

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ (общероссийский семинар)

31 марта 2011 г. в Учреждении Российской академии наук Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (ИПУ РАН) состоялся Общероссийский семинар «Современные методы навигации и управления движением». Семинар проводился в ИПУ РАН в шестой раз. Информацию по истории и тематике этих семинаров можно найти в сообщениях [1, 2].

В 2011 г. Семинар имел тематический подзаголовок «Состояние и перспективы».

Семинар традиционно состоял из двух заседаний — утреннего и вечернего. Было заслушано девять докладов, присутствовало более 200 человек.

Открыл Семинар директор ИПУ РАН академик *С.Н. Васильев*. В своем выступлении он отметил актуальность выбранных для Семинара докладов и пожелал участникам плодотворной работы.

На утреннем заседании председательствовал руководитель Секции машиностроения и процессов управления ОЭМПУ РАН академик *Е.А. Федосов*. Он же и сделал первый доклад «Интегрально-модульные системы современной авионики гражданской авиации». В своем выступлении *Е.А. Федосов* подробно рассказал об основных этапах развития авионики (электроники в авиации) с середины прошлого века до сегодняшнего времени. До 1970-х гг. для взаимодействия различных приборов и датчиков использовались аналоговые соединения. В 1970-е гг. с появлением компьютера на него были возложены некоторые функции, ранее выполнявшиеся пилотом, например, определение маршрута движения. В 1980-е гг. появились гибридная архитектура авионики, экран (сначала — электронно-лучевая трубка, потом жидкокристаллический) и цифровая связь. И главное — в этот период появились стандарты на разработку авионики в мире. В 1990-е гг. все мировое авиационное строение переходит на полностью цифровую распределенную (федеративную) архитектуру авионики.

Каждая функция имеет свой вычислитель: управление в продольной и вертикальной плоскостях, расчет расхода топлива и т. д. Компьютер становится сердцем управления самолета. В 2000-е гг. устанавливается централизованная интегральная модульная архитектура (ИМА). Такая идеология построения авионики была вызвана непрерывным наращиванием функций, выполняемых на борту. Далее докладчик остановился на качественных характеристиках процессов в развитии оборудования в США и ЕС. Были представлены современная концепция ИМА, принципы организации ее платформы и рассмотрены механизмы реконфигурации платформы ИМА. Докладчик сделал обзор современных российских разработок в этой области. Большое внимание в докладе было уделено технологии разработки функционального программного обеспечения, сделан обзор инструментальных средств разработки и интеграции бортового оборудования, отмечена важная роль прототипирования в разработках. Доклад был закончен изложением основных стадий разработки ИМА.

Далее был заслушан доклад *Г.П. Аншакова* (ФГУП «ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс») и *Е.И. Сомова* (СамНЦ РАН) «Гиросиловое наведение и управление ориентацией спутников наблюдения: методы, результаты и новые вызовы». Докладчик (*Е.И. Сомов*) отметил, что в классе информационных спутников выделяются космические аппараты (КА) наблюдения и кратко привел их классификацию, основные проблемы наведения, навигации, управления движением и обработки получаемой наблюдательной информации. Были представлены методы и результаты синтеза законов наведения полезной нагрузки (телескопов, антенн) КА с помощью силового гироскопического комплекса (СГК). В докладе описаны разработанные методы аналитического синтеза законов гиросилового наведения КА указанного класса как для маршрут-



ного движения при космической оптико-электронной съемке либо информационном обмене, так и для пространственных поворотных маневров КА с гладким сопряжением краевых условий общего вида при смене наблюдаемых наземных объектов. Далее представлены методы и результаты синтеза законов цифрового управления СГК кратных избыточных схем с явными законами настройки — распределения кинетического момента СГК между гироскопами и реактивными маховиками, отмечены результаты практического применения. Были обсуждены некоторые актуальные проблемы (вызовы) в области наведения, навигации и управления КА наблюдения:

— обработка сигналов, калибровка и юстировка прецизионной *бесплатформенной инерциальной навигационной системы* (БИНС) с астрономической коррекцией;

— калибровка и юстировка БИНС с полезной нагрузкой (телескопом);

— цифровое гиросиловое управление ориентацией КА наблюдения с крупногабаритной слабо демпфированной конструкцией;

— наведение больших астрономических телескопов космического базирования с длительной прецизионной стабилизацией положения получаемого оптико-электронного изображения;

— направленная перезакрутка КА малыми внутренними моментами в начальном режиме (после отделения от разгонного блока) при использовании комплексной двигательной установки на основе минимального числа электрореактивных двигателей малой тяги.

Следующим на утреннем заседании Семинара был доклад Ю.К. Жбанова (ИПМех РАН) «Волновой твердотельный гироскоп (принцип действия, схемы управления, источники погрешностей)». В докладе описаны история развития и принципы работы такого гироскопа. Первые патенты по этой тематике относятся к 1979 г., первая публикация — 1982 г. В приборных реализациях вместо кольца в качестве резонатора используется тонкая оболочка в основном в виде либо цилиндра, либо полусферы. При упругих колебаниях кромка оболочки практически повторяет свойства колеблющегося кольца. Для измерения вращения вокруг оси симметрии оболочки используется собственная форма упругих колебаний в виде стоячей волны с четырьмя пучностями и четырьмя узлами. Эта форма считается второй по числу синусоид радиального смещения, умещающихся на кромке. Произвольные колебания резонатора по второй форме можно представить в виде суперпозиции двух базовых стоячих волн, повернутых в теле резонатора друг относительно друга на угол 45° . Суперпозиция ос-

тается стоячей волной, если базовые волны синфазны. При сдвиге фаз между базовыми волнами в суперпозиции, кроме стоячей, появляется волна, оббегающая кромку с частотой собственных колебаний. Схема управления формой волны в реальном приборе должна поддерживать амплитуду упругих колебаний (контур поддержания амплитуды) и поддерживать синфазность базовых волн (контур подавления квадратуры). Неизбежные отклонения реального резонатора от строгой осесимметричности приводят к зависимости собственной частоты и декремента затухания от ориентации волны. Эти явления названы разночастотностью и разнодобротностью. Разнодобротность вызывает дрейф гироскопа, синусоидально зависящий от ориентации волны. Разночастотность вызывает динамическую погрешность в контуре подавления квадратуры. Отличие квадратуры от нуля также вызывает дрейф. При строгой осесимметричности рабочие колебания резонатора не вызывают смещения центра масс. В реакциях опор нет составляющей на рабочей частоте. При отклонении от симметричности центр масс подвижен, реакция в опоре сопровождается рассеянием энергии и появлением дополнительной разнодобротности. Для устранения разночастотности и устранения подвижности центра масс требуется балансировка резонатора. В реальных приборах перечисленные задачи так или иначе решаются. Достигнутая скорость ухода лежит в пределах от 1,0 до 0,001 $^\circ/\text{ч}$, в зависимости от конструкции и условий применения.

Завершал утреннее заседание доклад М.Ш. Мисриханова и В.Н. Рябченко (ОАО ФСК ЕЭС) «Современные методы автоматического управления в энергетике». Доклад (В.Н. Рябченко) охарактеризовал современное состояние электроэнергетических систем. Ключевая тенденция развития современной электроэнергетической отрасли состоит в интеллектуализации управления, заключающейся в насыщении систем управления разнообразными программно-аппаратными устройствами искусственного интеллекта. Ожидается, что этот процесс придаст электроэнергетическим системам свойства разумного (рационального) поведения, способность к адаптации и реконфигурации в зависимости от тех или иных изменений в окружающей среде (в том числе изменений катастрофического характера). В отдельную категорию авторы выделяют «интеллектуальную электрическую сеть» (Smart Grid), т. е. сеть, основанную на технологиях искусственного интеллекта («умных технологиях»), высоконадежную, автоматически балансирующую, способную принимать энергию из любого источника и преобразовывать ее в конечный продукт для потребителей при минимальном участии

людей. «Умные технологии» включают в себя передовые сенсорные, коммуникационные и управляющие технологии для повышения эффективности производства, передачи, распределения и измерения электрической энергии и играют роль интегрирующей основы для всей энергосистемы. Все это должно обеспечить качественно новый уровень надежности, экономичности и безопасности электрических сетей и всей электроэнергетической системы России. В докладе было отмечено, что хотя создание «умных сетей» — мировая тенденция, задача, стоящая перед российскими энергетиками и учеными, гораздо более сложная и многогранная, поскольку отечественная и зарубежная электроэнергетика характеризуются существенными историческими и географическими различиями. Зарубежное понимание «умных сетей» — это дооснащение существующих распределительных сетей на границах с потребителями устройствами учета, соединенными в единую информационную сеть и позволяющими оптимально расходовать энергоресурсы, а также включение в сеть малой и возобновляемой генерации. При этом преобразования носят локальный характер. Наше понимание «умных сетей» — одновременное инновационное преобразование всех субъектов электроэнергетики с учетом специфики российской энергосистемы — делает проблематику «умных сетей» в России действительно уникальной и нерядовой. С этими целями создается принципиально новая технологическая платформа электроэнергетических систем — интеллектуальная электрическая сеть с активно-адаптивными элементами. Такая сеть характеризуется:

- насыщением активными элементами, изменяющими параметры сети;
- достаточным числом датчиков текущих режимных параметров для оценки состояния в различных режимных ситуациях;
- быстродействующей системой сбора, передачи и обработки информации, адекватной системой связи;
- средствами адаптивного управления в реальном масштабе времени с воздействием на активные элементы сети, генераторы и потребителей;
- исполнительными органами и механизмами, воздействующими на активные элементы сети в реальном масштабе времени;
- быстродействующей информационно-управляющей системой с циклическим контролем состояния энергосистемы, ее частей и элементов с разными временными циклами для разных уровней управления;
- комплексом автоматической оценки текущей ситуации в энергосистеме и ее частях с воздей-

ствием на элементы системы для предотвращения нарушений, их локализации и послеаварийного восстановления;

— всережимной системой управления в реальном масштабе времени.

На вечернем заседании председательствовали президент Академии навигации и управления движением, генеральный директор ОАО Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» академик *В.Г. Пешехонов* и руководитель Московского отделения Академии навигации и управления движением заместитель генерального директора — научный руководитель ФГУП «ЦНИИАГ» *В.Л. Солунин*. Заседание открылось докладом *В.Г. Пешехонов* «О современном состоянии и перспективах развития гироскопической техники». В первой части своего выступления докладчик охарактеризовал современные гироскопические системы в России и за рубежом. Были рассмотрены прецизионные инерциальные навигационные системы (ИНС). Отмечено, что уровень характеристик ИНС в России соответствует аналогичным ИНС в США. Были охарактеризованы сверхпрецизионный построитель инерциальной системы координат в космическом эксперименте «Gravity Probe-B» (США) и новое применение электростатического гироскопа — системы ориентации космических аппаратов БИС-ЭГ. Сделано сравнение микромеханических гироскопов и высокоточных гироскопов и систем в России и за рубежом. Большое внимание в докладе было уделено завершающимся в России новым разработкам. Во второй части своего выступления докладчик охарактеризовал разработки ОАО Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» в период с 2003 по 2010 г. В третьей части выступления *В.Г. Пешехонов* проанализировал микромеханические гироскопы, инерциальные измерительные модули и интегрированные системы. Было дано описание современных микромеханических гироскопов, указаны их характеристики, а также приведены результаты испытаний экспериментальной партии микромеханических гироскопов. В докладе подробно проанализированы основные характеристики инерциальных навигационных систем, проведено сравнение интегрированной инерциальной системы, бесплатформенного инерциального модуля и приемника спутниковой навигационной системы. Рассмотрены основные отличия сильносвязанных и слабосвязанных интегрированных навигационных систем. В заключение докладчик рассказал об испытании сильносвязанной интегрированной навигационной системы разработки ОАО Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» в Санкт-Петербурге.

Следующим было выступление *А.Л. Фрадкова* (ИПМаш РАН) «Пассификация в задачах управ-



ления». *А.Л. Фрадков* — ведущий специалист в этой области, автор большого числа опубликованных в России и за рубежом статей и монографий по этим вопросам. В докладе были представлены основные результаты метода пассивации, основанного на построении обратных связей, наделяющих систему свойством пассивности. Изложены необходимые и достаточные условия выполнимости пассивации, впервые полученные и опубликованные в многочисленных работах автора, начиная с 1974 г., а также примеры применения метода к задачам управления, адаптации, оценивания состояния и синхронизации для линейных и нелинейных систем. Подробно были рассмотрены задачи адаптивного и робастного управления с неявной эталонной моделью, в том числе задачи стабилизации и слежения с заданной динамикой, настройки типовых законов управления, управления в системах с переменной структурой. Приведены примеры применения метода к решению практических задач: управления летательными аппаратами, синхронизации нелинейных осцилляторов, передачи сообщений при помощи модуляции хаотических сигналов, а также результаты экспериментов по адаптивному управлению стендом «Вертолет». Перечислен ряд новых направлений: пассивация по отношению к заданному выходу, стохастическая пассивация, робастная пассивация при параметрической неопределенности, управление при ограниченной пропускной способности каналов связи. Метод пассивации вносит в теорию управления прочную физическую основу, устанавливая связь задач синтеза с понятиями энергии и диссипации. Его обоснование опирается на частотную теорему Якубовича — Калмана — Попова. Рожденные из частотной теоремы алгоритмы метода пассивации унаследовали ее процедурную простоту и ясность применения.

Далее был заслушан доклад *А.С. Матвеева* (Санкт-Петербургский государственный университет) «Управление при информационных ограничениях: к единой теории управления, связи и вычислений». Автор сделал обзор некоторых базовых результатов молодого и бурно развивающегося направления теории управления, изучающего распределенные системы управления. Особый акцент был сделан на ограничения, индуцированные применением цифровых сетевых технологий для связи между элементами системы управления и конечной вычислительной производительностью элементов. Основное внимание докладчик уделил эффектам, связанным с конечной пропускной способностью каналов связи, и проблеме стабилизации неустойчивой системы. Докладчик рассказал о мотивации постановок задач управления при инфор-

мационных ограничениях, проиллюстрировав эту мотивацию рядом примеров. Было показано, что теория управления, теория информации и компьютерные науки на современном уровне решаемых ими задач, находятся в неразрывной взаимосвязи. Особенно ярко эта взаимосвязь проявилась в последние годы в связи с созданием сетевых систем управления. В этих системах большое значение имеют ограничения на объем передаваемых данных и неопределенности (ошибки) при их передаче. Управление через сеть и управление сетью также относится к кругу задач, решаемых в рамках синтеза теории управления, теории информации и вычислительной техники. Управление через канал связи ограниченной мощности приводит к выяснению интенсивности информационного обмена в системе, при котором возможна стабилизация тройки: кодер — декодер — регулятор. Введение теоретико-информационных характеристик в постановку задач управления позволили ответить на нестандартные для теории управления вопросы, например, когда возможна стабилизация с вероятностью единица. В рамках союза этих наук стали возникать новые понятия, такие как устойчивость по вероятности, моментная устойчивость, моментная стабилизация, стабилизация устройством ограниченной ожидаемой вычислительной мощности. Доклад вызвал большой интерес слушателей.

Затем вниманию участников был представлен доклад *Н.Б. Вавиловой, А.А. Голована, Н.А. Парусникова* (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Калибровка и комплексирование бескарданных инерциальных навигационных систем, построенных на грубых инерциальных датчиках». Докладчик (*А.А. Голован*) изложил методику калибровки инерциальных датчиков БИНС, которая основана на применении грубых одностепенных стенов с горизонтальной осью вращения. Калибровка состоит из трех циклов вращения корпуса БИНС — по числу ее приборных осей. Оцениваемыми параметрами служат смещения нулей, погрешности масштабных коэффициентов, перекосы осей чувствительности гироскопов и акселерометров, а также, возможно, углы несоосности оси вращения стенов и каждой из приборных осей БИНС, относительные смещения чувствительных масс акселерометров. Задача калибровки сводится к задаче калмановского оценивания, где компонентами вектора состояния служат упомянутые параметры инструментальных погрешностей инерциальных датчиков, а также компоненты вектора кинематической ошибки БИНС. Корректирующими измерениями служат показания акселерометров. Особенность алгоритма состоит в введении обратных связей в алгоритм счисления ориентации БИНС, что удерживает ки-

нематическую ошибку БИНС в линейной зоне. Разработанная методика применяется для калибровки ряда специализированных навигационных блоков. В докладе изложена схема комплексирования БИНС, построенной на грубых инерциальных датчиках, с иными датчиками навигационной информации: спутниковыми навигационными системами, одомером, системой воздушно-скоростных сигналов и др. Схема комплексирования основана на алгоритмах БИНС с использованием обратных корректирующих связей, на моделях уравнений ошибок БИНС, в которых полные ошибки навигационного счисления разделяются на динамическую и кинематическую составляющие. Дискретная реализация указанных алгоритмов (называемая схемой с рестартом) приводит к рестарту начальных условий для оценок вектора состояния рекурсивного алгоритма оценивания, оценок выходных параметров БИНС — координат, скоростей, углов ориентации. При этом возникают унифицированные алгоритмические решения для задач реального времени и для задач постобработки. Докладчик охарактеризовал программно-математическое обеспечение, которое было использовано в ряде приложений: задаче навигации внутритрубного диагностического снаряда (режим постобработки); задаче навигации автомобиля-лаборатории (режим постобработки); резервной курсовертикали для воздушных объектов (реальное время).

Последним был доклад *В.В. Костюкова* (ФГУП «ЦНИИАГ») «Задача прослеживания траектории полета ЛА при навигации по геофизическим полям Земли». Докладчик рассказал о принципах навигации по геофизическим полям. Особое место в докладе отводилось описанию помех и достоверности оценок в рамках этого подхода. Обсуждались вопросы показателей сходства отображений и

вероятности обнаружения. Далее была поставлена задача прослеживания траектории пути при навигации по геофизическим полям. Докладчик достаточно подробно остановился на вопросах прослеживания геометрических и параметрических кривых (траекторий ЛА). В выводах по докладу отмечалось, что прослеживание пути позволяет существенно повысить вероятность обнаружения и сократить вероятность ложного захвата. Метод сечения пространства параметров обеспечивает решение задачи прослеживания ЛА в реальном времени. Алгоритмы прослеживания пути реализованы в серийных системах навигации, выпускаемых в ФГУП «ЦНИИАГ».

В заключительном слове академик *С.Н. Васильев* поблагодарил докладчиков и слушателей Семинара и пожелал организаторам не снижать его высокий уровень в будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов Б.В., Курдюков А.П., Гольдин Д.А. Общероссийский семинар «Современные методы навигации и управления движением: информационно-управляющие системы автономных движущихся объектов» // Проблемы управления. — 2009. — № 4. — С. 80–82.
2. Павлов Б.В., Гольдин Д.А. Современные методы навигации и управления движением: модели и методы обработки информации в задачах управления движением // Проблемы управления. — 2010. — № 3. — С. 79–82.

*Б.В. Павлов,
Д.А. Гольдин*

Павлов Борис Викторович — д-р техн. наук, гл. науч. сотрудник, ☎ (495) 334-93-51, ✉ pavlov@ipu.ru,

Гольдин Дмитрий Алексеевич — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, ☎ (495) 334-89-51, ✉ goldind@ipu.ru,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва.



Международная конференция «Современные проблемы математики, информатики и биоинформатики», посвящённая 100-летию со дня рождения А.А. Ляпунова

(11—14 октября 2011 г., Академгородок, г. Новосибирск)

8 октября 2011 года исполняется 100 лет со дня рождения члена-корреспондента АН СССР Алексея Андреевича Ляпунова (1911—1973) — одного из основоположников кибернетики, основателя российской кибернетики, основателя Московской и Сибирской школ кибернетики и теоретического программирования, одного из основателей НГУ и Физматшколы при НГУ. Отдавая дань памяти выдающемуся российскому ученому и гражданину, организаторы проводят международную конференцию, посвященную 100-летию со дня его рождения.

Оргкомитет: ☎ +7 (383) 330 7351, ☎ +7 (383) 330 7264, ✉ lyap-100@sbras.ru, URL: <http://conf.nsc.ru/Lyap-100/>