И.Алферов с приветствием участникам конференции.



Рис. 4. Выступает академик РАН В.Е.Фортов

В период проведения первого этапа конференции – выступления участников с докладами – организуются лекции ведущих ученых России с целью обучения и расширения кругозора молодых ученых. На конференции выступали более тридцати ведущих ученых России, в том числе, лауреат нобелевской премии, академик РАН Ж.И.Алферов (рис.3), академики РАН В.Г.Пешехонов, С.Н.Васильев, В.Е.Фортов (рис.4), член-корреспондент РАН Е.Д.Теряев, и многие другие. Обучению в процессе работы конференции, способствует также и тот факт, что каждую секцию возглавляют ведущие ученые, которые работают совместно с молодыми помощниками.

Это дает возможность для передачи опыта и знаний при непосредственном общении молодежи с заслуженными учеными. По итогам первого этапа работы конференции по каждой секции определяются лучшие доклады, а победителям вручаются денежные премии и памятные дипломы. Начиная с

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

2011 года введены еще три дополнительных диплома с достаточно крупными вознаграждениями за лучшие работы, представленные в области разработки систем навигации и управления движением. Эти премии учреждены в память о выдающихся ученых, работавших в институте в разное время и внесших значительный вклад в теорию и практику создания современных навигационных систем:

- докторе технических наук *Сергее Федоровиче Фармаковском* (1911–2004), в течение десятилетий определявшего техническую политику предприятия, внесшего решающий вклад в развитие научных исследований, становление ученых и превращение института в один из ведущих научных центров судостроительной промышленности;
- докторе технических наук *Anatolii Сергеевиче Анфиногенове* (1930–2003), создавшем наиболее точный в мире электростатический гирокоп, который позволил достичь высшего уровня автономной навигации;
- докторе технических наук, профессоре *Леониде Петровиче Несенюке* (1940–2009) - ведущем ученом в области оптимизации и обработки информации в навигационных и гравиметрических системах, под руководством которого создан ряд мобильных гравиметрических комплексов, гироколических чувствительных элементов, малогабаритных инерциальных измерительных модулей и интегрированных инерциально-спутниковых систем навигации.



Рис. 5. С.Ф. Фармаковский



Рис. 6. А.С. Анфиногенов



Рис. 7. Л.П. Несенюк

С целью повышения научного уровня и обучения навыкам подготовки научных публикаций работа с участниками идет на всех этапах конференции. К авторам докладов предъявляются серьезные, соответствующие конференциям высокого уровня требования уже при подготовке рефератов и презентаций доклада. Существенно, что рефераты всех состоявшихся докладов публикуются в престижном научном журнале «Гирокопия и навигация» (рис. 8), входящем в перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук. При этом, перед публикацией практически все рефераты, дорабатываются и редактируются руководителями секций и их помощниками.

ВКЛАД ВЫПУСКНИКОВ КАФЕДРЫ В НАУКУ

никами. Организуется процесс редактирования таким образом, что, как правило, к окончанию конференции в редакцию журнала «Гирокопия и навигация» поступают готовые к печати рефераты.



Рис. 8. Обложка журнала
«Гирокопия и навигация»

в декабре публикуется сборник трудов конференции (рис. 9), состоящий из прошедших многоэтапный отбор и отредактированных текстов докладов [5].

Работа по редактированию текстов докладов – наиболее трудоемкий этап подготовки сборника. Большинство первоначальных текстов приходится по несколько раз возвращать на доработку. Это является хорошей школой подготовки научных публикаций как для авторов, так и для молодых ученых – помощников руководителей секций. Опыт такой работы обобщен в брошюре [6].

Начиная с 2004 года в конце сентября, на испытательной базе ЦНИИ «Электропривор», расположенной на берегу Ладожского озера, проходит школа-семинар, которая является продолжением конференции молодых ученых «Навигация и управление движением» (рис.10). Участниками школы являются лучшие докладчики первого этапа конференции, аспиранты и студенты из различных вузов Санкт-Петербурга, Москвы и других городов, а также ведущие ученые в области разработки систем навигации и управления.

Цель этого этапа заключается в том, чтобы с участием ведущих ученых провести более подробное обсуждение наиболее интересных тем, затронутых на первом и втором этапах конференции. Участие в школе-семинаре позволяет совместить приятное с полезным, а именно, научную работу и учебу с отдыхом на берегу Ладожского озера, вдали от городского шума и забот. На недели участники семинара попадают в дружескую атмосферу, где ведущие специалисты делятся своим опытом, творческими достижениями и знаниями, а молодежь имеет возможность товарищеского, неформального общения.

Значительную роль при решении задачи привлечения широкого круга молодых ученых играет организуемый в сети Интернет научный форум – Интернет-конференция [2]. На форуме размещаются доклады, отобранные руководителями секций и программным комитетом. Любой желающий вне зависимости от места проживания может задать вопрос авторам или высказать свое мнение. Это дает возможность продолжить дискуссию и привлечь к ней тех, кто не смог участвовать в традиционной конференции. Такой подход обеспечивает молодым ученым широкие возможности по обсуждению и проверке своих научных результатов, а также по приобретению опыта участия в научных форумах.

В отличие от рефератов, публикемых по факту выступления на конференции, к полным текстам докладов предъявляются более жесткие требования. На подготовку текста доклада отводится два месяца после окончания первого этапа конференции. Обязательным условием для опубликования доклада являются ответы автора на все поступившие по его докладу вопросы на Интернет-форуме. По результатам дискуссии отбираются доклады, вызвавшие наибольший интерес, после чего начинается кропотливая многоэтапная совместная работа авторов, руководителей секций и их помощников по редактированию первоначально представленных текстов. В результате, ежегодно



Рис. 9. Сборник трудов конференции

Участие в школе-семинаре позволяет совместить приятное с полезным, а именно, научную работу и учебу с отдыхом на берегу Ладожского озера, вдали от городского шума и забот. На недели участники семинара попадают в дружескую атмосферу, где ведущие специалисты делятся своим опытом, творческими достижениями и знаниями, а молодежь имеет возможность товарищеского, неформального общения.



Рис. 10. Участники школы-семинара 2010 г.

Анализ результатов

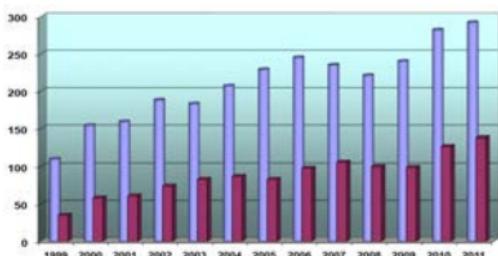


Рис. 11. Число участников (цилиндры) и докладов (параллелепипеды) по годам

количество полных текстов, попавших в сборник, остается на одном уровне (см. таблицу), что объясняется повышением требований к их качеству.

Успешность достижения поставленных целей и растущий авторитет конференции подтверждается приводимыми ниже показателями.

Растет количество участников конференции и прочитанных ими докладов (рис. 11). Так, если в первой конференции приняло участие около 100 человек и было представлено 35 докладов, то в 2011 количество участником выросло более чем в 2.5 раза , а число докладов достигло 140.

Несмотря на рост числа докладов,

количество полных текстов, попавших в сборник, остается на одном уровне (см. таблицу), что объясняется повышением требований к их качеству.

ВКЛАД ВЫПУСКНИКОВ КАФЕДРЫ В НАУКУ

Основные данные о конференциях 1999-2011 гг.

Год проведения конференции	Количество участников	Количество докладов (лекций)	Количество докладов (лекций), размещенных в Интернете	Количество докладов (лекций) в сборнике	Количество организаций	Количество городов
1999	110	35 (4)	—	21 (4)	8	2
2000	154	58 (6)	—	32 (6)	19	8
2001	159	61 (3)	54 (1)	32 (2)	25	11
2002	188	74 (4)	43 (2)	40 (3)	27	10
2003	183	83 (3)	44	37 (2)	32	15
2004	207	87(4)	69(2)	44(2)	30	13
2005	229	83(4)	47 (2)	47(2)	24	9
2006	245	98(4)	68(1)	58(2)	34	12
2007	235	106(3)	68	57(2)	30	10
2008	221	100(3)	83	68(3)	41	15
2009	240	99(4)	67	60(4)	32	10
2010	282	127(3)	76	58(2)	44	14
2011	292	138	70	59(3)	46	17

География участников конференции расширяется с каждым годом. Начиная с 1999г, на конференциях представлено более 1000 докладов, в них приняли участие представители более 70 организаций из более чем 30 городов России, Украины и Белоруссии (рис. 12)

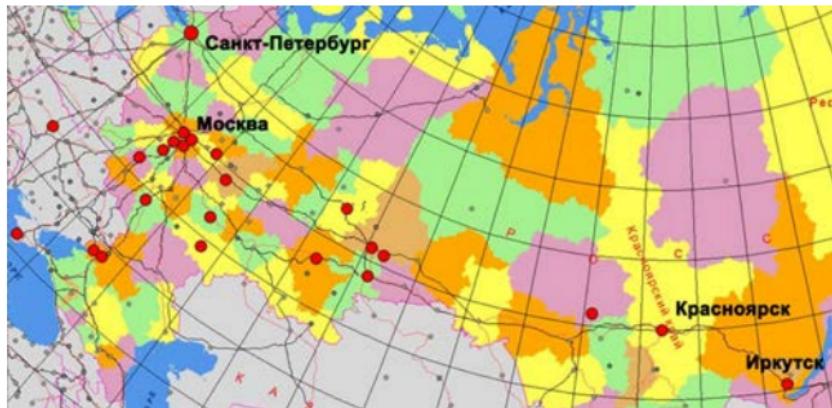


Рис. 12. Города, представители которых принимали участие в конференции, отмечены кружками

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ



Рис. 13 Декан факультета НИУ ИТМО А.А. Бобцов, в прошлом лауреат конференций молодых ученых, на международном симпозиуме в Нижнем Новгороде Advance Control Education Symposium, июнь 2012

Лауреаты конференции являются активными участниками авторитетных российских и международных научных мероприятий (рис. 13-15), включая Всемирные конгрессы по автоматическому управлению.

Так, например, большинство молодых участников 18-го Всемирного Конгресса по автоматическому управлению от России (г. Милан, Италия) – в прошлом участники и призеры конференций молодых ученых «Навигация и управление движением».

Говоря о финансировании конференции, следует заметить, что основную часть расходов по ее организации берет на себя ОАО «Концерн "ЦНИИ "Электроприбор"». Конференция также неоднократно получала поддержку на федеральном уровне. Так, в 2001 г. и 2004 г. ей были присуждены гранты федеральных целевых программ «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки», «Интеграция науки и высшего образования России на 2002-2006 г.г.», с 2008 она получает финансовую поддержку от Российского фонда фундаментальных исследований. Начиная с 2007 года, конференция имеет аккредитацию реализуемой в России федеральной программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (УМНИК) [3]. Программа организована фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере и предусматривает отбор на конференциях проектов, представленных молодыми исследователями не старше 28 лет, и финансовую поддержку отобранных проектов в размере 200 тыс. руб. в год, в течение 2 лет. Уже более 50 молодых ученых получили такой грант. Публикруемый издательством ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» сборник трудов конференции пользуется авторитетом, а представляемые в нем работы часто цитируются в серьезных научных работах.



Рис. 14. Участники конференции молодых ученых на международном семинаре в Алуште



Рис. 15. Участники конференции молодых ученых на 18-м Всемирном Конгрессе по автоматическому управлению, Милан, Италия, 2011 г.

Выходы

Анализ почти 15 летнего опыта подтвердил эффективность сложившейся формы проведения конференций молодых ученых «Навигация и управление движением», включающей комплекс мероприятий, предполагающий наряду с традиционной частью конференции проведение Интернет-форума, школы-семинар и отбор докладов с последующим их редактированием для сборника трудов конференции. Конференция стала традиционной пользующейся авторитетом и популярностью площадкой общения для молодых ученых, работающих в соответствующих академических и прикладных институтах, университетах, промышленных предприятиях и коммерческих организациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.elektropribor.spb.ru/rufset.html>
2. Степанов О.А., Тарановский Д.О., Павлова В.А. Использование Интернет-технологий при проведении конференции молодых ученых "Навигация и управление движением" / Телематика, 2004. Том 2. стр 515.
3. Степанов О.А., Колесов Н.В. Опыт участия в программе УМНИК.
4. Степанов О.А., Евстифеева О.М., Тарановский Д.О. Опыт проведения конференции молодых ученых «Навигация и управление движением» в ЦНИИ «Электроприбор». Сборник трудов IV Всероссийской научно-практической конференции «Планирование и обеспечение подготовки кадров для промышленно-экономического комплекса региона». 2007.
5. **Навигация и управление движением:** Материалы докладов XII конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2010. - 404с
6. **Как правильно подготовить текст научной публикации.** Составители О.А.Степанов, А.К.Крытова, Е.А.Истомина, СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2010. - 12с

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

В.Н. Кошляков (1922–2009). Выпускник кафедры 1948 г. Лауреат Государственной премии, академик Национальной академии наук Украины.

В.В. Серегин. Выпускник кафедры 1959 г. Доктор технических наук, профессор, заместитель заведующего кафедрой в 2003–2008 гг. Действительный член Академии навигации и управления движением.

О.Н. Анучин (1945–2003). Выпускник кафедры 1970 г. Доктор технических наук, профессор кафедры. Заместитель заведующего кафедрой с 1991 по 2003 г.

Г.И. Емельянцев. Выпускник кафедры 1970 г. Доктор технических наук, профессор. Главный научный сотрудник ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Действительный член Академии навигации и управления движением. Лауреат премии имени Н.Н.Острякова.

В.З. Гусинский. Выпускник кафедры ИНС 1963 г. Доктор технических наук, профессор. Действительный член Академии навигации и управления движением. Лауреат государственной премии, заслуженный изобретатель Российской Федерации.

В.М. Лесючевский. Выпускник кафедры 1970 г. Кандидат технических наук. Действительный член Академии навигации и управления движением. Лауреат премии имени Н.Н.Острякова.

Ю.А. Литманович. Окончил Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина). Доктор технических наук, начальник отдела ОАО «ЦНИИ «Электроприбор». Действительный член Академии навигации и управления движением. Ученый секретарь ЦНИИ «Электроприбор».

М.Д.Агеев (1931–2005). Выпускник кафедры 1955 г. Академик РАН, доктор технических наук. Был директором Института проблем морских технологий Дальневосточного отделения РАН.

Б.Е. Ландау. Выпускник кафедры 1963 г. Доктор технических наук, главный конструктор по направлению ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Действительный член Академии навигации и управления движением.

В.Я. Расолов. Выпускник кафедры 1962 г. Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Тульского государственного университета. Действительный член Академии навигации и управления движением. Заслуженный деятель науки Российской Федерации.

Л.П. Старосельцев. Выпускник кафедры 1970 г. Кандидат технических наук. Заведующий лабораторией кафедры. Ведущий научный сотрудник ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Лауреат премии имени Н.Н.Острякова.

Д.В. Волынский. Выпускник кафедры 2002 г. Научный сотрудник отдела ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

А.А. Ютилов. Выпускник кафедры 2001 г. Кандидат технических наук. Заместитель начальника отдела ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Член секции молодых ученых Академии навигации и управления движением.

В.Г. Олешкович Выпускник кафедры 1990 г. Главный специалист ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

О.М. Яшников. Выпускник кафедры 2004 г. Аспирант ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

О.А. Степанов. Окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения и специальный факультет прикладной математики и процессов управления. Ленинградского государственного университета. Доктор технических наук. Заместитель заведующего кафедрой. Начальник научно-образовательного центра ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Действительный член Академии навигации и управления движением.

Д.О. Тарановский. Выпускник кафедры 1993 г. Кандидат технических наук. Начальник группы ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

А.А. Краснов. Окончил Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина). Начальник сектора ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

А.С. Ковалев. Окончил Государственный университет аэрокосмического приборостроения. Кандидат технических наук. Доцент кафедры. Начальник лаборатории ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Член секции молодых ученых Академии навигации и управления движением.

П.В. Юхта. Окончил Балтийский Государственный технический Университет им. Д.Ф.Устинова. Кандидат технических наук. Доцент кафедры. Начальник сектора ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

ГЛАВА 4

СТАТЬИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАФЕДРЫ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Преподаватели кафедры ИНС всегда активно участвовали в ее научной работе и работе предприятий, с которыми кафедра сотрудничала. Результатом совместной работы были статьи, патенты и научно-технические отчеты по актуальным вопросам проектирования гироскопических приборов и систем. В настоящей главе приведены некоторые наиболее значимые статьи сотрудников кафедры, выпущенные в течение двух десятилетий на рубеже XX и XXI веков.

В последнее время наибольший интерес и актуальность приобрели работы по созданию интегрированных навигационных систем на основе лазерных, волоконно-оптических и микромеханических гироскопов. В середине 80-х годов при кафедре была организована научная лаборатория по разработке лазерных гироскопов под руководством проф. П.А. Ильина. Основные результаты этой работы описаны в статье Г.М. Кузнецова, который был ее основным исполнителем.

Работы по созданию микромеханических гироскопов являлись сферой научных интересов преподавателей М.И. Евстифеева и В.Д. Аксененко, которые подготовили цикл статей по теории, конструкции и микрэлектронному обеспечению этих приборов. Помещенная в сборник статья, подготовленная с их участием, подводит итог этой научной деятельности за последнее десятилетие.

Работа О.А. Степанова, посвящена 80-летию Р. Калмана – создателю одного из наиболее востребованных методов, используемых при решении задач обработки навигационной информации – фильтру Калмана. Наряду с историческим экскурсом здесь дается краткий анализ тенденций развития современных методов решения задач фильтрации. Статья Г.И. Емельянцева, в написании которой принимал участие выпускник кафедры А.П. Степанов, служит ярким примером востребованности алгоритмов калмановской фильтрации. В ней рассматривается актуальная задача построения эффективных алгоритмов комплексной обработки данных инерциального измерительного модуля и наиболее точных – фазовых измерений, поступающих от спутниковой аппаратуры.

Актуальное и бурно развивающееся направление составляет разработка скважинных приборов для навигации в недрах Земли. Руководитель этих исследований Я.И. Биндер публикует статью, посвященную непрерывным гироинклинометрам, которые являются основной частью мобильных инклинометрических станций для непрерывной съемки стволов скважин подземной выработки.

Л. П. Старосельцев, кандидат технических наук

Г.М.КУЗНЕЦОВ

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ГИРОСКОПОВ*

Статья посвящена истории развития лазерной гироскопии на кафедре «Гирокопические и навигационные приборы» Ленинградского института точной механики и оптики.

С появлением газовых лазеров в начале 60-х годов XX века стало возможным использование эффекта Санька для измерения параметров вращательного движения. Поэтому во многих странах мира начались исследования в области создания гироскопов на новых физических принципах, а именно лазерных гироскопов (ЛГ).

В 1966 году на кафедре «Гирокопических приборов и устройств» по инициативе и под научным руководством проф. П.А. Ильина была организована группа из выпускников кафедры 1966 года Г.М. Кузнецова, Н.И. Маркова и В.Г. Перепелицина, которая должна была оценить по открытым источникам состояние данного вопроса в мире и в Советском Союзе. После изучения в течение полутора лет данного вопроса было установлено, что исследования направлены в основном на изучение физических процессов и явлений в кольцевом оптическом квантовом генераторе (КОКГ), который выполняет роль преобразователя в лазерном гироскопе.

В зарубежной и отечественной печати полностью отсутствовала информация о проектировании и конструировании лазерного гироскопа на КОКГ, за исключением общей оптико-физической схемы.

В 1968 году было принято решение начать проектирование и макетирование ЛГ. Для выполнения данной задачи по рекомендации заведующего кафедрой «Гирокопических и навигационных приборов» проф. С.Ф. Фармаковского был заключен хозяйственный договор с ЦНИИ «Электроприбор» по теме «Исследование влияния вибрации на лазерный гироскоп». Руководителями работ в ЦНИИ «Электроприбор» были В.Г. Пешехонов и А.Г. Богданов. Необходимо было спроектировать и изготовить макет лазерного гироскопа, в котором можно было бы управлять линейными и угловыми колебаниями зеркал кольцевого резонатора и колебаниями окон Брюстера газоразрядного элемента. В Ленинградском институте точной механики и оптики (ЛИТМО) и в ЦНИИ «Электроприбор» на тот момент не было вакуумного производства, обеспечивающего необходимое качество, поэтому первые макеты ЛГ были так называемой модульной конструкции со вставным газоразрядным элементом. В силалловое основание, образующее кольцевой резонатор, вставлялся модуль – газоразрядная трубка (ГТ), выполняющая роль активного элемента. Эти газоразрядные трубы изготавливали рязанский НИИ газоразрядных приборов. Они потребляли большую мощность, так как имели подогревной катод, и в силу неточного изготовления геометрии оптических деталей имели малый коэффициент усиления. Вопросами проектирования КОКГ, изготовлением его оптики, разработкой электронники, про-

* Статья подготовлена специально для этого сборника.

СТАТЬИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАФЕДРЫ

ведением экспериментальных работ занималась научная группа кафедры «Гирокопических приборов и устройств».

Для исследования теоретических вопросов влияния вибрации на параметры КОКГ был заключен хозяйствственный договор с Институтом физики АН БССР, конкретно с лабораторией П.А. Апанасевича, где этими вопросами занимался Г.С. Круглик.

За время выполнения этих работ теоретически и экспериментально был обнаружен эффект «полочек» на выходной характеристике ЛГ за счет параметрического резонанса на частоте внешней вибрации. Эти результаты были опубликованы в ряде статей [1, 2], и были получены авторские свидетельства на способ устранения «полочек» [3, 4, 5]. Надо отметить, что результаты этих исследований были опубликованы на год раньше, чем они появились в зарубежной печати.

В мае 1972 года ЛИТМО посетила делегация научных Московского института электромеханики и автоматики (МИЭА) в составе Д.А. Браславского, В.Г. Певзнера, Б.В. Ефимова и А.М. Якубовича в целях ознакомления с работами в области лазерной гирокопии. Увиденное произвело на них положительное впечатление, и было принято решение о заключении хозяйственного договора в декабре того же года. Целью совместных работ было создание малогабаритного (по понятиям того времени) лазерного гирокопа модульной конструкции с электрооптической частотной подставкой на эффекте Фарадея. В результате был разработан и изготовлен прибор ЛГ-1 (рис. 1), на котором были апробированы оптические детали и узлы, разработанные и изготовленные ЛИТМО, а также электронные системы поджига и накачки (СПИН), регулировки периметра (СРП), частотной подставки (СЧП) и системы обработки информации (СОИ), разработанные и изготовленные МИЭА. Механическую часть прибора ЛГ-1 изготавливала МИЭА по разработанной ОКБ ЛИТМО документации. Изготовление оптических деталей, сборку и регулировку ЛГ-1 производили сотрудники группы кафедры «Гирокопических приборов и устройств».



Рис.1



Рис.2

После успешного завершения работ по договору в 1977 году по инициативе МИЭА и при всесторонней поддержке проректора ЛИТМО по науке проф. С.А. Майорова в ЛИТМО на кафедре «Гирокопических и навигационных приборов» была открыта отраслевая лаборатория «Квантовая гирометрия» (КГ) Министерства авиационной промышленности (МАП) численностью 14 человек. Начальником был назначен Г.М. Кузнецов, а научным руководителем – проф. П.А. Ильин. Основной программой деятельности лаборатории была разработка концепции построения малогабаритных лазерных гирокопов модульного типа на фарадеевском фазовом не взаимном элементе (ФНЭ). Сотрудники МИЭА и лаборатории КГ в 1977 году приняли решение о создании меньшего по сравнению с ЛГ-1 прибора ЛГ-2 (рис. 2), исключающего юстировки и регулировки. Если в приборе ЛГ-1 основание колецевого резонатора было разборным и состояло из 9 деталей, изготовленных из сплава ЭП475-ВИ, то в приборе ЛГ-2 основание резонатора представляло монолитную деталь, изготовленную из сплава 32НКД, на которой размещались все оптические элементы, включая газоразрядную трубку.

Прибор ЛГ-2 был создан в 1979 году и имел габариты 150x150x150 мм, массу 15 кг и стоимость 150 000 рублей. Он был установлен на космический аппарат «Луна-24» и успешно выполнил свою задачу.

По поводу ГТ надо отметить следующее: если прибор ЛГ-1 строился на модифицированном металлокерамическом газоразрядном элементе, построенном на базе трубы лазера ОКГ-13, выпускаемого НИИ «Исток» (г. Фрязино), то прибор ЛГ-2 планировалось строить на новом керамическом элементе (рис. 3), в разработке которого принимали участие сотрудники лаборатории КГ ЛИТМО, НИИ «Исток», НИИ материалов электронной техники (НИИМЭТ) (г. Калуга) и СКБ «Электроламповый завод» (г. Дятьково). Особенno следует отметить участие сотрудников НИИ «Исток» академика РАН Н.Д. Девяткина, Е.Н. Покровского, Л.М. Решетину, З.К. Сабурову и И.М. Винника, без которых было бы невозможно создание малогабаритного керамического активного газоразрядного элемента на холодном катоде, обладающего выдающимися на тот момент характеристиками.



Рис. 3

«Достаточно напомнить основные его параметры: при длине 100 мм и диаметре 30 мм, потребляемой мощности 1,5 Вт он выдавал в кольцевом ОКГ 0,5 мВт выходной мощности (рис. 4).



Рис. 4

Достаточно напомнить основные его параметры: при длине 100 мм и диаметре 30 мм, потребляемой мощности 1,5 Вт он выдавал в кольцевом ОКГ 0,5 мВт выходной мощности (рис. 4).

В ходе работ над керамическим и металлокерамическим газоразрядными элементами по предложению МИЭА в 1979 году лаборатории КГ был разработан двухосевой лазерный гироскоп «Альфа», так как работы по новому газоразрядному

элементу шли очень медленно в силу широкой и не всегда оперативной кооперации. Поэтому, чтобы не терять время, была проведена модернизация стеклянного газоразрядного элемента ОКГ-16. В нем был заменен катод с подогревного на холодный, который намечалосьставить в керамический элемент, а также была разработана технология установки с 5-секундной угловой точностью кварцевых окон Брюстера. Это позволило улучшить характеристики модифицированного ОКГ-16 и на его основе собрать прибор «Альфа» (рис. 5).

Оптико-физическая схема прибора «Альфа» представляла собой четырехзеркальный кольцевой резонатор со вставным стеклянным газоразрядным элементом и фарадеевским невзаимным просветленным элементом нормального типа [6]. Все это определяло довольно высокие оптические потери, хотя использовались зеркала высокого качества (на тот момент), и поэтому прибор «Альфа» работал при больших токах накачки, т.е. потреблял в два раза большую мощность, чем планировалось. Следует упомянуть, что кварцевые подложки зеркал изготавливались на опытном заводе ЛИТМО В.Э. Коммисаровым (руководитель работ Н.В. Корбанева), а напылялись зеркала в вакуумной лаборатории ЦКБ ЛОМО Р.Я. Пинской. Измерением зеркал в лаборатории квантовой гиromетрии занималась А.А. Малыгина. Она измеряла коэффициенты отражения и рассеивания зеркал. Сотрудница лаборатории Н.П. Волошина измеряла поляризационные характеристики зеркал. Детали фазовых невзаимных элементов, как брюстлеровского так и нормального типов (четвертьволновые пластинки) изготавливались на опытном заводе ЛИТМО В.Э. Коммисаровым. Контроль самих пластинок и их сведение и постановку на оптический контакт выполняла Н.П. Волошина. Лучшие образцы брюстлеровских невзаимных элементов имели потери не более 0,02%, а обычные – на уровне 0,1%. Все измерения выполнялись сотрудниками лаборатории на установках, ими же разработанных и изготовленных на опытном заводе ЛИТМО. Таким образом, приборы «Альфа» были снажены стеклянными активными элементами.

Были проведены одновременно их испытания и испытание ЛГ-2 [7]. Они прошли успешно, но стал очевидным факт зависимости времени готовности приборов от времени прогрева и деформации стеклянных газоразрядных элементов, что лишний раз подтвердило правильность выбранного направления по созданию керамического и металлокерамического газоразрядных элементов.



Рис. 5

СТАТЬИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАФЕДРЫ

Результаты лабораторных и стендовых испытаний приборов ЛГ-2 и «Альфа» в ЛИТМО и в МИЭА были обнадеживающими. Случайная составляющая дрейфа была не более 0,005 град/ч при 30-минутном прогреве и 1-секундном осреднении.

В 1979 году по заданию МИЭА начались работы по созданию малогабаритного лазерного гироскопа «Гном», который разрабатывался в двух модификациях кольцевого резонатора: зеркальный и призменный. Для каждого из этих вариантов разрабатывался свой активный элемент. Для зеркального кольцевого резонатора дорабатывался керамический активный элемент (см. рис. 4) используемый в приборе ЛГ-2, а для призменного – новый металлокерамический газоразрядный элемент с напыленным катодом на внутреннюю поверхность титанового цилиндра, являющегося корпусом (рис. 6). В керамическом активном элементе холодный катод в виде цилиндра с двумя донышками был вставленной. Разработал и изготавливал этот катод НИИМЭТ при участии А.П. Коржавого и В.В. Проситского [8].



Рис.6

варивались с титановому цилинду, являемому катодом. Наконечники и окна изготавливались на Дядьковском электровакуумном заводе из высококачественного кварцевого стекла КСГ одной варки. Это делалось для того, чтобы свести к минимуму термические натяжения в зоне оптического контакта окон Брюстера. Кварцевое стекло марки КСГ изготавливалось небольшими партиями на Ленинградском заводе оптического стекла (ЛенЗОС) под руководством В.Н. Кондратьева. Холодный катод в этих газоразрядных элементах был бериллиевый, и напылялся он на внутреннюю поверхность титанового цилиндра (корпуса), предварительно виброобкатанного, для получения зеркальной поверхности с гексагональным рисунком. Напылялся катод в НИИМЭТ и в НИИ «Прометей» (Ленинград). Виброобкатка титановых и суперинварированных цилиндров проводилась на кафедре технологии приборостроения ЛИТМО А.П. Ермаком под руководством проф. А.Ю. Шнейдера. Виброобработка поверхности резко увеличивала эффективную рабочую поверхность катода [9], что значительно повышало срок службы газоразрядного элемента.



Рис.7

окна Брюстера стояли на оптическом контакте, а в керамическом – на индии. Металлокерамический элемент собирался полностью методом диффузионной сварки за один прием в отличие от керамического, где четыре узла спаивались припом ПСР 72.

Приборы «Гном» отличались не только схемой кольцевого резонатора: зеркальный (рис. 7) и призменный (рис. 8), но и конструкцией. В зеркальном приборе «Гном» кольцевой резонатор был изготовлен из сплава ЭП475ВИ. В призменном основание кольцевого резонатора было изготовлено из кварцевого стекла, из которого изготавливали призмы полного внутреннего отражения, выполняющие роль угловых отражателей, установленных на оптическом контакте на основании

В металлокерамическом газоразрядном элементе основные детали были изготовлены из титана. На керамические капилляры через ниобиевые кольцевые аноды методом диффузионной сварки крепились кварцевые наконечники, на которые на оптический контакт ставились окна Брюстера. Самы наконечники методом диффузионной сварки приваривались к титановому цилинду, являемому катодом. Наконечники и окна изготавливались на Дядьковском электровакуумном заводе из высококачественного кварцевого стекла КСГ одной варки. Это делалось для того, чтобы свести к минимуму термические натяжения в зоне оптического контакта окон Брюстера. Кварцевое стекло марки КСГ изготавливалось небольшими партиями на Ленинградском заводе оптического стекла (ЛенЗОС) под руководством В.Н. Кондратьева. Холодный катод в этих газоразрядных элементах был бериллиевый, и напылялся он на внутреннюю поверхность титанового цилиндра (корпуса), предварительно виброобкатанного, для получения зеркальной поверхности с гексагональным рисунком. Напылялся катод в НИИМЭТ и в НИИ «Прометей» (Ленинград). Виброобкатка титановых и суперинварированных цилиндров проводилась на кафедре технологии приборостроения ЛИТМО А.П. Ермаком под руководством проф. А.Ю. Шнейдера. Виброобработка поверхности резко увеличивала эффективную рабочую поверхность катода [9], что значительно повышало срок службы газоразрядного элемента.



Рис.8

75 ЛЕТ КАФЕДЕРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

резонатората. Такой подход к изготовлению кольцевого резонатора полностью исключал термические напряжения в призмах, тем самым уменьшалась зависимость дрейфа гироскопа от температуры.

Одновременно с разработкой и изготовлением прибора «Гном» проводились научные исследования совместно с Институтом физики АН БССР под руководством Г.С. Круглика, анализировались возможности дальнейшего повышения точности лазерных гироскопов. Теоретически и экспериментально была показана возможность уменьшения влияния зоны захвата на случайный дрейф ЛГ за счет подачи шумового возмущения на любой элемент кольцевого лазера, приводящий к модуляции фазы связи встречных волн [10, 11, 12], и, как следствие, к уменьшению флуктуаций выходного сигнала и его случайного дрейфа.

Положительные результаты испытаний приборов «Гном» [13] привлекли внимание к работам лаборатории КГ следующие организации: НПО «Уран» (Ленинград), СКБ «Вектор» ИМЗ (город Ижевск), НИИ приборостроения (Москва) и завод им. Г.И.Петровского (Киев). Со всеми этими предприятиями были заключены долговременные хозяйствственные договоры.

Если все указанные выше предприятия интересовались самими лазерными гироскопами, то НИИ приборостроения интересовало контрольно измерительное оборудование для измерения параметров зеркал и фазовых невзаимных элементов. Руководителями этих работ в НИИ приборостроения являлись В.П. Васильев и Б.П. Ремизов. С этим институтом был заключен хозяйственный договор по теме «Сурьма», по которому необходимо было разработать фотометр для измерения коэффициента отражения и потерь зеркал с точностью 0,001%, а также динамический поляризиметр, позволяющий измерять четвертьволновые пластинки и обеспечивать точное измерение их взаимной ориентации с точностью ± 10 угл. с. С помощью динамического поляризиметра требовалось разработать угловой фазовый невзаимный элемент фарадеевского типа [14] и технологию его сборки. Кроме сотрудников лаборатории квантовой гирометрии в этой работе принимали участие сотрудники других кафедр ЛИТМО, а именно кафедры спектральных и оптико-физических приборов (проф. К.И. Тарасов, К.И. Чиков, В.М. Красавцев, В.В. Гуд и А.Н. Сандаков) и кафедры квантовой электроники (проф. В.Т. Прокопенко, В.А. Трофимов и В.Б. Богданов). Основным исполнителем и координатором работ по этой теме являлась лаборатория квантовой гирометрии. Указанная тема «Сурьма» была успешно выполнена, оборудование и ФНЭ переданы заказчику. Ценным в этой работе являлось то, что путем привлечения выдающихся специалистов в своей области было создано уникальное оборудование по измерению фотометрических и поляризационных характеристик оптических элементов лазерных гироскопов. Этим оборудованием была оснащена лаборатория квантовой гирометрии, что позволило занять ей передовые позиции в области лазерной гирoscopии в Советском Союзе.

Деятельность лаборатории КГ не ограничивалась выполнением заданий МИЭА, в ее работе активное участие принимали сотрудники кафедры гироскопических и навигационных приборов. Основные исследования шли в области применения ЛГ для построения наземных компасов. В этом направлении работали следующие сотрудники кафедры: проф. М.А.Сергеев, проф. В.В.Серегин, В.И.Ющенко и Г.И.Емельянцев [15-24].

По техническому заданию НПО «Уран» и завода имени Г.И.Петровского сотрудники лаборатории квантовой гирометрии в 1985 году приступили к проектированию и созданию трехосного лазерного гироскопа ЛГТ [25] с угловым невзаимным элементом [14] и металлокерамическим газоразрядным элементом [26] (рис. 9).

Данный гироскоп должен был быть основой системы управления новых торпед. Хозяйственный договор проводился по программе «Репус-МВО» и был направлен на создание новых перспективных видов вооружения. Характерной особенностью разрабатываемого трехосного лазерного гироскопа было то, что все три гироскопа были заключены в одном объеме, за счет чего прибор получился довольно компактным. Основанием кольцевых резонаторов трех гироскопов был объем, состоящий из



Рис. 9

СТАТЬИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАФЕДРЫ

двух суперинваровых полусфер, диффузионно сваренных, внутри которого располагались три металлокерамических газоразрядных элемента, а на наружной поверхности методом квазиоптического контакта через индий крепилось 9 зеркал, три из которых представляли уголковый фазовый невзаимный элемент. Весь этот блок помещался в трехслойный магнитный экран. По требованию заказчика трехосный блок колышевых резонаторов требовалось изготавливать из суперинвара. Была разработана технология получения пятисекундной точности на всех базовых поверхностях колышевого резонатора при его изготовлении на обычном металлорежущем оборудовании. Работа закончилась успешным испытанием образцов ЛГТ в 1990 году.

В 1987 году по техническому заданию СКБ «Вектор» ИМЗ (руководители работ В.С. Чугуевский и П.В. Макаров) сотрудники лаборатории квантовой гиromетрии начали работы по теме «Сфера». Целью работ была разработка и создание трехосного лазерного гироскопа в едином ситалловом блоке с фарадеевским фазовым невзаимным элементом нормального типа на самарийcobальтовых магнитах (рис. 10).

Данный трехосный блок гироскопов должен был стать основой блока инерциальной информации новых разрабатываемых ракет. Так как полетное время не превышало 30 мин, было принято решение использовать фазовый невзаимный элемент с некоммутируемым магнитным полем, т.е. на постоянных магнитах. Это позволяло получать на выходе лазерного гироскопа непрерывный сигнал с малым уровнем шумов. В связи с тем что время работы гироскопов было мало, то изменения постоянной «подставки» было незначительным и легко могло быть скорректировано в зависимости от изменения начальной температуры блока гироскопов.

Было изготовлено шесть приборов. Один из них был полностью отъемистирован и прошел лабораторные испытания (рис. 11). Настройка остальных приборов была остановлена, и работы по договору были прекращены в 1993 году.

Во время работ по этому договору прорабатывался вариант шестисоставного прибора «Сфера» в том же объеме, что и трехосного. Шестисоставный вариант (рис. 12) прибора резко повышал надежность системы и ее точность. Фактически по каждой измерительной оси работало три гироскопа. Точность такой системы возрастила в 1,7 раза, а стоимость повышалась всего на 25% от стоимости трехосного. За время хозяйственного договора был изготовлен макетный образец основания резонатора шестисоставного гироскопа и разработана технология его изготовления из ситалла.

В 1985 году в МИЭА начались работы по созданию своего оптического и вакуумного производства. Сотрудники лаборатории квантовой гиromетрии готовили для этого производства руководящие технические материалы (РТМ) и технологические процессы обработки оптики методом глубокой шлифовки и полировки (ГШП), а также технологию напыления лазерных диэлектрических зеркал и методы и аппаратуру контроля их параметров. Все это делалось для того, чтобы начать копировать лазерный гироскоп американской фирмы Litton. Оптические детали первых образцов этих приборов были изготовлены на опытном производстве ЛИТМО, напылены на ЛОМО и измерены и аттестованы в лаборатории квантовой гиromетрии.

С 1993 года резко сократилось финансирование хозяйственных договоров и лаборатория КГ занималась исследованиями использования лазерных гироскопов для построения БИНС для летатель-



Рис.10



Рис.11



Рис.12

ские материалы (РТМ) и технологические процессы обработки оптики методом глубокой шлифовки и полировки (ГШП), а также технологию напыления лазерных диэлектрических зеркал и методы и аппаратуру контроля их параметров. Все это делалось для того, чтобы начать копировать лазерный гироскоп американской фирмы Litton. Оптические детали первых образцов этих приборов были изготовлены на опытном производстве ЛИТМО, напылены на ЛОМО и измерены и аттестованы в лаборатории квантовой гиromетрии.

С 1993 года резко сократилось финансирование хозяйственных договоров и лаборатория КГ занималась исследованиями использования лазерных гироскопов для построения БИНС для летатель-

ных аппаратов с целью обеспечения безопасности полетов.

За время существования лаборатории её научными консультантами были: проф. П.А. Ильин и проф. О.Ф. Немолочнов, а руководителем – бессменно Г.М. Кузнецов. В лаборатории работали: А.В. Алексеев, О.Н. Анучин, А.А. Булычев, Л.Е. Васильев, В.Л. Воронцов, Н.П. Волошина, Р.Б. Газимеев, Г.Л. Голованевский, В.П. Дорофеев, Г.И. Емельянцев, А.П. Ермак, Д.В. Ермаков, В.Н. Зуднев, В.Г. Иванов, А.Н. Колчин, А.А. Комичев, Е.В. Красильщиков, А.А. Малыгина, Л.Н. Матвиенко, С.В. Муратов, В.М. Потемин, В.Н. Прокашев, Е.Г. Семикова, Н.В. Строганова, В.Я. Смирнов, В.В. Эймбке, В.И. Ющенко, Я.Б. Януш.

За успешное выполнение работ лабораторией квантовой гиromетрии по заданию Министерства авиационной промышленности в мае 1980 года Г.М. Кузнецов и О.Ф. Немолочнов были награждены знаком отличия «Отличник МАП».

В 1998 году лаборатория квантовой гиromетрии по причине отсутствия отраслевого финансирования была закрыта.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.А.Куцак, Г.С.Круглик, Г.М.Кузнецов, И.Е.Зуйков. Влияние вибрации зеркал на стабильность частоты биений в колыцевом лазере. – ЖПС, 1980,33, с.639 – 642.
2. Г.С.Круглик, А.А.Куцак, Г.М.Кузнецов. Влияние шумового возмущения на параметрический резонанс в колыцевом ОКГ. – ЖПС, 1972, 16, с.58 – 67.
3. Г.М.Кузнецов и др. «Лазерный гироскоп». – автор. свид. №469422 от 15.02.1971г.
4. Б.А.Блажнов, Г.С.Круглик, Г.М.Кузнецов. – автор. свид. №72946 от 07.01.1972г.
5. Б.А.Блажнов, Г.С.Круглик, Г.М.Кузнецов. – автор. свид. №72995 от 10.01.1972г.
6. Г.М.Кузнецов, В.Г.Певзнер, Н.В.Строганова, Е.Г.Семикова. – автор. свид. №548072 от 03.11.1975г.
7. Г.М.Кузнецов, В.Н.Зуднев, В.Г.Иванов. К вопросу о стабильности масштабного коэффициента колыцевого оптического квантового генератора (КОКГ). НТК «Газовые лазеры в метрологии и измерительной технике», 1976г., гор. Ленинград.
8. В.Н.Зуднев, Г.М.Кузнецов, А.П.Ермак, Ю.Г.Шнейдер. – «Полый холодный катод газового лазера», патент №2012113 от 17.09.1990г.
9. Г.С.Круглик, Г.М.Кузнецов, Б.А.Блажнов, А.А.Куцак. Уменьшение зоны захвата в колыцевом ОКГ с помощью шумового возмущения. – ЖПС, 17, с.358 – 360.
10. Г.М.Кузнецов, В.П.Дорофеев, Г.С.Круглик. – Исследование дисперсии выходного сигнала колыцевого оптического квантового генератора (КОКГ). НТК «Газовые лазеры в метрологии и измерительной технике», 1976г., гор. Ленинград.
11. Г.М.Кузнецов. – Спектральные и временные характеристики сигнала ДУС на КОКГ. ХХI НТК ППС ЛИТМО, 1974г.
12. Г.М.Кузнецов, М.А.Сергеев, В.В.Эймбке. Об определении азимута лазерным гироскопом. – Известия вузов «Приборостроение», 1976г., т. XIX, №6, с. 70 – 74.
13. Г.М.Кузнецов, В.П.Дорофеев, Б.В.Ефимов, Ю.А.Винogradov. – автор. свид. №213146 от 06.04.1984г.
14. Г.М.Кузнецов, П.А.Ильин, Г.И.Емельянцев. Указатель меридиана. – автор. свид. №346974 от 17.11.1970г.
15. Г.М.Кузнецов, В.В.Эймбке. Экспериментальные исследования влияния нестабильности тока независимого элемента на флукутации разностной частоты оптического гиromетра. – Труды ЛИТМО 1977г., вып.89, с.54 – 60.
16. Г.М.Кузнецов, М.А.Сергеев, В.В.Эймбке. Обработка информации в гирооптическом компасе, 1978г., ИЛ №590-78.
17. Г.М.Кузнецов, Г.С.Круглик. О времени установления частоты биений при коммутации «подставки» в оптическом гиromетре. Труды ЛИТМО, 1978г., с. 38 – 44.
18. Г.М.Кузнецов, М.А.Сергеев, В.В.Эймбке. Об определении положения меридiana гирооптическим компасом, Труды ЛИТМО, 1978г. с.44 – 48.
19. Г.М.Кузнецов, М.А.Сергеев, В.В.Эймбке. О компенсации дрейфа в гирооптическом компасе. Известия вузов «Приборостроение», 1979г., т.ХХII, №2, с. 49 – 54.
20. В.В.Серегин, Г.М.Кузнецов, В.Я.Смирнов. Идентификация дрейфа лазерного гиromетра. XXIV НТК ППС ЛИТМО, 1980г.
21. В.В.Серегин, В.Я.Смирнов. О выборе периода квантования выходной информации лазерного гиromетра. XXIV НТК ППС ЛИТМО, 1980г.
22. В.В.Серегин, Р.М.Кукулиев. Лазерные гиromетры и их применение, 1990г. Машиностроение, 288стр.
23. Г.М.Кузнецов, П.А.Ильин, Г.И.Емельянцев. Указатель меридиана. – автор. свид. №346974 от 17.11.1970г.
24. Г.М.Кузнецов, Г.П.Гречка, А.Г.Кукуш, П.И.Марыасов. – автор. свид. №186528 от 14.06.1982г.
25. Г.М.Кузнецов, М.М.Курнаков, И.Е.Глазунов, В.Н.Зуднев, О.Ф.Немолочнов, В.А.Ткаченко. – автор. свид. №1304537 от 18.04.1985г.
26. Г.М.Кузнецов, А.П.Коржавый, Е.Л.Русаков, Н.В.Русакова, Е.А.Трофимов. – автор. свид. №1510652 от 28.12.1987г.

Г. И. ЕМЕЛЬЯНЦЕВ, Б. А. БЛАЖНОВ, А. П. СТЕПАНОВ

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФАЗОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧИ ОРИЕНТАЦИИ В ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНО-СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЕ

Исследуются алгоритмы и погрешности интегрированной системы ориентации и навигации (ИСОН) на основе бескарданного инерциального измерительного модуля (БИИМ) на микромеханических датчиках (ММД) и двух модулей приемной аппаратуры (ПА) спутниковых навигационных систем (СНС) с разнесенными антеннами в целях формирования фазовых измерений спутниковой навигационной системы.

Для совместной обработки данных в ИСОН, построенной по сильно связанный схеме, используется алгоритм обобщенного фильтра Калмана с обратной связью по всему вектору состояния системы. Приводятся результаты камеральной обработки данных автомобильных испытаний опытного образца БИИМ на ММД (разработка ЦНИИ «Электроприбор») и модуля ПА СНС с двумя приемниками (разработка РИРВ).

Введение

Одной из проблем на пути создания малогабаритной и недорогой ИСОН для подвижных объектов различного назначения на базе БИИМ, содержащего измерительный блок на ММД (неустойчивость дрейфов микромеханических гироскопов в настоящее время составляет 0.01...0.1 град/с), и ПА (приемная аппаратура) СНС является обеспечение требований по точности выработки курса.

Проблему обеспечения требований по курсу в ИСОН с БИИМ низкого уровня точности в последнее время пытаются решить, в частности, за счет создания для подвижных объектов ПА СНС с фазовыми измерениями и разнесенными антеннами.

Известна интегрированная система Seapath 200 [1] норвежской фирмы Seatex AS для морских судов, которая использует мультиантенную ПА СНС с фазовыми измерениями на несущей частоте.

Из отечественных разработок следует выделить аналогичную мультиантенную ПА СНС МРК-32 [2], использующую фазовые измерения (разработка Красноярского государственного технического университета и НИИ радиотехники). В известных схемах построения ИСОН [1–3] используется мультиантенная ПА СНС с фазовыми измерениями, обеспечивающая с определенной дискретностью автономную выработку параметров ориентации объекта. Эта задача, как известно, требует решения проблемы неоднозначности фазовых измерений.

Известны различные способы решения данной проблемы [4, 6–8]. Все из них требуют одновременного наблюдения и обработки фазовых измерений от группировки навигационных спутников (HC_i), достаточно сложного программного обеспечения и существенной задержки времени.

Совместная обработка данных БИИМ и ПА СНС в рассматриваемых схемах ИСОН производится на уровне параметров ориентации.

Постановка задачи, исходные положения

В данной работе рассматривается структура построения и алгоритмическое обеспечение ИСОН, построенной по сильносвязанной схеме. При этом особое внимание уделяется проблеме повышения точности в решении задачи ориентации объекта (прежде всего по курсу) за счет использования вторых разностей фазовых измерений на разнесенные антенны.

В состав ИСОН входят БИИМ на ММД (разработчик ЦНИИ «Электроприбор») и ПА СНС (разработчик ОАО «РИРВ»). Бескарданный ИИМ (рис. 1) состоит из корпуса, платы чувствительных элементов (ЧЭ), на которой размещены гироскопы (дрейф 0,1, 0,07 град/с/Гц) и акселерометры (погрешности 0,03, 0,02 м/с²/Гц) с обеспечивающей электроникой, и платы НС, содержащей контроллер на базе сигнального процессора TMS320F2812, осуществляющий обработку навигационной информации.



Рис. 1. Бескарданный ИИМ на ММД

Для формирования вторых разностей фазовых измерений ПА СНС содержит две пространственно разнесенные антенны и два подключенных к ним идентичных модуля приемоизлучательных (МПВ1 и МПВ2) типа 2К-363-62.

Специализированные БИИМ (на базе процессора TMS320F2812) и МПВ1 (на базе процессора TMS320VC5416ZGU) связаны синхронным последовательным интерфейсом (SPI). Алгоритмы реального времени, реализованные в вычислителе БИИМ, позволяют решать задачи ориентации и навигации с частотой 100 Гц при поступлении данных от ПА СНС с частотой до 5 Гц.

Алгоритмы реального времени, реализованные в вычислителях МПВ1 и МПВ2 позволяют решать задачу определения координат, скорости и времени (КСВ-решение) по сигналам СНС с частотой до 5 Гц и формировать при этом «сырые данные» СНС (псевдоводальности и скорости изменения псевдоводальностей) с частотой до 10 Гц. МПВ формируют также импульсный периодический сигнал «1 Гц». Сигнал «1 Гц» из МПВ1 подается в БИИМ для обеспечения синхронизации информационных потоков.

Для интеграции данных БИИМ и ПА СНС в вычислителе БИИМ реализован алгоритм обобщенного фильтра Калмана, обеспечивающий оценку погрешностей БИИМ для их коррекции в обратной связи. При этом в реальном времени в настоящее время реализован алгоритм совместной обработки данных БИИМ и ПА СНС по составляющим вектора линейной скорости и координатам места, а в кинематическом режиме – по первичным навигационным параметрам (дальностям) и радиальным скоростям) и вторым разностям фазовых измерений.

Для поддержки работы МПВ1 в реальном времени в него от ИИМ в темпе 100 Гц передаются данные о составляющим вектора линейной скорости и координатах местоположения объекта. Эти данные в вычислителе МПВ1 пересчитываются в радиальные псевдоскорости для всех навигационных спутников (HC_i) СНС, которые используются как целеуказания в следящих измерителях радионавигационных параметров, что позволяет сузить их полосы и повысить помехозащищенность ПА СНС, а также в алгоритме поиска сигналов HC_i , что позволяет сократить время восстановления сопровождения сигналов HC_i после их кратковременного пропадания, вызванного затенением или действием помех.

СТАТЬИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАФЕДРЫ

Для повышения точности ИСОН в выработке параметров ориентации объекта привлекаются вторые разности фазовых измерений от ПА СНС для различных пар HC_i , при этом исключение неоднозначностей фазовых измерений осуществляется с опорой на данные БИИМ.

Алгоритмическое обеспечение задач совместной обработки данных БИИМ и ПА СНС

Формирование разностных измерений для задачи навигации

$$\begin{aligned} z_{pi}(k+1) &= \rho_{i_pr}(k+1) - \rho_{i_z}(k+1), \\ z_{\dot{pi}}(k+1) &= [\nabla \rho_{i_pr}(k+1) - \nabla \rho_{i_z}(k+1)] / Tz, \end{aligned} \quad (1)$$

где ρ_{i_pr} и $\nabla \rho_{i_pr} = \int_{t_k}^{t_{k+1}} \dot{\rho}_{i_pr} dt$ – расчетные значения дальностей и их приращений на интервале Tz

измерений для каждого HC_i , полученные по данным БИИМ и эфемеридной информации для HC_i и приведенные к точке расположения опорной антенны ПА СНС, здесь $\dot{\rho}_{i_pr}$ – текущее расчетное значение радиальной скорости для HC_i ; ρ_{i_z} , $\nabla \rho_{i_z}$ – измеренные и откорректированные (с учетом поправок на тропосферную и ионосферную задержки, сдвиг шкал времени HC_i и ПА СНС и привязки к моменту обсервации) в ПА СНС значения дальностей и их приращений на интервале Tz :

$$\begin{aligned} \rho_{i_z}(k+1) &= \rho_{i_m}(k+1) + \delta D + \epsilon_{pi}, \\ \nabla \rho_{i_z}(k+1) &= \nabla \rho_{i_m}(k+1) + \delta \dot{D} \cdot Tz + \epsilon_{vpi}, \end{aligned} \quad (2)$$

где ρ_{i_m} , $\nabla \rho_{i_m}$ – истинные значения дальностей и их приращений; δD , $\delta \dot{D}$ – смещения соответственно шкалы времени (в единицах дальности) и частоты опорного генератора (в единицах радиальной скорости) в ПА СНС относительно данных HC_i ; ϵ_{pi} , ϵ_{vpi} – шумы ПА СНС,

Полагая погрешности выходных данных БИИМ малыми, расчетные значения дальностей и их приращений на интервале Tz можно представить в виде ряда и ограничиться линейными членами. Линеаризованные значения разностных измерений (1) могут быть приведены к виду [5]:

$$\begin{aligned} z_{pi}(k+1) &= \sum_{j=1}^3 \frac{\partial \rho_i}{\partial e_j}(k+1) \cdot \Delta e_j - \delta D + v_{pi}, \\ z_{\dot{pi}}(k+1) &= \sum_{j=1}^3 \frac{\partial \dot{\rho}_i}{\partial e_j}(k+1) \cdot \Delta e_j + \sum_{j=1}^3 \frac{\partial \dot{\rho}_i}{\partial \dot{e}_j}(k+1) \cdot \Delta \dot{e}_j - \delta \dot{D} + v_{\dot{pi}}. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь для частных производных (их осредненных значений на интервале Tz) имеют место следующие выражения:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho_i}{\partial e_j}(k+1) &= \frac{\partial \dot{\rho}_i}{\partial \dot{e}_j}(k+1) = -\frac{e_{ji} - e_{j_pr}}{\rho_{i_pr}}, \\ \frac{\partial \dot{\rho}_i}{\partial e_j}(k+1) &= \frac{\dot{\rho}_{i_pr}}{\rho_{i_pr}^2} (e_{ji} - e_{j_pr}) - \frac{1}{\rho_{i_pr}} (\dot{e}_{ji} - \dot{e}_{j_pr}); \quad (j=1,2,3), \end{aligned}$$

где e_{ji} и \dot{e}_{ji} ($j = 1, 2, 3$) – значения декартовых координат и составляющих вектора линейной скорости HC_i относительно Земли в проекциях на гринвичские оси (эфемеридная информация, поступающая от ПА СНС); e_{j_pr} , \dot{e}_{j_pr} и $\Delta e_j, \Delta \dot{e}_j$ ($j = 1, 2, 3$) – соответственно приборные значения декартовых координат и составляющих вектора линейной скорости объекта относительно Земли в проекциях на гринвичские оси (поступают от БИИМ) и их погрешности; $v_{\rho i}, v_{\beta i}$ – шумы измерений, были аппроксимированы дискретными белыми шумами с известными дисперсиями на частоте $1/T_z$.

Погрешности $\Delta e_j, \Delta \dot{e}_j$ ($j = 1, 2, 3$) БИИМ были представлены через погрешности $\Delta\phi, \Delta\lambda, \Delta h$ выработки географических координат места и погрешности $\Delta V_E, \Delta V_N, \Delta V_H$ в выработке составляющих вектора относительной линейной скорости объекта в проекциях на географические оси, что соответствующим образом нашло отражение в описании элементов матрицы H_{k+1} измерений.

Для вторых разностей измеренных значений фазовых измерений имеем

$$\nabla s_{i,j+1}^{bl(z)} = s_i^{bl(z)} - s_{i+1}^{bl(z)}, \quad (4)$$

где $s_i^{bl(z)}$ – вычисленное по измерениям разности фаз сигнала HC_i на разнесенные антенны значение направляющего косинуса орта \vec{s}_i (задающего направление на HC_i) относительно базы \vec{b}_i .

Следует заметить, что формирование вторых разностей фазовых измерений необходимо для исключения влияния расхождения шагов времени опорных генераторов приемников СНС в точках размещения опорной антенны A_{on} и отнесеной A_i . С другой стороны, располагая данными о декартовых координатах $[e_{1pr}; e_{2pr}; e_{3pr}]$, параметрах ориентации (матрице ориентации $C_{o,h_pr}(K, \psi, \theta)$) точки размещения на объекте опорной A_{on} антенны (от БИИМ) и известными эфемеридами $[e_{1i}; e_{2i}; e_{3i}]$ HC_i (от ПА СНС) в гринвичской системе координат, можно рассчитать направляющие косинусы орта \vec{s}_i соответственно в гринвичской, географической и связанной с объектом системах координат

$$\vec{s}_{ie_pr} = \frac{1}{\sqrt{(e_{1i} - e_{1pr})^2 + (e_{2i} - e_{2pr})^2 + (e_{3i} - e_{3pr})^2}} \begin{bmatrix} e_{1i} - e_{1pr} \\ e_{2i} - e_{2pr} \\ e_{3i} - e_{3pr} \end{bmatrix}; \quad (5)$$

$$\vec{s}_{ih_pr} = C_{e,h_pr} \cdot \vec{s}_{ie_pr}; \quad (6)$$

$$\vec{s}_{io} = (C_{o,h_pr})^T \cdot \vec{s}_{ih_pr}, \quad (7)$$

где $C_{e,h_pr}(\lambda, \varphi)$ – матрица перехода от гринвичского навигационного трехгранника к географическим осям) и сформировать расчетное значение направляющего косинуса орта \vec{s}_i относительно базы \vec{b}_i

$$s_i^{bl(R)} = (\vec{b}_{io}^{ort})^T \cdot \vec{s}_{io_pr}. \quad (8)$$

Значения \vec{b}_{lo}^{ort} направляющих косинусов вектора \vec{b}_1 в связанных с объектом осях будут равны

$$\vec{b}_{lo}^{ort} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{(x_{A_1} - x_{A_{on}})^2 + (y_{A_1} - y_{A_{on}})^2 + (z_{A_1} - z_{A_{on}})^2}} \begin{bmatrix} x_{A_1} - x_{A_{on}} \\ y_{A_1} - y_{A_{on}} \\ z_{A_1} - z_{A_{on}} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где $[x_{A_1}, y_{A_1}, z_{A_1}]^T$, $[x_{A_{on}}, y_{A_{on}}, z_{A_{on}}]^T$ – декартовы координаты точки расположения антенн A_1 , A_{on} относительно ц. м. объекта в связанных осях.

Соответственно для вторых разностей расчетных значений фазовых измерений получим

$$\nabla S_{i,i+1}^{b1(R)} = S_i^{b1(R)} - S_{i+1}^{b1(R)}. \quad (10)$$

Сравнивая расчетные и измеренные значения вторых разностей фазовых измерений, можно сформировать искомые разностные измерения

$$Z_{i,i+1}^{b1} = \nabla S_{i,i+1}^{b1(R)} - \nabla S_{i,i+1}^{b1(z)}, \quad (11)$$

которые содержат с соответствующими весами в основном погрешности решения БИИМ задачи ориентации объекта (погрешности $\Delta C_{o,h_pr}$ матрицы ориентации, однозначно связанные с погрешностями аналитического построения географического сопровождающего трехгранника: α, β, γ , где α – погрешность по курсу; β, γ – погрешности построения вертикали места), погрешности Δb_{1x}^{ort} , Δb_{1z}^{ort} ориентации базы \vec{b}_1 относительно связанных с объектом осей, неоднозначности вторых разностей фазовых измерений $(\lambda_{i+1}\eta_{i+1} - \lambda_i\eta_i)/|\vec{b}_1|$, где λ_i – длина волны излучаемого HC_i сигнала; η_i – целое число длин волн – собственно неоднозначность в фазовых измерениях, и шумы измерений.

Полагая начальные погрешности БИИМ по навигационным параметрам и параметрам ориентации объекта в пределах малости (например, по курсу $\sim 5^\circ$ при использовании магнитных датчиков, по углам качки 3°), можно допустить линеаризацию измерений (11). При этом вклад погрешностей ИИМ в измерения (11) при сделанных допущениях и длине базы в пределах 2..3 м не будет превышать длины волны излучаемого HC_i сигнала.

Предварительная обработка разностных измерений (11) заключается в исключении исходной неоднозначности фазовых измерений. Так как априори известно, что составляющая измерений, связанная с погрешностями БИИМ, вместе с шумами составляет менее одной длины волны излучаемого HC_i сигнала в значениях приведенного измерения $Z_{i,i+1}^{b1} \cdot |\vec{b}_1|$, то, исключая целое число $(\eta_{i+1} - \eta_i)$ из значения $Z_{i,i+1}^{b1} \cdot |\vec{b}_1|/\lambda_{i+1}$ и оставляя его дробную часть $\tilde{Z}_{i,i+1}^{b1} \cdot |\vec{b}_1|/\lambda_{i+1}$, тем самым исключается из восстановленных измерений $\tilde{Z}_{i,i+1}^{b1}$ (с учетом сохранения знака $Z_{i,i+1}^{b1}$) неоднозначность фазовых измерений до уровня $\delta\lambda_{i+1}\eta_i/|\vec{b}_1|$, где $\delta\lambda_{i+1} = \lambda_{i+1} - \lambda_i$ – различие в длине волны излучаемых HC_i сигналов. Остаточная неоднозначность фазовых измерений в пределах одной длины волны включается в число оцениваемых параметров.

Измерения $\tilde{Z}_{i,i+1}^{b1}$ вместе с разностными измерениями по навигационным параметрам (1) поступают для последующей обработки с использованием алгоритмов фильтра Калмана.

Оценки, выработанные в ФК, поступают в обратную связь для коррекции погрешностей БИИМ в выработке параметров ориентации и навигационных параметров, компенсации погрешностей гиро-

скопов и акселерометров, а также коррекции измерений $\tilde{Z}_{i,i+1}^{bl}$ в части их остаточной неоднозначности и погрешностей ориентации базы \tilde{b}_i относительно связанных с объектом осей.

При разнесении двух антенн ПА СНС в осях объекта номинальные $\vec{b}_{lo_m}^{ort}$ и приборные $\vec{b}_{lo_pr}^{ort}$ значения направляющих косинусов вектора \vec{b}_i в связанных с объектом осях будут равны

$$\vec{b}_{lo_m}^{ort} = \begin{bmatrix} b_{lx_m}^{ort} \\ b_{ly_m}^{ort} \\ b_{lz_m}^{ort} \end{bmatrix}, \quad \vec{b}_{lo_pr}^{ort} = \vec{b}_{lo_m}^{ort} + \Delta \vec{b}_{lo}^{ort}, \quad \Delta \vec{b}_{lo}^{ort} = \begin{bmatrix} \Delta b_{lx}^{ort} \\ \Delta b_{ly}^{ort} \\ \Delta b_{lz}^{ort} \end{bmatrix}, \quad (12)$$

где $\Delta b_{ij}^{ort}, (j = x, y, z)$ – погрешности орта $\vec{b}_{lo_pr}^{ort}$.

При этом значения $b_{lx_m}^{ort}, b_{lz_m}^{ort}$ уточнялись по результатам обработки измерений (11), а составляющая $b_{ly_pr}^{ort}$ определялась из условия нормирования орта $\vec{b}_{lo_pr}^{ort}$, т.е. $(b_{lx_pr}^{ort})^2 + (b_{ly_pr}^{ort})^2 + (b_{lz_pr}^{ort})^2 = 1$. В этом случае линеаризованные разностные измерения (11) могут быть представлены в следующем виде:

$$Z_{i,i+1}^{bl} = [B_{12}(s_{iE} - s_{(i+1)E}) - B_{11}(s_{iN} - s_{(i+1)N})] \cdot \alpha + [B_{13}(s_{iN} - s_{(i+1)N}) - B_{12}(s_{iH} - s_{(i+1)H})] \cdot \beta + [B_{11}(s_{iH} - s_{(i+1)H}) - B_{13}(s_{iE} - s_{(i+1)E})] \cdot \gamma + (s_{ix} - s_{(i+1)x}) \cdot \Delta b_{lx}^{ort} + (s_{iz} - s_{(i+1)z}) \cdot \Delta b_{lz}^{ort} + \Delta C f_{(i+1)-i} + v_{zi}, \quad (13)$$

где $B_{ij} (j = 1, 2, 3)$ – элементы вектора-строки $(\vec{b}_{lo_pr}^{ort})^T (C_{o,h_pr})^T$; $s_{ij}, s_{(i+1)j} (j = E, N, H)$ и $s_{ij}, s_{(i+1)j} (j = x, y, z)$ – элементы ортов $\vec{s}_{th_pr}, \vec{s}_{lo_pr}$ (направляющие косинусы орта \vec{s}_i HC_i относительно соответственно географических осей и осей объекта), формируемые согласно соотношениям (5), (6), (7); $\Delta C f_{(i+1)-i} = \delta \lambda_{i+1} \cdot \eta_i / |\tilde{b}_i|$ – погрешности, обусловленные остаточной неоднозначностью вторых разностей фазовых измерений для пары спутников HC_{i+1} и HC_i ; v_{zi} – шумы измерений, включающие шумы ПА СНС и составляющие, обусловленные погрешностями знания координат места объекта и эфемеридной информации HC_i .

Расчетная модель погрешностей

При формировании расчетной модели погрешностей ИСОН использовались следующие аппроксимации:

- смещения нулей гироскопов $\Delta \bar{\omega}_i (i = xb, yb, zb)$ и акселерометров $\Delta \bar{a}_i$, изменения систематических составляющих погрешностей масштабных коэффициентов ММГ ΔM_{gi} от запуска к запуску и их изменчивость в пуске были аппроксимированы (из-за отсутствия достоверных данных об их спектральном составе) соответствующими винкелевскими процессами;
 - погрешности $\delta D, \delta \dot{D}$ ПА СНС (смещения соответственно шкалы времени в единицах дальности и частоты опорного генератора в единицах радиальной скорости для опорной антенны в ПА СНС относительно данных HC_i) представлены расчетной моделью
- $$d(\delta D)/dt = \delta \dot{D} + w_1, \quad d(\delta \dot{D})/dt = k2 + w_2, \quad d(\delta D)/dt = \delta \dot{D} + w_1, \quad d(\delta \dot{D})/dt = k2 + w_2,$$

где коэффициент k_2 , характеризующий дрейф частоты опорного генератора, был аппроксимирован соответствующим винеровским процессом;

- погрешности $\Delta C_{f_{(i+1)-i}}$, Δb_{1j}^{ort} , ($j = x, z$) аппроксимированы также соответствующими винеровскими процессами;
- шумы измерений v_{zi} аппроксимированы дискретными белыми шумами с известными дисперсиями на частоте формирования измерений.

В этом случае расчетная модель погрешностей ИСОН будет иметь вид:

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= \Phi_{k+1/k} \cdot x_k + \Gamma_{k+1} \cdot w_k, \\ z_{k+1} &= H_{k+1} \cdot x_{k+1} + v_{k+1}, \end{aligned} \quad (14)$$

где

$$x^T = [\alpha \ \beta \ \gamma \ \Delta V_E \ \Delta V_N \ \Delta V_H \ \Delta\varphi \ \Delta\lambda \ \Delta h \ \Delta\bar{\omega}_{xb} \ \Delta\bar{\omega}_{yb} \ \Delta\bar{\omega}_{zb} \ \Delta\bar{\omega}_{xb} \ \Delta\bar{\omega}_{yb} \ \Delta\bar{\omega}_{zb}] \quad (15)$$

$$\Delta M_{gx} \ \Delta M_{gy} \ \Delta M_{gz} \ \delta D \ \delta\dot{D} \ k2 \ \Delta b_{1x}^{ort} \ \Delta b_{1z}^{ort} \ \Delta C_{f_{4-1}} \ \Delta C_{f_{5-2}} \ \Delta C_{f_{6-3}}$$

– вектор состояния системы.

Здесь α, β, γ – погрешности в решении задачи ориентации; $\Delta V_E, \Delta V_N, \Delta V_H$ – погрешности в выработке составляющих вектора относительной линейной скорости объекта в проекциях на географические оси; $\Delta\varphi, \Delta\lambda, \Delta h$ – погрешности выработки географических координат места (по широте, долготе и высоте); $\Phi_{k/k+1}$ – переходная на интервале T_z формирования измерений матрица состояния системы; $\Gamma_{k+1} \cong \Phi_{k+1} \cdot dT$ – матрица, определяющая влияние вектора входных шумов w_k с ковариациями Q_k ; H_{k+1} – матрица измерений, соответствующая уравнениям (3) и (13); v_{k+1} – шумы измерений с матрицей ковариаций R_k .

Для отбраковки недостоверных измерений использовался безынерционный алгоритм контроля, основанный на анализе невязки разностных измерений, т.е. анализе превышения разностных измерений (учитывая факт включения оценок в обратную связь на каждом шаге обработки измерений) допустимых значений, рассчитываемых по текущим значениям ковариационной матрицы ошибок оценок.

Результаты объектовых испытаний задачи ориентации

При испытаниях ИСОН на автомобиле при его движении в городских условиях имели место частые срывы слежения за HC_i и «боны» в первичных измерениях ПА СНС, обусловленные наличием радиопомех, маневрированием автомобиля и затенением приемной антенны.

Разностные фазовые (11) и навигационные измерения (1) обрабатывались в камеральном режиме. Исходные данные:

- формирование откорректированных значений (с учетом поправок на тропосферную и ионосферную задержки, с учетом сдвига шкал времени HC_i и ПА СНС) дальностей и приращений дальностей на шаге измерений, а также эфемеридной информации для каждого из 6 наблюдаемых HC_i осуществлялось на частоте 1 Гц с привязкой всех данных к синхроимпульсу от ПА СНС;
- при «скачках» в разностных фазовых измерениях для пары спутников на величину более 0,1 длины волны производился частичный перезапуск фильтра Калмана по погрешности $\Delta C_{f_{(i+1)-i}}$, соответствующей данному измерению;

- отбраковка недостоверных измерений от ПА СНС производилась в соответствии с критерием, учитывающим текущие значения ковариационной матрицы ошибок оценок;
- результаты расчета сравнивались с данными о курсе или путевом угле объекта, полученным от аппаратуры МРК-32;
- длина базы между антеннами составляла 2,5 м;
- запись массива данных БИИМ (текущих значений сигналов ММГ и ММА) производилась на частоте 100 Гц.

Результаты испытаний приведены на рис. 2, 3.

Сравнивая рис. 3, а с рис. 3, б, можно видеть, что наблюдаемые «выбросы» – это погрешности ПА СНС (курса или путевого угла МРК-32).

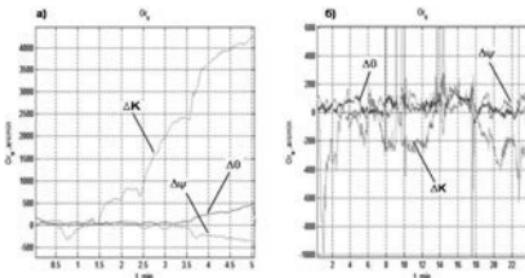


Рис. 2. Погрешности ориентации (угл. мин) без использования фазовых измерений:

$\Delta\theta$, $\Delta\psi$ – по углам качки, ΔK – по курсу (сравнение с $K_{\text{-GPS}}$ от МРК-32):

а) без маневрирования объекта по курсу и скорости; б) при маневрировании объекта по курсу

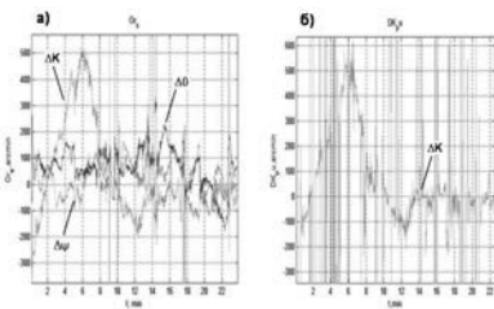


Рис. 3. Погрешности ориентации (угл. мин) с использованием фазовых измерений:

$\Delta\theta$, $\Delta\psi$ – по углам качки, ΔK – по курсу:

а) сравнение с $K_{\text{-GPS}}$ от МРК-11; б) сравнение со значением путевого угла от ПА СНС

Выводы

1. Результаты решения задачи ориентации объекта в рассматриваемой схеме построения ИСОН подтверждают эффективность данного решения, которое допускает перерывы в поступлении фазовых измерений от ПА СНС и позволяет эффективно обеспечивать отбраковку недостоверных измерений.

2. В условиях маневрирования объекта, приводящего к наличию линейных ускорений в горизонтальной плоскости, погрешность ИСОН по курсу имеет ограниченный характер даже без использования фазовых измерений от ПА.

Авторы выражают благодарность сотрудникам ОАО «РИРВ» В.М.Жилинскому, А.Н.Короткову, Е.А.Тимофееву и Г.С.Цехановичу за предоставленную для испытаний ПА СНС и помощь в проведении и обработке результатов испытаний.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ. Код проекта 07-08-00699-а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интегрированная система Seapath 200. Product Manuals – Seapath 200. Precise Heading, Attitude and Position. Seatex AS, Trondheim, NorwaY, 1998-05-04.
2. Несенюк, Л.П. Интегрированная инерциально-спутниковая система ориентации и навигации с разнесенными антennами / Л.П.Несенюк [и др.] // Интегрированные инерциально-спутниковые системы навигации. – СПб.: ЦНИИ «Электроприбор», 2001. – С. 222-229.
3. Рапопорт, Л.Б. Интегрированная система спутниковой и инерциальной навигации: экспериментальные результаты и применение к управлению мобильными роботами / Л.Б.Рапопорт [и др.] // Гирроскопия и навигация. – 2007. – № 1(56). – С. 16-28.
4. Степанов, О.А. Исследование методов решения задачи ориентации с использованием спутниковых систем / О.А.Степанов, Д.А.Кошаев // Гирроскопия и навигация. – 1999. – № 2(25). – С. 30-55.
5. Емельянцев, Г.И. Об особенностях построения интегрированной инерциально-спутниковой системы для объектов, двигающихся в начальный период по баллистической траектории / Г.И.Емельянцев [и др.] // Гирроскопия и навигация. – 2009. – № 1(64). – С. 9-21.
6. Hayward R.C., Gebre-Egziabher D., Powell J.D. GPS-Based Attitude for Aircraft. Proceedings of 5th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation SYstems. Saint Petersburg 1998. State Research Center of Russia "Elektropribor". 1998. – P. 85-94.
7. Han S., Wong K., Rizos C. Instantaneous AmbiguitY Resolution for Real-Time GPS Attitude Determination. Proceedings of the International sYmpoium on Kinematic sYstems in GeodesY, Geomatics and Navigation, Banff, Canada, June 3-6, KIS97. – 1997. – P. 409-416.
8. Euler H., Hill C. Attitude determination Exploiting all Information for Optimal AmbiguitY Resolution. Proceedings of The Eighth International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, Palm Springs, California, September 12-15, ION-GPS-95. 1995.

В.Г.ПЕШЕХОНОВ, Л.П.НЕСЕНЮК, Д.Г.ГРЯЗИН, М.И.ЕВСТИФЕЕВ, Я.А.НЕКРАСОВ, В.Д.АКСЕНЕНКО

МИКРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ГИРОСКОП, РАЗРАБАТЫВАЕМЫЙ В ЦНИИ «ЭЛЕКТРОПРИБОР»

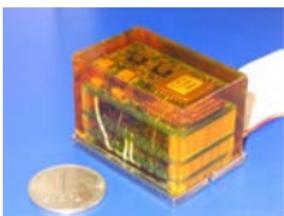
Статья посвящена последним достижениям ЦНИИ «Электроприбор» в области создания микромеханического гироскопа и бесплатформенных инерциальных систем на его основе. Показано, что разрабатываемый гироскоп может быть использован в системах управления высокодинамичными объектами. Приводятся результаты стендовых испытаний гироскопа, при проведении которых имитировались режимы его функционирования на объекте, обосновываются технические решения, позволяющие создать более совершенную конструкцию датчика.

Первая модификация микромеханического гироскопа

В работе [1] представлен микромеханический гироскоп (ММГ) с инерционной массой в форме диска, разработка которого ведется в ЦНИИ «Электроприбор» с 2001 года.

В качестве базовой была выбрана схема вибрационного RR-гироскопа с внутренней торсионной подвеской, электростатическим возбуждением первичных колебаний, емкостным съемом информации. Конструкция гироскопа ориентирована на технологию "кремний на изоляторе".

а



б

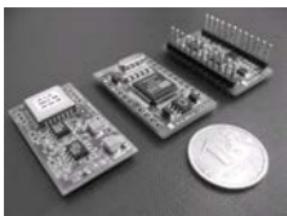


Рис. 1. Микромеханический гироскоп ММГ-1. а – внешний вид ММГ-1, б – электронные платы ММГ-1

На рис. 1 представлен внешний вид первой модификации гироскопа – ММГ-1. Электроника системы съема данных и управления ММГ размещена на трех электронных платах размером 21x35 мм и состоит из аналоговой и цифровой частей. На первой плате установлены микромеханический датчик гироскопа – вакуумированный кремниевый модуль (ВКМ) и двухканальный преобразователь ем-

* Журнал «Мехатроника, автоматизация, управление». - 2008. № 2. - С. 29-31.
176

СТАТЬИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАФЕДРЫ

кость-напряжение. На второй – элементы опорного генератора, генерирующего несущую частоту опроса емкостных датчиков

На третьей плате расположен контроллер ММГ-1, который преобразует выходные сигналы преобразователей емкость-напряжение в цифровой код, реализует выбранные алгоритмы фильтрации сигналов и управление инерционной массой, а также формирует цифровой выходной сигнал.

Разработаны два варианта ММГ-1: с диапазонами измерения 360 град/с и 900 град/с, основные характеристики которых представлены ниже.

Параметр	ММГ-1А	ММГ-1Б	Единицы
Диапазон измерений	± 360	± 900	град/с
Плотность шума	0,018	0,05	град/с/Гц
Нестабильность нуля	68	200	град/час
Полоса пропускания (-3 дБ)	40	40	Гц

Характеристики точности ММГ-1 близки к соответствующим характеристикам известных зарубежных аналогов, например, к характеристикам микромеханических гироскопов фирмы Analog Devices, опубликованным на сайте этой фирмы в 2006 г. [2]. При этом, гироскопы фирмы Analog Devices для коммерческого использования имеют значительно меньшие размеры чем ММГ-1. Цена на эти изделия не превышает 50 USD, что в значительной степени обеспечивается за счёт их массового производства. В то же время, представленный на этом сайте гироскоп ADIS16120 военного применения, близкий по точности к ММГ-1А, имеет сопоставимые с ним размеры и стоит 775 USD.

Стендовые испытания

Одна из возможных областей применения ММГ-1 – системы управления высокодинамичными объектами. В связи с этим, после проведения конструкторских испытаний, образцы ММГ-1 были исследованы на специализированных стендах, позволяющих воспроизвести режимы работы датчика в реальных условиях. Испытания выявили недостатки ММГ-1 в заданных условиях работы. Датчик оказался чувствительным к электромагнитным помехам. Кроме того, для использования ММГ-1 в бортовой системе управления, выходной сигнал должен иметь не цифровой, а аналоговый вид.

Для устранения указанных замечаний на базе ММГ-1 был разработан блок 303МАВ-150, рис. 2, имеющий герметичный магнитный экран и цифро – аналоговый преобразователь сигнала.



Рис. 2 Блок 303МАВ-150



Рис 3 Общий вид стенда: 1 – привод вращения по крену; 2 – привод колебаний по поперечной оси; 3 – блок 303МАВ-150; 4 – потенциометрический датчик угла стенда

Испытания блока на стенде, воспроизводящем вращательное движение объекта с одновременными его колебаниями (рис. 3), показали, что блок отвечает заданным требованиям:

диапазон измеряемых угловых скоростей, град/с.....±25;

диапазон изменения напряжения выходного сигнала, В.....0-2;

порог чувствительности прибора, град/с.....0,15;

коэффициент передачи, мВ/град/с.....40.

Это позволило считать результаты стендовых испытаний удовлетворительными и перейти к подготовке испытаний на объекте [3].

Перспективные модификации датчика

Выявленные недостатки ММГ-1 учтены при разработке микромеханического гироскопа второй модификации – ММГ-2. Внешний вид изделия приведён на рис. 4

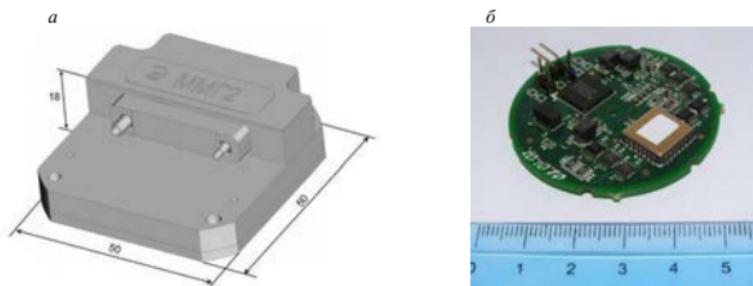


Рис. 4 Микромеханический гироскоп второй модификации. а – внешний вид, б – плата ММГ

ММГ-2, в отличие от ММГ-1, представляет собой одноплатную конструкцию (рис. 4а), помещённую в корпус (рис. 4б). В этом изделии функции аналогового опорного генератора и демодуляторов выходных сигналов преобразователя емкость-напряжение переданы контроллеру. Благодаря этому объем ММГ-2 сократился вдвое по сравнению с ММГ-1. Характеристики точности этого изделия не хуже, чем у предыдущего. Гироскоп имеет аналоговый и цифровой выходы. Существенно сокращено время готовности ММГ-2 по сравнению с ММГ-1.

Дальнейшие работы по совершенствованию ММГ предполагается вести в направлении повышения точности и уменьшения стоимости. Значительному снижению стоимости должно способствовать создание бескорпусного кристалла микромеханического гироскопа, который должен быть вакуумирован на этапе технологического процесса совмещения двух кремниевых пластин (wafer). Для этого обе пластины – ротора и крышки изделия свариваются в вакууме и лишь затем разделяются на отдельные ЧИПЫ. Разрабатывается специализированная бескорпусная микросхема двухканального преобразователя ёмкость – напряжение. Гироскоп ММГ-3 состоит из трёх кристаллов, смонтированных в едином конструктиве рис. 5.

Разработка интегрированных систем

Достигнутые в процессе разработки ММГ-1 и ММГ-2 результаты позволили перейти к созданию инерциального измерительного модуля (ИИМ) и интегрированной инерциально-спутниковой системы ориентации и навигации (ИСОН). В ЦНИИ «Электроприбор» накоплен большой опыт разработки беспилотферменных инерциальных модулей и ИСОН на основе волоконно-оптических гироскопов. Созданное программно-математическое обеспечение, методы калибровки и испытаний, ряд конструкторских решений в значительной степени используются при разработке микромеханических систем. Разработан и прошел лабораторные испытания и испытания на автомобиле экспериментальный образец ИСОН, построенный на микромеханических гироскопах и акселерометрах фирмы Analog Devices, микролитографии СНС RGPSM 202 и процессоре TMS320F2810 (рис. 6 а, б).

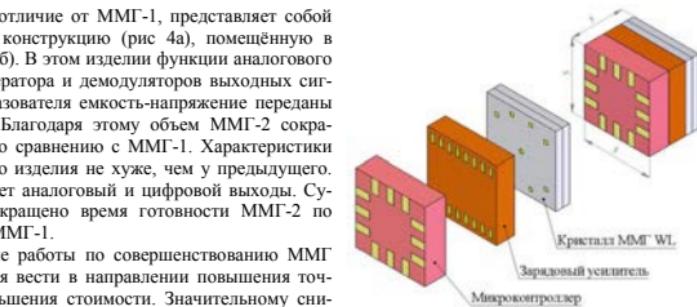


Рис. 5. Микромеханический гироскоп ММГ-3

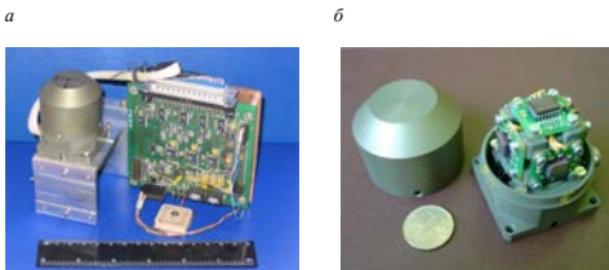


Рис. 6. Макет ИСОН (а), экспериментальный ИИМ (б)

Проведённые испытания позволили определить достичимые характеристики ИСОН, уточнить модели погрешностей и приступить к созданию ИСОН с использованием ММГ собственной разработки. Опытный образец такой ИСОН представлен на рис.7.



Рис. 7. Опытный образец ИСОН

Результаты работы

Таким образом, в последние годы в ЦНИИ «Электроприбор» в области создания микромеханических изделий достигнуты следующие результаты:

- разработаны две модификации микромеханических гироскопов, прошедшие лабораторные и стендовые испытания;
- разрабатываются ИСОН на основе созданных гироскопов;
- разработка ММГ и гироскопических систем на их основе постепенно переходят из стадии ОКР к освоению этих изделий потенциальными потребителями.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 07-08-00699-а

ЛИТЕРАТУРА

1. **В.Г.Пешехонов, Л.П.Несенюк.** Микромеханический гироскоп. Проблемы создания и состояние разработки.// Мехатроника, автоматизация, управление.-2007. №4
2. www.analog.com
3. **В.Я.Распопов, А.П.Марков, Ю.В.Иванов, Д.М.Малютин, А.А.Горин, Р.В.Алалуев, В.В.Матвеев.** Демпфирование поперечных колебаний вращающейся по крену ракеты с помощью микрогироскопа. // Гирокопия и навигация №1 (56) 2007.

О.А.СТЕПАНОВ

**ФИЛЬТР КАЛМАНА. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ.
(К 80-летию Рудольфа Эмиля Калмана)**

Статья посвящена 80-летию одного из основателей современной теории управления Р.Э.Калмана. Кратко излагаются предпосылки получения наиболее важного его результата, связанного с созданием рекуррентной оптимальной процедуры оценивания, анализируются некоторые тенденции развития прикладных методов решения задач фильтрации. Приводятся основные биографические данные о Р. Калмане и обсуждаются его творческие связи с российскими учеными.

Введение

В 2010 году отмечался восьмидесятилетний юбилей одного из основателей современной теории управления Р. Калмана. Его вклад в теорию управления широко известен и описан в многочисленных публикациях и изданиях. Так, еще, когда отмечался шестидесятилетний юбилей Калмана в 1990 г., был выпущен специальный сборник «Математическая теория систем. Влияние Р. Калмана» [1]. В него вошли работы ведущих ученых, описывающих вклад Р.Калмана в различные области теории фильтрации и управления. В 2001 г. под общей редакцией Т. Базара вышло специальное издание «Двадцать пять основополагающих статей в управлении (1932–1982)» [2]. Этот объемный труд был подготовлен по инициативе «Общества по управлению» Института инженеров по электротехнике и электронике (IEEE) в целях определения наиболее значимых результатов, полученных в весьма важный период развития теории управления. В редакционную комиссию этого сборника вошли более десятка крупнейших ученых из разных стран, в частности такие как: П. Кокотович, Л. Льонг, Б. Андерсон, Х. Квакернак, А. Исидори, К. Остррем. В сборник были включены статьи Х. Найквиста, Н.Винера, Л.С. Понtryгина, В.А. Якубовича и ряда других известных ученых. Причем Р. Калман оказался единственным, у кого для этого издания было отобрано три статьи, при этом две из них были написаны в возрасте 30 лет [3-5].

Р. Калман неоднократно бывал в России, знаком со многими нашими известными учеными. Здесь высоко оценивали его достижения. Наиболее важные статьи и книги Калмана оперативно переводились на русский язык и хорошо известны специалистам [6-10]. В связи с 80-летием Р.Калмана в апреле этого года в Институте проблем управления Российской академии наук при активном участии и поддержке международной общественной организации «Академия навигации и управление движением (АНУД)» был проведен специальный семинар, посвященный юбилею [12, 13]. На очередном общем собрании АНУД 2 июня 2010 г. автором этой заметки был представлен доклад, также посвященный юбилею известного ученого. В докладе было затронуты два вопроса. Один из них касался неко-

торых предпосылок и последствий получения одного из наиболее важных результатов Р. Калмана, связанного с созданием рекуррентной оптимальной процедуры оценивания, получившей впоследствии наименование – фильтр Калмана. Второй – творческие связи Р. Калмана с учеными нашей страны. Настоящая статья подготовлена по материалам доклада на общем собрании АНУД.

О Калмане



Коротко основные биографические данные [1, 14-16]. Рудольф Калман родился 19 мая 1930 года в г. Будапеште. Во время войны в 1943 г. вместе с родителями через Турцию эмигрировал в США. Получил степень бакалавра и магистра соответственно в 1953 и 1954 гг. в Массачусетском технологическом институте (МТИ). Докторскую степень защитил под руководством Дж. Рагазини (J.R. Ragazzini) в 1957 г. в Колумбийском университете. С 1957 по 1958 г. работает штатным инженером в исследовательской лаборатории известной фирмы IBM, а с 1958 г. – в Исследовательском институте перспективных разработок (Research Institute for Advance StudY-RIAS) в Балтиморе, возглавляемом Соломоном Левищем (1884-1972) – американским математиком российского происхождения, которого Калман считал одним из своих наставников. Здесь Р. Калман прошел путь от математика-исследователя до заместителя директора по научной работе. Именно этот период (1958–1964) им были выполнены фундаментальные работы в области системного анализа и теории управления. В 1964 г. он переходит в Стенфордский университет на отделение «Электротехника, механика и исследование операций». В 1971 становится директором Математического центра системного анализа и профессором университета Флориды. С 1973 г. Р. Калман работает в Швейцарском федеральном институте технологий в Цюрихе.

Р. Калман – лауреат многих престижных премий и наград, таких как: IEEE Medal of Honor (1974), IEEE Centennial Medal (1984г.), премия KYoto Prize (1985) (японский аналог Нобелевской премии в области новых технологий), Steel Prize (Премия Беллмана, 1997). Среди последних наград, конечно же, следует упомянуть о присужденной в январе 2008 г. Инженерной национальной Академией США премии и памятной медали им. Чарльза Старка Дрейпера за разработку и внедрение «оптимальной дискретной техники (известной как фильтр Калмана)», широко используемой при решении различного рода прикладных задач». Памятная медаль и премия в размере \$500000 были вручены в Вашингтоне 19 февраля 2008 г. И, наконец, самая последняя значимая награда – это ежегодная Национальная медаль США в области науки, которая была присуждена в 2008 г. и вручена Р. Калману 7 октября 2009 г. в Белом доме президентом США Бараком Обамой.

Р. Калман является иностранным членом Американской, Венгерской и Французской академий, а с 1994 – иностранный член Российской академии наук (РАН) по отделению проблем машиностроения, механики и процессов управления.

Предыстория

Говоря о предыстории создания фильтра Калмана (ФК), можно привести слова самого Калмана: «Мне повезло так же, как Ньютону, которому посчастливилось родиться ко времени, когда законы Кеплера были готовы и ждали его» [10]. Существуют достаточно обширная литература, в которой обсуждаются исторические аспекты развития и становления теории фильтрации [14, 17-26]. Среди зарубежных работ, несомненно, следует выделить обзор крупнейшего известного ученого в области

СТАТЬИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАФЕДРЫ

фильтрации Т. Кайлатца [19]. Он включает 390 наименований, причем в отличие от многих работ, издаваемых за рубежом. Обзор достаточно объективно отражает вклад в теорию фильтрации не только зарубежных, но и отечественных ученых.

Кратко отразим те основные вехи, которые непосредственно связаны с появлением первой работы Калмана, посвященной его знаменитому фильтру [3].

В качестве предшественников Калмана в разработке теории оценивания в первую очередь вспоминают создателей метода наименьших квадратов (МНК): немецкого математика, астронома, геодезиста и физика Карла Фридриха Гаусса (1777–1855) и французского математика Адриена Мари Лежандра (1752–1833).

Гаусс было 18 лет (1795), когда он впервые использовал, но не опубликовал метод наименьших квадратов. Лежандр независимо изобрел аналогичный метод и в 1806 г. опубликовал полученные им результаты [17–19]. Чтобы понять сложность взаимоотношений между двумя великими учеными в части отставания пальмы первенства в изобретении МНК, приведем несколько цитат из статьи [17], которую в переводе также можно найти в работе [27]. В книге «Теория движения небесных тел» 1809 г. К.Ф. Гаусс отмечал следующее: «Наш принцип, которым мы пользуемся с 1795 г., недавно был опубликован Лежандром в его работе *Nouvelles methodes pour la determination des orbites des cometes*, Paris, 1806, в ней объяснены некоторые другие его свойства, которые для краткости мы опускаем». Это, естественно, не могло понравиться Лежандру, который писал: «Гаусс, будучи уже достаточно богат открытиями, мог бы понимать приличие не присваивать себе МНК». Гаусс чувствовал себя затменным тенью Лежандра и сетовал по этому поводу: «Мне кажется, это злой рок – пересекаться практически во всех теоретических вопросах с Лежандром. Так было в высшей арифметике..., и сейчас опять МНК, который также используется в трудах Лежандра и действительно красиво изложен». С тех пор, как отмечается в [17], историки нашли достаточно оснований для доказательства приоритета Гаусса в части изобретения МНК, и скорее Лежандр оказался в тени Гаусса.

Любопытно обратить внимание на тот факт, что первоначально Гаусс рассматривал проблему оценивания с вероятностной точки зрения. Он полагал, что ошибки независимы и совместная функция распределения вероятности остатков измерений равна произведению соответствующих функций каждого из остатков, закон распределения которых в свою очередь полагался нормальным. Хотя Гаусс и понимал в какой-то степени ущербность этого закона, предполагающего возможность появления бесконечно больших по уровню ошибок измерения, данная им вероятностная трактовка МНК в значительной степени заложила основы для появления и обоснования метода максимума функции правдоподобия, предложенного впоследствии Р.А.Фишером (1912). Важно подчеркнуть, что в дальнейшем сам Гаусс отдавал предпочтение обоснованию МНК с детерминированными позиций – минимизации некоторой функции разности между оценкой и наблюдениями [17].

Говоря о предшественниках Р. Калмана, необходимо вспомнить еще двух ученых: Андрея Николаевича Колмогорова (1903–1986), выдающегося советского математика, основоположника современной теории вероятностей, и крупнейшего американского математика Норберта Винера (1894–1964), чье имя обычно связывают с зарождением той науки, которая называется кибернетикой.

Если Гаусс и Лежандр вначале 18-го века рассматривали задачу оценивания неизменного во времени вектора, то Колмогоров и Винер решали уже задачу оценивания изменяющихся параметров. При этом Колмогоров занимался задачей оценивания стационарной гауссовой случайной последовательности по ее измерениям на фоне ошибок измерения, которые также предполагались значениями гауссовой стационарной последовательности. Считая, что известны корреляционные функции для оцениваемой последовательности и ошибок измерения, Колмогоров, не обсуждая сам алгоритм оценивания, получил выражения для дисперсий ошибок оптимальных в среднеквадратическом смысле оценок. Сначала он опубликовал эти результаты без доказательства в 1939 г. [28], а потом привел уже более подробные результаты в 1941 г. [29]. Работы Винера в этой области проводились в рамках военного заказа и в открытой печати были представлены в виде книги лишь в 1949 г. [30]. Винер рассматривал задачу для непрерывного времени и им был получен алгоритм нахождения оценки в виде

свертки реализации измерений с весовой функцией, которая в свою очередь удовлетворяла интегральному уравнению Винера – Хопфа. Задача первоначально рассматривалась для установившегося режима на бесконечном времени, и решение для нее было получено на основе факторизации спектральных плотностей. Заметим, что третья глава из этой книги под названием «The linear filter for a single time series» также впоследствии была отобрана, как статья в сборник [2].

Что же не устраивало Р. Калмана в постановке задачи в полученном ранее решении? Он был не вполне согласен с предположением о том, что статистические характеристики, подобные корреляционной функции, являются верным способом описания неопределеностей, а также с тем, что описание системы с помощью передаточной функции есть в точности то же самое, что и представление самой системы [10]. Кроме того, предложенные алгоритмы были не вполне удобны при решении прикладных задач, в том числе с использованием получающих широкое применение вычислительных машин. Существенным ограничением являлось используемое предположение о стационарном характере процессов и то, что решение было получено для бесконечного интервала времени.

Р. Калман, еще будучи студентом, и впоследствии, в течение приблизительно 10 лет упорно работал в направлении выявления связей между передаточными функциями и линейными дифференциальными уравнениями. К началу 60-х годов это выразилось в следующем обобщении: «Линейные системы, описанные матрицей передаточных функций, тождественно полностью наблюдаемы и управляемы линейным векторным дифференциальным уравнениям» [10].

Фильтр Калмана. Первая публикация

К концу 50-х годов у Р. Калмана уже был ряд результатов по использованию описания систем в пространстве состояний при рассмотрении задач теории управления. Мысль о возможности применения подхода, основанного на описании систем в пространстве состояний, для решения задачи винеровской фильтрации, пришла к нему в конце ноября 1958 г. поздним вечером, по возвращении поездом из Принстона в Балтимор, когда по какой-то причине поезд простоял на полустанке в течение часа [14].

Первый публичный доклад с изложением идеи решения задачи винеровской фильтрации с помощью алгоритма, получившего впоследствии название фильтра Калмана, состоялся 1 апреля 1959 г. в Кливленде [10], а первая работа «A new approach to linear filtering and prediction problems» была опубликована в 1960 г. в *Transactions of the ASME (American Society of Mechanical Engineers – Американское общество инженеров механиков)* [3]. Следует заметить, что статья появилась не в традиционном для рассматриваемой в ней задачи журнале, издаваемом Американским обществом инженеров-электриков, а в журнале Общества инженеров-механиков. Дело в том, что в то время сообщество инженеров-электриков достаточно скептически воспринимало изложенные в ней идеи, и вопрос о публикации мог значительно затянуться. Этим, кстати сказать, объясняется и содержание одной из сносок, сделанных редакцией. В ней отмечалось, что результаты и выводы, полученные в публикуемой работе, являются личным результатом автора и ASME ответственность за них не несет. А это была именно та работа, в которой впервые предложен алгоритм решения задачи оценивания с использованием пространства состояния. Особенность первой работы заключалось, в частности, в том, что рассматривалась задача оценивания одной последовательности на фоне другой при отсутствии составляющей ошибки в виде белого шума. По сути, это была та задача, которая решалась Колмогоровым и Винером. При доказательстве полученных результатов была использована известная в основном лишь математикам теорема об ортогональной проекции. И хотя в статье традиционно предполагался гауссовский характер оцениваемых последовательностей, из представленных в ней результатов вытекало, что предложенный алгоритм, оптимальный при гауссовском характере ошибок измерения и возмущающих шумов, сохраняет свою оптимальность и при произвольном их распределении в классе линейных систем. Об этом, весьма важном свойстве нередко забывают, в то время как именно оно и определяет эффективность применения фильтра Калмана при решении прикладных задач. В

СТАТЬИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАФЕДРЫ

этой же статье была также доказана теорема дуальности или двойственности, устанавливающая связь задач фильтрации и управления.

По мнению Калмана [10], «...фильтр Калмана был истинным открытием, так как:

- Никто не представлял, что результат будет так прост?!
- Никто не ожидал, что результат будет таким общим.
- Никто не думал, что фильтр будет таким полезным».

И еще одна цитата из этой же работы «Конечно, я хорошо осознавал важность своего открытия и даже пробовал его объяснить своим подругам. Но, честно говоря, совершенно не представлял, что оно окажется таким важным и нужным» [10].

Прежде чем коротко обсудить последствия появления первой работы, обсудим еще одну сноску, которая была сделана уже самим Р. Калманом и относилась к той части статьи, где говорилось о линейном характере используемых алгоритмов. По этому поводу Р. Калман писал: «Конечно, в общем случае эти задачи могут быть решены с помощью нелинейных фильтров. Однако к настоящему времени немного или почти ничего не известно о том, как получить (теоретически и практически) эти нелинейные фильтры» [3]. В связи с этим, конечно, следует вспомнить Руслана Леонтьевича Стратоновича (1930–1997), который в сущности к этому времени уже решил проблему оптимальной нелинейной фильтрации, базируясь на созданной им теории условных марковских процессов.

Р.Л. Стратонович родился 31 мая 1930 г. в Москве, и ему также, как и Калману в мае исполнилось бы 80 лет. Он экстерном закончил школу и получил золотую медаль. В 1947 г. поступил на физический факультет Московского государственного университета, на котором и проработал впоследствии профессором всю свою жизнь [31, 32].

Стратонович создал стохастическое исчисление, которое является альтернативой к теории интеграла Ито и удобно для применения при описании физических проблем, ввел стохастический интеграл Стратоновича. В части решения задач фильтрации он получил уравнения в частных производных для апостериорной плотности, которая и необходима для вычисления оптимальной оценки. В дискретном случае их аналогом являются рекуррентные соотношения для этой плотности [33]. Линейный фильтр Калмана представляет собой частный случай, соответствующий линейной гауссовской задаче. К сожалению, вклад Р.Стратоновича в теорию фильтрации не оценен должным образом, несмотря на полученные им не менее значимые, чем Р.Калманом и Н.Винером, выдающиеся результаты в этой области [34–36]. Можно также с сожалением констатировать, что работы Р.Стратоновича, пожалуй, чаще цитируются в зарубежных публикациях, чем в работах российских авторов.

Развитие прикладных алгоритмов фильтрации

После опубликования первой статьи Р. Калмана, посвященной решению задачи фильтрации на основе пространства состояний, это направление получило бурное развитие. Р. Калман нашел благодатную почву для применения своего алгоритма в Научно-исследовательском центре Эймса (Ames Research Center), входящего в состав NASA, а также в лаборатории Ч. Дрейпера в МИТ [14, 20, 21]. Во время своего визита осенью 1960 г. он встретился с сотрудником центра в Эймсе С. Ф. Шмидтом, который сразу же оценил потенциальные возможности нового метода применительно к проекту «Аполло», связанному с полетом на Луну. Считается, что С.Ф. Шмидт был первым, кто использовал ФК при решении практических задач. В середине 60-х благодаря усилиям С.Ф. Шмидта ФК стал частью навигационной системы для транспортного самолета CSA. ФК использовался здесь в задаче комплексной обработки данных от инерциальной системы и радиолокатора, дополнительно решая также задачу отбраковки измерений с большими ошибками [14].

Р. Бьюси, который также работал в то время в RIAS, предложил Калману установить связь управления Винера-Хопфа с уравнением Риккати в ФК для непрерывного времени. Это и было сделано в их совместной работе [7]. В частности, было показано, что уравнение Риккати может иметь устойчивое решение, даже если исходная система неустойчива, при условии, что она управляема и наблю-

даема. Кстати, как отмечается в [14], работа, посвященная фильтру Калмана – Бьюси для непрерывного времени, была первоначально отклонена по причине якобы имеющейся, но потом не подтвержденной ошибки в доказательстве, найденной одним из рецензентов.

При использовании ФК при решении прикладных задач сразу же возникло множество проблем, связанных с выбором моделей, адекватно описывающих поведение ошибок измерительных систем; с чувствительностью алгоритмов к выбираемым моделям; со снижением объема вычислений при разработке субоптимальных алгоритмов фильтрации за счет сокращения размерности самого оцениваемого вектора состояния, упрощенного описания моделей ошибок измерений и порождающих шумов; с вычислительной устойчивостью предлагаемых процедур и т.д. Развитию идеи Калмана и решению этих проблем были посвящены многочисленные публикации. Значительное внимание уделялось различным модификациям фильтров Калмана, адаптивным алгоритмам, решению нелинейных задач [1, 17 – 26, 37–39]. Стал широко применяться обобщенный ФК, который в ранних публикациях назывался фильтром Калмана – Шмидта [20]. Затем были предложены так называемые итерационные фильтры и фильтры более высокого порядка, которые представляли собой различные модификации алгоритмов калмановского типа [14, 37, 38]. Для решения нелинейных задач с существенными нелинейностями активно разрабатывались алгоритмы, основанные на использовании рекуррентных соотношений для апостериорной плотности. Здесь получили развитие такие алгоритмы как метод точечных масс, метод, основанный на полигауссовской аппроксимации апостериорной плотности, метод разделения, метод Монте-Карло и ряд других [18, 40–44].

До середины семидесятых годов теория фильтрации и ее приложения бурно развивались. В развитие теоретических основ фильтрации помимо Р.Л. Стратоновича значительный вклад также внесли российские учёные – Р.Ш.Лицлер, А.Н.Ширяев, В.С.Пугачев, В.И.Тихонов, Н.К.Кульман, В.Н.Фомин, А.Б.Куржанский, М.С.Ярлыков и ряд других [12, 33, 45–48].

В целом можно указать два основных направления, в которых алгоритмы фильтрации получили наибольшее применение. Одно из них связано с разработкой радиотехнических, в том числе и радионавигационных, систем. Особенность этого направления заключалась в том, что рассматривались в основном задачи для непрерывного времени. В СССР и в дальнейшем в России значительный вклад в разработку алгоритмов решения задач фильтрации, помимо уже упомянутых, внесли также Ю.Г. Со-сулин, М.А. Миронов, В.Н. Харисов, А.И. Перов, Б.И. Шахтарин, А.К. Розов и др.[24–27, 33, 49].

Другое направление связано с навигацией, наведением и траекторным слежением. Здесь наряду с задачами непрерывным времени почти сразу рассматривались их дискретные варианты. Заметим, что в сборнике, посвященном 60-летию Калмана [1], именно навигационные задачи рассматривались в разделе, касающемся приложений [50]. Кстати сказать, при подготовке этого раздела активное участие принимал представитель французской фирмы Sagem – известный специалист в области интегрированных навигационных систем – Л. Камберлен (L. Cambeirlen) – активный член АНУД. В нашей стране это направление активно развивали А.А. Красовский, И.А. Богуславский, И.Н. Белоглавов, С.С. Ривкин, И.Б. Челпанов, Н.Т. Кузовков, О.С. Салычев, С.П.Дмитриев, Р.И. Ивановский [52–58] и многие другие. Более подробную информацию можно найти в библиографиях цитируемой литературы, а также в работе [59]. К сожалению, применительно к этому направлению пока не подготовлен какой-либо обстоятельный обзор, отражающий развитие прикладной теории фильтрации в этой области, так как это сделано в работах В.И. Тихонова [24–26], поэтому автор заранее извиняется за неполноту приводимого здесь списка, что в первую очередь обусловлено ограниченными рамками настоящей публикации.

К началу 80-х годов появился некий спад интереса к разработке алгоритмов фильтрации. Дальнейший толчок в их развитии наблюдается уже в 90-е годы. В частности, это связано с потребностями в решении более сложных задач навигации применительно к подвижным объектам нетрадиционного типа, включая роботы, автомобили, различного рода автономные подвижные объекты, а также с существенным прогрессом в развитии вычислительных средств.

СТАТЬИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАФЕДРЫ

В настоящее время в разработках новых алгоритмов фильтрации можно выделить два основных направления [60].

Одно из них связано с алгоритмами калмановской структуры, таких как регрессионные фильтры, сигма-пойнт фильтры, так называемые UKF-фильтры (Unscented Kalman Filter) [61-64]. Все они основаны на достаточно простой идеи замены процедуры вычисления производных при получении линейного представления на процедуры, близкие к процедуре статистической линеаризации. Идеологически эти алгоритмы вытекают из задачи построения линейных оптимальных алгоритмов для нелинейных, негауссовских систем [59]. Заметим, что решение задачи получения линейного оптимального алгоритма в линейной задаче для негауссова случая сводится в обычному фильтру Калмана и в сущности об этом и говорится в работе [3]. Но в нелинейной задаче при реализации такого типа алгоритмов требуется численное нахождения интегралов, определяющих вторые моменты для измерений и взаимные моменты для измерений и оцениваемой последовательности [59]. При оценивании случайных процессов рекуррентную такую процедуру можно получить только путем замены описания апостериорной плотности на каждом шаге с помощью двух моментов, т.е. на основе гауссовой аппроксимации апостериорной плотности. Различные модификации сводятся к различным способам упрощения вычисления интегралов, которые требуется отыскивать при нахождении линейного представления. Справедливости ради необходимо заметить, что процедура статистической линеаризации предлагалась и ранее, в частности, она описана в книге [38], в которой цитируются первые работы, связанные с разработкой такого приема. Однако в то время не учитывался факт наличия дополнительной ошибки при замене нелинейной функции ее линейным аналогом.

Другое направление также связано с разработкой алгоритмов нелинейной фильтрации. Задача вычисления оценки и соответствующей ей матрицы ковариаций для дискретного времени – это, в сущности, задача вычисления многократных интегралов при использовании рекуррентного соотношения для апостериорной плотности [43, 44]. В этой связи можно развитие получили алгоритмы, основанные на последовательных методах Монте-Карло (Sequential Monte-Carlo) [65, 66]. Следует заметить, что первые основополагающие работы в этом направлении были опубликованы еще в середине восьмидесятых годов, в том числе и в СССР. В частности, следует упомянуть нередко цитируемую публикацию В.С.Зарицкого, В.Б.Светника, Л.И.Шимелевича [67], связанную с методами Монте-Карло. К сожалению, в настоящее время в России эти исследования практически не проводятся, а за рубежом развитие современных методов нелинейной фильтрации на практике прогрессирует благодаря именно методам Монте-Карло [65, 66].

Завершая обсуждение вопросов, связанных с приложениями теории фильтрации, хотелось бы сделать еще одно замечание. В инженерной среде до сих пор продолжаются дискуссии о соотношении винеровских и калмановских алгоритмов фильтрации. Приверженцы частотных методов, которые активно используются при решении задач винеровской фильтрации, доказывают преимущества этих алгоритмов, в то время как сторонники использования аппарата пространства состояний отстаивают достоинства фильтра Калмана. Сопоставление двух вариантов решения задач фильтрации в теоретическом плане можно найти, например, в работе [23]. Здесь уместно отметить следующие важные и общепризнанные моменты.

Неоспоримое преимущество фильтра Калмана заключается в возможности решения задач нестационарной фильтрации марковских процессов на конечном времени.

Для стационарных задач фильтрации в установившемся режиме оба подхода обеспечивают одинаковое решение. Вопрос использования того или иного подхода в таких задачах скорее вкусовой и является в значительной степени следствием той школы, к которой принадлежит разработчик.

Вместе с тем следует также учитывать, что при использовании частотного винеровского подхода имеется возможность решения задач стационарной фильтрации не только для марковских процессов.

В случае, когда на практике приходится иметь дело со стационарными задачами, несомненное преимущество частотного подхода заключается в его наглядности и возможности в некоторых ситуациях «на пальцах» проиграть различные варианты и комбинации, не будучи заложником результатов,

выдаваемых компьютером. Заметим, что развитие алгоритмов фильтрации, предназначенных для решения стационарных задач, продолжается и в настоящее время, в том числе и в плане использования отличного от среднеквадратичного критерия качества [12].

Разработчики конкретных систем хорошо понимают, как непросто перейти от красивых формульных зависимостей, кем бы они ни были предложены, работающему алгоритму. Это, кстати сказать, касается любых сколько-нибудь сложных алгоритмов. Успех внедрения алгоритмов того или иного типа, конечно, в первую очередь зависит от того, насколько используемый подход соответствует решаемой задаче. Вместе с тем в значительной степени возможность реализации алгоритма зависит и от настойчивости и грамотности самих разработчиков. Можно с уверенностью констатировать, что инженеры и разработчики, одинаково хорошо понимающие специфику работы как калмановских, так и винеровских алгоритмов, обладают значительными преимуществами перед специалистами, владеющими каким-либо одним подходом. И здесь следует вспомнить, к сожалению, безвременно ушедшего от нас талантливогоченного Леонида Петровича Несенюка, понимавшего все тонкости двух подходов, которому удалось получить ряд результатов, позволяющих лучше понять взаимосвязь двух подходов, их достоинства и недостатки [68].

‘Darker side’

Название этого небольшого раздела можно перевести как – более темная сторона, и оно заимствовано из названия одной из частей доклада самого Калмана [10]. Речь здесь идет, в сущности, об эволюции его взглядов. Начиная с семидесятых годов, Калман стал критически оценивать обоснованность использования стохастического способа описания сигналов при решении прикладных задач. В частности, в докладе, сделанном им в 1984 г. на конференции, посвященной 50-летию института математики им В.А. Стеклова в Москве, во введении говорится: «...Побудительной причиной как для этого доклада, так и для моих размышлений последних лет, явилась одна мысль академика Л. С. Понтрягина, высказанная им в октябре 1969 г. во время посещения Стенфорда. Я настолько хорошо помню это событие, что могу процитировать ее дословно: «Математики не верят в вероятность» [9]. В заключении доклада он пишет: «Наименьшие квадраты необходимо рассматривать как основной математический инструмент, а не теорию идентификации в условиях шумов. Я весьма счастлив разделить точку зрения Понтрягина и заниматься математикой, не связывая себя верой (т. е. априорной гипотезой), касающейся вероятности... По мнению Эйнштейна: «Бог не играет в кости». Подобно фразам дельфийского оракула она допускает различные толкования. На мой взгляд, ее смысл состоит в том, что ...Природа не подчиняется правилам традиционной вероятности. Но Эйнштейн *не говорит, что Природа исключает неопределенность*».

В более поздней работе Калман также отмечает: «...Случайный процесс представляет собой абстрактную придуманную конструкцию, но не такую, которая может быть воссоздана с помощью измерений. Процедуры для определения параметров случайного процесса являются косвенными. Если случайный процесс существует в аксиоматическом смысле, используемом в работе [3] (первая работа о фильтре Калмана (ФК)), а есть и такие люди, включая настоящего автора, которые утверждают обратное, то с фильтром Калмана все будет хорошо, т.к. все это математика. В противном случае вопрос может остаться открытым. Ответственность ложится на тех, кто хочет применить фильтр Калмана любой ценой...» [10].

Полностью разделяя мысль об ответственности тех, кто хочет применить фильтр Калмана любой ценой, следует констатировать, что есть некоторое противоречие между реально существующими и отмеченными Калманом недостатками вероятностного подхода, с одной стороны, и эффективно работающими в различных приложениях алгоритмами, полученными на основе именно такого подхода.

Связь с нашей страной

Р. Калман знаком с ведущими отечественными учеными, он неоднократно бывал в СССР, а затем и в России – в 1960 (Москва [6]), 1968 (Ереван [69]), 1969 (Тбилиси, Киев [70]), 1970 (Санкт-Петербург), 1984 (Москва [9]), 2006 (Москва, Санкт-Петербург [16, 71]).

С многими учеными в нашей стране Калман познакомился во время своего первого пребывания в 1960 г. на Всемирном конгрессе международной федерации по автоматическому управлению (ИФАК), о котором более подробно чуть ниже. Именно здесь Р. Калман познакомился с Р. Стратоновичем и впоследствии они имели достаточно длительную переписку [31].

В этом же году он впервые встретился с выдающимся советским математиком Л.С.Понtryагиным (1908–1988). Более близкое их знакомство состоялось впоследствии в 1969 г. в Тбилиси и затем по инициативе Р. Калмана Л.С. Потряин был приглашен в США [72].

Калман также много раз встречался с Я.З. Цыпкиным (1919–1997) [73], начиная с их знакомства в 1956 г. в Гельденберге, затем в 1960 г. в Москве и много раз на различных научных конференциях. Именно Я.З. Цыпкин редактировал книгу «Очерки по математической теории систем» при ее переводе на русский язык [8].

Р. Калман вел переписку с А.И.Лурье (1901–1980), что следует из библиографии к работе [5]. Он был хорошо знаком с В.С. Пугачевым (1911–1998) [15, 46]. Кстати сказать, в статье Калмана [3] имеются три ссылки на работы советских ученых: две – на Пугачева В.С. и одна – на В.В. Соловьевикова (1910–1992).

В настоящее время Р. Калман нередко общается с председателем национального комитета по автоматическому управлению А.Б.Куржанским, имеющим значительные достижения в области теории фильтрации [48].

Р.Калман также хорошо знаком с профессором Санкт – Петербургского университета В.А. Якубовичем. Специалистам хорошо известна лемма Калмана – Якубовича – Попова, устанавливающая связь между частотными методами в теории управления и методами функций Ляпунова и опубликованная в 1962 г. [74]. В англоязычной литературе ее часто также называют леммой KJP (Kalman, Ju-kubovich, Popov). Эта работа, кстати, небольшая по объему – всего 4 странички – также попала в специальный том 25 лучших публикаций в теории управления и послужила началом дальнейших значительных исследований этой области [75]. Р. Калман получил близкие результаты годом позже, используя для доказательства понятия управляемости и наблюдаемости [76]. Бывая в нашем городе, Р. Калман всегда находит время для встречи с В.А. Якубовичем.

На вопрос о том, какое событие или приезд в нашу страну более всего ему запомнился, Р.Калман ответил, что, конечно же, это первое посещение, связанное с участием в Первом конгрессе международной федерации по автоматическому управлению (ИФАК) [77]. Это действительно было выдающимся событием для науки того времени. Конгресс проходил в Москве с 27 июня по 7 июля 1960 г. Сюда собрались 1190 участников и более 1000 приглашенных из 29 стран. Было отобрано 285 из 410 представленных докладов. Любопытные воспоминания об этом конгрессе не так давно опубликовал Б. Уидроу [78], известный ученый, основоположник теории построения адаптивных фильтров [79]. О значимости конгресса для нашей страны можно судить, в частности, и по тому факту, что на конгрессе с приветственным словом выступил заместитель председателя правительства, которым в то время был А.Н. Косыгин [77, т.1].

Причины, по которым конгресс проводился именно в Москве, становятся ясными, если вспомнить о достижениях СССР в то время в одной лишь области – космонавтике. Так, 4 октября 1957 г.–запуск первого искусственного спутника Земли. 2 января 1960 г. – первый полет к Луне; 14 сентября 1960 г. – первая посадка космического аппарата «Луна-2» на поверхность Луны; 7 октября 1960 г. – первый облет Луны космическим аппаратом «Луна-3» и первые съемки её с обратной стороны. И, наконец, 12 апреля 1961 г. – первый полет человека в Космос. Ясно, что развитие космонавтики требовало ре-

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

шения серьезных задач, связанных с управлением и обработкой сигналов, и значительные успехи отечественных ученых были в этой области общепризнанными.

Первый конгресс, пожалуй, был единственным, на котором осуществлялся синхронный перевод – было четыре рабочих языка: английский, русский, немецкий и французский. Для обеспечения конгресса готовилась специальная группа переводчиков. Любопытно отметить, что доклад Р. Калмана «Об общей теории систем управления» [6] на русский язык переводил Анатолий Григорьевич Бутковский, впоследствии ставший выдающимся ученым, основоположником теории управления систем с распределенными параметрами. С 1975 г. он руководит исследовательской лабораторией по этому направлению в Институте проблем управления (ИПУ) РАН. Заметим, что сотрудники ИПУ РАН, возглавляемого в то время академиком В.А. Трапезниковым, внесли значительный вклад в организацию и проведение первого конгресса ИФАК [80].

В период проведения конгресса также были организованы лекции в Политехническом музее с переводом на русский язык. Лекции проводились в такой последовательности: С. Левицер, Р. Калман; Н. Винер. Как вспоминает Калман, для него было весьма почетным оказаться в «сэндвиче» со столь известными учеными, которых он считал своими учителями.

Заметим, что участниками первого конгресса были и три члена Академии навигации и управления движением: Анатолий Ефимович Сазонов, Георгий Николаевич Лебедев и Ефим Натаевич Розенвассер. Причем Е.Н. Розенвассер делал на этом конгрессе доклад, и ему довелось достаточно часто общаться с Р. Калманом, поскольку их номера в гостинице находились рядом. Здесь представлена достаточно уникальная фотография участников конгресса.



Участники конгресса, Москва 1960. (фото получено из секретариата ИФАК в 2010 г.)

СТАТЬИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАФЕДРЫ

Любопытна история этой фотографии. Будучи участником 16-го конгресса ИФАК в Праге в 2005 г., я мельком видел ее у Ефима Натановича, который привез ее для того, чтобы показать Р. Калману.

При подготовке к докладу я попросил это фото у Ефима Натановича, на что он мне с сожалением ответил, что фотография затерялась, но у него ее брали организаторы конгресса в Праге, для того чтобы снять копию. Я обратился к члену национального комитета 16-го конгресса, известному ученому из Чехии, М. Симандлу (M Simadle), с просьбой прислать копию этой фотографии или каких-либо других фотографий с первого конгресса, где, возможно, присутствует Р.Калман. Достаточно оперативно мне были любезно присланы три фотографии, в том числе и та, о которой идет речь, но при этом отмечалось, что фото с Калманом, с сожалению, отсутствует. Впоследствии все-таки Р. Калман на этой фотографии был найден (второй слева во втором ряду) и от него получено подтверждение о том, что это именно он.



После получения автографа. Прага, 2005 г.
почте с профессором Р.Калманом, выполняя этот перевод.

А уже в 2005 г. в Праге удалось самому пообщаться и даже получить автограф на упомянутом журнале. Окончательное превращение Р. Калмана из некоей легендарной, абстрактной личности в реального ученого произошло в период последнего на сегодняшний день его пребывания в России.

Этот визит состоялся в июне 2006 г. благодаря усилиям академика А.Б.Куржанского. В Москве Р. Калмана принимал вице-президент Академии наук Н. Платэ. Р. Калман посетил «Звездный городок» и выступил с лекцией в Московском государственном университете, а также побывал в Математическом институте им. В.М. Стеклова.

В Санкт-Петербурге Р.Калман встречался в Доме ученых с Президентом АНУД, председателем Санкт-Петербургской группы национального комитета по автоматическому управлению, академиком РАН В.Г.Пешехоновым, а потом состоялась памятная для многих ученых нашего города лекция под названием «Центральная проблема в теории систем: история, прогресс и надежды» [71].

Завершая раздел о связи Р. Калмана с нашей страной, замечу следующее. Для людей моего и более старшего поколений известные ученые из-за рубежа были скорее некоторыми символами, а их результаты воспринимались как нечто существующее само по себе. В значительной степени это объяснялось ограниченными возможностями непосредственного общения с зарубежными коллегами.

За последние годы ситуация коренным образом изменилась. Толчком к тому, чтобы реально осознать, что Рудольф Калман – наш современник, для меня послужила его статья, опубликованная в журнале «Авиакосмическое приборостроение» (главный редактор Г.Н.Лебедев) в 2004 г. [10]. И даже не сама статья, а тот факт, что перевод и редактирование ее были выполнены коллегой по АНУД профессором Московского авиационного университета К.К.Веремеенко, который, как оказалось, активно общался по электронной



Р. Калман и академик РАН В.Г. Пешехонов на лекции
в Доме ученых. С.-Петербург, 2006 г.

Заключение

В период вручения Р. Калману премии Киото в 1985 г., он, общаясь с прессой, привел такое высказывание, которое впервые увидел в одном из пабов в Колорадо Спрингс [14]: «Маленькие (little) люди обсуждают других людей, средние (medium) люди обсуждают события, а большие (big) люди обсуждают идеи». Не знаю точно, в каком контексте произносилась эта фраза и какой смысл вкладывал сам Р. Калман в слово big, но, думаю, что те, кто знаком с его трудами, не сомневаются, в том, что применительно к Р. Калману, это слово следует перевести, как «выдающийся».

Благодарности

Автор выражает свою признательность всем, кто в той или иной степени помогал в формировании и подготовке материалов к настоящей статье, в том числе: В.М. Зинченко (ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», С.-Петербург), М.В. Пятницкой (ИПУ РАН, Москва), Е.Н. Розенвассеру (Санкт-Петербургский государственный морской технический университет), А.Е. Сазонову (Государственная морская академия им. адм. С.О.Макарова, С.-Петербург), Ю.А. Соловьеву (ФГУ «30 ЦНИИ Минобороны России», Москва), Н.Б. Филимонову (Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, Москва), А.Л. Фрадкову (Институт проблем машиноведения РАН, С.-Петербург), М.С. Ярлыкову (Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е.Жуковского и Ю.А.Гагарина, Москва), Л. Камберлену (Франция).

ЛИТЕРАТУРА

1. Autolas A.S., ed., Mathematical SYstem TheorY, The Influence of R.E.Kalman, Springer-Verlag, Berlin, 1991.
2. Basar T. (Ed.) Contol theorY. Twenty five seminal papers (1932-1982). IEEE.
3. Kalman, R. E., A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems Trans. ASME (American Society of Mechanical Engineers), J. Basic Eng., 1960, vol. 82 D.
4. Kalman, R. E., Contributions to the TheorY of Optimal Control. Bol. Soc. Mat. Mexicana, 5, 102-119, 1960.
5. Kalman, R. E., Mathematical Description of Linear DYnamicS Systems // SIAM J. Control., vol. 1, 1963, pp. 152-192.
6. Калман Р. Об общей теории систем управления // Труды 1-го конгресса ИФАК. М: Из-во АНССР. 1961г., Т.2 .521-547. (On the general theorY of control systems, in Proceeding first IFAC Congress on Automatic Control, Moscow, 1960; Butterworths, London, 1961, Vol. 1, pp.481-492.
7. Kalman, R. E., Bucy R. S., New Results in Linear Filtering and Prediction TheorY, Transactions of the ASME – Journal of Basic Engineering, Vol. 83: pp. 95-107 (1961). Калман Р.Е., Бьюси Р.С. Новые результаты в теории линейной фильтрации и предсказания // Теоретические основы инженерных расчетов . – 1961. – N 1. – Сер. Д.
8. Калман Р., П.Фэлз Арбид/ Очерки по математической теории систем. М.: Мир, 1971.
9. Калман Р. Е. Идентификация систем с шумами // УМН, 1985, том 40:4(244), 27–41. Калман Р. Ньютонаанская революция в технологиях систем. Открытие или изобретение. Авиакосмическое приборостроение. 6, 2004. Швейцарский национальный институт технологии Цюрих. Оригинал статьи опубликован в Journal of Guidance, DYnamics, and Control (ноябрь-декабрь, 2003).
11. Калман Р. Когда линейная система является оптимальной? 1964. Теоретические основы инженерных расчетов (ТОИН) N1 серии Д. Перевод Труды американского общества инженеров механиков. Калман Р. When is a linear control sYstem optimal? Trans ASME (J.Basic Engineering). 86D (1964). Pp54-60. Article reprinted in FrequencY Response Methods, edited by A.J.C. MacFarlane, IEEE Pres.
12. Курдюков А.П. От теории LQG к минимаксной фильтрации и управлению: Доклад на семинаре ИПУ РАН 1.04.2010 Современные методы навигации и управления, посвященном 80-летию Рудольфа Эмиля Калмана // Автоматика и телемеханика, 2010, N11.
13. Рубинович Е.Я. 50 лет фильтру Калмана. Современные методы навигации и управления: Доклад на семинаре ИПУ РАН 1.04.2010 Современные методы навигации и управления, посвященном 80-летию Рудольфа Эмиля Калмана // Автоматика и телемеханика, 2010, N11.
14. Grewal M., A.P. Andrews. Kalman Filtering. TheorY and Practice. Prentice Hall, Information and SYstem Sciences Series. T. Kailath, Series Editor, 1993 г.
15. Синицын И.Н. Фильтры Калмана Пугачева. – М.: Логос 2006.
16. Синицын И.Н., Степанов О.А. Рудольф Калман в России. Наукоемкие технологии, 2007, N8, с.92-106.
17. Sorenson H. W. Least Square Estimation from Gauss to Kalman // IEEE spectrum. Vol.7, Jul Y. P. 63-68, 1970.
18. Lainiotis D.G. Estimation: brief surveY. Information Sciences. Vol. 7, pp. 191-202, 1974.

СТАТЬИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАФЕДРЫ

19. Kailath T. A View of Three Decades of Linear Filtering Theory. IEEE Trans. Information Theory. 1974, Vol. IT-20, 146-181.
20. Schmidt S.F., Kalman Filter: its Recognition and Development for Aerospace Applications // AIAA Journal of Guidance and Control, Vol.4, pp.4-7, 1981.
21. R.H.Battin. Space Guidance Evolution-a personal narrative // AIAA Journal of Guidance and Control, Vol. 5, pp. 97-110, 1982.
22. Kailath T. From Kalman Filtering to Innovations, Martingales, Scattering and Other Nice Things. In Autolas A.S., ed., Mathematical System Theory, The Influence of R.E.Kalman, Springer-Verlag, Berlin, 1991.
23. Anderson B.D.O., Anderson, J.B. More, Kalman Filtering. Whence, What, and Whither? In Autolas A.S., ed., Mathematical System Theory, The Influence of R.E.Kalman, Springer-Verlag, Berlin, 1991.
24. Тихонов В.И. Развитие в СССР теории оптимальной фильтрации сообщений // Радиотехника. – 1983. – N 11.
25. Тихонов В.И. Развитие прикладных методов оптимальной фильтрации // Радиотехника. – 1996. – N 7. Журнал в журнале. Статистический синтез радиосистем. – N 1. – С. 55-58.
26. Тихонов В.И. Развитие в России оптимального нелинейного оценивания случайных процессов и полей // Радиотехника, 1999, N10, с.4-20.
27. Шахтарин Б.И. Фильтры Винера и Калмана. Гелиос. АРВ. Москва 2008.
28. Kolmogoroff A., Sur l'interpolation et extrapolation des suites stationnaires, Comptes Rendus de l'Acad. Sci., Paris, 208, 1939, 2043-2045.
29. Колмогоров А.Н. Интерполярирование и экстраполирование случайных последовательностей // Известия АН СССР. Сер. Матем. Том.5, 1, с.3-14. 1941.
30. Wiener N. Extrapolation, interpolation and smoothing of stationary time series, with engineering applications. John Wiley, New York, 1949 (Original Y issued in FebruarY 1942, as a classified Nat. Defense Res. Council Rep.).
31. Профессор Р.Л.Стратонович (1930-1967). Воспоминания родных коллег и друзей. Под редакцией Ю.М. Романовского. Институт компьютерных исследований. Москва Ижевск 2007.
32. Соловьев Ю.А., Ярлыков М.С. 80 лет со дня рождения Р.Л.Стратоновича // Автоматика и телемеханика, 2010, N 7, с. 185-188.
33. Ярлыков М.С., М.А.Миронов. Марковская теория оценивания случайных процессов. М.: Радио и связь. 1993, 461 с.
34. Стратонович Р.Л. К теории оптимальной нелинейной фильтрации случайных функций // Теория вероятностей и ее применение. 1959. Т. 4, вып. 2. 239-242.
35. Стратонович Р.Л. Оптимальные нелинейные системы, осуществляющие выделение сигнала с постоянными параметрами из шума // Изв. вузов СССР. Сер. Радиофизика. 1959. Т.2, с. 862-901.
36. Стратонович Р.Л. Условные марковские процессы и их применение к теории оптимального управления. – М.: изд-во МГУ, 1966. – 319 с.
37. Jazwinski A.H. Stochastic processes and filtering theory. – New York. Academic Pres, 1970.
38. Gelb A., Kasper, R.A., Nash, C.Price, A. Sutherland. Applied optimal estimation // M.I.T. Press, Cambridge, MA, 1974.
39. K. J. Astrom. Adaptive control. In Autolas A.S., ed., Mathematical System Theory, The Influence of R.E.Kalman, Springer-Verlag, Berlin, 1991.
40. Busy R.S., Senne K.D. Digital synthesis of nonlinear filters// Automatica. – 1971. Vol.7, N 3. – P. 287-298.
41. Alspach D.L., Sorenson H.W. Nonlinear Bayesian estimation using Gaussian sum approximations//IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems. 1972. – Vol.AC-17, N 4. P.439-448.
42. Логинов В.П. Приближенные алгоритмы нелинейной фильтрации // Зарубежная радиоэлектроника. – 1975. – N 2, Ч. 1. – С.28-48; 1976. – N 3, Ч. 2. – С.3-28.
43. Степанов О.А. Применение теории нелинейной фильтрации в задачах обработки навигационной информации. СПб.: ГНЦ ЦНИИ Электроприбор 1998.
44. Bergman N. Recursive Bayesian Estimation. Navigation and Tracking Applications. PhD. Dissertations No.579 1999. Department of Electrical Engineering Linkoping University, SE-581-83 Linkoping, Sweden.
45. Линнер Р.И., Ширяев А.Н. Статистика случайных процессов. М.: Наука, 1974.
46. Пугачев В.С. Стохастические дифференциальные системы. 1985.
47. Фомин В.Н. Рекуррентное оценивание и аддитивная фильтрация. М.: Наука, 1984.
48. Куражанский А.Б. Управление и наблюдение в условиях неопределенности. -М.: Наука, 1977.
49. Розов А.К. Нелинейная фильтрация сигналов // Политехника, 2002, с. 372.
50. R. Fauerte. Kalman Filtering and the Advancement of Navigation and Guidance. In Autolas A.S., ed., Mathematical System Theory, The Influence of R.E.Kalman, Springer-Verlag, Berlin, 1991.
51. Красовский А.А., Белоглазов И.Н., Чигрин Г.П. Теория корреляционно-экстремальных навигационных систем. М.: Наука, 1979. – 448 с.
52. Челпанов И.Б. Оптимальная обработка сигналов в навигационных системах. М.: Наука, 1967.
53. Богуславский И.А. Методы навигации и управления по неполной статистической информации. М.: Машиностроение, 1970. – 253 с.
54. Ривкин С.С. Метод оптимальной фильтрации Калмана и его применение в инерциальных навигационных системах. Ч. 1, 2. – Л.: Судостроение, 1973.1974.
55. Ривкин С.С., Ивановский Р.И., Костров А.В. Статистическая оптимизация навигационных систем. – Л.: Судостроение, 1976.
56. Кузовков Н.Т., Салычев О.С. Инерциальная навигация и оптимальная фильтрация. М.: Машиностроение, 1982. – 216 с.

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

57. Дмитриев С.П. Высокоточная морская навигация. Л.: Судостроение, 1991. – 222 с.
58. Бабич О.А. Обработка информации в навигационных комплексах. – М.: Машиностроение, 1991.
59. Степанов О.А. Основы теории оценивания с приложениями к задачам обработки навигационной информации. Часть I. Введение в теорию оценивания. СПб.: ЦНИИ Электроприбор. 2009.
60. Daum, F. (2005). Nonlinear Filters: BeYond the Kalman Filter // IEEE Aerospace and Electronic Systems. Tutorials, Vol. 20(8), pp. 57-71.
61. Juiller, S. J. and J. K. Uhlmann. Unscented Filtering and Nonlinear Estimation//Proc. IEEE, Vol. 92(3), 2004, pp. 401-422.
62. Lefebvre, T., H. Bruyninckx and J. De Schutter. Nonlinear Kalman Filtering for Force-Controlled Robot Tasks. Springer, Berlin, 2005.
63. Li, X. R. and V.P. Jilkov. A survey of Maneuvering Target Tracking: Approximation Techniques for Nonlinear Filtering. Proc. 2004 SPIE Conference on Signal and Data Processing of Small Targets, San Diego, pp 537-535, 2004.
64. Van der Merwe, R. and E. A. Wan. The Unscented Kalman Filter. In: Kalman Filtering and Neural Networks (HaYkin S.), pp. 221-268, John Wiley & Sons, Inc., 2001.
65. Doucet, A., de Freitas, N. and Gordon, N.J. Sequential Monte Carlo Methods in Practice. Springer-Verlag, New York, 2001, p.581.
66. Branko Ristic, Sanjeev Arulampalam, Neil Gordon, BeYond the Kalman Filter: Particle Filter for Tracking Applications. Artech House Radar LibrarY. 2004.
67. Заринский В.С., Светник В.Б., Шимелевич Л.И. Метод Монте-Карло в задачах оптимальной обработки информации // Автоматика и телемеханика, 1975, N12, 95-103.
68. Памяти профессора Несенкова Л.П. Избранные труды и воспоминания. СПб. ГНЦ РФ ОАО Концерн Электроприбор, 2010.
69. Калман Р. Распознавание образов полилинейными машинами, in Proc. IFAC Conference on Adaptive SYstems. Ереван, СССР, Сентябрь 1968, с.7-30. М.: Наука, 1971.
70. Kalman R. New algebraic methods to stabilize theory. Proc. 5th International Congress on Nonlinear Oscillations, Kiev, 1969. Опубликовано в издании Института математики академии наук СССР, Киев, 1970, Vol.2, pp.189-199.
71. Степанов О.А. Р. Калман в Санкт-Петербурге. Гироспектр и навигация. 2006, N3, с.117-121.
72. Понтиггин Л.С. Жизнеописание, математика, написанное им самим. Издательство Комкнига 2006.
73. Яков Залманович Пыпкин (1919-1997). Отв. Редактор Поляк Б.Т. М. Издательство ЛКИ, 2007. 304 с.
74. Якубович В.А. «Решение некоторых матричных неравенств, встречающихся в теории автоматического регулирования (1962. ДАН СССР Т.143, N6, 1304-1307).
75. Гусев С.В., А.Л. Лихтарников. «Очерк истории леммы Калмана-Попова-Якубовича и S-процедуры» Автоматика и телемеханика 2006, N11, с. 77-121.
76. Kalman R. Lyapunov Functions for the problem of Lure' in Automatic Control. Proc. NAS US 1963 v.49, pp.201-205.
77. Труды 1-го конгресса ИФАК. М: Из-во АНСССР. 1961г., Т.1 – Т.6 .
78. B. Widrow. Recollections of Norbert Wiener and the First IFAC World Congress. BY Bernard Widrow (as told to Barbara Field) IEEE Control Systems Magazine. June, 2001r. 65-70.
79. Б.Уидроу, С. Стирнз. Адаптивная обработка сигналов. Москва. Радио и связь, 1989 г.
80. Институт управления им. В.А. Трапезникова – 70 лет. Под редакцией С.Н.Васильева. 2009., 580-с.

Я. И. БИНДЕР

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОСТРОЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНЫХ ГИРОИНКЛИНОМЕТРОВ*

Рассмотрены наиболее общие принципы построения непрерывных скважинных гироскопических инклинометров (ГИ), обсуждаются различные научные подходы к некоторым проблемам их применения. Проведен сравнительный анализ характеристик известных и разрабатываемых непрерывных ГИ, оцениваются варианты и перспективы их развития, предпочтительно как средство измерения траектории обсаженных скважин. Предложены новые схемы построения и алгоритмы. Обсуждаются результаты эксплуатации и возможности их использования для скважин различного типа.

Развитие непрерывных гироскопических инклинометров на современном этапе

Неоспоримые преимущества и возможности непрерывной гироинклинометрической съемки – высокая производительность, практически любое, наперед заданное, пространственное измерение траектории и отсутствие методических ошибок при ее построения в сочетании с возможностями достижения более низкого, по сравнению с режимом точечного компасирования, уровня инструментальных ошибок. Всё это является стимулом для разработки и внедрения новых типов непрерывных гироинклинометрических (ГИ) приборов.

Сегодня рынок ГИ для нефтегазовых скважин, характеризуется следующими особенностями:

– наличием ограниченного количества специализированных разработчиков-изготовителей, замкнутых исключительно (или, во всяком случае, преимущественно) на сегмент скважинной промысловой геофизики;

– существенным удельным весом «закрытого» сектора разработок и поставок гироинклинометров, проводимых ведущими мировыми транснациональными компаниями нефтегазового сервисного рынка, интегрировавшими специализированные гироскопические фирмы («SperriY» и т.д.), исключительно для собственных нужд;

– развитой специализированной нормативно-технической базой, поддерживающей развитие и стандартизацию системы тактико-технических характеристик приборов к методам и средствам подземной навигации.

В течение последних десяти-пятнадцати лет у нескольких крупных зарубежных компаний, наряду с «пионерами» RGS-CT (GYrodata, 1996) [14], RIGS (Baker Hughes, 1997-1999гг.) [15], Target (SEG, Германия) [16], Keeper (Scientific Drilling, США) [17] и «новичками», а также у некоторых других появились непрерывные ГИ [18]. Все эти разработки, отличаясь типом, количеством и ориентацией датчиков первичной информации (ДПИ), наличием или отсутствием дополнительных кинематиче-

* Журнал «Каротажник». – 2011. – Вып. 12.

ских связей имеют **бесплатформенную** компоновку и в основе своей имеют диаметр **Ø1,75"**. Их декларируемая точность вычисления координат в зависимости от профиля скважины исчисляются десятыми долями процента от ее наклонной глубины.

Базовые принципы построения непрерывных гироинклинометров

Выходными параметрами непрерывного ГИ являются декартовые координаты E, N, h точек траектории скважины. Координаты рассчитываются классическим методом навигационного счисления, при котором приращения показаний одометра (в данном случае – длины геофизического кабеля, трося и т.д.) раскладываются по осям навигационного базиса и затем последовательно суммируются (интегрируются). Для получения искомых проекций на координатные оси инклинометрическая система вырабатывает матрицу направляющих косинусов, характеризующих ориентацию системы координат XYZ , связанной со скважинным прибором (СП) относительно географической системы координат ENh :

$$\begin{matrix} X & Y & Z \\ \begin{matrix} C_h^0 = \frac{E}{N} \\ \begin{matrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{matrix} \end{matrix} \end{matrix} \quad (1)$$

На основании известных значений направляющих косинусов (1), определяющих положение продольной оси oZ СП относительно системы координат ENh и информации о приращении длины кабеля L в непрерывном ГИ вычисляются искомые координаты траектории скважины:

$$S_E = \int_0^L c_{13} dl, \quad S_N = \int_0^L c_{23} dl, \quad S_h = \int_0^L c_{33} dl \quad (2)$$

Ошибки вычисления координат $\Delta S_E, \Delta S_N, \Delta S_h$ определяются погрешностями формирования направляющих косинусов $\Delta c_{13}, \Delta c_{23}, \Delta c_{33}$ и измерения длины кабеля ΔL , которые хотя и заметны, но, конечно, никак не сопоставимы с погрешностями выработки координат методом инерциальной навигации. Обещания реализации ГИ, не использующих информацию о длине каротажного кабеля ([6], стр.14), конечно, питают надежды эксплуатационников когда-нибудь избавиться от надоевших вопросов с утерей меток, деформацией кабеля и т.д., однако даются явно вне контекста реальных проблем. Автор со всей ответственностью, основывающейся, как на анализе, так и на многолетнем опыте разработки и эксплуатации высокопредCISIONНЫХ морских ИНС, может заявить, что даже флуктуационная составляющая их ошибки в вычислении координат превышает весь допуск на смещение в плане скважины. А ведь есть еще основная погрешность, которая – при переходе от корабельного исполнения к скважинному – вырастет, как минимум, на два порядка. При этом недопустимая величина погрешности, на самом деле, обуславливается не бесплатформенным исполнением блока ДПИ, а базовыми принципами ИСК (инерциального счисления и курсоуказания). Искажение этих принципов приводит к серьезному нарушению логики выстраивания причинно-следственных связей: «*поэтому с целью исключения влияния осевого вращения СП на работу гироинерциальных элементов рационально гироинерциальный блок строить по схеме одноосного гиростабилизатора и т.д.*» ([6], стр.15). Вероятно, такая цепь умозаключений и не позволяет понять – почему же все-таки работают бесплатформенные ГИ?

Для выявления структуры ошибок направляющих косинусов $\Delta c_{13}, \Delta c_{23}, \Delta c_{33}$ воспользуемся углом Эйлера – зенитным θ , азимутальным – A и поворота корпуса СП вокруг оси $oZ - \psi$ («угол поворота отклонителя»). Можно показать, что при этом

$$\Delta C_0 = \sqrt{\Delta c_{13}^2 + \Delta c_{23}^2 + \Delta c_{33}^2} = \sqrt{(\Delta A \sin \theta)^2 + \Delta \theta^2} \quad (3)$$

будет характеризовать суммарные ошибки в определении местоположения точки траектории.

Ошибка $\Delta \theta$ в любых корректно спроектированных ГИ определяется погрешностями измерителя ускорений (ИУ), а наиболее важная и превалирующая компонента погрешности (прежде всего, в плане) характеризуется следующим выражением:

$$\alpha = \Delta A \sin \theta \quad (4)$$

Неполные схемы построения непрерывных гироинклинометров

Современные разработки непрерывных ГИ, доведенные до реального внедрения, малочисленны и не похожи друг на друга, что предельно облегчает их типизацию. При дальнейшем изложении мы постараемся подойти к их рассмотрению с единых методологических позиций, что, на наш взгляд, упрощает классификацию принципиальных схемно-конструктивных и алгоритмических решений.

Аналитический гироскоп направления (схема XY)

Из основ теории систем гирокопической ориентации (например, [7]) известно, что для вычисления матрицы (1), в общем случае, необходимы три измерителя абсолютной угловой скорости (ДУС – три двухступенчатых гироскопа или один трехступенчатый и один двухступенчатый) с осями чувствительности, не лежащими в одной плоскости (в идеале – ортогональными). Однако, при определенных ограничениях на ориентацию скважины и при наличии в составе ГИ акселерометров задача непрерывной съемки может быть решена с помощью только одного трехступенчатого, а при ограничениях иного типа – одного двухступенчатого гироскопа. Такие схемы ГИ мы будем называть неполными.

Очевидным, берущим начало в практике точечного гирокомпасирования решением («продольная компоновка» [2] и т.д.) легко парируется необходимость измерения большой угловой скорости. В данном случае, диапазон измерения ДУС по осям X и Y определяется величинами $\dot{\theta}$ и $\dot{A} \sin \theta$, которые, во всяком случае, при обеспечении центрирования прибора в скважине не превышают значения $\chi V \leq 0,5^\circ/\text{сек}$ (здесь χ – кривизна скважины, $^\circ/\text{м}$; V – линейная скорость СПО, $\text{м}/\text{сек}$). С учетом двух-трехкратного запаса такой диапазон легко обеспечивается достаточно точными ДУС, как с механическим носителем вектора кинетического момента, так и без него.

Хорошо известные алгоритмы схемы гироскопа направлений (ГН), различные аспекты использования которых неоднократно анализировались ранее ([3],[4] и т.д.), имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \dot{A} \sin \theta &= \Omega (\sin \varphi \sin \theta + \cos \varphi \cos \cos \theta) - \omega_y \cos \psi - \omega_x \sin \psi, \\ \dot{\theta} &= \Omega \cos \varphi \sin A - \omega_y \sin \psi - \omega_x \cos \psi, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\psi = \operatorname{arctg} \frac{n_x}{n_y}, \quad (6)$$

$$\theta = \arcsin \frac{\sqrt{n_x^2 + n_y^2}}{g}, \quad (7)$$

где n_x, n_y – показания ИУ, Ω – угловая скорость вращения Земли.

В этих алгоритмах, как и вообще в неполных схемах, ИУ выполняет функцию угломера (маятника), поэтому утверждение о том, что ОИГС «...выгодно отличает...от бесплатформенных схем...» ([6], стр.24) использование информации от акселерометров представляется поспешным. Здесь следует подчеркнуть, что, возможность *пренебрежения влиянием инерционных ускорений СП*, неоднократно подтверждавшаяся, как оценочными расчетами, так и многолетней практикой является важнейшим, *системообразующим фактором скважинной навигации*.

Ошибка определения азимута ΔA , с помощью алгоритмов (5) и (6) имеет вид неограниченно растущей при $\theta \rightarrow 0$, и, таким образом, стволы близкие к вертикальным, по – прежнему преобладающие среди нефтегазовых скважин, особенно подвергаемых повторным измерениям, для схемы ГН кажутся недоступными.

Возможно, именно этим в течение многих лет руководствовался мировой лидер в области ГИ для непрерывной съемки – GYrodata, уже упоминавшаяся в I разделе в качестве разработчика RGS-CT. При очень высокой декларируемой точности – 0,1% от глубины по стволу – использование в этом изделии точечного компасирования вплоть до 15° по зениту объясняется, видимо, стремлением минимизировать ошибки съемки достаточно протяженных стволов с небольшим отстоянием от вертикали (при $\Omega \cdot t > \theta$ продольная схема имеет в непрерывном режиме большие погрешности, чем в точечном).

Возглавляемый автором данной статьи, коллектив специалистов ОАО «Электромеханика», начав разработку непрерывного ГИ этого типа лет на десять позже, чем коллеги из GYrodata, был свободен от «призраков прошлого» и сделал предметом исследования характеристики причин неточности измерения в плане α (4). При этом было установлено, что при малых зенитных углах прогнозировать характер поведения α , определяемым погрешностью горизонтизирования, отнесенной к малой величине θ , по меньшей мере, не корректно. Чтобы убедиться в этом, на качественном уровне, достаточно проварыровать уравнение (5), (пренебрегая членами с Ω и, полагая, $\cos \theta = 1$, $\sin \theta = \theta$), а также (6) и проинтегрировать полученную систему линейных нестационарных дифференциальных уравнений.

Выражение для α при «константной» модели погрешностей ИУ и $A = const$ не имеет особенностей при любых θ :

- ошибка ΔA_0 начальной выставки и погрешности ИУ, как и в любой схеме непрерывной инклинометрической съемки, входят в α с весовыми коэффициентами $\sin \theta$ и 1, соответственно;
- влияние нескомпенсированных уходов гироскопов ($\Delta \omega_x, \Delta \omega_y$) не зависит от зенитного угла θ .

При малых, но быстроменяющихся θ и, одновременно, больших $\dot{\theta}$ (достаточно часто встречающееся сочетание) появляется составляющая, которая может в несколько раз превышать уровень инструментальной погрешности ИУ. Однако это не меняет главного вывода – *какой-либо количественный критерий по углу θ для ограничения работоспособности бесплатформенного ГИ или схемы XY отсутствует* (такие обозначения схем ГИ, соответствующие числу и ориентации осей чувствительности – Z, XY, XYZ, принятые стандартами SPE, следует признать более информативными).

На рис. 1 показаны плановые координаты, полученные при съемке скважины 3243, (куст 144, межсторождение Западно-Сургутское, ОАО «Сургутнефтегаз») гироинклинометрами УГИ 42-120/60 (схема XY) и ИГН 73-100/80.

Тип траектории скважины 3243, характеризующийся быстрым набором зенитного угла и значительным удалением забоя от устья, является для схемы XY предпочтительным, позволяя сполна проявиться достоинствам бесплатформенного ГИ. Невязка в плановых координатах скважины 3243, полученных по данным УГИ 42 и ИГН 73 на глубине $L = 2500$ м, не превышает 6м.

В то же время при практическом использовании такого ГИ вблизи вертикали, могут возникнуть определенные сложности, причем основными инструментальными факторами здесь являются шумы акселерометров и конечная частота дискретизации измерительной информации. Весовые функции

СТАТЬИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАФЕДРЫ

при этих возмущениях, в общем случае, нестационарны, и от того, насколько существенна эта нестационарность (определенная, в свою очередь, величиной χV , т.е. отчасти, управляемая), прежде всего, зависит степень влияния флюктуационных погрешностей и малой дискретности.

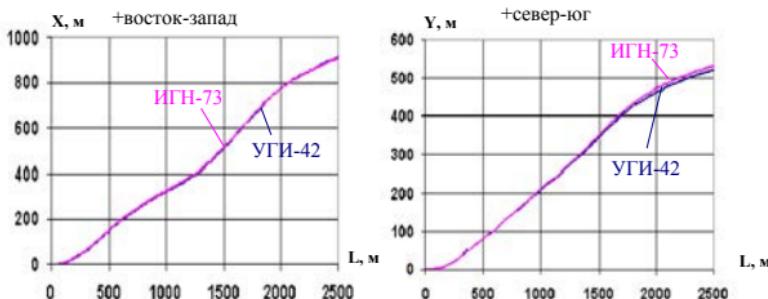


Рис. 1. Построение координат в плане (горизонтальное смещение) при съемке скважины 3243 (Западно-Сургутское месторождение) гирониклинометрами УГИ 42 (схема XY) и ИГН 73

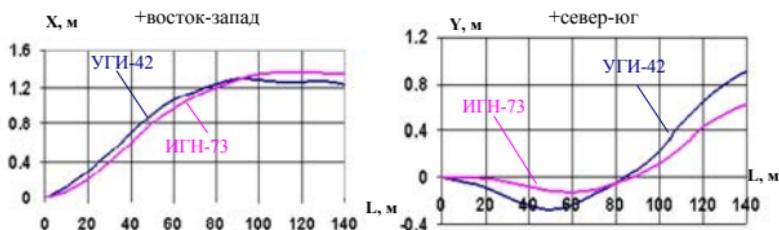


Рис. 2. Построение координат в плане (горизонтальное смещение) при съемке вертикального участка скважины 304 (Т-Русскийе месторождение) гирониклинометрами УГИ 42 (схема XY) и ИГН 73

На рис. 2 и 3 приведены плановые координаты, полученные при съемке скважин гирониклинометрами УГИ 42-120/60 (схема XY) и ИГН 73-100/80. (рис. 2 – скважина 304, месторождение Т-Русскийе, куст 13с, «Когалымнефтегеофизика», рис. 3 – скважина 1792, месторождение Лянторское, куст 324, «Сургутнефтегаз»).

Из рис. 2 следует, что, несмотря на то, что среднее значение θ на первых 130 м не превышает 0.6° , ошибки плановых координат находятся глубоко в допуске, что абсолютно согласуется с малостью A и $\dot{\theta}$. В то же время на рис. 3 ошибка в плане превышает 1% уже при глубине по стволу $L = 80$ м при том, что поведение θ на этом участке ствола не менее благоприятно, чем в предыдущем случае. Здесь все объясняется поведением азимута, скорость изменения которого такова, что его определение ГИ сопровождается потерей знака A и сбоями на 180° (!). Заметим, что бурное развитие как

микропроцессорной, так и микросистемной техники позволяет на этапе модернизации изделий серьезно продвинуться и в части повышения быстродействия контроллера, и в части снижения шума акселерометров, что, вероятно, позволит отодвинуть границу применимости схемы XY к значениям $\theta = (0,2\div0,25)^\circ$. Однако ограничение универсальности (например, при работе на вертикальных стволовах большой протяженности – подземные газохранилища, «правильно» пробуренные скважины старого фонда – с сохранением точностных требований все равно остается стимулом к поиску более общих решений.

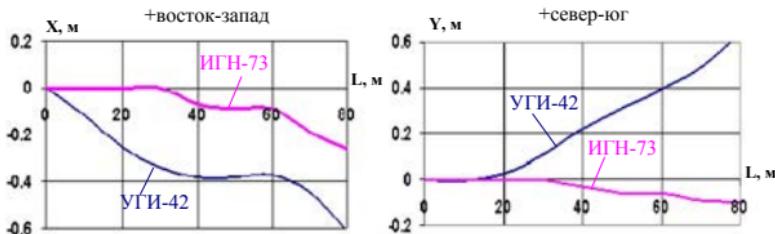


Рис. 3. Построение координат в плане (горизонтальное смещение) при съемке вертикального участка скважины 1792 (Лянторское месторождение) гиронклинометрами УГИ 42 (схема XY) и ИГН 73

Sхема Z

Интуитивно понятно, что областью ее предпочтительного применения должны быть стволы, близкие к вертикальным.

При этом еще более очевидной является необходимость измерения в схеме Z значений угловой скорости, определяемых, главным образом, так называемым «моторным эффектом» (крутильными колебаниями геофизического кабеля) и достигающих десятков и даже, если не принять специальных мер по ее ограничению, сотен $^\circ/\text{сек}$.

Приведенные здесь соображения, надо полагать, и побудили разработчиков ИГН 73-100/80 (платформенный вариант схемы Z) к созданию его на базе одноосного индикаторного гиростабилизатора (ОИГС).

Матрица ориентации (1) формируется по показаниям акселерометров и значению абсолютной угловой скорости ω_z – управления платформой в ОИГС, или полученной от ДУС в бесплатформенной схеме. Можно показать, что эквивалентный алгоритм идеальной работы схемы Z имеет вид:

$$(\dot{A} - \Omega \sin \phi) \cos \theta = \dot{\psi} - \omega_z - \Omega \cos \phi \cos A \sin \theta \quad (8)$$

Варьируя (8) и опуская с учетом качественного характера проводимого анализа и сравнительно малого времени работы ГИ члены с Ω , получим:

$$\Delta \dot{A} = (\Delta \dot{\psi} - \Delta \omega_z + \Delta \theta \cdot \dot{A} \sin \theta) \sec \theta. \quad (9)$$

Дальнейший анализ (9) при учете погрешностей ИУ показывает, что при любом варианте реализации схемы Z:

- влияние ошибки начальной выставки и постоянных погрешностей акселерометров аналогично схеме XY;

– дрейф гироскопа (гироплатформы) по оси Z приводит к наличию в α составляющей с весовым коэффициентом $\operatorname{tg}\theta$, в результате чего схема Z становится неработоспособна по мере приближения ствола скважины к горизонту.

При этом, если для ОИГС структура ошибок, в основном, исчерпывается перечисленными компонентами, то для бесплатформенной реализации схемы Z погрешности, обусловленные вращением по углу поворота отклонителя при малых θ могут достичь недопустимых величин.

Тем не менее настоятельная потребность (речь о которой – ниже) побудила ОАО «Электромеханика» к практической реализации бесплатформенной схемы Z на МЕМС ЧЭ в диапазоне малых зенитных углов. В ходе работы над этой схемой алгоритм (8) был проанализирован и отвергнут, а предложенный «гироазимутальный» оказался свободен от дополнительных погрешностей. В целях описания этого алгоритма введем углы μ, v и угол ψ^M (рис. 4).

Показания n_x, n_y ИУ могут быть представлены в виде:

$$\begin{aligned} n_x &= \sin\mu \sin\psi^M - \cos\mu \sin v \cos\psi^M \\ n_y &= \sin\mu \cos\psi^M + \cos\mu \sin v \sin\psi^M, \end{aligned} \quad (10)$$

При этом:

$$\dot{\psi}^M = \omega_z - \dot{\mu} \sin v - \Omega \sin(\phi - \mu) \cos v \quad (11)$$

Понятно, что попытка точного решения системы уравнений (10) и (11) наталкивается ровно на те же трудности, что и интегрирование (8). Изменения азимута скважины при малых θ и отсутствие стабилизации по углу ψ не наблюдаются. Ситуация, однако, предельно упрощается, если малость μ и v (т.е. в конечном счете θ) позволяет пренебречь вторым членом в правой части (11). Варьируя элементы последнего столбца (1) и предполагая (для наглядности) кратковременность прохождения вертикального ствола, разрешим, с учетом малости θ , полученную систему уравнений относительно

$$\alpha = \Delta A_0 \theta - \theta \int_0^t \Delta \omega_z dt + \Delta \eta_{xy} \quad (12)$$

Разгадка эффективности (а заодно и названия) «гироазимутального» алгоритма полностью исчерпывается последней формулой, из которой следует что погрешность, вносимая упрощением (11) пропорциональна θ^3 . Локализация бесплатформенной схемы Z вблизи вертикали, таким образом, может быть не слишком жесткой, но, при этом, она позволяет отказаться от необходимости решения уравнений Пуассона и, следовательно, от имитации сигналов угловых скоростей с помощью акселерометров, приемлемой только в ОИГС.

Сравнительные характеристики неполных схем

Однозначные выводы о предпочтительности той или иной схемы, очевидно, были бы затруднительны, если не принимать во внимание возможности их технической реализации. ДУС для создания бесплатформенного варианта схемы Z гирониклинометра, работоспособного в «нефтегазовом» сег-

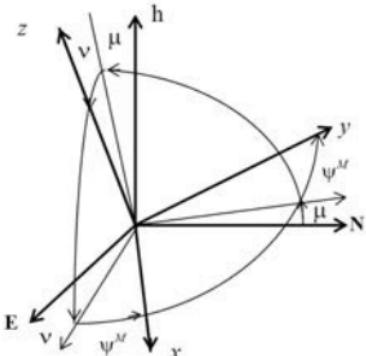


Рис. 4. Параметры ориентации для съемки скважин с малыми зенитными углами

менте рынка сегодня не существует. Единственная, как уже было сказано, существующая разработка ОИГС – ИГН 73 – обладает негативными особенностями конкретной реализации, обусловленными качеством сухих гироскопических ЧЭ – большой нестабильностью и сложной пространственной моделью дрейфа, что, в свою очередь определяет необходимость частых остановок для его уточнения в процессе съемки (т.е. используя терминологию ([6], стр.14) перехода в «дискретно-непрерывный» режим), а также длительность и жесткую привязку к вертикальному положению СП процесса начальной выставки. При больших θ нестабильность дрейфа приобретает «коэффициент усиления», равный $f g \theta$, что, в конечном счете делает использование ГИ невозможным.

Возможна модернизация ([13]) схемы ИГН-73 посредством использования (например, при $\theta > 45^\circ$) информации ДУС, коим является гироскоп ОИГС по оси, перпендикулярной оси стабилизации. Таким образом реализуется режим, аналогичный беспилотной схеме XY. Этого, однако не происходит, что, по всей видимости, объясняется техническими сложностями при создании нового режима и/или отсутствием при строительстве современных скважин сложного профиля интереса к ГИ с $\varnothing 73\text{мм}$.

Построение ГИ по схеме XY напротив выглядит просто, если не сказать – примитивно. Концептуальные задачи, подлежащие решению в процессе его создания – также почти очевидны. Первая из них – поддержание режимов движения ГИ, минимизирующих влияние дрейфов ДУС при малых θ (иначе при равноточных гироскопах в таких стволах схема XY явно уступает схеме Z). Другая задача – минимизация влияния в этих условиях нестационарности алгоритмов идеальной работы и нелинейности их реализации.

Однако решения только этих задач для обеспечения эффективной съемки скважин произвольной ориентации может оказаться недостаточно. Сравнительные характеристики схем Z и XY приведены в таблице.

Сравнительные характеристики схем Z и XY

Показатель качества	Схема Z	Схема XY
Диапазон измерения угловой скорости	40°/сек и более для беспилотного ГИ; либо ОИГС	(1-2)°/сек
Точность в зависимости от угла θ	Высокая, при $\theta \rightarrow 0^\circ$ Соизмеримая с XY при $35^\circ < \theta < 55^\circ$ Низкая при $\theta > 70^\circ$, при $\theta \rightarrow 90^\circ$ неприменима	Не зависит
Точность на вертикальных ($\theta < (1-2)^\circ$) стволах при большой (>1км) глубине	Высокая	Ниже, чем у Z в θ^{-1} раз
Возможность начальной выставки: – автономной – внешней	Только для ОИГС на трехстепенном гироскопе Без ограничений	Без ограничений Только при «быстром» отходе от вертикали

Универсальный гироскопический инклинометр УГИ 42-120/60

С целью расширения диапазона применения схемы XY в ОАО «Электромеханика» был разработан универсальный гироскопический инклинометр УГИ 42-120/60. Он включает скважинный прибор (СП), состоящий из скважинного модуля связи (СМС) и скважинного модуля ориентации (СМО), наземный пульт управления (НПУ), персональный компьютер. Несущим элементом конструкции СМО является рамка, установленная в защитном корпусе (рис. 5).

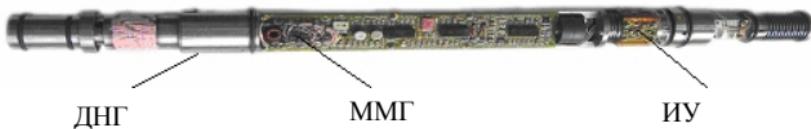


Рис. 5. Поворотная рамка скважинного модуля ориентации УГИ 42-120/60

На рамке размещается динамически настраиваемый гироскоп (ДНГ), ИУ в виде пространственной компоновки из четырех одноосных микромеханических акселерометров, микромеханический гироскоп (ММГ), электроника каналов обратной связи ДУС, электроника предварительной обработки и фильтрации сигналов акселерометров, аналого-цифровые преобразователи и интерфейс связи с блоком электроники.

В состав блока электроники входят источники питания ДУС, ММГ, акселерометров и двигателя разворота корпуса гироскопа. Рамка имеет возможность устанавливаться в некие дискретные положения относительно продольной оси ГИ с помощью двигателя, что используется для гирокомпасирования при начальной выставке. Для измерения угла этого поворота на оси рамки установлен специальный оптический датчик.

Скважинный модуль связи обеспечивает гальваническую связь с картажным кабелем, выработку первичного питания для СМО, организацию информационного обмена между СМО и наземным пультом управления. Конструкция СМС представляет собой неподвижную рамку с платами электроники и контроллером, размещенными в защитном корпусе. СМС и СМО собираются в единую герметичную конструкцию длиной 1900 мм.

В НПУ переменное напряжение питания 220 В, 50 Гц преобразовывается в постоянное (150–210) В, которое с помощью картажного кабеля обеспечивает связь СП с персональным компьютером (ПК).

Кроме того, в НПУ вводятся, а также сохраняются во флэш-памяти, показания датчиков магнитных меток и глубины, которые затем используются для вычисления длины пройденных при съемке участков скважины.

ПК решает задачи управления работой ГИ, апостериорной обработки всех зафиксированных во время съемки инклинометрических измерений, визуализации и документирования вычисленных координат траектории скважины. Здесь следует отметить, что помимо определения глубины и угловых параметров участков ствола непосредственно в процессе съемки скважины и трансляции их оператору, запись выходных сигналов всех измерительных средств производится во флэш-память контроллера СП. Такая двухступенчатая организация процесса вычислений позволяет, с одной стороны, обеспечить оператору необходимой ему информацией в режиме on-line, а с другой стороны, – за счет апостериорной обработки больших массивов инклинометрических данных, в том числе при варьировании настройки фильтрационных процедур, а также использовании, в полной мере, данных о спуске и подъеме, значительно повысить точность позиционирования.

Основные технические характеристики УГИ 42-120/60

Диапазон измерения, град: зенитного угла – 0–180, азимута 0–360, угла поворота отклонителя (вращения прибора вокруг оси) – без ограничений.

Погрешности координат траектории: смещение в плане – не более 0,4% от глубины по стволу, вертикальной глубины (TVD) – не более 0,2% от глубины по стволу.

Наружный диаметр – 42мм.

Режимы работы УГИ 42-120/60

Работа УГИ 42-120/60 при непрерывной съемке скважины может быть условно представлена следующей последовательностью режимов:

- начальная выставка;
- режим измерения при движении СП вдоль ствола;
- считывание флэш – памяти;
- апостериорная обработка полученных данных и построение траектории исследуемой скважины.

В процессе начальной выставки проводимой в режиме гирокомпасирования, вычисляются начальные значения угловых параметров исследуемой скважины и определяются систематические составляющие корпусного ухода ДУС. Начальная выставка проводится при любом значении зенитного угла, что позволяет использовать УГИ 42-120/60 для измерения траекторий произвольных участков ствола. При проведении начальной выставки на участке ствола с зенитным углом θ_0 , лежащем в диапазоне $0^\circ \leq \theta_0 \leq 1,2^\circ$ (участок условно назовем «вертикальным»), в УГИ 42-120/60 вычисляются углы μ_0, v_0 , на участке ствола с $\theta_0 > 1,2^\circ$ («наклонном») – азимутальный угол A_0 . Для снижения влияния случайных погрешностей на точность начальной выставки, цикл гирокомпасирования (установка поворотной рамки в 3-5 дискретных положениях) может быть повторен несколько раз, продолжительность одного цикла – не более 5 мин.

При проведении скважинных измерений при спуске или подъеме гирокомpassического инклинометра на «вертикальных» участках в УГИ 42-120/60 используются соотношения для описанного выше, бесплатформенного варианта схемы Z (см. (10), (11)), на «наклонных» участках – для схемы XY (см. (5), (6)), т.е. в обоих случаях эти алгоритмы базируются на уравнениях Пуассона. В этой связи, автор осознает на совести коллег присипываемую УГИ 42-120/60 «...невысокую точность...», которая, оказывается «...объясняется необходимостью измерения угловой скорости вращения Земли в движении» ([6], стр. 19).

Переход УГИ 42-120/60 с одной схемы работы на другую производится автоматически путем вычисления в режиме гирокомпасирования новых начальных условий для следующего этапа интегрирования. Если «вертикальный» участок скважины имеет значительную протяженность (более 300м), допускается проведение при его прохождении остановки СП для коррекции показаний ММГ; при $\theta > 1,2^\circ$ остановок СП не производится. При движении СП вдоль ствола ДПИ опрашивается с частотой 20 Гц и полученная информация записывается во флэш-память прибора. Одновременно, на основе той же информации в вычислительном устройстве СМО производится предварительное вычисление угловых параметров скважины и ее глубины, которые один раз в секунду передаются оператору.

Считывание флэш-памяти в УГИ 42-120/60 производится после завершения съемки скважины и извлечения прибора на поверхность. Время, затрачиваемое на считывание полного объема флэш-памяти, составляет не более 5 мин.

Апостериорная обработка полученных во время съемки данных ДПИ производится в ПК УГИ 42-120/60 непосредственно в месте проведения работ непосредственно на скважине с помощью запуска специальной программы, процесс вычисления в которой завершается созданием итогового отчета в LAS – формате. Общее время проведения вычислений и построения требуемых графиков занимает не более 5 мин. Выходной информацией УГИ 42-120/60 являются координаты траектории исследуемой скважины. Тем не менее, в процессе апостериорной обработки могут быть дополнительно рассчитаны

СТАТЬИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАФЕДРЫ

ны значения угловых параметров скважины в функции глубины ствола или времени проведения измерений.

Трехосные схемы непрерывных гироинклинометров

Целесообразность измерения непрерывным ГИ трех проекций абсолютной угловой скорости была показана в предыдущем разделе, что называется – от противного. Резонно предположить (и это, разумеется, можно показать), что трехосная схема не имеет особенностей во всем диапазоне зенитных углов (как схема XY), обладая при этом масштабным коэффициентом ($\sin \theta$, подобно схеме Z при малых θ), резко понижающим ошибку съемки скважин с весьма распространенным типом траектории. Однако, никуда не исчезает и унаследованная от схемы Z необходимость измерения большой угловой скорости вокруг оси СП.

Проблемы приборной реализации трехосных схем

В настоящее время на рынке представлен трехосный ГИ малого диаметра Target (компания SEG, Германия, 2005г), построенный на двух двухосных ДНГ фирмы Litton и трех акселерометрах [16]. Алгоритм идеальной работы – БНИС. Основные характеристики: наружный диаметр – 1,75"; длина СП – 1740мм; предельная рабочая температура, °C – 125; предельное давление, мПа – 100; диапазон измерения углов, азимута, зенитного, поворота отклонителя – без ограничений. Погрешности составляют: 0,5% от глубины по стволу (1σ) при $\phi < 50^\circ$ и $0,5\% / \cos \phi$ – при $50^\circ < \phi < 70^\circ$.

Судя по весьма средним точностным характеристикам Target (еще раз обратим внимание, что 0,5% не максимальная, а среднеквадратическая ошибка (СКО)), решение проблемы точности ДНГ с диапазоном измерения $75^\circ/\text{сек}$ пока нельзя считать вполне удавшимся. Следствием пониженной точности измерения угловой скорости по каналу Z , наряду с увеличением суммарной погрешности схемы XYZ , является ее неравноточность, которая может серьезно повлиять на результаты сравнительного анализа неполных и трехосной схем. Последняя, в этом случае начинает подчиняться закономерностям поведения схемы XY . В этом легко убедиться, обратившись к некоторым количественным характеристикам. Так, если приравнять отношение дисперсий уходов ДНГ по каналам Z и XY отношению необходимых диапазонов измерения, т.е. $75:1,5=50$ ($\delta_z : \delta_{xy} \approx 7$) несложно убедиться, что при $\theta > 7,2^\circ$ трехосная схема проигрывает неполной XY . Если же – как это часто делается – приравнять соотношение диапазонов и СКО, результат получается и вовсе обескураживающим – граничное значение $\theta = 1,15^\circ$. Но, даже если предположить гораздо более слабую связь дисперсии ошибки и диапазона измерения, например, квадратный корень, то и в этом случае при зенитном угле, несколько превышающем 20° , трехосная схема теряет свои преимущества.

Таким образом, при фактической неравноточности трехосной схемы приходится, во-первых, констатировать целесообразность перехода с некоторых граничных θ к алгоритмам схемы XY и, как следствие, во-вторых, усомниться в реальности ее преимуществ во всем диапазоне измерений. Действительно, при малых θ , точности схем Z и XYZ практически одинаковы и тогда зона предпочтительного использования трехосной схемы сжимается до односторонней окрестности граничного θ , т.е. от нескольких десятых долей до нескольких градусов. Такая ситуация даже у убежденных сторонников непрерывной съемки вызывает вопросы об оправданности кратного повышения стоимости трехосного ГИ по отношению к схеме XYZ , т.к. достаточно одной дополнительной остановки для компасирования, чтобы уравновесить точности этих схем. Так, представленные, например, на рис. 6 данные совместных испытаний схем XYZ и XYZ ГИ (скважина HN13, Исландия) не выявляют очевидного проритета XYZ .

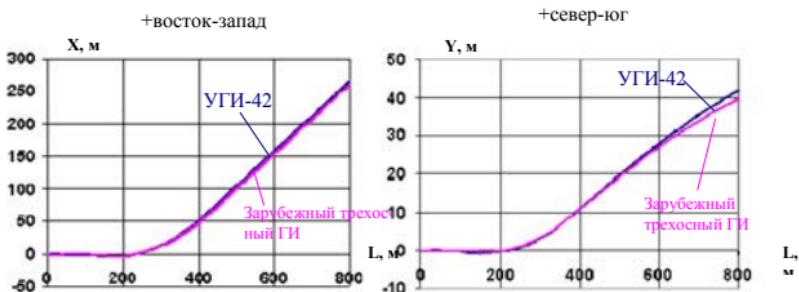


Рис. 6. Построение координат в плане (горизонтальное смещение) при съемке скважины HN13 (Исландия) гироинклинометрами УГИ 42 (схема XYZ) и зарубежным трехосным (XYZ)

Кардинально изменить ситуацию с реализуемостью равноточной трехосной схемы для нефтегазового рынка мог бы переход к термоустойчивым технологиям создания волоконно-оптических гироскопов (ВОГ) [12], но, по имеющимся у автора данным, реальных сдвигов в этом направлении не происходит. Наиболее близок к реализации возможности измерения больших угловых скоростей при соблюдении термобарических и габаритных требований инклинометрической съемки нефтегазовых скважин твердотельный волновой гироскоп (ТВГ, [11]). Его серийный выпуск с диаметром 30 мм возможен уже сегодня, однако, в отличие от ВОГ, возможности создания на его базе трехосного измерителя ограничиваются принципиальным конструктивным решением в форме вытянутого цилиндра. Таким образом, ТВГ можно рассматривать только в качестве ДУС для схемы Z, или, точнее, ZxY (варианты объединения в одном ГИ соизмеримых по точности, но принципиально отличающихся по требуемой инфраструктуре гироскопов (например, ДНГ и ТВГ), серьезными исследователями, разумеется, не рассматриваются).

Полнценной альтернативой гипотетически равноточной трехосной схеме ГИ является предложенная автором в [5], так называемая, диаметральная схема (рис. 7). Будучи дополнена идеей однодного гиростабилизатора, она позволяет

работать по схеме Z при малых θ , переходя, по мере возможности в режим бесплатформенного ГИ (схема XY).

При этом, в отличие от схем-прообразов (Z и XY), диаметральная схема обеспечивает при любой ориентации ствола скважины малость погрешности инвариантного гирокомпасирования, реализующего как точечную, при необходимости, съемку, так и начальную выставку с повышенной точностью для непрерывного режима. До настоящего времени реализация диаметральной схемы сдерживается сомнениями в перспективности систем, использующих гиростабилизацию, в XXI веке, а также некоторыми нерешенными

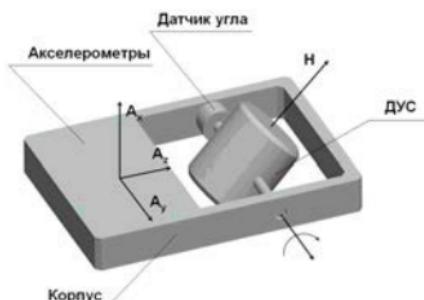


Рис. 7. Диаметральная схема гироинклинометра

вопросами конкретной реализации.

Алгоритмы трехосных схем. О нецелесообразности использования инерциальной навигационной системы

Принято считать, что наличие на подвижном объекте полного набора ДПИ – трехосных ДУС и ИУ – подразумевает совместную обработку их информации в соответствии с алгоритмами инерциальной навигационной системы. Действительно, ГИ Target, имеющий бесплатформенную компоновку, с помощью соответствующих алгоритмов реализует типовую схему бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС), формируя матрицу ориентации (1), используемую при счислении декартовых координат по формулам (2).

При этом координаты, вырабатываемые собственно БИНС, естественно, не используются, по причинам, о которых упоминалось в разделе 2. С другой стороны, следует обратиться к непреложному факту истезающе малого ($10^{-3} \div 3 \cdot 10^{-2}$)м влияния инерционных ускорений на погрешность выработки координат, с успехом используемому всеми типами неполных схем ГИ, рассмотренных в разделе 3. Здесь самое время напомнить, что схема интегральной коррекции гировертикали, лежащая в основе метода инерциальной навигации, была предложена в 1935 году советскими инженерами Левенталем и Коффманом [10] именно, как «Навигационный прибор для регистрации пройденного пути и скорости». Она оказалась единственной технически осуществимой реализацией принципа Шулера [9], сформулированного несколько раньше в качестве условия невозмущаемости инерционными ускорениями измерения параметров ориентации подвижного объекта при его нахождении вблизи поверхности Земли.

Ускорения, наблюдавшиеся в процессе инклинометрической съемки, практически не влияют на ее результаты, а выработки декартовых координат автономным (инерциальным) способом в скважинной навигации не требуется, т.е. применение ИНС в данном случае является, как минимум, нецелесообразным. Однако, *альтернатива ИНС очевидна и ее точность существенно выше*.

Последовательно проводя «линию» на устранение известных недостатков неполных схем Z и XY , т.е. фактически объединяя их алгоритмы, получаем ГИ, который, естественно, было бы классифицировать как бесплатформенную систему ориентации (БСО), корректируемую от маятника (КМ). Варьируя (5) \div (7), а также используя (9), получим систему из пяти уравнений, описывающих погрешности синтезированной схемы:

$$\begin{aligned} \dot{\Delta\theta} - \Delta\psi \dot{A} \sin\theta &= \Delta\omega_{xy}(\psi), & \Delta\theta &= \frac{\Delta\eta_{yx}(\psi)}{\cos\theta}, \\ \Delta\dot{A} \sin\theta + \Delta\theta \dot{A} \cos\theta + \Delta\psi \dot{\theta} &= -\Delta\omega_{yx}(\psi), & \Delta\psi &= \frac{\Delta\eta_{xy}(\psi)}{\sin\theta}, \\ \Delta\dot{A} \cos\theta - \Delta\theta \sin\theta \dot{A} - \Delta\dot{\psi} &= -\Delta\omega_z, \end{aligned} \quad (13)$$

из которой легко можно получить следующее выражение для $\dot{\Delta A}$:

$$\dot{\Delta A} = -\Delta\omega_{yx}(\psi) \sin\theta - \Delta\omega_z \cos\theta + \frac{d(\Delta\psi \cos\theta)}{dt} + n_{xy}(\psi) \quad (14)$$

В тоже время, воспользовавшись известными соотношениями для погрешностей БИНС [7] и процируя дрейфы ДУС, заданные в осях XYZ на оси N и h географической системы координат, получим, опуская здесь (и далее) члены с Ω :

$$\begin{aligned} \dot{\Delta A} &= -\Delta\omega_{yx}(\psi) \sin\theta - \Delta\omega_z \cos\theta + \frac{d(\Delta\psi \cos\theta)}{dt} - \\ &- \operatorname{tg}\varphi \left\{ -\Delta\omega_{xy}(\psi) \sin A + [\Delta\omega_{yx}(\psi) \cos\theta - \Delta\omega_z \sin\theta] \cos A \right\} + \dot{\gamma} \operatorname{tg}\varphi, \end{aligned} \quad (15)$$

где γ – «восточная» погрешность вертикали.

Очевидно, что по сравнению с (14), выражение (15) включает дополнительный блок погрешностей, описываемый его второй строкой. В свою очередь, в этом блоке следует выделить две составляющие, имеющие общий множитель $t g \phi$, но принципиально различные по природе. Одна из них определяется некоей суммой проекций дрейфов ДУС (в фигурных скобках), а вторая – погрешность построения инерциальной вертикали, не связанной с ошибками ИУ (последние в (14) и (15) опущены т.к. их влияние на оба выражения отличается мало).

Ошибки вертикали (γ), определяемые уходами гироскопов, могут составлять более или менее заметную долю итоговой погрешности курсоуказания. Однако, к еще более серьезному возрастанию этой погрешности (причем независимо от уровня точности гироскопов) по сравнению с выражением (21), характеризующим режим (БСО КМ), приводят первая составляющая второй строки (15). Как показывают аналитические оценки, вполне подтверждаемые на апробированных моделях БИНС [7], соотношение дисперсий погрешностей ΔA (или, что в данном случае, тоже самое – α) схемы БИНС и «неинерциального» трехосного корректируемого гироориентатора равно $\sec^2 \phi$. При этом погрешность вертикали для чистоты модельного эксперимента исключалась, дабы универсальность полученных результатов не была ограничена конкретными характеристиками дрейфов.

Во всем этом, строго говоря, нет ничего нового. Обусловленная неразрывностью координатно-курсовой связи в ИНС необходимость построения оси Мира приводит к появлению, наряду с азимутальным, дрейфа плоскости меридiana вокруг полуденной линии. В системе гироискоррекции ориентирования коея является БСО КМ, последняя компонента отсутствует. В этом легко убедиться, если в схеме ИНС разомкнуть связи между блоком ориентации и шуплеровскими контурами, заменив выходы последних показаниями одометра и корректируя погрешности горизонтирования в блоке ориентации непосредственно от ИУ.

Таким образом, дополнительная («неестественная») погрешность курсоуказания, много превышающая основную («естественную») – это «оплата» создания совсем другого «Навигационного прибора для регистрации пройденного пути и скорости» (А.М. Кофман, Е.В. Левенталь), реализующего уникальный принцип автономной навигации, базирующийся на прямом интегрировании уравнения второго закона Ньютона. Азимут (курс) же в этой схеме интегральной коррекции (т.е. ИНС) является «побочным» продуктом и не может быть оптимальным применительно к другим методам решения навигационной задачи, прежде всего, навигационному счислению. Осуществляемая этим методом непрерывная инклинометрическая съемка, при наличии аппаратурного обеспечения трехосной системы ориентации должна использовать режим бесплатформенной системы, корректируемой от измерителя ускорений.

Заключение

В заключение сформулируем основные результаты проведенного в статье анализа непрерывной гироникиметрии:

1. Перспективы развития неполных схем, прежде всего XY , связаны: во-первых, с использованием возможностей MEMS – технологий (в связи с чем, синтезированные схемы XYZ можно было переименовать в трехосные неравноточные), во-вторых, с совершенствованием процессов управления положением СП при съемке, в-третьих, с отработкой нелинейных алгоритмов идентификации скважины. Реализация схемы XYZ в отсутствие серийного ЧЭ с высокой рабочей $t^{\circ}\text{C}$ вероятна, разве что для рудных и т.п. применений. Не закрыта потенциальная возможность реализации диаметральной схемы, являющейся полной альтернативой трехосным равноточным ГИ.

2. Целесообразность создания равноточных трехосных схем (XYZ) в «нефтегазовом» сегменте не выглядит очевидной вследствие высокой цены разработки и поставки, обусловленной, в первую очередь, необходимостью применения Z-гироскопа с большим диапазоном измерения, тем более, что данные совместных испытаний ГИ XYZ и XYZ не выявляют явного преимущества XYZ .

СТАТЬИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАФЕДРЫ

3. Использование алгоритмов БИНС в ГИ для непрерывной съемки представляется неоправданным – схема трехосного гироориентатора с коррекцией от измерителя ускорений, предложенная автором, обеспечивает значительное снижение погрешности (по сравнению с БИНС), определяемое, главным образом, широтой места и, в некоторой степени, уровнем точности гироскопов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аничин О.Н., Емельянцев Г.И. Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов, ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург, 2003
2. Биндер Я.И., Падерина Т.В., Розенцвейг В.Г., Елисеевиков А.Е. Малогабаритные гироколические инклинометры, проблемы, концепция развития, результаты разработки и внедрения // Гирoscopia и навигация. 2006. №3.
3. Биндер Я.И., Падерина Т.В., Розенцвейг В.Г. Высокопроизводительная прецизионная инклинометрическая съемка скважин малого диаметра. Результаты практического внедрения // Гирoscopia и навигация. 2009. №1.
4. Биндер Я. И., Падерина Т. В. Инклинометр непрерывного действия на основе бесплatformенного гироскопа направления Ч.II //Известия ВУЗов: Приборостроение 2004. N5. С. 47-53
5. Биндер Я.И. Универсальный гироинклинометр с ориентацией главной оси двухосного датчика угловой скорости в диаметральной плоскости скважины // Гирoscopia и навигация. 2005. № 4
6. Гуськов А.А., Кожин В.В., Кривошеев С.В., Фрейман Э.В. Непрерывные гироколические инклинометры – особенности построения и результаты эксплуатации // НТВ «Каротажник», Тверь: Изд. АИС. Вып. 4(18), 2009
7. Емельянцев Г.И., Аничин О. Н. Об эффективности использования данных относительного лага в корабельных интегрированных системах ориентации и навигации на основе бескарданных инерциальных модулей // Гирoscopia и навигация 2001, № 3
8. Каракашев В. А. Обобщенные уравнения ошибок инерциальных навигационных систем //Изв. вузов. СССР, «Приборостроение», 1973, №3
9. Крылов А. И. О теории гирокомпаса Аншютца, изложенной проф. Геккером, Известия Академии наук, серия геогр. и геофиз., N4, 1940
10. Кофман Л.М., Левенталь Е.Б. Навигационный прибор для регистрации пройденного пути и скорости. Авторское свидетельство 184465, по заявке 120951 от 26 дек. 1932 г 51 Кофман Л.М., Левенталь Е.Б. Материалы заявки 120951.
11. Линч Д.Д., Мэттьюз А., Варти Г.Т. Перенесение технологии создания датчиков, используемых в космических системах, в разработки, предназначенные для бурения нефтяных скважин // Гирoscopia и навигация. – 1998. – N4. – С.132-141.
12. Лукьянов Д.П. Лазерные и волоконно-оптические гироскопы: состояние и тенденция развития // Гирoscopia и навигация. – 1998. – N4. – С.20-45.
13. Фрейман Э.В., Кривошеев С. В., Лосев В. В. Особенности построения алгоритмов ориентации гироколических инклинометров на базе одноосного гиростабилизатора//Применение гравинерциальных технологий в геофизике, Сборник статей и докладов, ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург, 2002
14. Noy K.A., Leonard J.G. A new rate Gyroscopic Wellbore Survey System Achieves the Accuracy and Operational Flexibility Needed for Today's Complex Drilling Challenges. Gyrodynamics Inc SPE/IADC 37664, 1997.
15. <http://www.bakerhughesdirect.com>
16. <http://www.seg-nav.de>
17. <http://www.scientificdrilling.com>
18. <http://www.downhole.com.au>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Г.М.Кузнецов. Начальник лаборатории «Квантовая гиromетрия» кафедры гироколических и навигационных приборов с 1977 по 1998 г.

Б.Аблажнов. Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

А.П.Степанов. Выпускник кафедры 2005 г. Аспирант ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Научный сотрудник ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

В.Г.Пешехонов. Окончил Ленинградский политехнический институт. Академик РАН, генеральный директор ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Заведующий кафедрой. Президент Академии навигации и управления движением.

Л.П.Несенюк (1940–2009). Доктор технических наук, профессор. Заслуженный деятель науки Российской Федерации. Лауреат премии имени Н.Н.Острякова.

Д.Г.Грязин. Выпускник кафедры 1982 г. Доктор технических наук, начальник отдела ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

М.И.Евстифеев. Окончил Ленинградский электротехнический институт «ЛЭТИ». Доктор технических наук, профессор кафедры. Действительный член Академии навигации и управления движением.

Я.А.Некрасов. Кандидат технических наук, начальник группы ЦНИИ «Электроприбор».

В.Д.Аксененко. Окончил Ленинградский государственный электротехнический институт «ЛЭТИ». Кандидат технических наук, старший научный сотрудник ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Доцент кафедры.

О.А.Степанов. Окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения и Ленинградский государственный университет. Доктор технических наук. Заместитель заведующего кафедрой. Начальник научно-образовательного центра ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Действительный член Академии навигации и управления движением.

Я.И.Биндер. Окончил Ленинградский электротехнический институт «ЛЭТИ». Кандидат технических наук, генеральный директор ОАО «Электромеханика». начальник научно-технического центра телеметрических систем ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Доцент кафедры. Действительный член Академии навигации и управления движением.

ГЛАВА 5

ВОСПОМИНАНИЯ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Главу, в которой собраны воспоминания выпускников и преподавателей кафедры, хотелось бы с воспоминаний и начать.

Во время учёбы в одном из старших классов я задал себе, а соответственно и родителям, такой вопрос: «А зачем мне получать высшее образование и еще 5 с лишним лет учиться в институте?». Главным аргументом моей мамы в ответ на это было: «Это ведь так интересно! У нас вел лекции профессор Каракашев – его можно было заслушаться. И любые сложные вещи становились понятны!».

Я вспомнил эти слова только когда, не добрав один балл для поступления на модную в то время в ЛИТМО специальность «Автоматика и телемеханика», попал на неизвестную мне кафедру «Бортовые приборы управления» и увидел того самого профессора В.А. Каракашева на лекции по введению в специальность. К сожалению, его уже не стало к тому времени, когда наша группа дошла на старших курсах до изучения специальности. Нас учили уже его ученики, профессора О.Н. Анучин и Г.И. Емельянцев. Грозой студентов был профессор В.В. Серегин, не делавший ни малейшей скидки на то, что в сложное «перестроечное время» ни один студент не был уверен, что будет работать по специальности после окончания института. У сегодняшних студентов такая уверенность есть, но об этом рассказывает уже следующая глава.

В данной главе представлены воспоминания. Академик РАН М.Д. Агеев, выпускник кафедры 1955 года, кратко описывает свой жизненный путь. Памяти другого выдающегося выпускника кафедры (1948 г.) – члена Национальной Академии наук Украины Н.В. Кошилякова – посвящена статья его коллег по ЦНИИ «Дельфин» д.т.н. М.В. Чичинаизе.

Два выпускника кафедры являются в настоящее время заведующими кафедр российских вузов – д.т.н. профессор В.Я. Распутов в Тульском государственном университете и д.т.н. профессор Ю.А. Бурьян в Омском государственном техническом университете. Ветеран кафедры, профессор В.В. Серегин в своей статье пишет об одном из выдающихся выпускников – д.т.н. профессоре В.З. Гусинском. О годах жизни, связанных с кафедрой, своих друзьях и коллегах, учившихся на той же кафедре, рассказывают д.т.н. И.М. Окон, кандидаты технических наук В.М. Лесючевский, Т.В. Падерина и Я.И. Ходорковский. Впечатления о времени своего преподавания на кафедре отсылают д.т.н. капитан 1-го ранга в отставке П.И. Малеев. И в завершении главы о спортивной жизни ЛИТМО в 60-х годах прошлого века пишет чемпионка Европы 1960 г. по баскетболу, к.т.н. Л.И. Попкова.

Дорогие читатели! У каждого выпускника, конечно, есть свои воспоминания, связанные с годами учёбы и работы на кафедре. Уверен, что коллектив кафедры будет благодарен, если данная глава в дальнейшем будет дополняться и вашими заметками.

Д. О. Тарановский, кандидат технических наук

М. Д. Агеев

О ВРЕМЕНИ И О СЕБЕ*



Я родился в Черемхово, но все первые детские годы прошли в Новосибирске. Отец мой был архитектором. С малолетства мне всегда хотелось сделать что-то своими руками, и, когда я подрос, отец поставил для меня токарный станок по дереву, так что запах древесной стружки мне приятен до сих пор. Моим увлечениям немало способствовал дядя Паша, который был шофером. Мы очень дружили, и я частенько сопровождал его в поездках, начав на «газике» с газогенератором, работавшим на деревянных чурках, и закончив на лимузине ЗИС. Когда я перешел во второй класс, мы уже жили в Одессе. Я увлекся тогда конструированием судомоделей, но первая модель оказалась неудачной. Потом я стал более опытным и построил модель, заслужившую представление на выставке Дворца пионеров, которая проводилась весной 1941 года за несколько недель до войны.

Когда началась война, Одессу сразу стали бомбить. Отца призвали на фронт, а нас эвакуировали вначале в Днепропетровск, а потом в Невинномысск (на Кубани). Отец, отправляя нас, сказал, что война через два-три месяца закончится, и мы вернемся. Но потом пришлось эвакуироваться еще дальше, и мы оказались снова в Новосибирске. В середине войны мы уже жили в Свердловске. Я ходил в дворец пионеров, где занимался в разных кружках, и увлекся токарным делом и химией. Еще в каникулы подрабатывал слесарем на телефонной станции и получил трехсотграммовую хлебную добавку. Еще построил модель фрегата, которую пускал по лужам и подорвал самодельной взрывчаткой – плодом познаний, полученных в химкружке. Когда в конце войны разрешили радиоприемники, увлекся радиолюбительством – собирал детекторные приемники с самодельными конденсаторами, катушками индуктивности и даже резисторами. Чуть позже появились настоящие радиодетали.

После войны отец остался служить в Германии, и мы переехали туда. Сначала в город Шверин, потом отца перевели в Росток. Я жил отдельно и ходил в школу, где учились дети советских военнослужащих, а преподавали в основном жены офицеров. В девятом классе мне очень не нравилась учительница по физике. Она была не совсем квалифицированной, и я с ней постоянно спорил – говорил, что она нас не тому учит. Этим самым я заработал себе плохую репутацию, и меня решили исключить. Тогда я предложил, чтобы мне позволили закончить девятый класс экстерном, в середине года меня зачислили в десятый класс, и я получил нормальный аттестат и решил поступать в институт.

Мне было тогда 17 лет, я поехал в Москву и подал заявление в электротехнический институт (МЭИ). На вступительных экзаменах надо было написать сочинение, и я, расчувствовавшись, напи-

* Журнал «Вестник ДВО РАН». – 2001. - №4. - С.139–145.

ВОСПОМИНАНИЯ

сал сочинение на 10 страницах о Евгении Онегине. Наделал массу ошибок и не набрал нужных баллов. Рядом с МЭИ находился МИИС – Московский институт инженеров связи. Там я написал сочинение на две страницы и соответственно, ошибок сделал меньше. Так я поступил на радиотехнический факультет и был очень этим доволен, поскольку достиг успехов в радиолюбительстве. Надо сказать, что с радиодеталями тогда были «лафа»: трофейную радиоаппаратуру продавали в радиоклубе на вес, кажется, по рублю за килограмм! Обед в «столовке» тогда стоил 2-3 руб. На втором курсе совершенно как-то случайно узнал, что меня решили отчислить из института за нарушение режима. Чтобы я мог оправдаться, мне предложили написать заметку в стенгазету. Заметку я написал, после чего меня уже окончательно выгнали с «волчьим билетом». Институт подчинялся Министерству связи, и я отправился туда, разговаривал с каким-то начальником, но ничего из этого не вышло. В институте было заочное отделение, и я поступил туда (благо, директора очного и заочного отделений конфликтовали) и окончил второй курс.

Родители в это время переехали из Германии в Киров (Вятку), а я отправился в Ленинград, где был точно такой же институт – ЛИИС. Когда я зашел к директору, там оказался тот же начальник из министерства, с которым я разговаривал в Москве, но он молчал, а директор сказал, что принять меня не может потому, что у меня не сдан экзамен по физкультуре (в заочном институте ее не было). Потом пошел я в ЛИТМО – Ленинградский институт точной механики и оптики, и там мне сказали, что места нет, и посоветовали прийти позже. Я еще побывал в других институтах, а затем, спустя какое-то время, снова пришел в ЛИТМО. Там мне очень обрадовались: «Как хорошо, что вы пришли, а то мы вас уже искали». Так я поступил на факультет точной механики на второй курс, но, поскольку предметы были другие, то мне пришлось досдавать с отсрочкой. Ну, а потом уже никаких неприятностей не было, и я спокойно доучился до конца.

На четвертом курсе у меня были уже некоторые достижения.

В это время там организовалась новая кафедра, которой руководил Игорь Васильевич Иванов, фронтовик и очень интеллигентный и доброжелательный человек. Я стал заниматься ферророндовыми датчиками, и результаты своей студенческой работы представил в виде статьи, которая была опубликована в центральном журнале «Автоматика и телемеханика». Вспоминается такой эпизод. Для датчиков приходилось заниматься обжигом пермаллоя в вакуме, что можно было сделать в «закрытом» институте на Петроградской стороне (ныне «Электроприбор»). В марте 1953 года я ехал на трамвае в этот институт, был солнечный, но очень морозный день, и вдруг трамвай остановился на мосту, загудели все заводские гудки. Умер Сталин.

Еще когда я учился и работал в ЛИТМО, по заказу ЦНИИ имени А.Н. Крылова мы занимались разработкой комплекса измерительных приборов для испытания динамики подводных лодок. Когда я закончил институт, ЦНИИ Крылова получил аппаратуру вместе со мной, и я продолжал заниматься этим комплексом датчиков. Испытания проводились на Черном море, и интересно то, что в Севастополь меня отправили очень срочно самолетом, кажется, в начале июля, а потом два месяца мы ждали, когда «подадут» подлодку. Ну, мы, конечно, хорошо проводили время. В начале сентября установили свои датчики, проверили их. Это были датчики поворотов рулей, ускорений, крена и дифферента. Подключиться к штатной лодочной аппаратуре, конечно, было нельзя. Наши ученые придумали тогда приспособить штурвалу привод для горизонтальных рулей с целью получить частотные характеристики. Я тоже этим занимался. Причем, при испытаниях дифферент лодки превышал иногда 25 градусов, а командир был молодой, но смелый, и он, конечно, рисковал.

Более того, еще такой интересный момент. Через какое-то время была организована экспедиция по испытанию успокоителей качки на теплоходе «Русь», который находился на Дальнем Востоке. Мы участвовали в испытании успокоителями качки судов занимались многие, в частности академик А.Н. Крылов занимался подобными испытаниями на судне «Метеор». Ну а здесь пытались решить эту задачу путем управления, чтобы «поймать», так сказать, волну. Но все это оказалось довольно сложно, в частности из-за большой инерционности всей системы... Вот так состоялось мое знакомство с Дальним Востоком и сформировалась тема для кандидатской диссертации.

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Для экспериментального определения динамических характеристик судов широко используются радиоуправляемые модели. Для этой цели в институте был довольно большой открытый бассейн. Возникла идея обеспечить подобные испытания и для моделей подводных лодок, естественно, с погружением модели. Проблему управления удалось решить без особых трудностей – петлевая антенна по периметру бассейна для передачи на низкой частоте (10-15 кГц). Все работало нормально на всей глубине (7-10 метров). Попытки предавать информацию на берег по ультразвуковому каналу не удалось из-за бетонных стенок и дна бассейна. Тем не менее модель ходила. Можно сказать, это был первый автономный необитаемый подводный аппарат (АНПА) (1957–1958 гг.).

Вскоре я перешел в другой институт в составе ЦНИИ, но а потом в силу некоторых обстоятельств мы с женой решили уехать во Владивосток. Это было в 1961 году. Работал я в Дальневосточном педагогическом институте сначала доцентом на кафедре «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий», потом заведующим только что организованной кафедры «Гирокопические приборы и устройства». Чем меня привлекала педагогическая работа? Ну, главное, пожалуй, тем, что я научился свободно говорить перед аудиторией, и, читая несколько предметов, существенно расширил свои теоретические познания. Специальность «Гирокопия» была в то время очень нужна. Завод «Аскольд» в Арсеньеве выпускал гирокомпасы и для этого, конечно, требовались специалисты. Работа мне нравилась, и вообще подготовка студентов в то время велась не так, как сейчас. Сейчас студенты фактически практики никакой не имеют, а тогда они могли объехать почти все гирокопические заводы страны – в Москве, Ленинграде, Барнауле, Бердске, Томске и, конечно, в Арсеньеве. Студенты имели возможность ознакомиться с ведущими предприятиями, оснащенными самым совершенным оборудованием и лучшими гирокопическими и навигационными системами того времени. В 1970 году я подготовил докторскую диссертацию из области гирокопических навигационных систем и обратился с ней к академику А.Ю. Ишлинскому. Он встретил меня очень доброжелательно и направил к известным специалистам Е.А. Девянину, Н.А. Парусникову и И.В. Новожилову. Тогда же я познакомился с В.Д. Андреевым, автором большого двухтомника по инерциальным системам. Девянин тогда уже увлекался шагающими роботами, Парусников занимался чисто гирокопией. Они очень помогли мне советами, как «приспособить» диссертацию к существующим академическим требованиям. Кое-что я «перешистил», а вообще моя идея заключалась в том, чтобы вместо чисто механического подхода к гирокопическим навигационным системам использовать информационный подход. Что интересно и что меня особенно порадовало тогда, так это то, что мои расчеты по гирокомпасам оказались очень близки данным гирокомпасов «Анциоти», которые экспериментально отрабатывались многими несколько десятилетий. Это утвердило меня в мысли, что информационный подход может быть очень эффективным, и путем обработки сигналов, а не чисто «механическим» путем можно решать многие задачи.

С 1969 года я совмещал работу в ДВПИ со службой в отделе технической кибернетики Сибирского отделения Академии наук, а когда это Отделение было преобразовано в Дальневосточный научный центр, я перешел в Институт автоматики и процессов управления. Была организована лаборатория систем навигации и управления, и я стал думать, в каком направлении ориентировать ее работу. Я прекрасно понимал, что заниматься навигационными приборами и системами управления различными объектами, самими по себе, просто бессмысленно потому, что существовало тогда много крупных современных институтов и организаций Минсудпрома, Минавиапрома и др., которые над всем этим работали. Попытка догнать и перегнать их была бы совершенно безнадежной. Возникла ситуация, когда нам нужен был свой объект, которым можно было бы управлять. Возникла мысль, что таким объектом, доступным для нас в том смысле, что мы сами его можем создать, является автономный подводный аппарат. В то время здесь в отделении института океанологии имени П.П.Ширшова была хорошая библиотека, в которой имелся журнал Sea Technology, и я внимательно следил за работами в этой области. Техника такая тогда была в зародыше, были очень популярны обитаемые аппараты, а из автономных было как будто два аппарата – один для подледных исследований UARS, а другой для чисто океанологических измерений. Поскольку некоторый опыт создания таких аппаратов

ВОСПОМИНАНИЯ

у меня уже был, я и решил направить тематику лаборатории по этому пути. Здесь у нас появлялось свое поле деятельности, и оно не перекрывалось другими более крупными организациями, с которыми мы не могли конкурировать. В академических кругах поддержали эту идею, и к нашей работе проявился интерес, правда, вначале довольно осторожный. Поддержку в этом отношении оказывали тогда члены-корреспонденты, а потом академики Е.П. Попов и Д.Е. Охочимский. Так мы стали развиваться, и большую роль в этом плане сыграли договорные работы, благодаря которым мы вышли в передовики в своей области. Аналогичные разработки велись в США, Франции и других странах. Наиболее близким к нашим автономным аппаратам был французский аппарат Epaulard, был еще американский поисковый аппарат, потом появились и другие.

Наши достижения по созданию и использованию подводных аппаратов довольно хорошо известны. Многое из того, что было задумано, удалось реализовать. Вместе с тем заказные работы практически не позволили нам в должной мере заниматься перспективными исследованиями по расширению функциональных возможностей аппаратов. Некоторые идеи так и остались нереализованными. «Перестройка» вообще свела наш научный ресурс к минимуму. Возможности современной техники, конечно, позволяют совершенствовать системы аппарата, но научный интерес к решению новых перспективных не заказных задач, к большому сожалению, угасает, в значительной мере из-за необходимости зарабатывать для выживания деньги на хоздоговорных работах. Для того чтобы вести перспективные исследования и разработки, необходимы соответствующие условия, которые в текущее время практически недоступны.

М. В. Чичинадзе

ПАМЯТИ ВЛАДИМИРА НИКОЛАЕВИЧА КОШЛЯКОВА

Действительный член Национальной академии наук (НАН) Украины доктор физико-математических наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР Владимир Николаевич Кошляков родился в 1922 г. в семье известного ученого в будущем члена-корреспондента АН СССР Николая Сергеевича Кошлякова. Мать Владимира Николаевича Екатерина Арсентьевна Кошлякова, окончив симферопольскую гимназию и выйдя замуж за молодого ученого, в дальнейшем посвятила себя мужу и детям, которых было двое – сыновья Владимир и Михаил. До Октябрьской революции семья жила в Киеве, где в университете преподавал Николай Сергеевич, а затем в 1921 г. переехала в Петроград, где Н.С. Кошляков стал профессором университета.

Окончив школу перед Великой Отечественной войной, Владимир Николаевич поступил в ЛИТМО, но учеба была прервана войной и арестом в 1942 г. отца, который, к счастью, уцелел и в 1951 г. вышел на свободу лауреатом Сталинской премии, а в 1954 г. был избран в члены-корреспонденты АН СССР. Получив в 1955 г. квартиру, семья переехала в Москву.

На фронте Владимир Николаевич не попал, так как после перенесенного в детстве заболевания был почти глухим. Однако это не помешало ему получить высшее образование, закончить аспирантуру и в 1955 г. защитить кандидатскую диссертацию.

Следует заметить, что, выбрав еще в институте интересом своих исследований теорию гирокомпактских компасов, Владимир Николаевич остался верен своей «первой любви» на всю жизнь.

Со студенческих лет судьба свела Владимира Николаевича с плеядой замечательных ученых, представляющих ленинградскую школу гирокомпактов во главе с А.И. Лурье, с которым у Владимира Николаевича сохранялись почтительно-дружеские отношения в течение долгих лет. Также с искренним уважением относился Владимир Николаевич к Д.Р. Маркину, Б.Н. Кудревичу, С.С. Ривкину, работы которых всегда были первым заданием для аспирантов Владимира Николаевича.

В Москве Владимир Николаевич поступил на работу Морской научно-исследовательский институт (МНИИ №1, ныне ЦНИИ «Агат»), в который в 1942 г. была перебазирована группа специалистов ЦНИИ «Электроприбор», работающих над созданием отечественных гирокомпасов, во главе с М.А. Шифом. Этой группой (под руководством Н.Н. Острякова) в 1940 г. был создан гирокомпас «Курс», а в 1948 г. гирокомпас «Гирия» за разработку которого М.А. Шифу и ряду других инженеров была присуждена Сталинская премия.

Войдя в состав этой группы, благодаря своим знаниям, открытости характера и доброжелательного расположения к коллегам Владимир Николаевич скоро стал полноправным научным лидером коллектива. При этом основной круг его научных интересов был сохранен – исследование девиаций и устойчивости на маневрах маятниковых гирокомпасов. Это были для того времени весьма актуальные задачи в связи с увеличением мореходности и скорости строящихся надводных кораблей при сохранении и росте требований к обеспечению безопасности и точности кораблевождения.

ВОСПОМИНАНИЯ

Полученные научные результаты Владимира Николаевича легли в основу проектирования новых апериодических маятниковых гирокомпасов типа «Маяк» (главный конструктор Г.Д.Блюмин).

В 1956 г. отдел гирокомпасов МНИИ-1 был переведен вновь созданный НИИ гирокорректирующих систем (НИИ ГС, ныне ИПМ им. акад. В.Н. Кузнецова), где директором стал Э.И.Эллер, а научным руководителем – академик А.Ю. Ишлинский.

Именно в эти годы (1956 – 1957г) А.Ю. Ишлинский публикует серию статей [1+3], которые лягут в основу создания пространственного гирогоризонта (ГГК) «Ирбит» и морских инерциальных систем.

Владимир Николаевич сосредоточивается на разработке ГГК, и в частности на исследовании его девиаций и устойчивости.

Дело в том, что к этому времени была установлена аналогия между невозмущаемыми гиромаятниковыми системами и инерциальными навигационными системами (при отсутствии инструментальных погрешностей) работами [1, 3], а также получены общие условия невозмущаемости гирокорректирующих систем[4 □ 6]. Эти обстоятельства побудили Владимира Николаевича привести исследования влияния маневрирования и инерционных членов уравнений движения на поведение ГГК. Исследования показали, что инерциальные системы на маневре имеют ряд преимуществ по сравнению с ГГК. Данные выводы сыграли существенную роль в дискуссии, которая развернулась в начале 60-х годов, о выборе основного источника автономной информации для проектируемых навигационных комплексов «Тобол». Выбор был сделан в пользу инерциальных навигационных систем, и их эксплуатация в составе НК «Тобол», «Шлюз», «Медведица», «Симфония» и др. подтвердила правильность этого выбора.

Пространственный маятниковый ГГК «Ирбит» был создан и работал долгие годы в составе НИС «Юрий Гагарин», но дальнейшего распространения не получил.

Параллельно с работами по теории маятниковых гирокомпасов с конца 50-х годов Владимир Николаевич все больше интересуется работами по созданию нового направления в теории и практике ГК – а именно корректируемыми гирокомпасами с косвенным управлением (ГКУ) [7].

Эти гирокомпасы отличаются тем, что их гирокорректирующий элемент не имеет маятниковой части, а управляющие моменты создаются по сигналам двух акселерометров соответствующими датчиками моментов (механическими – торсионами или электромагнитными), кроме того, теми же датчиками создаются корректирующие моменты для компенсации влияния скорости корабля и изменения широты места. Работы по созданию таких ГКУ были начаты по инициативе В.И. Кузнецова в 1958 г. группой в составе Н.В. Герасимова, В.М. Вечтомова и М.В. Чичинадзе, к которым позже присоединился В.Н. Кошляков [8].

С момента организации в 1966 г. ЦНИИ «Дельфин» В.Н.Кошляков становится начальником теоретического отдела института и остается на этом посту вплоть до перехода на работу в Институт математики АН Украины в 1976 г. Эти 10 лет позволили Владимиру Николаевичу принять активное участие в создании первых отечественных ИНС «Тавда», корректируемых ГК «ГКУ-1», «ГКУ-2» и опубликовать ряд работ, из которых следует отметить статью [9], в которой рассматривается двухроторный маятниковый компас с корректируемой в азимуте оболочкой. Предложенная В.Н.Кошляковым и его сотрудниками схема коррекции поведения маятникового гирокомпаса на маневре тогда не нашла практической реализации в силу ее сложности по сравнению с обычными, уже созданными ГКУ, но нашла продолжение в Германии на фирме «Аншютц», где в конце 80-х годов на базе гиро-



Академик Национальной академии наук Украины В. Н.. Кошляков

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

компаса Standart-4S была создана система Nautocorse, компенсирующая девиации маятникового гирокомпаса на маневре.

В целом работа Владимира Николаевича в этот период завершилась публикацией в 1972 г. монографии «Теория гирокомпасов» [10].

Эта монография по сегодняшний день не потеряла своей значимости, так как представляет строгое, но доступное для разработчика изложение теории маятниковых двухроторных, пространственных и частично корректируемых гирокомпасов.

В это же время обострилась глухота Владимира Николаевича и он лег на операцию в клинику Киева, где он не только восстановил слух, но и нашел себе вторую супругу Валерию Александровну – своего лечащего хирурга. Со своей первой супругой Томилой Николаевной – научным сотрудником музея Кремля он был уже давно в разводе. В течение нескольких лет Владимир Николаевич жил на два города, но в 1976 г. академик Ю.Н.Митропольский, директор института математики АН Украины, предложил ему должность заведующего отделом института и выдвинул его в члены-корреспонденты АН Украины.

Успешно пройдя выборы, став членом-корреспондентом АН Украины и заведующим отделом института математики, В.Н. Кошляков переезжает в Киев, где и остается до конца своей жизни, не теряя, естественно, связи с Москвой и Ленинградом, так как всегда был активным участником конференций памяти Н.И.Острякова (Ленинград), сотрудником (консультантом) ЦНИИ «Дельфин» (Москва) и КБ завода им. М.Г.Петровского (г.Киев), на котором шло серийное производство ИНС для НК «Шлюз», «Тобол», «Симфония» и разворачивалось производство ГКУ «Вега».

Однако круг научных интересов Владимира Николаевича в этот период сместился в сторону совершенствования аналитических методов задач прикладной теории гирокомпасов и динамики твердого тела.

В отличие от большинства исследователей Владимир Николаевич опирается на аппарат параметров Родрига – Гамильтона и Кейли – Клейна, что позволяет ему, например, обойти затруднения, возникающие при нахождении углов Эйлера в случаях, когда ось вращения как угодно близко подходит к вертикали, а также при получении формулы систематического ухода гирокомпа обойтись решением линейной системы дифференциальных уравнений без построения второго приближения и др.

Следует отметить, что по-видимому В.Н. Кошляков был первым, кто ввел аппарат параметров Родрига – Гамильтона в исследования гирокомпактных систем. Именно с помощью этих параметров им была решена задача исследования устойчивости решений системы уравнений, определяющих задачу о местоположении объекта, которая оказывается аналогичной задаче Дарбу об определении положения твердого тела по его угловой скорости [11]. Результаты исследований 70-х – 80-х годов позволили Владимиру Николаевичу выпустить в 1985 г. монографию «Задачи динамики твердого тела и прикладной теории гирокомпасов» [12] и получить заслуженное общественное признание – избрание в 1993 г. действительным членом НАН Украины.

В Киеве в эти годы развертывается еще один талант Владимира Николаевича – педагогический. Он становится профессором кафедры теоретической механики Политехнического института, которую возглавлял М.А. Павловский, создает и руководит постоянно действующим семинаром по корректируемым управляемым системам.

Результатом деятельности этого семинара является публикация нескольких сборников работ по корректируемым системам.

Однако в связи с распадом СССР как в России, так и в Украине научная деятельность в 90-х годах снижается, а межгосударственное общение затрудняется. Эти обстоятельства Владимир Николаевич тяжело переживал, оставаясь и в Киеве ленинградцем.

Его поддерживало создание В.Г.Пешехоновым Академии навигации и управления движением, членом которой он стал со дня ее основания, и особенно создание отделения этой Академии в Украине, так как ее членами стали его коллеги и ученики. Однако годы и болезни взяли свое, и в 2009 г. Владимира Николаевича не стало.

ВОСПОМИНАНИЯ



На пленарном заседании XX конференции имени Н.Н.Остrikова (1996 г.).
Первый ряд (слева направо): академик РАН Б.Е. Черток; профессор, доктор технических наук
И.Н. Сапожников; профессор, доктор физико-математических наук В.Н. Кошляков;
академик РАН Д.М. Климов

Заканчивая, следует отметить, что В.Н. Кошляков прожил достойную жизнь, стал признанным, отмеченным государственными наградами и высшими научными званиями ученым в области теории гироскопических систем и динамики твердого тела. Он всю жизнь оставался глубоко порядочным человеком, любящим жизнь во всех ее проявлениях и готовым оказать помощь и поддержку молодым ученым. Он всегда руководствовался, как он написал в предисловии к своей последней монографии [12], заветами отца: «Все этапы прикладного исследования (постановка вопроса, составление и анализ математической модели, числовые расчеты, сопоставление с опытом и оформление результатов) являются равнозначными и требуют одинакового внимания к себе». Эта точка зрения справедлива и в наши дни, особенно для тех студентов НИУ ИТМО, кто избрал для себя путь исследования и развития систем навигации и управления движением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ишлинский А.Ю. К теории гирогоризонткомпаса – ПММ, 1956 г., т. 20, вып.4.
2. Ишлинский А.Ю. К теории гироскопического маятника – ПММ, 1957 г., т. 21, вып.1.
3. Ишлинский А.Ю. Об уравнениях задачи определения местоположения движущегося объекта посредством гироскопов и измерителей ускорений – ПММ, 1957 г., т. 21, вып.6.
4. Блюмин Г.Д., Чичинадзе М.В. Условия невозмущаемости однороторного гирокомпаса – Изв. АН СССР Механика и машиностроение, 1964 г., вып.3.
5. Блюмин Г.Д., Чичинадзе М.В. Условия невозмущаемости корректируемого однороторного гирокомпаса – Изв. АН СССР Механика и машиностроение, 1964 г., вып.5.
6. Климов Д.М. Об условиях невозмущаемости гироскопической рамы – ПММ 1964 г., т.28, вып.3.
7. Герасимов Н.В., Якушников А.А. Современные гирокомпасы и тенденции их развития – ЦНИИ МФ Инф. сб. вып.28 1958.
8. Кошляков В.Н., Василенко В.Н. и др. К теории однороторных корректируемых гирокомпасов – МТТ №2, 1967.
9. Кошляков В.Н., Василенко В.Н., Шиф М.А. К теории корректируемого гирокомпаса – МТТ, вып.5, 1967.
10. Кошляков В.Н. Теория гироскопических компасов – Наука, Москва, 1972 г.
11. Кошляков В.Н. Об уравнениях местоположения движущегося объекта – ПММ, т.28, вып.6, 1964.
12. Кошляков В.Н. Задачи динамики твердого тела и прикладной теории гироскопов – Наука, Москва, 1985/

В. Я. Распопов

КАК НАС УЧИЛИ, И КАК МЫ УЧИЛИСЬ



На кафедру «Гирокопические приборы и устройства» ЛИТМО мы, четверо друзей: Г.С. Крылов, Л.А. Мозоляко, В.А. Лашук и я – после окончания 4-го курса кораблестроительного факультета Ленинградского института инженеров водного транспорта (ЛИИВТ) решили перевестись в 1959 г. Мы были неплохими студентами, и декан кораблестроительного факультета, капитан I ранга А.Н. Мамушкин отговаривал от этого перехода. Но наше заверение, что корабли – это первая любовь, а значит на всегда, и что без гирокопов (это мы уже знали) корабли не попадут куда надо, а растущая авиакосмическая отрасль требует специалистов, которых не хватало, убедили декана, что наше решение – обдуманное. Нужно сказать, что таких деканов, как А.Н. Мамушкин, я позже не встречал.

Сейчас, когда я уже более 40 лет занимаюсь учебно-педагогической работой, могу утверждать, что учебный процесс в ЛИИВТе, был поставлен великолепно. К учебному процессу были привлечены замечательные ученые, педагоги, практики. Вот некоторые из них: П.А. Рымкевич (физика), А.А. Яблонский (теоретическая механика), Н.А. Дормидонтов (архитектура корабля), А.М. Васин (гидродинамика, теория корабля). А.П. Филин (теория упругости), А.С. Соколова (строительная механика корабля) и др. Великолепно организованные практики, а главное – все по делу. Чего стоили только плавательские практики в должностях палубных матросов и мотористов: одна на речных, а другая – на морских судах. Впечатляющие экскурсии практически на все судостроительные заводы Ленинграда. Кстати, по инициативе комитета комсомола всем желающим были выписаны круглосуточные пропуска на Адмиралтейский завод, где можно было поработать любое количество часов и в любое время. На досуге, проводимые в это время атомным ледоколе «Ленин» мы что-то красили, шкраbили, привинчивали и т.д. На всю жизнь запомнились заседания НТО им. А.Н. Крылова, куда некоторых студентов приводили с собой наши педагоги. Военно-морская практика (сборы) в Отдельном аварийно-спасательном дивизионе Балтийского флота в Ломоносове. Спуски под воду в полужестком скафандре, овладение навыками подводной электросварки, освоение индивидуальных дыхательных аппаратов.

Тогда мы не понимали, а сейчас я утверждаю, что нас учили по самым высоким стандартам образования.

Итак, очевидно, что базовое образование и ряд специальных дисциплин, базирующихся на основательной механико-математической основе, мы получили в ЛИИВТе и пришли в ЛИТМО изучать, как сейчас принято говорить, дисциплины специализации. Было с чем сравнивать, поэтому критическое отношение к предметам и учебному процессу в целом было естественно. Мы были «чужаки» в

ВОСПОМИНАНИЯ

группе, поэтому, поддерживая нормальные отношения с одногруппниками, все же держались особняком.

Бот два самых первых впечатления от ЛИТМО: крайняя стесненность коридоров, переходов, помещений и хорошая столовая (в здании на пер. Гринцова, 14).

Общеприборные дисциплины (основы взаимозаменяемости и технические измерения, технология приборостроения, основы теории точности, детали и механизмы приборов) были простыми по смыслу и содержанию, не требовали больших усилий для изучения, но и не вызывали интереса. Напротив, такие дисциплины, как основы термодинамики и теплопередачи, теоретическая электротехника и электрические машины, автоматика и телемеханика, электронные, ионные и радиотехнические приборы, счетно-решающие механизмы и устройства, существенно расширяли имеющуюся у нас область знаний и воспринимались с интересом. Запомнились консультации по автоматике и телемеханике, которые вел доцент В.Н. Дроздович, необычной формой их проведения. Он приходил в аудиторию, садился, закуривал, а мы распологались вокруг него, и начиналось обсуждение вопросов вначале по курсовому проекту, а потом постепенно В.Н. Дроздович переходил к рассказам о газодинамических опорах, теории которых впоследствии он посвятил отличную монографию. Этой монографией, кстати, уже в своей научной и инженерной деятельности, я пользовался.

Впечатляла своей оснащенностью лаборатория электрических машин. Лекции по теоретической электротехнике и электрическим машинам увлеченно читала профессор Т.А. Глазенко. Мы, как значительная часть студенчества того времени, были театралами и с удовольствием раскланивались с Т.А. Глазенко, часто встречаясь в различных театрах. Хорошо помню две встречи в «Промке» на представлении «Юнона и Авось» и «Латерны Магики» (Чехословакия), где мы даже обменялись впечатлениями.

Изучение курсов по прикладной оптике и приборам времени завершалось зачетами. Не помню лекций, но лабораторные занятия, как я сейчас понимаю, были отлично методически продуманы и проводились в хорошо оборудованных лабораториях. Помню, что мы с удовольствием разбирали и собирали будильники. Лаборант следил, чтобы не оставалось лишних деталей. Принимали, что нам рассказывали о новом направлении – разработке наручных часов с элементами электроники, выпуск которых организовывался на Часовом заводе в Петродворце. Впечатляла богата, имеющая явную музейную ценность, коллекция разнообразных настенных часов, в т.ч. с деревянным механизмом. Я с удивлением увидел некоторые из них десятки лет спустя на кафедре профессора В.А. Иванова. К сожалению, они больше не ходили.

На пятом курсе изучали дисциплины специализации, по которым, с удовольствием это отмечало, получил пятерки.

Курс «Теория колебаний» читал М.М. Богданович в присущей ему четкой, ясной манере изложения. Конспект лекций получился объемный, полный, и его вполне хватило для усвоения дисциплины и подготовки к сдаче экзамена. Курс «Приборы для измерения скоростей и расстояний» (лаги и эхолоты) также замечательно читал М.М. Богданович. Великолепная дикция, в меру громкий, хорошо слышимый и в нужных местах модулированный голос способствовали хорошему усвоению предмета. Насколько я помню, лекции всегда были законченными темами курса. М.М. Богданович был замечательным человеком, ученым, педагогом, он был патриотом нашей Родины, и самым убедительным свидетельством этого является его добровольный уход в действующую армию в 1941 г., из которой он был демобилизован по инвалидности после тяжелого ранения.

Курс «Гирокопические приборы» читал доцент П.А. Ильин, который запомнился мне неторопливым, спокойным человеком, никогда не повышающим голоса. Это напрямую влияло на манеру чтения лекций. П.А. Ильин, видимо, увлекаясь материалом, эпизодически читал лекцию, обращаясь в сторону доски. Современники отмечали, что Н.Е. Жуковский при изложении материала лекций на

^{*}Разговорное название Дома культуры промкооперации, ныне – Дворец культуры имени Ленсовета. (Прим. ред.).

доске, находя ошибки, стирал целые фрагменты записей, никоим образом это не комментируя. Лекции П.А. Ильина в чем-то походили на лекции великого Н.Е. Жуковского. Конспект не получался, но это имело и положительную сторону – приходилось обращаться к книгам. К сожалению, замечательное пособие «Гироскопические приборы и устройства» авторов П.А. Ильина, М.М. Богдановича (изд. Судпромгиз, 1961) вышло уже после сдачи экзамена по предмету.

Курс «Гироскопия и навигация» вел, не читал, а именно, вел В.А. Каракашев. Как я сейчас понимаю, В.А. Каракашев в то время, видимо, увлекся инерциальной навигацией. Книги, в том числе учебники, по этой теме отсутствовали. Были статьи в журналах, в т.ч. и статьи В.А. Каракашева в журнале «Известия вузов. Приборостроение», с использованием которых он и решил нас обучать. То ли статьи для понимания были сложными, то ли что-то другое, но эти новации вызывали неприятие у студентов, следствием чего явилось обращение за разъяснением нового методического приема к заведующему кафедрой профессору К.С. Ухову. Конфликт разрешился в пользу студентов, но при этом возникли некоторые сложности при сдаче экзамена.

Курс «Навигационные приборы», завершившийся зачетом, содержал основные сведения о навигации, как науки о судовождении, сведения о мореходной астрономии, азы прокладки курса, основы устройства и применения навигационных приборов. Об этом спокойно, размеренно, но увлеченно вел рассказ К.С. Ухов. К сожалению, только спустя много лет из романа В.С. Пикуля «Моонзунд» я узнал, что К.С. Ухов («лихой штурман Кости Ухова») был участником героического боя русской эскадры с германской в Ирбенском проливе в 1917 г. К.С. Ухов возглавил кафедру «Гироскопические и навигационные приборы» в 1945 г. Мне повезло, что годы моего обучения проходили при К.С. Ухове, авторитет и обаяние которого определяли атмосферу кафедры. Мой друг Ю.А. Бурьян написал и оставил на кафедре замечательный портрет К.С. Ухова.

Немного о практиках. Производственную практику мы (четверо) проходили на заводе «Пирометр». Нас определили к рабочему-жестянщику Д.А. Зайцеву (практика необычная, поэтому запомнилась фамилия руководителя), и мы целый месяц делали вентиляционные трубы. Ни одного прибора мы так и не увидели!

Технологическая практика проходила на заводе «Линотип» очень скучно и не по делу. Преддипломная практика (рук. М.М. Богданович) была на Заводе штурманских приборов (Охта). Приборов мы также не видели, но в избытке знакомились с гидрологическими буями. Кстати, за преддипломную практику я получил тройку, так как пренебрег рекомендацией М.М. Богдановича ознакомиться с какими-то бухгалтерскими расчетами. Думаю, что столь необычная оценка по практике носила воспитательный характер.

Б этой заметке я опускаю такие важные моменты студенческой жизни, как общежитие, занятия спортом, туризм (и то и другое в ЛИТМО было организовано отлично). До сих пор храню удостоверение общественного тренера по фехтованию.

Низкий поклон всем преподавателям, которые учили нас, названным и не упомянутым в этих заметках. Уверен, что обучали нас совсем неплохо.

Ю.А.Бурьян

ЖЕЛАЮ ПРОЦВЕТАНИЯ ЛЮБИМОЙ КАФЕДРЕ



Немного о себе – Бурьян Юрий Андреевич – выпускник ЛИТМО 1962 года по специальности гироскопические приборы и устройства. В этом году 50 лет после окончания института и по распределению все выпускнику разъехались по всей стране – вплоть до Арсеньева и Владивостока. За эти годы (декады), к сожалению, потеряны связи со многими сокурсниками, поддерживаю, например, контакт со своим другом и коллегой В.Я. Распоповым.

Учился в аспирантуре ЛИТМО и в 1968 году защитил кандидатскую диссертацию по гирокомпасам (научный руководитель Богданович Михаил Митрофанович), а в 1989 г. – докторскую диссертацию в Совете при ЦНИИ «Электроприбор» (научный консультант М.М. Богданович). В настоящее время профессор, заведующий кафедрой «Основы теории механики и автоматического управления» Омского государственного технического университета. Кафедра выпускает инженеров по специальности «Динамика и прочность машин» с профилем «Динамика подвижных объектов».

Всю свою уже достаточно долгую жизнь храню самые светлые чувства к своим учителям и наставникам в ЛИТМО. Мы, студенты, всегда с восхищением относились к заведующему кафедрой, профессору Ухову Константину Сергеевичу, который для нас был образцом большого ученого с кодексом чести настоящего морского офицера.

Незабываемы лекции К.С. Ухова, П.А. Ильина, В.А. Каракашева., М.М. Богдановича, М.А. Сергеева, а заложенные в ЛИТМО фундаментальные основы знаний по гироскопии и навигации остались на всю жизнь.

Особо хотелось бы сказать самые теплые слова о своем научном руководителе Богдановиче Михаиле Митрофановиче. У него было строгое, но отеческое отношение к аспирантам в процессе работы над кандидатской, а для меня и докторской, что формировало у нас пристрастие к научным исследованиям и стиль научной работы. У меня сейчас есть аспиранты, и руководствуются той же методикой работы, пытаюсь создавать ту атмосферу доброжелательности и творчества, которая была при Михаиле Митрофановиче. Удаётся или нет, не мне судить, но стараюсь приблизиться. Михаил Митрофанович уделял нам, аспирантам, очень много внимания – приглашение домой, долгие прогулки по паркам Ленинграда – только потом я понял, что это не только обсуждение научных проблем, но и формирование, как сейчас говорят, жизненной позиции. И вот в свои годы я низко кланяюсь своим наставникам в ЛИТМО и прежде всего М.М. Богдановичу и всем, кто определял наш жизненный путь в дальнейшем.

С.Ф. Фармаковский, В.А. Каракашев, М.А. Сергеев, В.Н. Дроздович и многие, многие другие (В.И.Ющенко, учебные мастера кафедры) оказали огромное влияние на формирование личности вы-

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

пускника ЛИТМО. И статус выпускника ЛИТМО мы старались сохранить и в спокойные годы, и в «лихие девяностые».

Наверное, все вспоминают студенческие и аспирантские годы в ЛИТМО, как лучшие годы жизни, а для меня это и участие в научных работах кафедры, работа в редколлегии многотиражки «Кадры приборостроению», и т.д., и т.д.

Я хорошо помню, когда мы, студенты, изучая классические роторные гироскопы, даже не подозревали, что те принципы построения гироскопических систем, которые в то время считались «эзотерическими» (камертонные, ДНГ, волоконно-оптические, лазерные и т.д.), а о микромеханических гироскопах даже не упоминалось, могут позднее в значительной степени вытеснить «классику», как это и произошло в настоящее время.

Приятно, что кафедра информационно-навигационных систем, сейчас уже под руководством академика РАН В.Г. Пешехонова, нашла свою нишу в наше непростое время.

Как выпускник ЛИТМО пятидесятилетней давности искренне желаю процветания любимой кафедре.

В.В. Серегин

ОДИН ИЗ МНОГИХ - ОДИН ИЗ ЛУЧШИХ*

Кафедра навигационных приборов, организованная в ЛИТМО в 1937 г., выпустила более 1600 инженеров и подготовила около 40 кандидатов технических наук. Наши выпускники занимали и занимают руководящие должности в различных отраслях промышленности, заведуют кафедрами, являются профессорами и доцентами в вузах. Хочу рассказать об одном из них, которого считаю одним из лучших.

Валерий Залманович Гусинский окончил ЛИТМО по специальности «Гирокопические приборы и устройства» в 1963 г. В то время на кафедре работали профессора К. Ухов и П. Ильин, доценты М. Богданович, М. Сергеев, В. Каракашев.

Своим научным наставником сам В.З.Гусинский считает В. Каракашева, который привлек его, еще студента, к научной работе по исследованию инерциальных навигационных систем.

Молодым специалистом В.З. Гусинский был направлен в ЦНИИ «Электроприбор». Здесь он прошел путь от инженера-исследователя до начальника ведущего научно-технического отдела. Он является одним из основных разработчиков отечественного высокоточного электростатического гирокопа, главным конструктором и научным руководителем ряда важнейших НИОКР, связанных с созданием корабельных систем навигации.

При активном участии В.З. Гусинского были созданы инерциальные системы на электростатических гирокопах для подводных лодок и надводных кораблей ВМФ с уникальными техническими и эксплуатационными характеристиками. Системы были освоены в производстве и внедрены в навигационные комплексы кораблей ВМФ.

В.З. Гусинский — известный ученый в области прикладной механики, внесший крупный вклад в развитие теории инерциальных навигационных систем на неуправляемых гирокопах. Им разработаны научно-практические основы создания корабельных инерциальных систем на электростатических гирокопах, предложены и обоснованы методы их калибровки, выставки и коррекции. Теоретические основы этих разработок изложены более чем в 200 научных публикациях. Логическим результатом этих работ стала защита в 1989 г. докторской диссертации.



Профессор В. З. Гусинский

*Газета «Университет ИТМО». – 2005. № 62 (1567).

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Валерием Залмановичем получено более 130 авторских свидетельств и патентов на изобретения, направленных на создание и совершенствование инерциальных систем и навигационных комплексов для различного типа объектов. Большинство из них используется на практике. В 2004 г. ему присвоено звание «Заслуженный изобретатель Российской Федерации». В 1984 г. он стал лауреатом Государственной премии СССР.

Еще одним признанием заслуг В.З. Гусинского в развитии теории и создания навигационных комплексов стало присуждение ему в 1996 г. премии имени выдающегося конструктора гирокопических приборов Н. Н. Острякова.

Свой богатый научный и практический опыт В.З. Гусинский охотно передает молодому поколению. В 1996 г. ему присвоено ученое звание профессора.

Валерий Залманович Гусинский — пример яркой творческой личности, основы которой были заложены много лет тому назад профессорско-преподавательским коллективом нашего вуза.

И.М. Окон

МОИ УЧИТЕЛИ



Я поступил в ЛИТМО в 1947 году. На первых курсах нам преподавали общеобразовательные предметы выдающиеся учёные: теоретическую механику – Давид Рахмильевич Меркин и Владимир Николаевич Кошляков, тогда молодой человек проводивший с нами практические занятия; математику – ученик В.И. Смирнова Владимир Абрамович Тартаковский; физику – Никита Алексеевич Толстой – сын писателя А.Н. Толстого. Сопротивление материалов нам преподавал декан факультета точной механики Владимир Иосифович Кадыков. На его лекции, как и на лекции Льва Павловича Ривтина по теории машин и механизмов, студенты приходили, как на спектакль, настолько эти лекции были интересны и эмоциональны.

На специальных курсах: Владимир Николаевич Чуриловский, Михаил Михайлович Русинов и Семен Тобиасович Цуккерман преподавали оптические приборы и военно-оптические приборы; автоматическое регулирование преподавал Марк Львович Цуккерман. Мы слушали лекции легендарного Сергея Артуровича Изенбека, закончившего Морской кадетский корпус, участника Русско-японской войны и обороны Порт-Артура, основателя производства приборов управления стрельбой, работавшего в 20-е годы на Заводе 212 и в институте «Электроприбор». Он читал нам курс по приборам управления стрельбой. В наше время он был заведующим кафедрой счетно-решающих приборов.

На последних курсах группу в 22 человека перевели на кафедру навигационных приборов. Руководил в то время кафедрой Константин Сергеевич Ухов, капитан 1 ранга в отставке, профессор, доктор географических наук, который до революции, так же как С.А. Изенбек, окончил Морской кадетский корпус и в годы революции, будучи лейтенантом, перешел на сторону большевиков. Участвовал в спасении русскими моряками жителей итальянского города Мессина в период землетрясения. Он преподавал нам морскую астрономию.

Теорию гироскопических приборов нам преподавали Петр Алексеевич Ильин и Михаил Митрофанович Богданович. Практические занятия проводили тогда аспиранты Марк Антонович Сергеев и Владимир Александрович Каракашев. После смерти К.С. Ухова на посту заведующего кафедрой его сменил С.Ф. Фармаковский. Затем последовательно уже после окончания нами института заведующими кафедрой были М.А. Сергеев и В.А. Каракашев. Наша группа была, как отмечали преподаватели до и после, очень сильной. Многие прошли войну, пережили блокаду Ленинграда и относились к учебе чрезвычайно серьезно.

После получения диплома в апреле 1953 года почти всю группу, численностью 19 человек, направили на завод им. Н.С. Хрущева (ныне ФГУП ПО «Корпус») в г. Саратов. Это было время освоения производства гироскопических приборов типа «Фау-2» для наших первых баллистических ракет.

75 ЛЕТ КАФЕДЕРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Там же в это время был большой коллектив инженеров, направленных из ЛЭТИ. Работали день и ночь и вскоре заняли ведущие позиции на заводе. Здесь с начала 50-х работал бывший главный инженер завода 212 Игорь Борисович Позерн, репрессированный вместе со своим отцом, Борисом Павловичем Позерном по так называемому «ленинградскому делу» после убийства С.М. Кирова. Б.П. Позерн был в 1937–1938 гг. был прокурором Ленинграда и Ленинградской области.

После реабилитации И.Б. Позерна и его возвращения в ЦНИИ «Электроприбор» по его рекомендации я сменил его на посту технического руководителя единственного тогда на заводе сборочного цеха. В этом цехе изготавливались все составные части приборов – вертикальные, горизонтальные и интеграторы, вакуумные гироскопы, потенциометры, маятники, программные устройства, а также проводилась регулировка всех приборов, испытания включая периодические и сдачу заказчику. Эти все приборы были разработаны в НИИ, носящем сегодня имя академика В.И. Кузнецова, который являлся главным конструктором этих приборов. Все ведущие специалисты впоследствии стали докторами наук, лауреатами Ленинских и Государственных премий, Героями Социалистического Труда. Они регулярно бывали на заводе, и мы многому от них научились, что, естественно, сказалось на творческом и организационном росте выпускников кафедры навигационных приборов ЛИТМО. Среди них были А.К. Ваницкий, М.И. Малтинский, Ю.А. Буйняков.

Анатолий Константинович Ваницкий довольно быстро стал начальником СКБ завода, где была сосредоточена вся наука и исследовательские лаборатории. В конце 50-х он сменил на посту генерального директора Бориса Владимировича Бальмонта, который был переведен в Москву и занимал последовательно посты начальника главка, замминистра общего машиностроения и в конце – министра станкостроительной промышленности. Анатолий Константинович был прекрасным директором, крупным специалистом в нашей отрасли. В 60-х его перевели в Москву, и он стал начальником главка, которому подчинялись институты В.И. Кузнецова, Н.А. Пилогина, Ю.А. Мозжорина и другие главные институты ракетостроительной промышленности.

Малтинский Моисей Иосифович начал свою работу на заводе в качестве мастера механического цеха, затем после реорганизации единственного сборочного цеха, о котором я писал и где он впоследствии работал, стал начальником сборочного цеха, где уже собирались не отдельные приборы, а гироплатформы. В определенный период он, не бросая цеха, стал заместителем главного инженера завода.

Юрий Архипович Буйняков после работы на заводе переехал в Миасс, где его назначили директором гирскопического завода. Он достиг больших успехов, будучи также главным конструктором и был удостоен Ленинской премии. На этом заводе также работал главным инженером воспитанник нашей кафедры Владимир Иванович Евстигнеев.

Я проработал на заводе в Саратове 4 года, которые я умножаю на 3, поскольку за все эти годы проводил на работе дни и ночи. В 1957 году был принят в аспирантуру НИИ-303 (сегодня ЦНИИ «Электроприбор»), и вся моя дальнейшая деятельность прошла в стенах этого замечательного института.

П. И. Малеев

В ПАМЯТИ НАВСЕГДА

Мое преподавание в ЛИТМО на кафедре «Навигационные приборы» было кратковременным (около двух лет), но оставило в памяти глубокий след. Для того чтобы было ясно, почему и как это произошло, необходимо кратко ознакомить читателей с тем, что этому предшествовало.

Это был, как тогда считалось, период научно технической революции в нашей стране. Для меня она выразилась, в частности, в неоднократных изменениях направлений и характера работы, связанных в различные годы с возникновением новых перспективных направлений развития в физике.

С окончанием в 1952 году Ленинградского государственного университета по специальности «физик-экспериментатор» в области модной тогда ядерной физики я планировал (и был приглашен для сдачи экзаменов) продолжить образование в аспирантуре Физико-технического института АН СССР (ФИЗТЕХе), куда в это же время поступал и будущий нобелевский лауреат Ж.И. Алферов. Однако я вместо аспирантуры наряду с другими, пригодными для службы в армии выпускниками университетов, по специальному набору был призван в Военно-Морской Флот, получил звание лейтенанта и был направлен для приобретения военных знаний на специальные курсы в Военно-морскую академию кораблестроения и вооружения им. А.Н. Крылова на факультет радиосвязи. Шло обновление технических средств флота, требовалась ускоренная подготовка военных специалистов, а в военно-морских училищах нужных специалистов тогда не готовили.

По окончании курсов в академии вместо службы в подразделениях связи я был назначен преподавателем Высшего военно-морского училища инженеров оружия и до 1960 г. читал лекции по атомному оружию и его поражающим факторам. В 1957 г. принимал непосредственное участие в испытаниях атомного оружия на Новой Земле. В эти же годы (параллельно с преподаванием) мне удалось договориться с руководством Физико-технического института АН СССР о сдаче кандидатского минимума и проведении в лабораториях института экспериментальных исследований. На базе результатов этих исследований подготовил и в 1960 г. в Военно-морской академии защитил диссертацию, стала кандидатом физико-математических наук.

Успешная защита мною диссертации связана еще с одной отличительной особенностью ФИЗТЕХа в те годы. Ввиду нехватки всем сотрудникам института ряда приборов для проведения исследований вместо дневного времени разрешалась работа в ночное время, чем молодые сотрудники (и я с ними) часто пользовались.



В процессе работы над диссертацией мне пришлось освоить (в том числе и экспериментально) ряд новых для меня разделов физики (криогеника, сверхпроводимость, полупроводники и др.), что пригодилось позднее как при подготовке лекций в ЛИТМО, так и в научной работе по вопросам разви-тия средств навигации.

После защиты диссертации был направлен старшим преподавателем в Каспийское высшее военно-морское училище (г. Баку) для проведения занятий по ядерной физике, дозиметрическим приборам и ядерным энергетическим установкам подводных лодок, которые в эти годы стали поступать на флот. За время преподавания в училищах подготовил и издал «Сборник задач по ядерной физике» и в соавторстве книгу «Детекторы ядерных излучений» и три учебника для курсантов по ядерной физике и ядерным энергетическим установкам подводных лодок.

В 1962 г. характер моей работы снова резко изменился. Я был направлен на научную работу в Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт Министерства обороны (Ленинград), где мне, как физику, было поручено вести поиск и исследования новых физических явлений, принципов и эффектов в интересах создания высокоточных, скрытно работающих средств навигации. Благодаря использованию на подводных лодках (ПЛ) ядерных энергетических установок возможность их подводного плавания без всплытия значительно увеличилась, что потребовало улучшения для них многих технических средств в том числе и средств навигации, в первую очередь автономных. Для повышения скрытности ПЛ необходимо было значительно увеличить промежуток времени между их всплытиями для уточнения местоположения, а также точность выдачи навигационных и динамических параметров оружию и другим потребителям. Эти задачи могли быть решены прежде всего при использовании гирокомпьютерных систем.

В то время гирокомпьютерные системы для морских объектов строились на шарикоподшипниковых и поплавковых гироконах и гироконах с газовым подвесом ротора. Эти гироконы не удовлетворяли предъявляемым требованиям. А возможности повышения их точности и срока службы были ограничены. Особенно жесткие требования к гирокомпьютерским элементам предъявляют инерциальные навигационные системы, которые в это время начали получать широкое развитие. Эти обстоятельства привели к острой необходимости поиска возможных путей создания гироконов на иных принципах. В ведущих странах мира в эти годы были развернуты широкие исследования по их созданию.

Проведенный мною предварительный анализ отечественной и зарубежной информации позволил выявить значительное число направлений возможного развития гирокомпьютерических элементов. Учитывая важность проведения работ по созданию таких элементов с требуемыми высокими параметрами, к решению проблемы подключили ряд институтов АН СССР, союзных республик и промышленности, которым были заданы поисковые НИР. Кроме того, при АН СССР был создан «Научный Совет по проблемам навигации и автоматического управления» во главе с академиком Б.Н. Петровым В Совет входило 10 секций, работа которых охватывала практически все известные к тому времени новые научные направления, имеющие отношения к навигации и управлению подвижными объектами, в том числе секции «Навигационные системы и их чувствительные элементы» (председатель чл.кор. АН СССР Б.Е. Черток), «Использование новых физических явлений и принципов» (председатель акад. С.Н. Вернов) и Ленинградская секция «Навигационные системы и их чувствительные элементы» (председатель проф. С.Ф. Фармаковский). В работе этих секций я принимал непосредственное участие.

Развитие работ в данном направлении диктовало необходимость введения соответствующих курсов и в специализированных вузах страны. Поскольку к концу 60-х годов прошлого века я обладал значительной информацией о состоянии развития гироконов на новых физических принципах заведующий кафедрой «Гирокомпьютерные и навигационные приборы» в ЛИТМО (и по совместительству главный инженер Ленинградского производственного объединения «Азимут») профессор С.Ф. Фармаковский предложил мне, в то время капитану 3-го ранга, подготовить и читать в институте (по со-

ВОСПОМИНАНИЯ

вместительству) курс лекций по этой тематике. Имея 8-летний опыт преподавания в высших военно-морских училищах, я согласился.

Необходимо отметить некоторые особенности данного курса лекций. Прежде всего, рассматриваемые в нем вопросы охватывают широкий круг различных физических явлений, эффектов и принципов от микромира до макромира, что для освоения требует определенных знаний по широкому кругу научных направлений, не все из которых изучались в школе. Кроме того, разбросанность материала по многим публикациям в значительной степени затрудняла подготовку лекций, а отсутствие каких-либо пособий по курсу вело к необходимости их конспектирования. Необходимо учитывать также и разнообразие требований, предъявляемых к гирокопическим чувствительным элементам со стороны потребителей.

Эти особенности курса лекций проявлялись, в частности, при приеме по нему зачета. В отличие от курсантской аудитории, с которой я имел дело до этого, студенческая менее организована. Конспекты были не у всех. А отсутствие конспекта при подготовке этими студентами зачета заменить было нечем. Это приводило к тому, что некоторым из них приходилось делать не одну попытку при сдаче зачета. Я отказался от продолжения вести данный курс лекций. Вместо этого на основе прочитанных лекций подготовил и в 1971 г. издал книгу «Новые типы гироскопов», которая получила одобрение специалистов и была, как мне стало известно, переведена в Китае. Так закончилась моя педагогическая деятельность в ЛИТМО, хотя научные контакты с профессорско-преподавательским составом института (в том числе других кафедр) по использованию в интересах навигации новых физических явлений, эффектов и принципов продолжились.

К настоящему времени мною выявлена возможность создания более 30 различных типов гирокопических чувствительных элементов, отличающихся один от другого в первую очередь физическим явлением или эффектом, заложенным в основу их работы, и более 50 подтипов или вариантов, различающихся менее существенными признаками.

B. M. Лесючевский

ЛЮДИ, С КОТОРЫМИ МНЕ ПОСЧАСТЛИВИЛОСЬ БЫТЬ РЯДОМ



После грандиозного здания бывшей Биржи труда на проспекте Максима Горького, где располагалась часть Института точной механики и оптики, где я учился первые три года, здание для старших курсов в переулке Грициова показалось мне весьма скромным. Что я тогда представлял о своей будущей профессии? Немного. Впервые слово гироскоп я услышал от отца моего институтского приятеля Лени Старосельцева. Тот имел некое отношение к проектированию приборостроительных заводов и нам говорил, что самая передовая технология и наука сосредоточена именно в гироскопическом приборостроении. Потребность создавать что-то новое и быть в научном поиске мной уже осознавалась. Да и

время было такое, в стране культивировалось уважительное отношение к науке и поощрялось и словом, и деньгами. Были и соответствующие этому духу преподаватели. С начала учебы в ЛИТМО мне запомнились наши преподаватели – по высшей математике Алексей Федорович Андреев и по теоретической механике профессор Георгий Дмитриевич Ананов. Конструкторская и технологическая подготовка была великолепной благодаря многочисленным курсовым работам. Недаром многие выпускники института попадали в ЦНИИ «Электроприбор» и становились весьма успешными конструкторами.

Сильнейший была и кафедра вычислительной техники, хотя в то время основным вычислительным инструментом инженера была логарифмическая линейка, а бортовые вычислители гироскопических систем были, по сути, аналоговыми и использовали вращающие трансформаторы во всевозможных следящих приводах. Теорию автоматического регулирования нам преподавал мноюуважаемый профессор И.П. Пальтов.

Без таланта преподавания не было бы у нас необходимых знаний в перечисленных областях, а без них невозможен успех в профессии гироскопического приборостроения.

Наše знакомство с кафедрой началось с лекций профессора Петра Алексеевича Ильина. Они основывались на книге «Гироскопические приборы и устройства», написанной им совместно с М.М. Богдановичем, поэтому они были хорошо структурированы и понятны. Занято, что каждая лекция у него начиналась с напутствия: «Берегите время, молодые люди, оно так быстро уходит».

Иное дело – лекции заведующего кафедрой, профессора Сергея Федоровича Фармаковского. Первый раз мы его увидели при высоких наградах – лауреата Сталинской и Ленинской премий. Он был в то время заместителем директора по науке в ЦНИИ «Электроприбор». Его лекции были, скорее, страницы из его богатой производственной и научной жизни. Запомнился его рассказ, как сдавался артиллерийский стрельбовый комплекс одного из боевых кораблей. Вечером специалисты

ВОСПОМИНАНИЯ

отрегулируют систему прицеливания комплекса, на следующий день стреляют и не могут его сдать заказчику, поскольку получается большой промах. Потом выяснилось, что из-за нагрева борта корабля солнцем и его линейного расширения настройки оптики комплекса днем сбивались. Нам это говорилось в назидание, что необходимо видеть не только мелкие подробности в своем деле, но и пытаться охватить все в целом. Очень важное наблюдение, которое я осознал позже и сам.

Самыми, так сказать, «вкусными» были лекции доцента Владимира Александровича Каракашева. Импозантный, с сединой, но моложавый, немножко похожий на Альберта Эйнштейна, позволявший себе на лекции закурить сигарету, он был очень для нас интересен. Не только тем, чтобы посмотреть, как изящно он вскрывал сигаретную пачку, срывал пластиковую обертку и затем использовал ее для мелка, чтобы не запачкать руки, но своим желанием научить нас видеть общие свойства в различных гироскопических устройствах. Хотя курс его лекций относился к теории инерциальных навигационных систем, он увязывал друг с другом свойства гироскопов и ИНС. Неудивительно, что мне с Л. П. Старосельцевым пришло в голову принять участие в работе студенческого научного общества на кафедре под руководством В.А. Каракашева. Учились мы отлично и были приняты в СНО. В аспирантуре в то время у Владимира Александровича училась Светлана Романенко, ставшая потом известным специалистом в области гироскопов с электростатическим подвесом ротора. Сам В.А. Каракашев тогда работал над своей докторской диссертацией по теории погрешностей ИНС.

Мне для исследования досталась геометрическая ИНС на неуправляемых гироскопах, Леониду – ИНС полуаналитического типа. Впервые я смог провести моделирование погрешностей ИНС на аналоговой вычислительной машине МН17 и увидеть их реализации в виде графиков. Машина имела наборное поле, где роль интеграторов выполняли конденсаторы, а масштабных коэффициентов и сумматоров – усилители. Система дифференциальных уравнений погрешностей ИНС набиралась в виде электрической схемы, переходные процессы в которой выводились на осциллограф. Я это описываю, потому что все уже ушло в небытие и представляет собой далекую, но, может быть, кому-то интересную историю.

На кафедре обучались две группы студентов. Я был старостой группы, в которой учился отличник Олег Анучин, через много лет ставший доктором наук и профессором. В другой группе, где старостой был Леонид, учился другой отличник – Геннадий Емельянцев. Он тоже стал доктором наук и профессором на нашей кафедре.

Олег, спортсмен-горнолыжник, был очень одаренным человеком. Ему все давалось легко, особенно освоение новых областей знаний. Я думаю, что в нем пропал дар блестящего конструктора. Он так ловко и изящно конструировал, что никто в этом не мог с ним сравниться на нашем потоке. Я уверен, что это гены его родителей – они работали в конструкторском бюро «Рубин» и были оба очень уважаемыми специалистами. Но был у Олега и недостаток – курил страшно много. Когда он через несколько лет после окончания института поступил в аспирантуру к Каракашеву, заходить к нему в комнату стало просто невозможно из-за густого табачного дыма. У Олега была в обиходе дурацкая поговорка «Кто не курит и не пьет – тот здоровеньким умрет». А умер он в 57 лет после тяжелой и продолжительной болезни.

После защиты диплома в феврале 1970 года мы с Леонидом Старосельцевым были распределены в ЦНИИ «Электроприбор». Я попал к Борису Дмитриевичу Жаркову, а Леонид – к Исааку Марковичу Окону. Оба мы занимались темой инерциальных навигационных систем полуаналитического типа, но на конкурирующих системах, построенных на разных гироскопах.

Из нас четырех только Геннадий оставил в аспирантуре на нашей кафедре. Геннадий перед окончанием аспирантуры ушел на флот и стал служить офицером в войсковой части, ведущей научное наблюдение за разработками ЦНИИ «Электроприбор». Успешно защитил кандидатскую диссертацию первым из нас. Я потом с ним, как с наблюдавшим, весьма плодотворно сотрудничал, будучи разработчиком ИНС на электростатических гироскопах. Докторскую степень Г.И. Емельянцев получил по результатам своего вклада в создание и внедрение на флоте

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

навигационного комплекса, содержащего корректор на электростатических гироскопах. Его опыт был для нас тогда весьма важен при разработке системы следующего поколения – на ЭСГ. Могу теперь смело сказать, что лучшего наблюдающего от ВМФ для нас за многие годы не было. С уходом Геннадия в отставку мне стало много труднее работать. В выигрыше оказался ЛИТМО – на нашу кафедру пришел опытный офицер, знающий не только как разрабатывались сложные системы, но и как они используются на флоте.

Я перескочил через большой период времени. Возвращаясь назад, хочу еще вспомнить события 1969 года – полет и высадку американцев на Луну. Нам, студентам старших курсов, показали в конференц-зале уникальный цветной фильм об этом полете. Больше его в России я нигде не видел. Только здесь, в Германии.

Вот, пожалуй, все, что мне запало в душу, вспоминая о том времени и людях, с которыми мне посчастливилось в те годы быть рядом.

Т. В. Падерина

МНЕ ОЧЕНЬ ПОВЕЗЛО

Я всегда хорошо училась, и в школе, и в институте. Все давалось легко. Зачетка пестрела пятерками, одни предметы сменялись другими, а где-то внутри все чаще и чаще возникал вопрос: «Что я тут делаю? Зачем мне это надо?». Я поглощала «килограммы» информации, какая-то ее часть, конечно, оставалась и как-то формировала меня, но практически ничего, как сейчас говорят, «не цепляло». Так продолжалось до 5 курса. На 5 курсе появился новый предмет «Бортовые информационно-измерительные системы», который начал вести доктор технических наук профессор Владимир Александрович Каракашев. И все изменилось.

Последствия я часто задумывалась над тем, что же такое было в В. А. Каракашеве, что его предмет так заинтересовал меня и стал профессией. Безусловно, Владимир Александрович был очень ярким преподавателем. Он буквально завораживал и своим голосом, и своей очень эффектной внешностью, и, конечно, содержанием своих лекций. Я вспоминаю эти лекции – в полнейшей тишине звучит красивый голос Владимира Александровича, с удивительной выразительностью повествующего о системах навигации. Все основное и наиболее существенное он умел облекать в очень четкие формулировки, которые помнятся и сейчас. Лекции были великолепны и по содержанию, и по своему внутреннему накалу.

Да, В. А. Каракашев был прекрасным педагогом и мог четко и ясно донести сложные вещи. Но было еще и другое. Невозможно никого заинтересовать, если сам не заинтересован, невозможно никого зажечь, если сам не горишь. В. А. Каракашев был не просто педагогом, его искренне интересовало все, что касалось предмета, который он преподавал, он продолжал писать научно-технические статьи, он оставался исследователем, он оставался ученым.

В общем, нет ничего удивительного, что после окончания института я поступила в очную аспирантуру ЛИТМО и стала аспиранткой Владимира Александровича.

В это время на кафедре появился еще один ученый – Олег Николаевич Анучин, ставший впоследствии профессором, доктором технических наук, ведущим специалистом в области теории построения и исследования инерциальных навигационных систем (ИНС). С приходом О. Н. Анучина нас стало трое (да прости читатель некоторую вольность) – он, В.А. Каракашев и я. Хотелось бы найти нужные слова, которые могли объяснить, что же нас троих, таких разных, объединяло. Прежде всего, это, наверное, интерес к изучению и исследованию ИНС. Я много раз присутствовала, а иногда и сама принимала участие в дебатах, касающихся того или иного представления ошибок ИНС, которые



75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

часто вели В.А. Каракашев и О.Н. Анучин. Обычно споры начинались у доски и проходили очень эмоционально. Надо было видеть их разгоряченные лица, сверкающие глаза. Владимир Александрович и Олег Николаевич, доказывая что-то, могли кричать, даже перебивать друг друга, но одно было ясно – оба им это очень нравилось. Это была их страсть, это была их жизнь.

И вот что интересно, не помню, чтобы меня кто-то учил в традиционном смысле – что-то задавал и спрашивал. Больше всего я учила, просто присутствуя рядом с ними, впитывая атмосферу, которая царила на кафедре, а может быть, подключаясь к их состоянию и отношению к делу, которые они очень любили.

За время моей учебы в аспирантуре мы с В.А. Каракашевым и О.Н. Анучином стали представлять некое единство, которое жило по своим законам, где роли ученика и учителей все время менялись – ученик мог на время стать учителем, учитель – учеником. Мы многое делали втроем: вместе что-то обсуждали, вместе шутили, вместе пили кофе. Вместе нам было комфортно, мы нуждались друг в друге, понимали друг друга. Если кто-то из нас отсутствовал, то это уже ощущалось физически.

Никогда не забуду одну историю. Как-то я пришла на кафедру, и у меня резко заболел желудок. К концу дня боль была уже невыносимой, и Каракашев вместе с Анучиным решили проводить меня до ближайшей поликлиники, которая находилась на Большом проспекте Петроградской стороны. Я вспоминаю – поздняя осень, холодно, мы вместе стоим на остановке около ЛИТМО и ждем трамвай. Чувствую себя очень плохо. И тут оба, Каракашев и Анучин не сговариваясь, начинают смеяться надо мной, над моим измученным, «зеленым» лицом, над моим состоянием. Причем они делают это так весело и заразительно, что я, сначала внутренне возмутившись их дурацким шуткам, в итоге начинаю смеяться вместе с ними. Удивительно, но, когда я зашла в кабинет врача, боли уже не было...

Да... Изумительные, прекрасные люди. Мне, наверное, очень повезло, что они были рядом со мной и я всегда чувствовала их поддержку.

С огромной теплотой вспоминаются студенческие и аспирантские годы в ЛИТМО, годы благородного развития духа, верности традициям, чувства единения в институтской среде.

Со славным юбилеем, родная кафедра! Светлая память ушедшим в вечность профессорам и здоровья на долгие годы нынешним здравствующим наставникам и всем ее питомцам.

Я.И. Ходорковский

МОЯ СТУДЕНЧЕСКАЯ ЮНОСТЬ



В этом году исполняется семьдесят пять лет со дня основания кафедры информационно-навигационных систем. Поэтому основная часть сборника посвящена описанию значительного вклада преподавателей и выпускников кафедры в теорию и практику создания отечественных навигационных приборов и систем.

А мне бы хотелось в этот сборник, в меру моих сил, внести некоторую лирическую нотку и пригласить читателей вернуться на некоторое время назад, когда мы, я и мои однокашники, были молodyми. А закончили мы институт сравнительно недавно, всего с полвека будет. Какие же это были чудесные, веселые годы, годы студенчества!

Разумеется, мы ходили на лекции, писали контрольные, корпели над курсовиками, сдавали экзамены, но ведь за окнами института бурлила жизнь. Уже само расположение ИТМО (в мои годы ЛИТ-

МО) создавало огромные трудности для непрерывного поглощения знаний. В самом деле, напротив – кинотеатр «Великан», в котором показывают фильмы, которые невозможно не посмотреть. Однажды там даже проходил фестиваль американских фильмов! Мы точно знали, что завтра будут показывать днем знаменитый фильм Сидни Люмета «Двенадцать разгневанных мужчин», но, к сожалению, не мы одни оказались такими информированными. Меня, секретаря комсомольской организации курса, пригласил к себе зам. декана Лев Самойлович Немчинок и сказал: «Яша, я надеюсь, что завтра, на лекциях будет больше, чем двенадцать разгневанных мужчин. Хорошо?» Что поделаешь, пришлось учиться. А рядом с «Великаном» – чудо современной кинотехники – Стереокино, тоже соблазн. Птички летают, девушки танцуют и все, как живое. Ну не хотите вы в кино, хотите чего-нибудь более природного, естественного. Пожалуйста. Пять минут ходу, и вы в Зоологическом саду! А там лев, которому мы дали кличку Серогодский. Вы спросите – почему? А потому, что этот лев был потрясающе похож на заведующего военной кафедрой капитана первого ранга Серогодского. Однажды мы оказались в зоопарке при уникальном событии: лев Серогодский при всем честном народе пытался соблазнить львицу. Около клетки бегал какой-то восточный мужчина с фотоаппаратом и кричал: «Граждане! Это же исторический факт!» Ну разве можно сравнить такое зрелище с лекцией по теории машин и механизмов (предмету, в просторечии именуемому «Тут моя могила»).

А какие вечера были в нашем институте! Весь студенческий Питер стремился попасть к нам на вечера, а все почему, а потому что у нас был Свой Литмовский Диксиленд! Как Горбатюк, по прозвищу Тетя, «слабал на саксе»! Это незабываемо.

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Вот, в какой «напряженной» обстановке мы овладевали знаниями. Но если теперь возвратиться к серьезному, юбилейному тону, то можно засвидетельствовать, что кафедра безусловно дала нам знания, которые позволили достаточно быстро влиться в число разработчиков навигационной техники на ведущих предприятиях нашего города и не только. Среди моих однокашников есть кандидаты и доктора наук, среди которых мне приятно назвать доктора технических наук Ландau Бориса Ефимовича, статью которого вы прочтете в настоящем сборнике.

В заключение мне хочется поздравить преподавателей и выпускников кафедры с прекрасным юбилеем и пожелать дальнейших успехов во всех разнообразных направлениях их деятельности.

В дополнение к моему краткому приветствию предлагаю вниманию читателей ностальгические рассказы о временах моей и моих друзей студенческой юности.

На картошке

Чуть ли не до четвертого курса каждый учебный год в моем родном ЛИТМО начинался одинаково. Отдохнувшие и соскучившиеся друг по другу студенты радостно встречались в институте. Начинались занятия. Но проходило несколько дней или недель, и вдруг на лекции появлялся некто из деканата и объявлял нам, что завтра или, как максимум, послезавтра мы отправляемся в колхоз. И мы, молодые балбесы, кричали ура, хотя, по идее, должны были пребывать в тоске и скрущаться, что нам помешали грызть гранит науки.

Так случилось и на этот раз, правда, позднее, чем обычно, был уже октябрь. Нашу группу отправили на картошку в глухомань, в маленьку деревню в Сланцевском районе. Девчонок расселили по избам, а мы, мужики, жили в бывшей конюшне, длинном сарае, где были сколочены нары, на которые были накиданы соломенные матрасы. Довольно жуткое строение, да еще и крысы бегали огромные. Мерзко. Картошку мы собирали за картофелекопалкой, которую тянула лошадка. На козлах сидела тетка и понукала она лошаденку, обильно используя все огромные возможности русского языка. Но не учла тетя, что среди нас есть истинные интеллигенты, не выносящие плохих слов. Одним из таких нетерпимых был Яша. Он приехал в Ленинград из города Гродно. Человеком он был способным и учился прекрасно, только вот говорил с ужасающим местечковым акцентом и очень темпераментно. После очередной тетиной колоритной тирады Яша решительно подошел к ней и сказал: «Если вы не прекратите ругаться матом, я вас выведу с поля!». Тетя и лошадь остолбенели. Все, кто был поблизости и слышал Яшино выступление, покатились со смеху. Особенно эффективно звучала Яшина угроза «вывести тетю с поля». Пое было бескрайним. Через минуту тетя пришла в себя и с еще большим усердием продолжила движение, используя, разумеется, ту же привычную лексику. Пришлося нам объяснять расстроенному Яше, что тетя это делает не со зла, а просто потому, что лошадь иначе не идет. Она другого языка не знает.

А тетенька, водитель кобылы, и в самом деле была добрая. Ей было жалко городских парней и девчонок, непривычных к тяжелому сельскому труду. И чтобы нас подбодрить, она довольно часто, обернувшись к нам, с улыбкой произносила гениальную фразу: «Ничего, ребята! Отдохнем, когда сдохнем!». И эта «оптимистическая» сентенция, как ни странно, действительно поднимала нам настроение.

С каждым днем становилось холодней. Земля мерзлая, а по утрам вообще покрыта инеем. Очень хотелось быстрее отсюда сгинуть, но как? Вот вопрос. Я был бригадиром и считал, что должен добиться этого во что бы то ни стало. Казался я себе тогда человеком бывшим и решительным. Поставлю, думаю я, колхозному бригадиру бутылку, и дело в шляпе, он нас быстренько отпустит. Как решил, так и сделал. Выпили мы с ним бутылку. Поговорили за жизнь, и что? А вот что. Понравилось ему пить на халву, да еще со мной, городским, общаться. Наладился каждое утро приезжать на наше поле. Приедет и зовет меня: «Яков, собирайся. Надо в центральную усадьбу съездить за кормами. Мне одному не управиться». Перед ребятами, конечно, совестно, но ведь, с другой стороны, я же не

ВОСПОМИНАНИЯ

для себя стараюсь. Приезжаем в центральную усадьбу, бригадир говорит: «Я вправление только за скочку и мигом на склад. А ты бы пока смотался в магазин, взял бы бутылек, другой». Обратно возвращались мы с ним уже другим порядком. Я правил кобылой, которую звали чудным именем Малина, а бригадир валялся в телеге и горланил песни. Однажды после такой поездки обнаружил себя ночных спящим на поле в стогу. Проснулся от холода. А надо мной звездное небо. Андрей Болконский, мать честная, в ватнике. Все мои разговоры насчет отъезда бригадир горячо поддерживал и обещал клятвенно, что вот только эту делянку закончим и все. А потом образовывалась еще одна последняя делянка и еще. Кончилось дело таким образом. Во-первых, я пропил с ним все свои деньги, во-вторых, жена бригадира пожаловалась на меня в сельсовет, что я спаиваю ее мужа. Короче, с пьянистом было покончено. А в это время до нас дошли слухи, что ребята, работающие в других отделениях колхоза, уже уезжают домой. Это, наверное, те, которые не спаивали бригадиров. Вот тут мои мужики уже завелись всерьез, и, когда бригадир очередной раз появился на поле, мы его окружили, и Борька Голубев, мужественный парень, похожий на артиста Урбанского, спокойным голосом объяснил бригадиру, что, если он нас до конца недели не отпустит, мало ему не покажется. Тот побледнел и все сразу понял. Спрашивается, какой дурак в деканате назначил бригадиром меня, а не Бориса, человека, прошедшего армию, да и старше меня года на три.

После этой воспитательной беседы с бригадиром мы через день все-таки уехали в Питер. Правда, благодаря моей жуткой деятельности по спаиванию колхозного начальства, уехали последними из всех групп нашего курса. Да еще потом, уже в институте, до меня доходили слухи, что я в колхозе совсем спился. Вот люди. Для них же старался, а они про меня такое.

Мы – моряки

Мы шли строем по главной улице славного города Североморска на репетицию в Дом офицеров. Ветер с моря трепал ленточки бескозырок. Настроение было отличное. Слева от строя шел наш любимый преподаватель военной кафедры капитан второго ранга Владимир Тихонович Балыдин. С его приездом в Североморск и были связаны чудесные изменения нашей здешней жизни.

А начиналось все достаточно уныло. Североморск встретил нас дождем и ветром. И сразу все капникулярное настроение улетучилось. Еще несколько дней назад мы с друзьями купались в Днестре, улетали ворованные в колхозе груши и яблоки и были беззаботны и счастливы. Все кончилось. Мы на военных сборах. Сейчас нас поведут в Экипаж. Там мы снимем свою штатскую одежонку и выйдем оттуда уже не студентами, а матросами Северного флота.

Всех студентов нашего курса раскидали по три-четыре человека на разные корабли. И началась служба. Побудка, построение, приборка. До сих пор в памяти команды, кажущиеся поначалу таинственными: «Палубы проверить и прибрать!», «Медь драить, резину белить!» и лучшая из команд: «Команде obedat!». Кстати, до сборов я был в полной уверенности, что палубой является только, извините за выражение, пол на самом верху корабля, поэтому команда «палубы проверить» была мне абсолютно непонятна. Вообще мы все и я в частности были людьми, весьма далекими от флота, поэтому в первые дни иногда возникали напряженные моменты в общении с моряками. Так, сидя за обеденным столом и желая установить более непринужденные отношения с сидящими рядом матросами, я спросил: «Скажите, пожалуйста, а повар на корабле профессиональный?» На что мне был дан на удивление вежливый ответ: «Повара на борту не держим. У нас кок».

Самым ужасным, пожалуй, было обязательное присутствие на политзанятиях. «Матрос Иванов, покажите на карте столицу нашей Родины Москву». Кошмар. Я даже ходил к замполиту, предлагал ему, чтобы мы прочли какие-нибудь лекции морякам вместо этого идиотизма, как ни как, уже сдали кучу экзаменов по марксизму-ленинизму, но замполит был непреклонен, и мы маялись вместе с матросами.

В один из первых дней сборов мне понадобилось зачем-то выйти на пирс, около которого стоял наш противолодочный корабль. На пирсе лежали несколько шлюпок, за которыми, как мне показа-

лось, кто-то прятался. Я оказался прав. За одной из шлюпок я обнаружил лучшего друга Левчика. Он и еще трое ребят оказались на сторожевике, стоящем с другой стороны пирса. Лева был грустный и грязный, в руке держал скребок. А картину завершала бескозырка размера на два меньше, чем надо было большой шахматной голове моего друга. Нужного размера в экипаже Северного флота не нашлось, поэтому Лева был похож на поросенка Нуф-Нуфа из мультика. Ему дали задание отдраниТЬ эти шлюпки, что он нехотя и исполнял.

В общем, по всему выходило, что сборы у нас будут гнусные и скучные, как вдруг, примерно через неделю, все изменилось как по мановению волшебной палочки. Вместо преподавателя нашей военной кафедры капитана третьего ранга Ф., личности бесцветной и никакого к нам отношения не желавшей иметь, в Североморск прибыл капитан второго ранга Владимир Тихонович Балыдин.

Прежде всего несколько слов о Балыдине. Ему было тогда, я думаю, лет сорок пять. Статный, высокий, красивый, и, о горе женщинам, его щеку украшал мужественный шрам. Преподаватель он был отличный, дело знал, а кроме того, обладал отличным чувством юмора и умел построить со студентами такие отношения, когда его не боялись, но уважали, и слово его было законом. Таков был наш командир.

Итак. На корабле была большая приборка, и я без особого энтузиазмаdraил палубу шваброй, как вдруг по громкой связи прозвучала команда: «Матросу Ходорковскому прибыть срочно к трапу!». Призываю и наблюдаю, как командир корабля (капитан третьего ранга) отдает рапорт старшему по званию – капитану второго ранга Балыдину. Балыдин принимает рапорт, разговаривает несколько минут с командиром, после чего подзывает меня, здоровается за руку и говорит, что пора уже заниматься делом. Я не очень понимаю, что он имеет в виду, тогда Балыдин объясняет мне, что в прошлом году предыдущий курс привез со сборов кучу грамот за концерты художественной самодеятельности. «Мы сможем сделать что-нибудь похожее?». Вопрос! Я же старый агитпоходчик и исходил с друзьями половину Ленинградской области с концертами.

Не откладывая дела в долгий ящик, мы с Балыдиным отправились по кораблям, собирая концертную бригаду. Ребята, разумеется, были готовы на все – петь, плясать, читать стихи, только бы по дальше от приборок, политзанятий и строевой подготовки.

И началась новая, прекрасная жизнь. Поскольку нехитрый репертуар концертов был у меня в голове, а среди ребят, которых я отобрал, многие тоже ходили со мной в агитпоходы, особых забот с программой концерта не возникло. На роль конферансье был сразу же и без всяких сомнений назначен Лев, высокий парень с зычным голосом и пронзительными черными глазами.

Программа нашего концерта была разношаровая. Мы лихо танцевали, читали стихи, показывали идущую с неизменным успехом сценку «Хирург» из репертуара А. Райкина, когда хирург забывает ножницы в животе оперируемого, пели хором и дуэтами.

Как это ни странно, наши концерты пользовались успехом. Мы выступали на кораблях и даже (верх нахальства) на сцене самого североморского Дома офицеров. Грамот мы действительно нахваливали кучу, и Балыдин был доволен.

Наш концертный успех на сбоях аукнулся нам на следующий год. Приближался праздник – День Советской Армии и Военно-Морского Флота. Недели за две до праздника, в конце занятий на военной кафедре все тот же В.Т. Балыдин объявил с металлом в голосе: «Товарищи студенты. В субботу в актовом зале института состоится праздничный вечер. Прошу всех прибыть на вечер с боевыми подругами». Раздалось дружное ржание товарищей студентов, однако в этом году нас ждал госэкзамен, и особо раздражать командиров демонстративной нянькой на вечер не хотелось. После своего объявления Балыдин сказал, что все свободны, а меня попросил остаться. Я уже понял, что ему от меня надо, – организовать праздничный концерт.

Программу концерта я подготовил довольно быстро. Она был достаточно заурядна, не очень я напрягался, но был один из номеров, который выделялся среди других. Концерт вел, конечно, тот же Лев. Дня за два перед концертом Льва отыскал преподаватель военной кафедры, капитан третьего ранга Т., мужчина чрезвычайно строгий, мы его побаивались, и вручил Леве свой рассказ с просьбой

ВОСПОМИНАНИЯ

прочитать его на вечере. Оказалось, что он еще и писатель. Мать честная! Рассказ был длинющий и ужасно патриотический, разумеется, про войну. Отказать было нельзя, выучить наизусть невозможно. Договорились с Левой, что я сяду за занавесом и буду сублировать. Рассказ такой. Советский моряк остался один в живых после того, как фашисты потопили его корабль, и вот он плывет в открытое море и силы его на исходе. Как вдруг он видит вдали большой пароход, который идет в его сторону. Он может спастись! Но, о ужас! Моряк замечает, что на пути корабля плавает рогатая мина! Что делать? Корабль приближается, еще минута, и будет поздно, и моряк принимает решение. Он подплывает к мине, хватается за ее рога (гальваноударные колпаки) и ...бах! Вечная память герою. Корабль спасен.

Это краткое содержание, а фактически рассказ был рассчитан минут на двадцать чтения. Левина роковая ошибка заключалась в том, что он сразу начал очень громко. А по интриге рассказа звук-то надо было прибавлять и прибавлять в соответствии с ростом драматизма. Лева еще прибавил. Я сублирую почти в полный голос. Минут через пять бедный Лева начал хрюкать, а народ в зале похохотывать. Героическую концовку рассказа было почти не слышно, но Лева все же дохрипел рассказ и обессиленный ушел за занавес, где упал на стул в изнеможении. В зале стоял хохот и гром аплодисментов.

Ну вот и весна пришла. Птички чирикают. Воздух. Листочки. А у нас — госэкзамен по военному делу. Дали на подготовку уйму времени, дней двенадцать. Согнали весь курс в одну аудиторию в корпусе на проспекте Максима Горького. Сидим, учимся, помираем от тоски. А сбежать оттуда особо не получается, потому что все время заходит дежурный преподаватель кафедры, а кроме того, у каждого выданная с утра под расписку секретная тетрадь с лекциями.

Окна аудитории выходят на Сытный рынок. Той весной самым убойным шлагером была песня: «В жизни раз бывает восемнадцать лет». Вот ее-то, разумеется, на невыносимой громкости, мы и были вынуждены слушать целыми днями.

А если без шуток, экзамен предстоял серьезный. Мы должны были подготовить весь материал, который был нам сообщен на военных занятиях в течение трех лет, и в том числе даже то, что нам преподавали еще на втором курсе в старом здании ЛИТМО на переулке Демидова. Чтобы поднять эти давно забытые темы, надо было туда ехать, чего нам, конечно, не хотелось.

Сдали мы экзамен неплохо. Закончилась наша военная подготовка. Теперь мы младшие лейтенанты запаса ВМФ СССР. Какое счастье, что запаса!

Л. И. Попкова

КОМАНДЫ МОЛОДОСТИ НАШЕЙ



В пятидесятые годы двадцатого века Ленинградский институт точной механики и оптики (ЛИТМО) славился не только своими научными исследованиями и высоким уровнем подготовки специалистов, но и своими спортивными достижениями. Высоких результатов добивались баскетболисты, легкоатлеты, футболисты, гимнасты, лыжники, гребцы, борцы, шахматисты и т.д. В достижении этих спортивных успехов очень велика роль тогдашнего заведующего кафедрой физкультуры и партторга ЛИТМО Пашковского Н.Ф. Практически все спортсмены хорошо учились и впоследствии достигали высоких результатов в профессиональной деятельности по полученной в институте специальности.

Одной из лучших студенческих команд Ленинграда и СССР в 50-е-60-е годы была женская баскетбольная команда ЛИТМО. Неоднократный чемпион вузов Ленинграда, она занимала призовые места в первенствах СССР среди высших учебных заведений (2-е место на Всесоюзной спартакиаде студентов в 1957 году, 3-е место на Всесоюзной спартакиаде студентов в 1960 году). Некоторые игроки женской баскетбольной команды ЛИТМО входили в сборные команды СССР, профсоюзов, Ленинграда, а также в состав команды класса «А» ДСО «Буревестник», которая была неоднократным призером первенств СССР и чемпионом Ленинграда.



ВОСПОМИНАНИЯ

Успехи баскетболисток и баскетболистов ЛИТМО были обеспечены замечательными тренерами-педагогами В.А. Кудряшовым, Н.И. Соловьевым, Н.А. Синяковым. Особенно велик вклад В.А. Кудряшова.

На фото женская команда баскетболисток ЛИТМО – серебряный призер первенства СССР среди вузов. Из десяти студенток сборной команды ЛИТМО – пять студенток кафедры навигационных и гирокопических приборов: № 12 – Кузьмина (Ефимова) Людмила (впоследствии ведущий инженер завода «Пирометр»), № 10 – Умбрашко (Николаева) Наталья (впоследствии игрок команды класса «А» ДСО «Буревестник», ведущий инженер ЦНИИ «Электротрибор»), № 3 – Сmekалова Татьяна (впоследствии мастер спорта, капитан команды класса «А» ДСО «Буревестник», серебряный и бронзовый призер первенств СССР, доцент Балтийского государственного технического университета (Военмех), № 6 – Дмитриева Зоя (впоследствии мастер спорта, игрок команды класса «А» ДСО «Буревестник», старший инженер оборонного предприятия), № 15 – Никитина (Попкова) Людмила (впоследствии почетный мастер спорта, чемпионка Европы, многократный серебряный и бронзовый призер первенств СССР и спартакиад народов СССР, кандидат технических наук, доцент, заместитель декана Санкт-Петербургского морского технического университета).

Призовые места в первенстве вузов занимала и мужская сборная команда ЛИТМО по баскетболу, в основной состав которой входили мастер спорта Н. Леонов, Е. Ефимов, Л. Вахрушев, Я. Черстый, Б. Кузьмин.

Очень хорошие результаты показывала и сборная команда ЛИТМО по футболу. Ее тренером в то время был знаменитый футболист (в прошлом ведущий форвард сборной команды СССР, чемпион СССР, заслуженный мастер спорта) и чудный человек Михаил Павлович Бутусов. Под его руководством команда стала чемпионом первенства вузов Ленинграда и призером Всесоюзной студенческой спартакиады. В состав команды входили К. Филиппов (впоследствии главный конструктор и генеральный директор НПО «Электроавтоматика», лауреат Государственной премии), В. Павлов, В. Монастырский (все они – студенты кафедры навигационных и гирокопических приборов), Н. Леонов, Б. Шевченко, В. Вишняков, Б. Цветков, Волгин.

Выдающиеся спортсмены в ЛИТМО были и в легкой атлетике, например, серебряный призер Олимпийских игр, чемпион Европы и СССР Л.А. Калиев, мастер спорта Э. Амбаров, и в фехтовании – бронзовый призер Олимпийских игр, чемпион мира и СССР Б.С. Лукомский, и в гимнастике – олимпийская чемпионка, многократная чемпионка мира и СССР Т.И. Манина; и в гребле – серебряный призер первенства Европы, многократный чемпион мира и СССР, кандидат наук, лауреат Государственной премии В.П. Занин и в других видах спорта.

Наиболее чтимый английский полководец – герцог Веллингтон как-то сказал, что битва при Ватерлоо была выиграна еще на спортивных площадках Итона, подчеркнув тем самым роль занятий спортом в формировании личности.

О важности занятий спортом (физкультурой) громко заявлял еще Аристотель (384 год до н.э.): «Ничто так не истощает и не разрушает человека, как длительное физическое бездействие». Этот тезис чрезвычайно актуален и в 21 веке.

Наше поколение желает современным студентам успехов во всем, в том числе и крепкого здоровья, которое требует обязательных занятий физкультурой и спортом!



75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

М.Д.Агеев (1931-2005). Выпускник кафедры 1955 г. Академик РАН, доктор технических наук, Был директором Института проблем морских технологий Дальневосточного отделения РАН.

В.Я.Располов. Выпускник кафедры 1962 г. Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Приборы управления» Тульского государственного университета. Действительный член Академии навигации и управления движением. Заслуженный деятель науки РФ, Почетный авиастроитель.

Ю.А.Бурьян. Выпускник кафедры 1962 г. Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Сибирского отделения Академии инженерных наук РФ, председатель Совета по этике ОмГТУ, заведующий кафедрой «Основы теории механики и автоматического управления».

В.В.Серегин. Выпускник кафедры 1959 г. Доктор технических наук, профессор, заместитель заведующего кафедрой в 2003–2008 гг. Действительный член Академии навигации и управления движением.

И.М.Окон. Выпускник кафедры 1953 г. Доктор технических наук, разработчик систем навигации и стабилизации. Работал в ЦНИИ «Электроприбор». Действительный член Академии навигации и управления движением. Сейчас живет в США.

П.И.Малеев. Доктор технических наук, капитан 1-го ранга в отставке, ведущий научный сотрудник ОАО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт» («ГНИНГИ»), научный редактор журнала «Навигация и гидрография» и научно-технического сборника ОАО «ГНИНГИ», действительный член «Академии навигации и управления движением».

В.М.Лесючевский. Выпускник кафедры 1970 г. Кандидат технических наук. Лауреат премии имени Н.Н.Острякова. Сейчас живет в Германии.

Т.В.Падерина. Выпускник кафедры 1981 г. Кандидат технических наук, старший научный сотрудник ОАО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор».

Я.И.Ходорковский. Выпускник кафедры 1963 г. Кандидат технических наук. Работал в ЦНИИ «Электроприбор». Сейчас живет в Израиле.

Л.И.Полкова. Выпускник кафедры 1961 г., кандидат технических наук, чемпионка Европы (1960 г.) по баскетболу, заместитель декана Петербургского государственного технического университета.

ГЛАВА 6

КАФЕДРА В НАШИ ДНИ

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящем разделе в основном представлена подборка материалов за 2010–2012 гг., опубликованных в газетах ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» и НИУ ИТМО. В них освещены различные аспекты жизни, отзывы студентов об обучении на кафедре, информация о конференциях и стажировках. Описываются организационные особенности базовой кафедры.

Кафедра информационно-навигационных систем является одной из старейших кафедр НИУ ИТМО. В ее становлении принимали участие видные ученые и специалисты промышленности и флота страны, в том числе академик А.Н. Крылов, профессора Б.И. Кудревич и К.С. Ухов, основавшие научно-педагогическую школу «Навигационные приборы». За 75 лет кафедра подготовила более 2000 инженеров, более 150 кандидатов и 20 докторов технических наук.

В 1991 году кафедру возглавил директор ЦНИИ «Электроприбор», лауреат Ленинской и Государственной премий, академик РАН В.Г. Пешехонов. Под его руководством на кафедре создана и активно работает авторитетная научно-педагогическая школа «Интегрированные системы навигации и управления движением».

В сентябре 2008 года кафедра была преобразована в базовую при ЦНИИ «Электроприбор», началась подготовка бакалавров по направлению «Автоматизация и управление» и магистров по направлению «Системы управления движением и навигация». В 2011 г. в ЦНИИ «Электроприбор» открыты новый комплекс учебных помещений, включающий современную лабораторию, компьютерный класс, оснащенный по последнему слову техники, а также зону отдыха для студентов.

Студенты и преподаватели кафедры активно участвуют в программе углубленной подготовки инженерных кадров и проведении совместных научных исследований в области навигации*. С целью реализации этой программы между ЦНИИ «Электроприбор» и тремя ведущими университетами города в области навигационных и гирокомпостических систем (СПб ГЭТУ «ЛЭТИ», СПбГУ ИТМО и СПб ГУАП) в 2004 г. заключено, а в 2009 г. продллено специальное соглашение, основная цель которого – объединить потенциалы и скординировать усилия перечисленных вузов и ЦНИИ «Электроприбор» для обеспечения углубленной подготовки инженерных и научных кадров. Занятия проводятся силами ведущих ученых как вышеназванных университетов, так и многих других вузов города.

На основе этого сотрудничества успешно организуются ежегодные конференции молодых ученых «Навигация и управление движением» – заметное явление в научной жизни России. Помимо этого студенты и преподаватели кафедры принимают участие во множестве значимых российских и международных конференций.

Перед студентами кафедры открыты отличные перспективы с точки зрения как обучения, так и дальнейшего труда/устройства.

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

На кафедре ведутся работы по грантам Российского фонда фундаментальных исследований с привлечением студентов и аспирантов, многие проекты, выполняемые с участием студентов старших курсов, получают гранты по конкурсу «УМНИК». На кафедре организуются стажировки студентов в ведущих российских и зарубежных вузах. В свою очередь сотрудники кафедры читают лекции за рубежом.

Подводя некий итог, хотелось бы отметить, что на кафедре информационно-навигационных систем представлен сильный профессорско-преподавательский состав, а научно-педагогическая школа кафедры обладает признанным авторитетом как в России, так и за ее пределами. Кафедра заслуженно гордится своей славной историей и с уверенностью смотрит в будущее, а у обучающихся здесь молодых людей есть все необходимые предпосылки стать высококлассными, востребованными специалистами в области навигации, управления движением и смежных областях.

О.М. Яшиникова, выпускник кафедры 2004 г.

ЭФФЕКТИВНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Сегодня много говорят о необходимости объединения усилий высших учебных заведений при подготовке кадров. Однако в этой области уже существуют реальные примеры достаточно длительного сотрудничества, в частности подготовка квалифицированных специалистов совместными усилиями трех университетов на базе ЦНИИ «Электроприбор».

В феврале 2010 года ректор Национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики Владимир Николаевич Васильев поставил последнюю подпись под новым четырехсторонним Соглашением «О межвузовской углубленной подготовке инженерных кадров и проведении совместных научных исследований в области навигации на базе ЦНИИ «Электроприбор».

Первое Соглашение было подписано еще в январе 2004 г. Тогда по инициативе директора Центрального научно-исследовательского института «Электроприбор» академика РАН В.Г. Пешехонова на территории ЦНИИ собрались ректоры трех ведущих университетов города: профессор А.А. Оводенко – СПбГУАП, профессор Д.В. Пузанков – СПбГЭТУ «ЛЭТИ» и профессор В.Н. Васильев (СПб. ГУИТМО). Они договорились объединить усилия в части подготовки квалифицированных специалистов в области навигации и управления.

Основная идея Соглашения, подписанного представителями трех кафедр (по одной от каждого университета) была достаточно проста и заключалась в следующем. В каждом из этих университетов, осуществляющем подготовку специалистов в области навигационных и гироскопических систем, есть наиболее сильные направления: в ГУАПе – направление микромеханических чувствительных элементов; в СПбГЭТУ – оптических датчиков и систем; в ИТМО – инерциальных и интегрированных систем. В ЦНИИ «Электроприбор» таким направлением являются алгоритмы обработки навигационной информации. Для наиболее эффективного «приобщения» к этим направлениям студентов всех трех вузов (это порядка 60 – 80 человек каждый семестр) было решено организовать для них на базе ЦНИИ «Электроприбор» занятия силами ведущих ученых трех университетов и института. В рамках соглашения предполагалось также создание современной лабораторной базы, проведение совместных исследований с участием студентов и аспирантов вузов, издание нового поколения учебников и учебных пособий, организация конференций, практик и стажировок для студентов и аспирантов.

За время, прошедшее с момента подписания соглашения, на базе ЦНИИ «Электроприбор» обучение прошло около 500 студентов, для которых было организовано чтение лекций в общей сложности по 14 курсам. Создан лабораторный центр коллективного пользования, в котором современные работы выполняют студенты трех вузов.

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»
Академик РАН

В.Г.Пешехонов
2009 г.

УТВЕРЖДАЮ
Ректор СПбГЭТУ
Профессор

В.И.Васильев
2009 г.

УТВЕРЖДАЮ
Ректор СПбГЭТУ
Профессор

В.М.Кутузов
2009 г.

УТВЕРЖДАЮ
Ректор СПбГУАП
Профессор

А.А.Оваденко
2009 г.

СОГЛАШЕНИЕ
о межвузовской углубленной подготовке инженерных кадров и
проводении совместных научных исследований в области
навигации на базе ЦНИИ «Электроприбор»

Санкт-Петербург
2009

Титульный лист Соглашения 2009 года

Более 300 студентов прошли технологическую и преддипломную практики в ЦНИИ «Электроприбор». Многие из них успешно защитили дипломные работы, связанные с конкретными разработками, ведущимися на предприятии. Около 60 человек трудоустроено в ЦНИИ «Электроприбор», а всего в институте работает порядка 150 выпускников ИТМО разных лет

Лучшие студенты обучались в группах целевой подготовки. Часть из них поступила в аспирантуру, а некоторые уже успели защитить диссертации. Заметим, что в ЦНИИ «Электроприбор» недавно прошла реорганизации, в результате которой к руководству ключевыми тематическими отделами пришли молодые энергичные сотрудники. Большинство из них прошли обучение в рамках, предусмотренных Соглашением.

КАФЕДРА В НАШИ ДНИ

На основе сотрудничества совместными усилиями успешно организуются ежегодные конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». Они стали заметным явлением в научной жизни России и пользуется авторитетом не только у молодых, но и у состоявшихся ученых.



Посещение лабораторного центра ЦНИИ «Электроприбор» губернатором Санкт-Петербурга В.М.Матвиенко, 2010 г.

Преподаватели и аспиранты отлаживают оборудование для лабораторных работ, 2010 г.

За этот период были проведены исследования более чем по 15 проектам, поддержанным Российским фондом фундаментальных исследований. По инициативе Координационного совета, обеспечивающего реализацию Соглашения, подготовлен ряд востребованных учебных пособий, изданных при финансовой поддержке ЦНИИ «Электроприбор».

Во вновь подписанным Соглашении увеличилось количество кафедр, вовлеченных в эту деятельность. Теперь их шесть – по две от каждого вуза.



Представители ИТМО на совещании в ЦНИИ «Электроприбор». На первом плане: слева – В.Г. Пешехонов, справа – В.Н. Васильев

С.А.Тараканов), выступавшие на упомянутой конференции по теме, связанной с указанным проектом, получили грант по программе «УМНИК».

Сотрудничество ИТМО и ЦНИИ «Электроприбор» последовательно расширяется. Например, в настоящее время совместными усилиями ученых наших организаций под руководством профессора И.К.Мешковского успешно реализуется крупный проект, направленный на создание конкурентоспособного волоконно-оптического гироскопа. Важно подчеркнуть, что в этих исследованиях активно и успешно участвует молодежь. Так, трое аспирантов университета (А.С. Алейник, Р.О. Олехнович,

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

По инициативе профессора Г.И. Емельянцева подготовлено техническое задание и ведутся работы по созданию совместными усилиями экспериментального образа малогабаритной интегрированной системы ориентации и навигации для морских и речных судов.



Осмотр лаборатории



Представители факультета компьютерных технологий и управления на экскурсии в музее ЦНИИ Электроприбор:
В.Н. Григорьев, Т.И. Алиев, А.А. Бобцов, В.С. Томасов, Е.А. Истомина (ЦНИИ «Электроприбор»),
О.А. Степанов, Ю.А. Гатчин, С.В. Быстров

Важно также отметить, что большинство преподавателей базовой кафедры – сотрудники ЦНИИ «Электроприбор».

О.А.Степанов, д.т.н. заместитель заведующего кафедрой

БАЗОВОЙ КАФЕДРЕ БЫТЬ!

26.05.2011 г. на заседании Ученого совета в ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» был обсужден вопрос о базовой кафедре. С докладом «*Базовая кафедра. Состояние и перспективы развития*» выступил начальник Центра профессионального образования, заместитель заведующего кафедрой О.А. Степанов

В докладе была дана короткая историческая справка о создании и становлении кафедры. Было отмечено, что с момента преобразования кафедры в 2008 г. в базовую заметно активизировалась научная работа. Так, ведутся работы по четырем грантам РФФИ (руководители В.Г. Пешехонов, М.И. Евстифеев, О.А. Степанов, Я.И. Биндер), проводятся исследования по созданию GPS-компаса и систем индивидуальной навигации. Сотрудники кафедры активно публикуют свои труды. За последние полтора года подготовлено 27 статей в рецензируемых журналах и 30 докладов на различных конференциях, включая авторитетные международные конференции, такие как Всемирный конгресс по автоматическому управлению и Всемирный конгресс по вычислительному интеллекту.

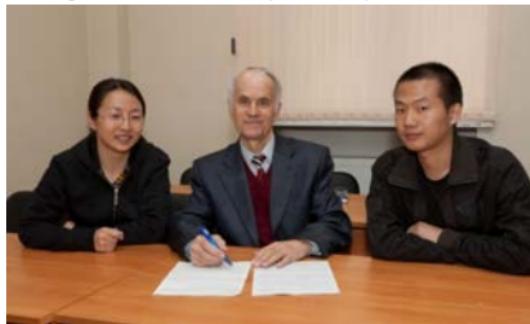
К научной деятельности привлекаются студенты старших курсов, которые в последнее время также принимают активное участие в молодежных конференциях. Достаточно заметить, что за последние два года на кафедре три проекта, выполняемые с участием студентов старших курсов (А.В. Моторин, Р.Г. Люкшонков, А.П. Чапурский, В.П. Серебряков) получили гранты по конкурсу «УМНИК». На кафедре проходят стажировки ученые из других вузов города и представители Китайской народной республики.

Началась работа по организации стажировок студентов кафедры за границей, что стало возможным в значительной степени благодаря получению университетом статуса национального университета и поддержке факультета компьютерных технологий в лице его молодого руководителя, профессора А.А. Бобкова. Так, впервые в 2009 г. недельную стажировку прошли студенты третьего курса (А.В. Молочко и А.В. Моторин.) в университете Хельсинки, а в 2011 г. на двухнедельной стажировке в университете Тампере побывали уже магистры (А.В. Моторин и Р.Г. Люкшонков).

В свою очередь сотрудники кафедры читают лекции за рубежом.

Руководство ЦНИИ «Электроприбор» уделяет значительное внимание развитию кафедры: начиная с 2009 г. введена дополнительная дифференцированная стипендия для отлично успевающих студентов в размере 1500–3000 руб.; финансируется проведение дополнительных лекций в сторонних организациях и чтение лекций на кафедре с участием ведущих ученых города и страны; в осеннем семестре 2011 г. будет введен в эксплуатацию новый комплекс помещений, включающий лабораторный центр, учебный класс и комнату отдыха для студентов; запланированы мероприятия, посвященные 75-летнему юбилею кафедры в ноябре следующего года.

Не остались без внимания и проблемы развития кафедры, основной из которых несомненно является проблема набора абитуриентов на первый курс. Важным также представляется организация молодежных коллективов при кафедре, привлечение молодых преподавателей, расширение междуна-



Профессор Г.И. Емельянцев со стажерами из Китая – профессором Ден Чжи-хун и аспиранткой Цинчже Ван

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

родного сотрудничества, включая стажировки за рубежом, была также отмечена необходимость расширения тематики преподаваемых предметов и спектра лабораторных работ.



Д.т.н. О.А. Степанов со слушателями лекций в Тяньцзине. февраль 2010г.

О важности существования кафедры свидетельствует, в частности, то, что ее выпускниками являются известные ученые и специалисты концерна: д.т.н. В.З. Гусинский, д.т.н. Б.Е. Ландау, д.т.н. Г.И. Емельянцев, д.т.н. Д.А. Кошаев, главный инженер В.В. Постников, к.т.н. Л.П. Старосельцев, к.т.н. А.А. Унтилов, начальник отдела Д.В. Волынский и др. В настоящее время из 50 обучающихся студентов почти половина работает уже по срочному договору в ЦНИИ.



Сотрудники и студенты кафедры ИНС на Дне открытых дверей, март 2011 г.

В результате состоявшегося обсуждения с участием заместителя генерального директора по развитию информационных технологий И.Е. Гутнера, начальника отдела 012 А.И. Машошина, главного конструктора по направлению Б.С. Ривкина, декана факультета компьютерных технологий и управления НИУ ИТМО А.А. Бобцова было принято решение, в целом одобряющее работы по сохранению

КАФЕДРА В НАШИ ДНИ

базовой кафедры и включающее ряд мероприятий, направленных на ее развитие, основным из которых, несомненно, является обеспечение необходимого количественного и качественного состава студентов и бакалавров.

Опубликовано в газете «Электроприбор» 2011, № 5

НОВЫЙ УЧЕБНЫЙ ГОД В НОВЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

12 сентября 2011 г. в ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» открылся новый комплекс помещений для базовой кафедры информационно-навигационных систем, включающий компьютерный класс, оснащенный мощными компьютерами и интерактивной доской, современный лабораторный комплекс и не менее важное – зону отдыха для студентов. Еще в апреле эти помещения были в таком состоянии, что трудно было поверить в возможность их ремонта к назначенному сроку. Тем не менее все работы были проведены качественно и в срок.



В новой лаборатории: проректор НИУ ИТМО Ю.Л. Колесников, В.Г. Пешехонов, В.Н. Васильев, О.А. Степанов, Г.И. Емельянцев, Л.П. Старосельцов, А.А. Бобцов, Ю.В. Филатов

В открытии комплекса принимали участие директор ЦНИИ «Электроприбор», заведующий кафедрой В.Г. Пешехонов, ректор университета В.Н. Васильев, проректор Ю.Л. Колесников, декан факультета А.А. Бобцов, заведующие родственными кафедрами в ЛЭТИ и СПб ГУАП Ю.В. Филатов и А.Л. Северов, а также ряд других приглашенных и профессорско-преподавательский состав кафедры.

После осмотра помещений и лабораторного комплекса состоялась встреча со студентами и магистрами базовой кафедры. На встрече выступили академик РАН В.Г. Пешехонов, ректор В.Н. Васильев и заместитель заведующего кафедрой О.А. Степанов. На этой же встрече четырем магистрантам были вручены грамоты (дипломы) за отличную успеваемость, подтверждающие факт назначения дополнительной стипендии в размере 1500 руб. от ЦНИИ «Электроприбор».



Заведующий кафедрой ИНС академик РАН В.Г. Пешехонов открывает встречу со студентами, 2011 г.



В.Г. Пешехонов вручает грамоту за отличную успеваемость магистранту А.А. Белогурову, 2011 г.

С ответным словом выступил работающий в ЦНИИ «Электроприбор» уже второй год студент четвертого курса Алексей Фирса. По мнению всех участников мероприятия, в целом получился хороший праздник, доставивший удовольствие как преподавателям, так и студентам, а кафедра получила прекрасный подарок в преддверии своего 75-летнего юбилея, который состоится в ноябре 2012 г.

По материалам, опубликованным в газетах «Университет ИТМО» 133 (1638) - октябрь 2011, и «Электроприбор» 2011, № 9

КАФЕДРА В НАШИ ДНИ

ОБУЧЕНИЕ НА БАЗОВОЙ КАФЕДРЕ

После того как нам в начале 2009 г. объявили о преобразовании кафедры СПбГУ ИТМО информационно-навигационных систем (ИНС) в базовую кафедру при ЦНИИ «Электроприбор» поначалу каких-либо особых изменений мы не почувствовали. Но за истекший период такие изменения стали ощутимыми. Во-первых, практически все студенты (8 человек) уже работают в различных отделах и темы их магистерских работ напрямую связаны с будущей деятельностью. Причем руководителями магистерских работ являются сотрудники ЦНИИ. Кроме того, претерпел некоторые изменения и сам процесс обучения. В прошлом семестре курс по микромеханическим ЧЭ был прочитан молодыми сотрудниками к.т.н. А.С. Ковалевым и А.А. Унтиловым и аспирантом Н.В. Моисеевым. Причем значительную часть курса составляли лабораторные работы, которые созданы при их активным участии. В этом семестре для чтения лекций сразу по двум важным предметам руководством кафедры были привлечены ведущие специалисты города.

Занятия по спутниковым навигационным системам (СНС) проводил заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук Юрий Матвеевич Устинов, ведущий специалист в области спутниковой навигации. Особенностью является то, что он непосредственно принимал участие в создании СНС ГЛОНАСС с самого первого дня. Ю.М. Устинов в прошлом один из ведущих сотрудников Российского института радионавигации и времени, поэтому после окончания курса лекций для нас была организована интересная экскурсия в этот институт, где мы имели возможность познакомиться с их разработками, такими как совмещенные приемники GPS/ГЛОНАСС, датчики спутниковых навигационных сигналов, а также с этапами их производства.



Лекции по спутниковым системам проводят заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук Ю.М. Устинов

Занятия по электронным картографическим навигационно-информационным системам давно проводятся на кафедре ИНС, но они носили только теоретический характер.



Наша группа в Государственной морской академии имени адмирала С.О.Макарова. Второй слева - доцент кафедры судовождения академии к.т.н. Д.А. Гагарский

звают получить более полное представление о своей специальности.

Однако с 2009 года занятия начали проводиться в Государственной морской академии имени адмирала С.О. Макарова, где имеется не только теоретическая база, но и современное оборудование для практических занятий. Нам читал курс лекций к.т.н., доцент кафедры судовождения, начальник экспертной навигационной лаборатории Д.А. Гагарский. Кроме того, студенты имели возможность закрепить полученные знания на практических занятиях с использованием современных тренажеров Группы компаний «Транзас».

По мнению студентов, занятия, проводимые с привлечением преподавателей из ведущих организаций, и возможность побывать в этих организациях являются интересными, полезными и по-

С. Мироненко, студент.

Опубликовано в газете «Электроприбор» 2010, № 1

НА ЗАНЯТИЯХ В ПЕТЕРГОФЕ



Пояснения дает молодой преподаватель кафедры ИНС
Т. А. Лепихин

электромагнитные установки, более 10 современных компьютеров, мощный дорогостоящий проектор.

Но наибольшее впечатление, конечно, произвел небольшой человекоподобный программируемый робот, которому дали замечательное имя – Василий. С помощью пульта дистанционного управления

7 декабря 2010 года для студентов 4-го курса базовой кафедры информационно-навигационных систем при СПбГУ ИТМО были организованы выездные практические занятия по курсу «Моделирование систем автоматического управления». Занятия проводились на базе лабораторного комплекса кафедры прикладной математики и процессов управления Санкт-Петербургского государственного университета в Петергофе. По приезде в университет на входе нас сначала удивило обилие свободного пространства, не характерное для ИТМО, правда, комната для занятий оказалась небольшой. Однако она вмещала в себя множество интересных вещей: различные программируемые механические и

КАФЕДРА В НАШИ ДНИ

молодой преподаватель Т. А. Лепихин показал некоторые возможности робота: ходить, балансировать своим центром масс, кувыркаться вперед и назад, выполнять различные причудливые движения, похожие на элементы танца и приемы карате. Немного поиграв с этим чудом техники, мы приступили к занятию.

Цель практических занятий – дать возможность попробовать каждому студенту собственноручно запрограммировать механическую установку на совершение заданного действия. Кому-то в распоряжение достался горизонтальный маятник с двумя степенями свободы, кому-то – стенд, на котором балансировал металлический шарик. Довольно много времени пришлось потратить на настройку программного обеспечения таким образом, чтобы компьютер «увидел установку». После того как подготовка к работе была завершена, началось самое интересное – наблюдать за тем, как машина в реальном времени выполняет твои команды. Подавая различные формы сигналов на двигатели, мы отслеживали, как ведут себя установки, как изменяются входные данные с датчиков угла и освещенности, строили графики сигналов. Затем учились управлять переключением сигналов с помощью виртуальных триггеров и циклов в программе. К сожалению, при такой увлекательной деятельности время летит незаметно, и не все удалось попробовать. Например, реализацию обратной связи между двигателем и датчиками.

В целом, практическое занятие оказалось крайне интересным, но полтора часа мало даже для поверхностного ознакомления с возможностями стендов. Автору этой заметки, как и многим моим товарищам по учебе, представляется правильной тенденции развития обучающих программ, при которой студенты имеют возможность закреплять теоретические знания практикой такого рода. Внедрять подобные занятия в процесс обучения нужно как можно раньше, ведь как говорили древние: «Я слушаю – и забываю. Я вижу – и запоминаю. Я делаю – и понимаю».



Лабораторную работу выполняет староста группы А. Цуринов

студент группы А. Цуринов

Н. Мошкин, студент.
Опубликовано в газете «Электроприбор» 2011, № 6

О КОНФЕРЕНЦИИ ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКОГО СОСТАВА

Третьего февраля 2011 г. на базовой кафедре, в стенах ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», проводилась секция 18, посвященная системам ориентации и навигации, организуемая в рамках XL научной и учебно-методической конференции профессорско-преподавательского состава. В конференции участвовали не только профессорско-преподавательский состав кафедры, но и кандидаты наук, защитившие кандидатские диссертации на кафедре или в аспирантуре при ЦНИИ, аспиранты всех годов обучения, выпускники кафедры, магистранты и даже студенты-бакалавры кафедры (самый молодой участник – Ю. А. Андрияков, студент 2-го курса). Вел секцию – О.А. Степанов, д.т.н., заместитель заведующего базовой кафедрой. Помимо людей, имеющих сегодня непосредственное отношение к кафедре, работе секции принимали участие работники концерна – доктора и кандидаты наук, а также студенты других кафедр. Особенно хочется отметить присутствие на заседании секции выпускника 1961 года, бывшего директора ОАО «Электроавтоматика» К.К. Филиппова, который посетил

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

наше заседание по поручению однокурсников, отмечающих в этом году пятидесятилетие выпуска. Всего на заседании секции конференции присутствовало около 40 человек.



На заседании секции конференции:
в первом ряду В.Г. Пешехонов (слева) и К.К. Филиппов (справа)

По общему мнению участников, заседание оказалось наиболее интересным и информативным из всех подобных, прошедших за последнее время.

Закрывал заседание секции, заведующий базовой кафедрой академик РАН В.Г. Пешехонов. В своей речи Владимир Григорьевич подчеркнул, что доклады посвящены в основном двум тематикам совместной работы базовой кафедры и концерна – микромеханическим датчикам (применяющимся во всех сферах жизнедеятельности человека: от иг-

рушек до военной техники) и гироинклинометрам (применяющимся в подземной навигации для бурения скважин). Однако остались неохваченными такие темы, как динамически настраиваемые гироскопы, волоконно-оптические и гордость предприятия – электростатические гироскопы, самые точные приборы в мире, которые определяют координаты местоположения без внешних источников информации. Эти направления работ, не менее перспективные и интересные, тоже требуют особого внимания для изучения и развития.

По результатам обсуждения шесть из заслушанных работ были рекомендованы для публикации в издаваемом в университете журнале «Научно-технический вестник».

Д. Елисеев, магистрант 2-го года обучения.
Опубликовано в газете «Электроприбор», 2011 г., № 2.

СИМПОЗИУМ «ИНЕРЦИАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ И СИСТЕМЫ».

Новое название – старые друзья

20–21 сентября в г. Карлсруэ (Германия) состоялся очередной симпозиум по гироскопическим системам (Symposium Gyro Technology), который с 2011 года называется Inertial Sensors and Systems в связи с изменением тематики большинства присыпаемых для участия научных докладов. Симпозиум проводят Institute of Systems Optimization (ITE) и Deutsche Gesellschaft für Ortung und Navigation (DGON) на базе Технологического института г. Карлсруэ при поддержке фирмы Acutronic (Швейцария), мирового лидера по производству имитаторов движения, чьи стенды успешно введены в строй и эксплуатируются на нашем предприятии.

В конференции приняли участие 172 человека из 21 страны. Наиболее многочисленные делегации из Германии (56 человек), России (21 человек) и Франции (15 человек).



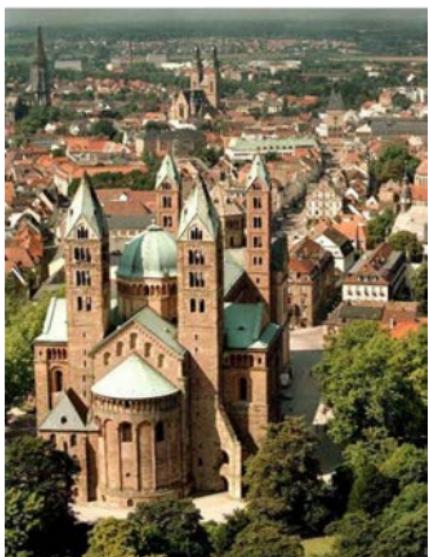
Делегация ЦНИИ «Электроприбор» на симпозиуме (слева направо):
академик РАН В.Г. Пешехонов, аспирантки О.М. Яшинкова, Е.В. Драницына, к.т.н. Б.С. Ривкин

Приятно отметить, что в приветственном слове руководителя программного комитета Г. Ф. Троммера были отмечены два почетных гостя, выдающихся ученых современности: главный конструктор высокоточных навигационных комплексов крупных подводных и надводных кораблей В.Г. Пешехонов и автор основополагающего труда по созданию волоконно-оптических гироскопов Х.С. Лефевр.

Отбор статей на конференцию носит строгий характер. Так, в 2011 г. было прислано 44 доклада, при этом отобрано для включения в программу конференции только 20, т. е. менее 50%. Основная причина отказа – рекламный характер статьи с описанием деятельности фирмы и производимых изделий, но без каких-либо научных результатов.

На конференции работало 8 секций, 4 из которых состоялись в первый день заседаний и 4 – во второй день. Всего было сделано 19 докладов. В первый день работали секции, посвященные разработке волоконно-оптических гироскопов и их компонентов, исследованиям перспективных направлений в гироскопии, а также калибровке инерциальных датчиков. Стоит отметить, что все доклады в секции исследований перспективных направлений в гироскопии были сделаны нашими соотечественниками. Участники от вооруженных сил США представили стендовый доклад о комплексе средств моделирования, проектирования, исследования, имитации и оценки качества систем ориентации. Тематика секций второго дня конференции – миниатюрные инерциально-измерительные модули, системы позиционирования, ориентации, а также интегрированные системы.

Тематика докладов затрагивала широкий спектр исследований – от оптических и микромеханических инерциальных датчиков и их компонентов до сложных интегрированных инерциально-навигационных систем и их применений.



Вид на г. Шпайер и Шпайерский собор

В частности, на конференции были представлены разработки в таких областях, как создание высокоточных волоконно-оптических гироскопов и их компонентов, применение микромеханических датчиков в пешеходной навигации, создание сильно связанной интегрированной инерциальной системы.

Конференция проводилась во дворце г. Карлсруэ, и во время перерыва участники конференции могли обсудить свои научные достижения, прогуливаясь по тенистому парку. Организаторами была предусмотрена богатая культурно-социальная программа для участников и их сопровождающих. Так, интересной была экскурсия по городу Шпайер, одному из старейших в Германии, основанному еще римлянами на месте древнего кельтского поселения, главным украшением которого является Шпайерский собор – самая большая сохранившаяся церковь в романском стиле, с 1981 года – объект всемирного культурного наследия ЮНЕСКО.

Благодарим руководство предприятия за предоставленную возможность побывать на такой интересной конференции.

Е.В. Драницына и О.М. Яшникова, аспирантки.
Опубликовано в газете «Электроприбор», 2011, № 10

НА МОЛОДЕЖНОМ ФОРУМЕ В ХАРЬКОВЕ

С семнадцатого по девятнадцатое апреля 2012 г. Харьковском национальном университете радиоэлектроники ХНУРЭ состоялся 16-й Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке», включающий в себя десять различных конференций. На этом форуме две студентки базовой кафедры А.С. Долнакова (5 курс) и Е.Д. Долганова (4 курс) представляли как НИУ ИТМО, так и «ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», в котором они уже достаточно длительное время успешно совмещают учебу с работой по специальности.

В первый день после вступительного слова проректора по научной работе ХНУРЭ д.ф.-м.н., профессора Н.И. Слипченко и пленарного заседания состоялся семинар на тему «Средства контроля и измерений», который проводил профессор Стэнфордского университета (США) Борис Мурманн.

Секция «Электронные приборы и компоненты, включая микро- и наноэлектронные» конференции «Электронная техника и технологии» начала свою работу во второй день форума. Открывали секцию по традиции гости из-за рубежа, в связи с чем наши доклады были заслушаны первыми. В тот же день мы посетили секции «Биомедицинская инженерия», «Цифровая обработка сигналов» и «Управление информационной безопасностью», где были заслушаны интересные доклады.

В последний день работы форума были подведены итоги: представлено более 1000 докладов, из которых заслушано около 700, вручены дипломы за призовые места. Заключительное слово сказал проректор по научной работе ХНУРЭ, отметив высокий научно-технический уровень докладов, представленных на конференциях, обширную географию участников форума: помимо докладчиков из Украины присутствовали представители из России, Болгарии, Латвии, Саудовской Аравии и пр. Наши доклады были отмечены как одни из лучших в секции «Электронные приборы и компоненты, включая микро- и наноэлектронные» и каждый удостоен дипломом второй степени.

В рамках форума была организована культурная программа, позволяющая познакомиться с одним из красивейших городов Украины – Харьковом.

Наше знакомство с этим городом началось с одной из главных улиц – Сумской, которая является торговой и сувенирной артерией города. Она связывает площадь Конституции, на которой находится Харьковский исторический музей, с площадью Свободы, одной из крупнейших площадей мира. В Харьковском историческом музее находится коллекция, имеющая национальное значение. Площадь Свободы представляет собой уникальный архитектурный ансамбль: Дом государственной промышленности (Госпром) и два корпуса Харьковского национального университета им. В. Каразина. С Сумской улицы хорошо виден величественный силуэт здания Госпрома, выполненного в стиле конструктивизма. Также к Сумской примыкает Театральная площадь, которая получила свое название вскоре после открытия городского драматического театра. Невдалеке можно увидеть памятники А. Пушкину и Н. Гоголю, расположенные на площади Познань. Пройдя по улице Гоголя, на которой находилась наша гостиница, можно попасть в живописный сквер, главной жемчужиной которого является фонтан с беседкой «Зеркальная струна».



В стенах университета Е.Д. Долганова (слева),
А.С. Долнакова (справа)

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В городе множество соборов и церквей, сохранившихся с давних времен: одним из самых старых каменных зданий Харькова является Покровский собор. Благовещенский собор – один из самых крупных в городе, а Успенский собор был возведен в честь победы русских войск над Наполеоном.

Харьков – город, наполненный парками и скверами, одним из наиболее известных и популярных является городской сад им. Т. Шевченко, ставший излюбленным местом харьковчан. Здесь же расположен памятник великому украинскому поэту и художнику Т. Шевченко.

О достопримечательностях Харькова можно говорить бесконечно. В связи с предстоящим в этом году чемпионатом Европы по футболу в городе устанавливаются памятники с символикой Евро 2012. В целом, Харьков произвел на нас неизгладимое впечатление и оставил множество приятных воспоминаний.

В заключение хотелось бы выразить особую благодарность руководству ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» за предоставленную возможность поучаствовать в работе форума. Надеемся, что участие в Международном Молодежном форуме «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» станет добной традицией для молодых сотрудников нашего предприятия.

А.С. Долнакова, Е.Д. Долганова, студентки.

Опубликовано в газете «Электроприбор» 2012, № 5

НА МЕЖДУНАРОДНОМ СИМПОЗИУМЕ В НИЖНЕМ НОВГОРОДЕ



Известно, что Международная федерация по управлению, организующая ежегодно более десятка всяких рода научных мероприятий, проводит их в разных странах. В этом году одно из таких мероприятий – Advance Control Education Simposium-ACE12, посвященный развитию и применению современных образовательных технологий в изучении науки об управлении, прошел в Нижнем Новгороде. В течение трех дней с 19 по 21 июня 2012 г. более 100 участников из 15 стран обсуждали различные аспекты этой проблемы. Всего состоялось 84 доклада, которые были заслушаны

на трех параллельно работающих секциях. Были также прочитаны три пленарные лекции и проведен круглый стол, посвященный теме симпозиума.

На симпозиуме обсуждались различные аспекты проблемы, связанной с повышением эффективности обучения по разнообразным направлениям теории управления. Наиболее популярной была тема использования средств Интернета в процессе обучения, и в частности применение так называемых виртуальных лабораторий. Значительное внимание уделялось возможности применения при обучении различного рода роботов.

Ряд докладов касался вопросов изучения систем и методов навигации. К примеру, представители Словакии рассказали о лабораторной установке на основе инерциального измерительного модуля на микромеханических чувствительных элементах, позволяющей изучать основы систем инерциальной навигации и используемых при этом методов обработки.

Команда хорошо нам известных ученых из Самары, руководимая В.Э. Джашитовым, представила доклад о новом, использующем современные компьютерные технологии учебнике по гироскопии.

Весьма интересным был доклад активного участника наших международных конференций по интегрированным системам Н.В. Михайлова, рассказавшего об использовании виртуальных и дистанционных лабораторий при изучении систем спутниковой навигации. Вообщем следует отметить, что значительная часть докладов, почти 40%, была представлена от России. Такая ситуация типична – от страны, в которой проходит научное мероприятие, всегда представляется наибольшее число докладов. На пяти из 15 заседаний сопредседателями были российские ученые. Важно также отметить активное участие в симпозиуме молодежи и членов международной общественной организации «Академия навигации и управления движением» (АНУД). Нельзя не подчеркнуть, что председатель национального комитета П.В. Пакшин, на плечи которого и легла вся тяжесть подготовки и проведения этого симпозиума, также является членом АНУД.

От ОАО Концерн ЦНИИ «Электроприбор» и базовой кафедры университета в работе симпозиума принимала участие достаточно большая делегация, включающая А.А. Краснова, А.С. Ковалева, П.В. Юхты, И.В. Семенова и О.А. Степанова. Все они представляли оргкомитет конференции молодых ученых (КМУ) «Навигация и управление движением», опять проведения которой и был посвящен представленный на симпозиуме доклад. Можно сказать, что подготовка к участию в этом симпозиуме началась почти 15 лет назад, когда по инициативе Президента АНУД В.Г. Пешехонова было возрождено проведение конференций молодых ученых. Важным этапом в подготовке доклада была и очередная КМУ, на которой была проведена специальная секция, посвященная образовательным технологиям в навигации и управлении движением. На ней выступили многие потенциальные участники ACE12. Причем секция проходила на английском языке в форме мастер-класса, а в качестве ведущих этой секции были, в том числе, сопредседатель программного комитета ACE12 А.Л. Фрадков и член организационного комитета Н.А. Пакшина. Тренировка не прошла даром. Наш доклад, представленный Антоном Красновым (*на фото*), был одним из лучших на секции как по форме, так и по содержанию. Секция в целом была, с одной стороны, посвящена некоторым историческим аспектам развития теории управления, а с другой – различного рода образовательным мероприятиям, направленным на повышение мотивации в ее изучении.

Конференция проходила в помещениях санатория «Автомобилист», расположенного на берегу Волги недалеко от города и позволившего в какой-то степени вспомнить о советском периоде развития нашей страны. В ходе семинара была также организована экскурсия в Нижний Новгород – город с хорошими научными традициями, где, в частности, учился великий русский ученый А.М. Ляпунов, создавший теорию устойчивости, 120-летию которой и был посвящен симпозиум. Удалось прокатиться и на недавно построенной канатной дороге через Волгу, которая, как утверждают специалисты, по некоторым параметрам достойна занесения в книгу рекордов Гиннеса.

В заключение хотелось бы поблагодарить руководство ОАО Концерн ЦНИИ «Электроприбор» за возможность, предоставленную нашей молодежи, участвовать в международном симпозиуме и получить самую свежую информацию о методах, применяемых в ведущих образовательных учреждениях мира. Ну и, конечно, хочется выразить надежду, что в ближайшее время некоторые из этих методов будут реализованы и у нас, в том числе на нашей базовой кафедре.



Опубликовано в газете «Электроприбор» 2012 г., № 6

ШКОЛА-СЕМИНАР «ЛАДОГА-2012»

Не позволяй душе лениться.
Чтоб воду в ступе не толочь.
Душа обязана трудиться
И день и ночь, и день и ночь.

Н. Заболоцкий

Опыт – это вещь, которая всегда отвечает
лишь на один вопрос: как делать не надо. И
никогда не подскажет, как делать надо.
Поэтому раз за разом приходится открывать
для себя велосипед.

И. Корнелюк

The poster features the logos of the State Scientific Center of the Russian Federation (ЭЛЕКТРОПРИБОР) and the Saint-Petersburg National Research University (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики ИТМО). The main title is 'Школа-семинар, приуроченная к 75-летию кафедры Информационно-навигационных систем СПбНИУ ИТМО'. Below it, the date '17 – 21 сентября 2012 г.' is given. A yellow banner at the bottom left reads 'III этап XIV конференции молодых ученых "Навигация и управление движением"'. The background of the poster shows a scenic view of a rocky shore by a body of water.

Программа

РАН Р.М. Юсупова, д.т.н. О.А. Степанова, д.ф.-м.н. А.Е. Барабанова, д.т.н. Г.И. Емельянцева, к.т.н. Л.П. Старосельцева, д.т.н. Н.В. Колесова, к.ф.н. Н.Т., Жигуновой к.ф.-м.н. Н.В. Михайлова, к.т.н. А.А. Великосельцева. Их необычайно живые выступления не оставили никого равнодушным и каждый раз вызывали бурную дискуссию, сопровождавшуюся большим количеством вопросов. Достаточно заметить, что после почти часовой лекции В. Г. Пешехонова еще столько же времени Владимира Григорьевича отвечал на вопросы.

КАФЕДРА В НАШИ ДНИ

Следует отметить, что часть презентаций была сделана на английском языке. Участники школы, под чутким руководством Н.Т. Жигуновой с лёгкостью и большим интересом переходили к обсуждениям на иностранном языке.



Кандидат физико-математических наук Н.В.Михайлов



Заместитель заведующего кафедрой, доктор технических наук О.А. Степанов



Член-корреспондент РАН Р.М. Юсупов



Доктор физико-математических наук А.Е. Барабашев

Вечерами, после учёбы, участники школы опять собирались вместе. Они коротали время в дружеских беседах, играли в футбол, волейбол, теннис. Накануне отъезда состоялось очень значимое мероприятие – поездка на о. Коневец с посещением Коневецкого монастыря. На остров группа прибыла вместе с епископом Амвросием, который должен был служить молебен по случаю праздника Рождества Пресвятой Богородицы 21 сентября.

Интересные занятия, умные люди, огромное количество новых знакомств. Хочется поблагодарить всех, кто организовал этот семинар и конечно же сотрудников информационного отдела ЦНИИ «Электроприбор» и персонал испытательной базы на Ладоге, которые занимались организацией этого мероприятия. Хотя их труд и остался за кадром, но нельзя не отметить все усилия, которые они приложили, чтобы собрать всех участников вместе, сделать мероприятие ярким и незабываемым.



Студенты и выпускники кафедры ИНС



КАФЕДРА В НАШИ ДНИ

Безусловно, поездка на Ладогу, участие в школе-семинаре оставили яркий след воспоминаний у каждого. Всё было наполнено особой теплотой, которую не нарушил даже холодный ладожский ветер. Хочется верить, что подобные встречи останутся добной традицией, объединяющей одной целью всё большее и большее количество молодых, интересных и инициативных людей, готовых вместе работать, узнавать что-то новое, набираться опыта и, самое главное, никогда этого не бояться. Успехов и до новых встреч!

Соколов А.Ю., Скиданов И.Г., Цодокова В.В., аспиранты

НА СТАЖИРОВКАХ

В Тампере

Стажировка магистрантов базовой кафедры информационно-навигационных систем нашего университета в Технологическом университете города Тампере (TUT) (Финляндия) – один из этапов развития сотрудничества творческих коллективов двух вузов в области интеллектуальных систем управления и обработки информации.



Андрей Моторин и Роман Люкшонков во время стажировки в Технологическом университете г. Тампере, 2011

Стажировка стала возможной благодаря сотрудничеству кафедры ИНС с кафедрой компьютерных систем ТУТ. Она проходила в течение двух недель с 03.05 по 17.05.2011 г. Ее финансирование осуществлялось за счет средств университета в рамках реализации работ научно-исследовательского центра «Интеллектуальные системы управления и обработка информации» при активной поддержке доктора факультета компьютерных технологий и управления профессора А.А. Бобцова. Руководителя-

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

ми стажировки с финской стороны был начальник группы исследователей инерциально-спутниковых систем Павел Дэвидсон, а с российской – заместитель заведующего кафедрой О.А. Степанов, который, кроме того, был приглашен в ТУТ для прочтения лекции по истории развития теории фильтрации.

Технологический университет Тампере считается одним из основных центров телекоммуникационной индустрии и информационных технологий в Финляндии. На сегодняшний день в нем обучается более десяти тысяч студентов и работает около двух тысяч сотрудников, из которых более восьмидесяти имеют степень доктора наук. ТУТ насчитывает шесть факультетов и более двадцати пяти кафедр. Сам университет расположен в восьми корпусах, образующих достаточно большой университетский городок.



Во время проведения испытаний:
слева Р. Люкшонков,
справа А. Моторин



комиться с достопримечательно-смотровую башню Нясиннеула высотой 160 м – самую высокую в Скандинавии. Она расположена на берегу озера Нясинярви – одного из двух озер, между которыми лежит город Тампере, и является частью парка «Сиркянниеми». Произвели впечатление бывшие здания заводов, расположенные по берегам реки Таммеркоски прямо в центре города. Наследие промышленного прошлого города теперь служит своеобразным архитектурным памятником.

В период стажировки в ТУТ мы работали вместе с группой исследователей кафедры компьютерных систем, непосредственно занимающихся навигацией. За это время были проведены исследования с использованием инерциального измерительного модуля на микромеханических чувствительных элементах и спутниковых приемников различного класса. Изучались особенности построения интегрированных инерциально-спутниковых систем при решении задач индивидуальной навигации, что на сегодняшний день весьма актуально.

К сожалению, не довелось поучаствовать в учебном процессе, так как был конец последней учебной недели. Тем не менее мы посетили одно из практических занятий, посвященных теории фильтрации. Было приятно отметить, что на нашей кафедре существуют похожие лабораторные работы.

Нельзя не сказать о благоприятных условиях, которые были созданы для учебы и работы в университете. Для этих целей была предоставлена отдельная комната, а также электронные ключи и доступ к Интернет-сети ТУТ, через которую, помимо прочего, можно было получить доступ ко многим электронным библиотекам, в частности к библиотеке IEEE. Благодаря этому был собран материал, насчитывающий более пятидесяти статей, посвященных тематике индивидуальной навигации, и начата подготовка совместного обзорного доклада по этой теме.

В выходные дни удалось ознакомиться с Тампере. Мы посетили город Тампере, и является частью парка «Сиркянниеми». Произвели впечатление бывшие здания заводов, расположенные по берегам реки Таммеркоски прямо в центре города. Наследие промышленного прошлого города теперь служит своеобразным архитектурным памятником.

В заключение выражаем благодарность руководству нашего университета и ОАО «Концерн ЦНИИ Электроприбор», в котором мы работаем и учимся на базовой кафедре, предоставившим возможность такой поездки. Опыт, приобретенный в командировке: работа на современном оборудовании, изучение новых направлений в навигации, общение с иностранными коллегами, а также знакомство с зарубежным вузом, несомненно, полезен не только для учебной, но и для профессиональной деятельности. Надеемся, что такие стажировки будут возможны и в дальнейшем.

А. Моторин, Р. Люкшонков, студенты
Опубликовано в газете «Электроприбор» 2011, № 5

И в Туле



Здание Тульского государственного университета

здание в 1937 году в Тульском механическом институте специального факультета, который с 1950 года назывался машиностроительным факультетом.

С 1954 по 1969 г. из состава машиностроительного факультета были выделены механический, машиностроительный и электромеханический факультеты.

В 1998 году произошло объединение трех родственных факультетов в факультет МиСУ, который осуществлял подготовку специалистов для ведущих машиностроительных и приборостроительных предприятий вплоть до момента его преобразования в Институт высокоточных систем.

Созданному институту решением Совета Тульского государственного университета присвоено имя Василия Петровича Грязева – выдающегося инженера-конструктора стрелково-пушечного вооружения, внесшего неоценимый вклад в развитие отечественной оборонной промышленности.

Сегодня в структуру Института высокоточных систем входят два факультета: машиностроительный и факультет систем автоматического управления. В состав последнего входит кафедра «Приборы управления», на которой мы и проходили стажировку.

С шестого по десятое ноября 2011 г. состоялась стажировка трех студентов, работающих в «ОАО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор» и обучающихся на базовой кафедре информационно-навигационных систем А.В. Моторина, Р.С. Ефремова и О.Н. Куликовой. Стажировка проходила на базе Института высокоточных систем им. В.П. Грязева Тульского государственного университета и стала возможной благодаря сотрудничеству кафедры ИИНС НИУ ИТМО и кафедры приборов управления ТулГУ. Руководителями стажировки со стороны ИТМО был заместитель заведующего кафедрой О.А. Степанов, а со стороны кафедры приборов управления – ее заведующий профессор В.Я. Распопов.

Институт высокоточных систем им. В.П. Грязева создан 1 августа 2009 г. на базе факультета механики и систем управления (МиСУ) в рамках комплексной реорганизации структуры Тульского государственного университета.

Общее начало институту положило соз-

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

На кафедре работает группа исследователей, занимающихся в основном приборами управления для летательных аппаратов, в том числе и беспилотных. Работники кафедры не только рассказали, но и показали различные приборы управления и непосредственно сами беспилотные летательные аппараты. В ходе практических работ были получены реальные данные приборов и изучены их характеристики и свойства.

В течение всех четырех дней стажировки нам читали лекции различной направленности по беспилотным летательным аппаратам, как работники кафедры, так и заведующий кафедрой В.Я. Распопов. Нам было очень интересно узнать, что Владимир Яковлевич, оказывается, является выпускником нашей кафедры. Стажировка прошла в запланированном объеме. Стоит отметить, что в ходе практических и лабораторных занятий многое оказалось знакомым, что говорит о похожей подготовке студентов на нашей кафедре.



Слева направо: профессор В.Я. Распопов, О. Куликова, Р. Ефремов, А. Моторин

Для полноценного прохождения стажировки были созданы оптимальные условия. Весь персонал подготовился к занятиям с нами, и работа проходила в виде, можно сказать, диалога, а не просто лабораторных работ и лекций. Более того, нам было предоставлено большое количество раздаточного материала, который вполне может пригодиться в дальнейшем.

Проживали мы в гостиничных комнатах при общежитии ТулГУ, которое находится недалеко от главного корпуса университета и от корпуса № 1, в котором занимались мы. Самые здания Тульского государственного университета очень красивы, и невозможно пройти мимо, не обратив на них внимания.

В заключение хотелось бы выразить благодарность руководству нашего университета и «ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», предоставившему возможность такой поездки. Опыт и навыки, приобретенные на стажировке: работа с новым оборудованием, изучение нового направления, в котором применяются, в том числе гироскопы и акселерометры, а также знакомство с подготовкой студентов по похожей специальности на кафедре другого вуза – будут полезны в дальнейшей деятельности – и учебной, и профессиональной.

О. И. Куликова, Р. С. Ефремов, А. В. Моторин, студенты.

Опубликовано в газете «Электроприбор», 2011, № 11

КАФЕДРА В НАШИ ДНИ

НА КОНКУРСЕ ПОБЕДИЛИ НАШИ УМНИКИ

18 мая в Инновационно-технологическом центре Санкт-Петербурга состоялось вручение дипломов победителям конкурса «УМНИК». Напомню, что для получения поддержки в рамках конкурса претендентам надо пройти два этапа. Первый этап – рекомендация конференции молодых ученых «Навигация и управление движением», имеющей право на выдвижение кандидатов, и второй – поддержка объединенным экспертым советом, собираемым дважды в год для заслушивания проектов и принятия окончательного решения.

По нашему направлению было заслушано 20 работ, в том числе 11 от конференции молодых ученых. Заметим, что из 20 проектов было отобрано всего 6, что существенно меньше обычного количества (не менее 50% от числа представленных). Однако отрадно заметить, что из 6 принятых проектов – 5 от нашей конференции. Подчеркну, что оба проекта представлены студентами 4-го курса базовой кафедры (А.С.Фирсой и А.С.Раскиным). Они уже второй год работают по срочному договору в ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» в отделе, возглавляемом молодым к.т.н. А.И.Соколовым, который, собственно, и вдохновил и подготовил ребят для участия в конкурсе. Интересно, что сам А.И.Соколов был УМНИКОм «первого призыва», 2007 г., и можно считать, что у нас появилось второе поколение УМНИКОв.

Всего, начиная с 2007 г., от конференций, организуемых ЦНИИ «Электроприбор», поддержано более 50 проектов, при этом авторами более десяти из них являются студенты и выпускники базовой кафедры.

Поздравляю студентов и их руководителя с победой и желаю успехов в работе.



УМНИКи А.С.Раскин (слева) и А.С.Фирса (справа)
со своим научным руководителем А.И. Соколовым

О.А.Степанов, д.т.н., заместитель заведующего кафедрой ИНС,
начальник образовательного центра.

Опубликовано в газете «Электроприбор» 2011, № 2

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

ДЕНЬ НАУКИ



Почетную грамоту получает О.А.Степанов, 2011 г.

университета ИТМО – соответственно заместитель заведующего кафедрой, д.т.н. О.А. Степанов и студент 6 курса магистратуры Р.Г. Люкшонков с работами «Фильтр Калмана. История и современность» и «К вопросу проектирования цифровых систем управления микромеханическим гирокомпом».



После заседания Ученого совета ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»

Несмотря на то, что День науки прошел, дни науки продолжаются!

Р. Люкшонков, студент

Опубликовано в газете «Электроприбор» 2011, № 2

КАФЕДРА В НАШИ ДНИ

БАЗОВАЯ КАФЕДРА СОБРАЛА ХОРОШИЙ «УРОЖАЙ»

В июне 2012 года на базовой кафедре «Информационно-навигационные системы» Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий механики и оптики, созданной при ЦНИИ «Электроприбор» в сентябре 2008 г., состоялся очередной выпуск магистров по направлению «Навигация и управление движением». Следует заметить, что в 2008 г. кафедра перешла на двухуровневую систему обучения «бакалавры-магистры», при этом значительно усилилась ее роль в подготовке специалистов для нашего института. Так, если из выпускников 2010 г. (последний выпуск специалистов) всего двое остались работать в «Электроприоре», то из 18 магистров выпуска 2011/12 учебного года у нас работают 14 человек, причем четверо из них поступили в аспирантуру. В группе же магистров, набранной в этом году, будет обучаться 15 человек, из которых 13 уже успешно работают в различных подразделениях института.

Защита магистров в 2012 году

13 июня 2012 г. на базовой кафедре информационно-навигационных систем состоялась защита магистерских диссертаций. На защиту студенты представили диссертации, в которые вложили весь свой опыт и знания, полученные на кафедре, ведь работы готовились в течение двух лет. На протяжении всего времени ребятам помогали опытные научные руководители. Именно поэтому они успешно защитились, причем семь работ были отмечены оценкой «отлично». Следует также отметить, что 6 из 9 магистров уже работают в ЦНИИ «Электроприбор», поэтому многие диссертации были связаны с работами, которые ведутся в отделах.



Магистры кафедры ИНС на выпускном вечере у входа в БКЗ «Октябрьский», 2012 г.

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В результате обсуждения докладов государственной аттестационной комиссией была выделена диссертация А.В. Моторина, которую направят на конкурс магистерских диссертаций в НИУ ИТМО. Для обучения в аспирантуре рекомендованы магистры А.В. Моторин, Д.Р. Гаглоев и А.А. Медведков.

В университете сложилась хорошая традиция проводить церемонию чествования выпускников. Обычно она проходит на сцене театра «Балтийский дом» с традиционным выстрелом из пушки на Петропавловской крепости. В этом году вручение дипломов состоялось 7 июля в БКЗ «Октябрьский», а выстрел из пушки был произведен за день до этого. Следует заметить, что это был уже 140-й выпуск университета ИТМО.

От имени выпускников выражают благодарность научным руководителям, преподавателям кафедры, особенно руководству кафедры. Ведь весь учебный процесс был построен наилучшим образом: успешные студенты выезжали на различные конференции и стажировки, а также помимо основных преподавателей кафедры приглашались вести занятия сотрудники из других кафедр и вузов.

А.В.Медведков, выпускник кафедры ИНС, отд. 017
Опубликовано в газете «Электроприбор» 2012, № 7

Состоялся выпуск бакалавров

Через неделю после защиты магистерских диссертаций 25 июня 2012 года на базовой кафедре состоялась защита бакалаврских ВКР по специальности «Автоматизация и управление». Все студенты успешно защитились, что указывает на профессионализм научных руководителей и преподавателей кафедры и подтверждает тот факт, что полученные навыки и усердие самих студентов в ходе обучения не пропали даром.



При подведении итогов были отмечены дипломные проекты Е. Долгановой, А. Раскина и А. Фирсы. Представленные ими работы были выдвинуты на конкурс выпускных квалификационных работ в НИУ ИТМО. Стоит заметить, что руководителями у них были начальник сектора 204 к.т.н.

КАФЕДРА В НАШИ ДНИ

П.В. Юхта и начальник отдела 020 к.т.н. А.И. Соколов. Достижения этих молодых руководителей уже неоднократно отмечались на страницах газеты за заслуги перед предприятием и кафедрой.

Несомненной заслугой в усердии и прилежности студентов базовой кафедры является привитая преподавательским составом тяга к знаниям.

Интересно отметить, что весьма большим оказался процент бакалавров, подавших заявления на дальнейшее обучение в магистратуре, что подтверждает их стремление к дальнейшему получению профессиональных знаний и должностному продвижению в своей инженерной карьере.

Новые молодые специалисты – выпускники кафедры являются заметным явлением в жизни предприятия.

Хочется верить, что новая волна молодежи ознаменует смену поколений в ОАО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор», так как большинство выпускников кафедры уже сегодня успешно работают над реальными проектами в своих подразделениях.

A.C.Раскин, бакалавр отд. 017

Опубликовано в газете «Электроприбор» 2012, № 7

С ЮБИЛЕЕМ ТЕБЯ, КАФЕДРА!

Праздник в ОАО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор»

Программа празднования 75-летнего юбилея в ЦНИИ «Электроприбор» 9 ноября 2012 г. включала знакомство приглашенных с кафедрой, торжественное расширенное заседание кафедры, концерт и фуршет.



Д.т.н. Б.Е.Ландау демонстрирует электростатический гироскоп со сплошным ротором

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Знакомство с кафедрой предполагало осмотр в ЦНИИ нового комплекса помещений, демонстрация действующих лабораторных работ и пакетов прикладных программ, используемых в учебном процессе. Здесь гостей принимали заведующий лабораторией к.т.н. Л.П.Старосельцев (выпускник 1970 г.), доцент Я.В.Беляев, аспиранты А.В.Моторин и А.А.Медведков (выпускники 2012 г.) и студент шестого курса А.А. Белогуров. Кроме того, в помещениях кафедры были выставлены разработки, выполненные с участием выпускников разных лет, работающих в ЦНИИ «Электроприбор». Заметим, что в настоящий момент 60 сотрудников – выпускники кафедры.

На выставке были представлены разработки, в которых принимали участие выпускники разных лет: системы ориентации для космических аппаратов (Б.Е.Ландау – выпускник 1962 г.), гироколические инклинометры (Т.В.Падерина, 1981 г.), беспилотерменные инерциальные системы «Бемоль» (А.А.Унтилов, 2002 г.), Д.В.Волынский, 2003 г.), беспилотерменные системы ориентации на волоконно-оптических гироскопах «Мининавигация-1», «Бекар-Э», гирокомпас «Омега» (В.Г.Олешкевич, 1990 г.), инерциально-спутниковый компас «ИСОН-1» (А.П.Степанов, 2005 г.), гиростабилизированный гравиметр «Чекан АМ» (В.П.Таран, 1977 г.), микромеханические гироскопы (С.В.Павлова, 2006 г.).

Свои разработки продемонстрировали также победители конкурса «УМНИК» – студенты пятого курса А.С.Фира и А.С.Раскин.

Гости посетили и музей предприятия.



Торжественное заседание кафедры было организовано несколько необычно, было двое ведущих – магистры Александра Долnakova и Андрей Скворцов (на фото), которые блестяще справились со своей задачей.

Открыл заседание заведующий кафедрой академик РАН В.Г. Пешехонов, отметивший в своем приветственном слове и тот факт, что год создания кафедры фактически можно рассматривать как год начала образования в области гирокопии в нашей стране.

Затем с докладами выступили профессор Г.И.Емельянцев (выпускник 1970 г.) и заместитель заведующего кафедрой О.А.Степанов, рассказавшие об истории становления кафедры и ее сегодняшнем дне.



С докладами выступают д.т.н. профессор Г.И.Емельянцев (слева) и д.т.н. О.А.Степанов

КАФЕДРА В НАШИ ДНИ



Далее слово было предоставлено гостям, которые не только выступали с приветственными словами, но и вручали памятные подарки. Главные подарки кафедра получила накануне юбилея. В прошлом году в ЦНИИ «Электроприбор» был введен в эксплуатацию новый комплекс учебных помещений с современным компьютерным классом, а непосредственно к юбилею были выделены средства на приобретение самых современных компьютеров и мониторов для лабораторного центра.

От университета ИТМО базовая кафедра (БК) получила подарок в виде комплекта высокоточного инерциального-спутникового оборудования на сумму почти 4 млн. руб., которое предполагается использовать не только для проведения лабораторных работ, но и для выполнения научных исследований.

С поздравлением выступил ректор НИУ ИТМО, член-корреспондент РАН, председатель Совета ректоров С.-Петербурга В.Н. Васильев (на фото слева), отметивший, в частности, высокий уровень организации процесса обучения в ЦНИИ «Электроприбор» в целом, основанного на тесном сотрудничестве с вузами города, и в первую очередь с НИУ ИТМО. Затем со словами приветствия и поздравлениями выступили руководители ведущих родственных кафедр России профессора Ю.В.Филатов (ЛЭТИ), Л.А.Северов, А.В.Небылов (СПбГУАП) (фото справа), С.Ф.Коновалов (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (на фото справа внизу), А.И.Черноморский, К.К.Веремеенко (МАИ), а также представители военной науки из Серпухова – профессора С.Б.Беркович и Н.И.Котов.

Далее слово было предоставлено гостям, которые не только выступали с приветственными словами, но и вручали памятные подарки. Главные подарки кафедра получила накануне юбилея. В прошлом году в ЦНИИ «Электроприбор» был введен в эксплуатацию новый комплекс учебных помещений с современным компьютерным классом, а непосредственно к юбилею были выделены средства на приобретение самых современных компьютеров и мониторов для лабораторного центра.

От университета ИТМО базовая кафедра (БК) получила подарок в виде комплекта высокоточного инерциального-спутникового оборудования на сумму почти 4 млн. руб., которое предполагается использовать не только для проведения лабораторных работ, но и для выполнения научных исследований.

С поздравлением выступил ректор НИУ ИТМО, член-корреспондент РАН, председатель Совета ректоров С.-Петербурга В.Н. Васильев (на фото слева), отметивший, в частности, высокий уровень организации процесса обучения в ЦНИИ «Электроприбор» в целом, основанного на тесном сотрудничестве с вузами города, и в первую очередь с НИУ ИТМО. Затем со словами приветствия и поздравлениями выступили руководители ведущих родственных кафедр России профессора Ю.В.Филатов (ЛЭТИ), Л.А.Северов, А.В.Небылов (СПбГУАП) (фото справа), С.Ф.Коновалов (МГТУ им. Н.Э. Баумана) (на фото справа внизу), А.И.Черноморский, К.К.Веремеенко (МАИ), а также представители военной науки из Серпухова – профессора С.Б.Беркович и Н.И.Котов.



75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ



Порадовало поздравление, подготовленное делегацией от ОКБ «Электроавтоматика», возглавляемой генеральным директором д.т.н. профессором П.П. Парамоновым (*на фото слева*). От ОКБ В.Г. Пешехонову был вручен сертификат на малую звезду, расположенную в созвездии Скорпиона, которой присвоено название кафедры – «Информационно-навигационные системы». Это уникальный подарок, возможно, достойный включения в Книгу рекордов Гиннеса, поскольку вряд ли еще есть другие кафедры, названия которых присвоено какой-либо звезде.

Также по инициативе ОКБ «Электроавтоматика» в этот день в газете «Санкт-Петербургские ведомости» была опубликована заметка с рассказом о базовой кафедре и поздравлением коллектива.

От академической научной общественности выступил директор СПИИРАН, член-корреспондент РАН Р.М.Юсупов (*на фото справа*), вручивший две памятные

медали – заведующему кафедрой академику РАН В.Г. Пешехонову «За достижения в области информатизации» и кафедре «За взятие 75-летнего юбилея».

Конечно, не все желающие смогли приехать на празднование. Так, в связи с важным совещанием, проводимым в Москве, отсутствовал выпускник 1962 г., ныне заведующий кафедрой, заслуженный деятель науки РФ В.Я.Распопов (Тульский государственный университет). Однако Владимир Яковлевич приспал яркое видеообращение и передал подарки в виде самовара и действующей модели гиростата. Было также зачитано трагательное поздравление от И. М. Окона (выпускника 1952 г.), длительное время проработавшего в ЦНИИ «Электроприбор» (в настоящее время живет в США).

В ответ на поздравления Владимир Григорьевич Пешехонов всем выступившим вручал памятный сборник, посвященный 75-летнему юбилею кафедры информационно-навигационных систем Национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики.



После всех выступлений состоялся концерт «Кавалер-дутых» – двух прекрасных исполнителей, артистов Большого драматического театра. Прозвучали оригинальные композиции, песни, романсы, которые были тепло приняты зрителями.

А столы для фуршета были настолько прекрасны, что понапачу даже не хотелось нарушить это великолепие.

Замечательный юбилей, достойные участники, чудесный праздник!

О.А.Степанов

КАФЕДРА В НАШИ ДНИ

От поколения – к поколению

Кафедра информационно-навигационных систем – особенная. Недаром необходимость ее создания обосновал сам А.Н. Крылов. Наше поколение – ровесники кафедры, выпускники 1961 года. На кафедре всегда учили хорошо.

Гостям продемонстрировали лабораторный комплекс для студентов, включающий компьютерный класс, оснащенный мощными компьютерами и интерактивными досками. Нам рассказали, что студенты старших курсов кафедры привлекаются к научной работе, что они принимают активное участие в молодежных научных конференциях (в том числе и международных), что организуются стажировки студентов за границей. Тепло вспоминали руководителей кафедры, преподавателей и выдающихся выпускников прошлых лет.

Сейчас во многих сферах научно-технической деятельности наблюдается ослабление преемственности поколений. Никакие сверхбыстро действующие и обладающие огромной памятью компьютеры не спасут, если не будет людей, способных создавать адекватные реальным исследуемым процессам модели. Еще А.Н. Крылов говорил, что математика – это жернов, засыпая в который лебеду, не надеялся получить муку. Мы убедились в том, что сейчас студентам нашей кафедры эта беда не грозит, так как практически все они уже работают в различных отделах ЦНИИ «Электроприбор» и темы их магистерских работ напрямую связаны с решением конкретных научно-технических задач.

Успехами последних лет кафедра обязана профессорско-преподавательскому составу и ЦНИИ «Электроприбор» под руководством академика РАН В.Г. Пешехонова.

Празднование юбилея кафедры было организовано великолепно! Мы получили огромное удовольствие, заряд радости и бодрости, а главное – надежду на лучшее будущее высшего образования и науки в России. Огромное спасибо организаторам этого славного юбилея.

Л.И.Попкова, выпускница кафедры 1961 г., к.т.н,
чемпионка Европы (1960) по баскетболу, зам. декана
Санкт-Петербургского морского технического университета

9 ноября, мне, как и большинству студентов кафедры, довелось стать участником празднования ее юбилея. На праздник пришли многие выпускники, профессора и многочисленные гости. На торжественном заседании я с интересом прослушала выступление заведующего кафедрой В. Г. Пешехонова, рассказавшего, в частности, о задачах по обучению сотрудников предприятия в целом и роли кафедры в этом процессе. Сообщение профессора Г.И.Емельянцева касалось истории кафедры и ее становления. Мы узнали обо всех выдающихся личностях, которые учились на нашей кафедре, и их Полезно было услышать и о перспективах развития кафедры, о конференциях и стажировках, в которых принимают участие как профессорско-преподавательский состав, так и студенты старших курсов. Именно эти вопросы были затронуты в выступлении заместителя заведующего кафедрой О.А.Степанова.

Затем было много выступающих, много искренних, теплых слов. По окончании торжественной части на сцену вышли музыканты, зазвучали дивные романсы, а в перерывах между номерами они тоже поздравляли кафедру с 75-м днем рождения.

Спасибо тебе, кафедра! Гордимся тем, что имеем честь быть твоими студентами!

Е. Будник, студентка 4-го курса



**ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКИЙ СОСТАВ
КАФЕДРЫ «ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ»**

Пешехонов Владимир Григорьевич



Дата рождения: 14 июня 1934 г.

Должность: заведующий кафедрой.

Ученое звание: профессор, академик РАН.

Ученая степень: доктор технических наук.

Руководящий пост: генеральный директор ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»

В 1958 г. окончил с отличием радиофизический факультет Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина.

Работает в ЦНИИ «Электроприбор» с 1958 г., где прошел путь от инженера до директора (с 1991 по 2008 г.). С 26 февраля 2009 г. по настоящее время – генеральный директор ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Заве-

дующий кафедрой с 1991 г.

Выдающийся ученый в области систем навигации и управления движением, крупный организатор науки.

С 1973 г. – главный конструктор высокоточных навигационных комплексов крупных подводных и надводных кораблей Военно-Морского Флота. Им сформулированы принципы построения, и под его руководством разработаны комплексы трех поколений, открывшие новые возможности автономной навигации и использования оружия на всех акваториях Мирового океана и составляющих основу навигационного вооружения кораблей всех классов.

В.Г. Пешехонов ведет большую научно-организационную и педагогическую работу.

Более подробную информацию об академике РАН В.Г. Пешехонове см. на стр. 67-68.

Степанов Олег Андреевич



Дата рождения: 10 января 1949 г.

Должность: заместитель заведующего кафедрой.

Ученая степень: доктор технических наук.

Руководящий пост: начальник научно-образовательного центра ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

В 1973 г. закончил Ленинградский институт авиационного приборостроения, в 1974 – специальный факультет прикладной математики и процессов управления Ленинградского государственного университета имени А.А. Жданова.

Работает в ЦНИИ «Электроприбор» с 1975 года. За время работы прошел большой творческий путь от инженера до крупного специалиста в области теории обработки навигационно-измерительной информации, получившего международное и всероссийское признание. На кафедре работает с 1999 г.

Научные интересы связаны в основном с развитием теории и методов решения наиболее сложных нелинейных задач, разработка которых весьма актуальна при проектировании современных измерительных систем. Предложил и внедрил целый ряд разработок прикладного характера по ком-

ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКИЙ СОСТАВ КАФЕДРЫ ИНС

плексированию информации в навигационных системах и комплексах.

О.А. Степанов – один из основных составителей англо-русского и русско-английского словарей в области навигации и управления движением.

С 2001 г. возглавляет научно-образовательный центр ЦНИИ «Электроприбор», в состав которого помимо аспирантуры и докторантury и кафедры ИНС входит группа перспективных исследований, состоящая из докторов и кандидатов наук. Проводит большую работу по организации научных исследований с участием студентов, аспирантов и молодых ученых, а также процесса непрерывного обучению специалистов. В результате работы, ведущейся с 2001 г., в ЦНИИ «Электроприбор» создана система подготовки и непрерывного обучения специалистов, начиная со студентов старших курсов, отбираемых по конкурсу для будущей работы в ЦНИИ, до специалистов высшей квалификации – кандидатов и докторов наук. Опыт работы по подготовке и обучению, накопленный в ЦНИИ «Электроприбор», широко известен в Санкт-Петербурге и используется на ряде родственных предприятий.

При отделе, возглавляемом Степановым О.А., создан лабораторный центр. В рамках центра успешно разрабатываются установки, позволяющие проводить как исследования вопросов, касающихся теории и практики создания современных систем навигации и управления движением, так и обучение по этой тематике. Проводит большую работу по привлечению молодых специалистов к научной деятельности. Возглавляет оргкомитет ежегодно организуемой, начиная с 1999 г., конференции молодых ученых «Навигация и управление движением», а также с 2004 г. одноименного семинара, проводимого специально для аспирантов.

Действительный член международной общественной организации «Академия навигации и управления движением», член ее Президиума, член Санкт-Петербургской группы Российской национального комитета по автоматическому управлению, член редколлегии журналов «Автоматика и телемеханика», «Гирроскопия и навигация» и «Авиакосмическое приборостроение», член программного и организационного комитетов ряда международных и всероссийских конференций, рецензент ряда журналов и международных конференций, в частности, организуемых Международной федерацией по автоматическому управлению (IFAC) и Институтом инженеров по электронике и электротехнике (IEEE).

Автор более 160 научных статей и докладов, не считая работ научно-методического характера, четырех монографий и одного учебного пособие в 2-х томах

Награжден медалями «За трудовое отличие», «300 лет Российскому Флоту», «В память 300-летия Санкт-Петербурга». Лауреат премии правительства Санкт-Петербурга за выдающиеся достижения в области высшего и среднего профессионального образования за 2010 г. по номинации в области интеграции образования, науки и промышленности.

Аксененко Виктор Дмитриевич



Дата рождения: 20 марта 1947 г.

Должность: доцент.

Ученая степень: кандидат технических наук.

Ученое звание: старший научный сотрудник.

В 1970 г. закончил Ленинградский электротехнический институт им. В.И. Ульянова (Ленина). Работает в ЦНИИ «Электроприбор» с 1970 г. За время работы прошел большой творческий путь от инженера до ведущего научного сотрудника в области аналого-цифрового преобразования и цифровой обработки сигналов.

Основная область научных интересов – элементы и устройства вычислительной техники и систем управления. В 1983 г. защитил кандидатскую диссертацию по специальности 05.13.05.

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В семидесятых – девяностых годах им обоснованы структурные и схемотехнические решения для построения прецизионных преобразователей угла в код на основе индукционных датчиков. Разработан ряд преобразователей для систем ЦНИИ «Электроприбор».

В последнее десятилетие круг научных направлений включает проблемы создания встраиваемых систем для навигационных приборов, аналого-цифрового преобразования и цифровой обработки сигналов чувствительных элементов и аналоговых датчиков информации.

С 1984 года работает в составе научно-методической комиссии ОАО «Концерн» ЦНИИ «Электроприбор» по специальности «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления», в настоящее время заместитель председателя. Руководит работой секции «Электронные и электромеханические устройства систем навигации и управления» проводимой ежегодно, начиная с 1999 г., конференции молодых ученых «Навигация и управление движением».

Член (Senior Member) института инженеров по электронике и электротехнике (IEEE).

Автор 140 научных публикаций, в том числе 49 изобретений.

Награжден медалями «300 лет Российскому Флоту», «В память 300-летия Санкт-Петербурга».

На кафедре работает с 2008 г.

Беляев Яков Валерьевич



Дата рождения: 7 декабря 1978 г.

Должность: доцент кафедры «Информационно-навигационные системы», старший научный сотрудник ОАО «Концерн» ЦНИИ «Электроприбор».

Ученая степень: кандидат технических наук.

Основная область научных интересов: системы управления, моделирование физических процессов.

Является разработчиком систем управления микромеханическими чувствительными элементами, обеспечивающими функционирование ММГ в различных режимах работы. Автор методик определения параметров систем терmostатирования и температурной оптимизации приборов с использованием программ расчета методом конечных элементов. Разработчик САПР температурной оптимизации ММГ. Занимается разработкой математической модели ММГ с учетом нелинейных эффектов в электродных структурах. Специалист в области расчетов физических процессов в системах ANSYS, Cosmos, SFdesign и др.

На кафедре работает с 2008 г.

Руководитель секции «Микромеханические датчики» конференции молодых ученых «Навигация и управление движением».

Биндер Яков Исаакович



Дата рождения: 08.09.1954 г.

Должность: доцент кафедры, начальник научно-технического центра телеметрических систем ОАО «Концерн» ЦНИИ «Электроприбор».

Руководящий пост: генеральный директор ОАО «Электромеханика».

Ученая степень: кандидат технических наук.

В 1977 г окончил Ленинградский электротехнический институт им. В. И. Ульянова (Ленина), факультет корабельной электрорадиоавтоматики.

После окончания института работал в ЦНИИ «Электроприбор» инженером, старшим инженером, ведущим инженером, начальником сектора (1977–1991). С 2002 г. возглавляет в ЦНИИ «Электроприбор» новое направление по

ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКИЙ СОСТАВ КАФЕДРЫ ИНС

реализации лучших научных и технических достижений института в современной импортозамещающей технике для стратегической отрасли российской экономики – нефтегазодобычи.

С 1992 г. руководил рядом машиностроительных предприятий города, в том числе заводом премиционного станкостроения ОАО «Электромеханика».

Является автором курса «Методы и средства подземной навигации нефтегазовых и рудных скважин», с 1998 г. – председатель ГАК кафедры «Мехатроника» ИТМО.

На кафедре работает с 2003 г.

Автор более 100 научных работ, включая 35 патентов и авторских свидетельств.

Награжден медалью СССР «За трудовую доблесть» (1984), орденами Русской Православной Церкви – «Святого благоверного князя Даниила Московского» (2004), «Сергия Радонежского» (2011), имеет также ряд других наград и знаков отличия.

Является действительным членом международной общественной организации «Академия навигации и управления движением», членом Американского общества инженеров – нефтяников (SPE).

Председатель попечительского благотворительного фонда «Диакония».

Входит в состав участников проекта «КТО ЕСТЬ КТО в России».

Емельянцев Геннадий Иванович



Дата рождения: 10 января 1946 г.

Должность: профессор кафедры, главный научный сотрудник научно-образовательного центра ГНЦ РФ ОАО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор».

Ученая степень: доктор технических наук.

Ученое звание: профессор.

Г.И. Емельянцев закончил ЛИТМО по кафедре «Гирроскопические и навигационные приборы» в 1970 г., аспирантуру при ЛИТМО – в 1973 г. Докторскую диссертацию защитил в 1989 г. Профессор по кафедре – с 1993 г., Заслуженный деятель науки РФ – с 2007 г., лауреат премии Ленинского комсомола в области науки – 1978 г., лауреат премии им. Н.Н. Острякова – 2012 г., капитан

1 ранга в отставке.

С 1973 г. занимается научной и педагогической деятельностью в Государственном научно-исследовательском навигационно-гидрографическом институте МО РФ, ЦНИИ «Электроприбор» и ЛИТМО (с 1991 г.).

Ведущий специалист в области построения и испытаний корабельных инерциальных навигационных систем (ИНС) и интегрированных систем ориентации и навигации (ИСОН). В восьмидесятые годы разработал и внедрил на флоте новую методологию проведения мореходных испытаний корабельных ИНС, использующую данные спутниковых навигационных систем, и различные методы коррекции ИНС, в частности метод протяженной коррекции.

Руководил и непосредственно принимал участие в испытаниях корабельных ИНС при плаваниях к Северному полюсу на атомных подводных лодках (1985, 1987). Был членом Правительственной и Государственных комиссий по испытаниям и принятию на вооружение корабельного навигационного комплекса «Симфония». Награжден орденом «За службу Родине в Вооруженных Силах СССР» III степени (1984).

В последнее десятилетие круг научных интересов включает исследования по созданию современного алгоритмического обеспечения бескарданных инерциальных навигационных систем на электростатических, волоконно-оптических и микромеханических гироскопах, а также интегрированных инерциально-спутниковых систем ориентации и навигации для морских, авиационных подвижных

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО-НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

объектов и космических аппаратов дистанционного зондирования Земли.

Основная область научных интересов – морская навигация, инерциальные навигационные системы, интегрированные инерциально-спутниковые системы ориентации и навигации.

За время работы Г.И. Емельянцев опубликовал 2 монографии (в соавторстве), 3 учебных пособия и около 100 статей в научно-технических журналах, является автором 7 патентов РФ. Среди опубликованных научных работ монография «Интегрированные системы ориентации и навигации для морских подвижных объектов», учебное пособие «Бесплатформенные инерциальные системы навигации и ориентации», статьи в журналах «Гирокопия и навигация», «Навигация и гидрография», «Судостроение за рубежом», «Приборостроение». Выступает с докладами на научных конференциях. Является исполнителем нескольких грантов РФФИ.

Принимает активное участие в подготовке научных кадров как профессор базовой кафедры информационно-навигационных систем СПбГУ ИТМО и председатель научно-методической комиссии по вопросам гирокопии в «ЦНИИ Электроприбор». Член диссертационных советов ГосНИИГИ и «ЦНИИ Электроприбор». Член редколлегии научного журнала «Гирокопия и навигация». Действительный член международной общественной организации «Академия навигации и управления движением».

В настоящее время Г.И.Емельянцев подготовил новый курс по интегрированным инерциально-спутниковым системам ориентации и навигации с разработанным им для компьютерных занятий программным обеспечением в пакете MATLAB (Simulink) для подготовки магистров на кафедре. Осуществляет научное руководство за написанием дипломных работ бакалавров и магистров. Научный руководитель нескольких аспирантов при ЦНИИ «Электроприбор».

Им прочитаны курсы лекций для магистров и аспирантов КНР в Юго-восточном университете (г. Нанкин, 2004 г.) и Технологическом институте (г. Пекин, 2006 г.). Руководил научной стажировкой при кафедре аспирантов и специалистов из КНР в 2007–2011 гг.

Евстифеев Михаил Илларионович



Дата рождения: 09.09.1954 г.

Должность: профессор кафедры.

Ученая степень: доктор технических наук.

Ученое звание: доцент по специальности «Приборы навигации».

В 1978 г. окончил Ленинградский электротехнический институт «ЛЭТИ» по специальности «Гирокопические приборы и устройства».

В 1997 г. защитил кандидатскую диссертацию, а в 2007 г. – докторскую диссертацию на тему «Теория и методы расчета упругих подвесов инерциальных чувствительных элементов приборов навигации».

Работает в ЦНИИ «Электроприбор» с 1978 года. Прошел путь от инженера-конструктора до начальника конструкторского отдела.

На кафедре работает с 2000 года.

Научные интересы в основном связаны с проектированием чувствительных элементов приборов навигации и оптимизацией конструкций микромеханических приборов.

Имеет более 120 научных публикаций.

Награжден медалью «300 лет Российскому Флоту» и почетным знаком «100 лет подводному флоту».

ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКИЙ СОСТАВ КАФЕДРЫ ИНС

Ковалёв Андрей Сергеевич



Дата рождения: 23.05.1980 г.

Должность: доцент кафедры

Ученая степень: кандидат технических наук.

В 2003 г. Окончил Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения по специальности «Приборы навигации, стабилизации и ориентации».

В 2008 г. после окончания очной аспирантуры в ЦНИИ «Электроприбор» защитил кандидатскую диссертацию на тему «Управление первичными и вторичными колебаниями микромеханического гироскопа».

Работает в ЦНИИ «Электроприбор» с 2002 г., в настоящее время – начальник лаборатории микролинзомеханических систем. С 2004 г.

входит в состав оргкомитета конференции молодых ученых «Навигация и управление движением», является членом научно-методической комиссии ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» по специальности «Приборы навигации». Участник программы «УМНИК» в 2008 г. С 2008 г. – член секции молодых ученых международной общественной организации «Академия навигации и управления движением».

Область научных интересов связана с проектированием и производством микромеханических датчиков. Является разработчиком микромеханического гироскопа ММГ-2, принимал участие в разработках систем «Микронавигации», «БИНС», блоков управления различных подвижных объектов.

С сентября 2011 г. – доцент кафедры «Приборы ориентации, стабилизации и навигации» в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения.

С сентября 2011 г. – доцент кафедры «Информационно-навигационные системы».

Имеет 32 научные публикации.

Литвиненко Юлия Александровна



Дата рождения: 01.08.1974 г.

Должность: доцент кафедры.

Ученая степень: кандидат технических наук.

В 1998 г. окончила Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» по специальности «Приборы навигации, стабилизации и ориентации».

В 2005 г., после окончания очной аспирантуры ЦНИИ «Электроприбор», под руководством проф. С.П. Дмитриева, защитила кандидатскую диссертацию на тему «Оптимизация алгоритмов инерциальной навигационной системы морских объектов».

С апреля 1998 г. работает в ЦНИИ «Электроприбор», с 2005 г. – в должности старшего научного сотрудника. С ноября 1999 г. входит в состав оргкомитета конференции молодых ученых «Навигация и управление движением», является секретарем научно-методической комиссии ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» по специальности «Приборы навигации».

Научные интересы в основном связаны с применением методов обработкой информации в инерциальных навигационных системах. Является разработчиком математического обеспечения инерциальных систем полуаналитического типа «Ладога-М», «Дельта», «Алеут-Э.1», «Онега».

Имеет 22 научные публикации.

Лопарев Алексей Валерьевич



Дата рождения: 5 июня 1974 г.

Должность: доцент кафедры «Информационно-навигационные системы», начальник сектора ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

Ученая степень: кандидат технических наук.

Ученое звание: доцент.

Работает в ЦНИИ «Электроприбор» с 2004 г., в должности начальника сектора – с июля 2010 г.

Основная область научных интересов: субоптимальная фильтрация, обработка навигационной информации.

Является разработчиком математического обеспечения ряда навигационных комплексов. Проводит исследования, направленные на повышение надежности и эффективности алгоритмов обработки навигационной информации.

Педагогический стаж с 2002 г. Ассистент, доцент кафедры аэрокосмических систем ориентации, навигации и стабилизации Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. С 2008 г. по настоящее время – доцент кафедры «Информационно-навигационные системы».

Руководитель секции «Теория и системы управления» конференции молодых ученых «Навигация и управление движением».

Награжден Дипломом Комитета экономического развития, промышленной политики и торговли Санкт-Петербурга.

Имеет 40 научных публикаций.

Медведков Андрей Александрович



Дата рождения: 06 августа 1989 г.

Должность: ассистент кафедры/

В 2012 г. окончил магистратуру базовой кафедры информационно-навигационных систем НИУ ИТМО по направлению «Автоматизация и управление».

С 2011 г. совмещал учебу в институте с работой в ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

В 2012 г. поступил в очную аспирантуру ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» на специальность «Приборы навигации» под руководством д.т.н. проф. Г.И. Емельянцева. Прошел стажировку в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Научные интересы в основном связаны с построением интегрированных инерциально-спутниковых навигационных систем.

С сентября 2012 г. – ассистент кафедры ИНС.

Имеет 2 научные публикации.

ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКИЙ СОСТАВ КАФЕДРЫ ИНС

Моторин Андрей Владимирович



Дата рождения: 28 июля 1989 г.

Должность: ассистент кафедры.

В 2012 г. окончил магистратуру базовой кафедры информационно-навигационных систем Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий механики и оптики по направлению «Автоматизация и управление».

В 2012 г. поступил в очную аспирантуру ЦНИИ «Электроприбор» на специальность «Системный анализ, управление и обработка информации» под руководством д.т.н. О.А. Степанова.

С 2009 г. совмещал учебу в университете с работой в ЦНИИ «Электроприбор» сначала в должности техника, а после получения степени бакалавра в 2010 г. – в должности инженера. С 2010 г. принимает активное участие в работе конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». За время учебы прошел стажировки в Технологическом университете г. Тамбре и Тульском государственном университете.

Научные интересы связаны в основном с обработкой информации в интегрированных инерциально-спутниковых навигационных системах.

С сентября 2012 г. – ассистент кафедры ИНС.

Имеет 5 научных публикаций.

Потемина Наталья Станиславовна



Дата рождения: 24 июня 1963 г.

Должность: старший преподаватель.

В 1986 г. окончила Ленинградский институт точной механики и оптики, кафедра «Приборы точной механики» факультета точной механики и вычислительной техники. Получила квалификацию инженер-механик. С 1993 до 1996 г. работала в лаборатории «Лазерная гиromетрия».

С 1996 г. работает на кафедре информационно-навигационных систем в должности инженер 1 категории. С 2003 г. – ассистент, а с 2009 г. – старший преподаватель.

Старосельцев Леонид Петрович



Дата рождения: 24 сентября 1945 г.

Должность: заведующий лабораторией кафедры «Информационно-навигационные системы», ведущий научный сотрудник ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

Ученая степень: кандидат технических наук.

Работает в ЦНИИ «Электроприбор» с 1970 г., где прошел путь от инженера до начальника научно-исследовательского сектора (с 1984 по 1992 г. и с 2000 по 2008 г.).

С 2009 г. по настоящее время – ведущий научный сотрудник ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

В семидесятых – девяностых годах участвовал в поисковых исследованиях путей создания принципиально новых приборов и систем для измерения тонкой структуры гравитационного поля.

В последнее десятилетие круг научных направлений включает исследования и разработку алгоритмического обеспечения беспилотных инерциальных систем на волоконно-оптических гироскопах.

На кафедре работает с 2011 г.

Награжден медалями «300 лет Российскому флоту», «В память 300-летия Санкт-Петербурга».

Имеет 58 научных трудов.

Шафранюк Андрей Валерьевич



Дата рождения: 18 апреля 1979 г.

Должность: доцент кафедры «Информационно-навигационные системы», старший научный сотрудник ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

Ученая степень: кандидат технических наук.

Работает в ЦНИИ «Электроприбор» с 2006 г., а с 2007 г. – в должности старшего научного сотрудника.

Область научных интересов: адаптивная пространственная фильтрация, обнаружение и оценка параметров сигналов.

Разработчик программно-алгоритмического обеспечения гидроакустических комплексов и систем. Проводит научные исследования в области повышения точности и эффективности обнаружения и оценки параметров пространственных гидроакустических сигналов в условиях слабой априорной определенности.

Педагогический стаж с 2002 г. Начинал преподавание, учась на старших курсах магистратуры и в аспирантуре. В 2005 г. принят был на должность старшего преподавателя кафедры систем управления Южно-Уральского государственного университета.

На кафедре работает с 2011 г.

ПРОФЕССОРСКО-ПРЕПОДАВАТЕЛЬСКИЙ СОСТАВ КАФЕДРЫ ИНС

Юхта Павел Валерьевич



Дата рождения: 24 июля 1985 г.

Должность: доцент кафедры «Информационно-навигационные системы», начальник сектора ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор».

Ученая степень: кандидат технических наук.

Работает в ЦНИИ «Электроприбор» с 2006 г., с августа 2010 г. – в должности начальника сектора.

Основная область научных интересов: планирование вычислительного процесса, определение параметров движения судна.

Является разработчиком аппаратного и программного обеспечения приборов ряда навигационных комплексов.

На кафедре работает с 2011 г.

Соруководитель секции «Элементы и устройства вычислительной техники» конференции молодых ученых «Навигация и управление движением».

Имеет 16 научных трудов.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

БУДУЩИМ ИНЖЕНЕРАМ И УЧЕНЫМ

Ежегодно наступает горячая пора для поступающих высшие учебные заведения. И в это время важно определиться с выбором того вуза, где можно получить интересную и востребованную профессию. Тем, кто стоит на пороге такого выбора, и предназначено это обращение. Его цель – обратить внимание на возможность поступить в **ведущий вуз России – Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (НИУ ИТМО)**. Заметим, что статусом **национальный исследовательский университет** обладает чуть более 30 вузов России и только 4 – в Санкт-Петербурге.

Университет предлагает широкий спектр специальностей, и, получив образование в НИУ ИТМО, выпускник будет иметь возможность работать в наиболее передовых и успешных областях науки и техники.

Особое внимание хотелось бы привлечь к возможности стать специалистом в области **информационно-навигационных систем**. Это – бурно развивающаяся отрасль, которая ввиду повсеместного внедрения средств мобильной связи и Интернета будет в ближайшее время наиболее востребована на рынке услуг. Таких специалистов в НИУ ИТМО готовят на кафедре «Информационно-навигационные системы», которую возглавляет имеющий мировую известность ведущий ученый России, академик Российской Академии наук В.Г.Пешехонов. В 2008 г. кафедра стала базовой кафедрой Государственного научного центра РФ ЦНИИ «Электроприбор», ныне – ОАО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор», генеральным директором которого также является В.Г.Пешехонов.

Эта кафедра – одна из старейших в университете. Здесь готовят бакалавров и магистров по следующим направлениям:

- компьютерные методы разработки датчиков и приборов;
- методы обработки информации и прикладное программирование;
- методы и системы подземной навигации нефтегазовых и рудных скважин;
- инерциальные навигационные системы, интегрированные со спутниковыми системами ГЛОНАСС и GPS.

Выпускники кафедры могут работать конструкторами, технологами, программистами, алгоритмистами, электронщиками. Они востребованы на ведущих приборостроительных предприятиях города, таких как ОАО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор», Группа компаний «Транзас», ОАО «Российский институт радионавигации и времени», ОАО «НПП «РАДАР мис», ЗАО «КБ «Навис», ОАО «Концерн НПО «Аврора», ОАО «ЦКБ МТ «Рубин», ОАО «Электромеханика».

На кафедре сильный профессорско-преподавательский состав, куда входят авторитетные ученые, большинство из которых – члены международной общественной организации «Академия навигации и управления движением», объединяющей ведущих ученых страны и мира. Здесь ведется активная научная работа, сотрудники публикуют свои труды в научных журналах и выступают с докладами на конференциях в России, США, Германии, Франции, Японии.

К научной деятельности привлекаются студенты старших курсов. Достаточно заметить, что за последние два года на кафедре три проекта, выполняемые с участием студентов старших курсов, получили гранты по федеральной программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса – «УМНИК» (200 тыс. руб. в год на каждый проект). Кроме того, студенты участвуют в научных исследованиях, проводимых на кафедре при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

Ведется активная работа по организации стажировок студентов кафедры в ведущих вузах России и за границей. За последнее время на кафедре создан цикл современных лабораторных работ, здесь практикуется проведение дополнительных лекций с участием ведущих научных города и страны.

Кафедра развивается при активной поддержке ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» – ведущего в России и имеющего мировую известность предприятия в области прецизионного приборостроения и высокоточной навигации. Для отличников введена дополнительная дифференцированная стипендия в размере 1500-3000 рублей. У хорошо зарекомендовавших себя студентов есть возможность совмещать учебу на первых курсах с работой в концерне. Имеется возможность поступления на конкурсной основе в группу целевой подготовки, выпускники которой имеют приоритетное право на трудоустройство в ЦНИИ «Электроприбор» с возможностью последующего поступления в аспирантуру.

Руководство кафедры выражает признательность всем, кто помогает поддерживать и развивать кафедру, и обращает внимание на возможность поступления на кафедру как выпускников школ – на первый курс, так и бакалавров, в том числе и из других вузов, – в магистратуру.

ЖДЕМ РАБОТОСПОСОБНЫХ И ТАЛАНТЛИВЫХ НА НАШЕЙ КАФЕДРЕ!

Заместитель заведующего кафедрой д.т.н. О.А.Степанов

**По вопросам поступления просим обращаться
по тел. (812) 232-35-62 и моб. тел.8-921-309-18-37.**

**Информация размещена также на сайтах
(www.ifmo.ru, www.abit.ifmo.ru, www.ins.ifmo.ru,
www.elektropribor.spb.ru)**

ОГЛАВЛЕНИЕ

Вступительное слово заведующего кафедрой академика РАН В.Г. Пешехонова	5
ГЛАВА 1. ПУТЬ К СЛАВНОМУ ЮБИЛЕЮ (исторический очерк О.А.Степанова)	7
ГЛАВА 2. НАВИГАЦИЯ: ОТ ИСТОКОВ ДО НАШИХ ДНЕЙ (статьи руководителей кафедры)	31
Предисловие	31
Лаврентий Павлович Шишлов.....	33
Константин Сергеевич Ухов.....	34
К.С. Ухов. Краткий исторический очерк	35
Сергей Федорович Фармаковский	43
С.Ф. Фармаковский. Состояние и перспективы развития гироколюметрических и навигационных приборов.....	45
Марк Антонович Сергеев.....	55
М.А. Сергеев. Обобщенный схема наземных гирокомпасов	56
Владимир Александрович Каракашев	61
В.А. Каракашев. Обобщенные уравнения ошибок инерциальных навигационных систем	62
Владимир Григорьевич Пешехонов	67
В.Г. Пешехонов. Современное состояние и перспективы развития гироколюметрических систем	69
ГЛАВА 3. ВКЛАД ВЫПУСКНИКОВ КАФЕДРЫ В НАУКУ	81
Предисловие	81
В.П. Василенко, Н.К. Кошляков, М.А.Шиф. К теории корректируемого гирогоризонткомпаса	83
В.В. Серегин. Обобщенный алгоритм аналитического метода гирокомпасирования	88
О.Н. Аничин, Г.И. Емельяниев. О влиянии угловых колебаний объекта на точность и время выставки по курсу интегрированной системы ориентации и навигации	93
В. З. Гусинский, В. М. Лесочевский, Ю. А. Литманович, В. Г. Пешехонов, Джордж Т. Шмидт. Использование информационной избыточности в инерциальных навигационных системах на свободных гироскопах	100
М.Д.Агеев. Создание автоматизированной сети океанографических исследований на основе автономных подводных аппаратов с солнечной энергетикой	108
Б.Е. Ландau. Электростатический гироскоп со сплошным ротором	117
В.Я. Распопов. Микромеханические гироскопы и акселерометры в системах управления движением	129
Л.П. Старосельцев, Д.В. Волынский, А.А. Утилов, В.Г. Олешкович, О.М. Яшинкова. Малогабаритные общекорабельные системы гироколюметрической стабилизации и курсоуказания на основе волоконно-оптических гироскопов	142
О.А.Степанов, О.М. Яшинкова, Д.О.Тарановский, А.А.Краснов, А.С. Ковалев, П.В. Юхта. Конференции молодых ученых «Навигация и управление движением»	148
Информация об авторах	158
ГЛАВА 4. СТАТЬИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ КАФЕДРЫ	159
Предисловие	159
Г.М.Кузнецов. Конструктивные решения малогабаритных лазерных гироскопов	160

Г.И. Емельянцев, Б.А. Блажнов, А.П. Степанов. Об особенностях использования фазовых измерений в задаче ориентации в интегрированной инерциально-спутниковой системе	167
В.Г.Пешехонов, Л.П.Несенюк, Д.Г.Грязин, М.И.Евстифеев, Я.А.Некрасов, В.Д.Аксененко. Мини-ромеханический гироскоп, разрабатываемый в ЦНИИ «Электроприбор»	176
О.А.Степанов. Фильтр Калмана. История и современность (К 80-летию Рудольфа Эмиля Калмана)	181
Я.И. Биндер. Актуальные вопросы построения и использования непрерывных гирониклинометров	201
Информация об авторах	210
ГЛАВА 5. ВОСПОМИНАНИЯ 211	
Предисловие	211
М.Д.Агеев. О времени и о себе	212
М.В.Чичинадзе. Памяти Владимира Николаевича Кошлякова	216
В.Я.Распопов. Как нас учили, и как мы учились	220
Ю.А.Бурын. Желаю процветания любимой кафедре	223
В.В.Сергин. Один из многих – один из лучших	225
И.М.Окон. Мои учителя	227
П.И.Малеев. В память навсегда	229
В.М.Лесючевский. Люди, с которыми мне посчастливилось быть рядом	232
Т.В.Падерина. Мне очень повезло	235
Я.И.Ходорковский. Моя студенческая юность	237
Л.И.Попкова. Команды молодости нашей	242
Информация об авторах	244
ГЛАВА 6. КАФЕДРА В НАШИ ДНИ 245	
Предисловие	245
О.А.Степанов. Эффективное сотрудничество	247
<i>Обзор материалов прессы</i>	251
Профессорско-преподавательский состав кафедры	280
<i>Послесловие</i>	291

Национальный исследовательский университет ИТМО: ГОДЫ И ЛЮДИ

Наименование предыдущих книг серии

- Университет ИТМО: Годы и люди. Часть 1 / Составитель М.И. Потеев, СПб., Ива . 2000. 284 с.
- Университет ИТМО: Годы и люди. Часть вторая / Под общей ред. проф. М.И.Потеева. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006. 164 с.
- Университет ИТМО: Годы и люди. Русинов / Под общей ред. проф. М.И.Потеева. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. 168 с.
- Война и блокада / Под редакцией Н.К.Мальцевой. СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. 260 с. Серия книг Национальный исследовательский университет ИТМО: Годы и люди . Часть четвертая.
- Университет XXI века. / Под редакцией профессора Ю.Л. Колесникова и доцента Н.К. Мальцевой СПб: НИУ ИТМО, 2011. 300 с. Серия Национальный исследовательский университет ИТМО: Годы и люди . Часть пятая.

Национальный исследовательский университет ИТМО: ГОДЫ И ЛЮДИ

Серия книг по истории создания и развития
Санкт Петербургского национального исследовательского универ-
ситета информационных технологий, механики и оптики
(бывшего Ленинградского института точной механики и оптики)

Автор проекта О.А. Степанов и О.М. Яшникова

75 ЛЕТ КАФЕДРЕ ИНФОРМАЦИОННО НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Часть 6

Технический редактор Д.О. Тарановский

Санкт Петербургский
национальный исследовательский университет
информационных технологий,
механики оптики
197101, СПб, Кронверкский пр., 49

Подписано в печать 31.10.12. Тираж 300 экз.
Печать цифровая.

Центр распределенных издательских систем
НИУ ИТМО

199034, СПб, В.О., Биржевая линия, д. 16
тел: +7(812) 2334669, em ail: zakaz@tibir.ru, www.tibir.ru