

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ НАВИГАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ: МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ (общероссийский семинар)

1 апреля 2010 г. в Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН состоялся семинар «Современные методы навигации и управления движением». Семинар проводился в ИПУ РАН уже в пятый раз. С историей и тематикой этих семинаров можно ознакомиться в публикации [1]. В 2010 г. семинар имел тематический подзаголовок «Модели и методы обработки информации в задачах управления движением» и был посвящен 80-й годовщине со дня рождения Рудольфа Эмиля Калмана и 50-й годовщине выхода в свет его работы [2], надолго определившей развитие теории фильтрации в системах автоматического управления и положившей начало огромному циклу работ, посвященных решению линейно-квадратичной задачи в присутствии случайной помехи в виде «белого шума».

Семинар традиционно состоял из двух заседаний — утреннего и вечернего. Всего на семинаре было заслушано 11 докладов, присутствовало более 200 чел.

Открыл **утреннее заседание** руководитель Секции машиностроения и процессов управления ОЭМПУ РАН академик *Е.А. Федосов*, который отметил важность выбранной тематики и пожелал участникам успешной работы. Далее слово было предоставлено директору ИПУ РАН академику *С.Н. Васильеву*. В своем выступлении он привел основные даты жизни и деятельности Р.Э. Калмана, перечислил его основные заслуги и регалии. В частности, было отмечено, что Р.Э. Калман — почетный член Российской академии наук.

В докладе «50 лет фильтру Калмана» заместителя директора ИПУ РАН *Е.Я. Рубиновича* был дан исторический обзор калмановской линейной фильтрации и теории решения линейно-квадратичной гауссовской (LQG) задачи управления. Были проанализированы результаты А.Н. Колмогорова и Н. Винера, которые явились предопределяющими для теории Калмана. Была рассмотрена геометрия

линейного оценивания, рекуррентное оценивание, изложена схема Калмана — Бьюси как для дискретного, так и для непрерывного времени. В докладе также были изложены обобщения схемы Калмана — Бьюси и особо выделены обобщения, сделанные на протяжении 40 лет в ИПУ РАН. Все изложенные в докладе обобщения в основном относились к развитию описания уравнений процесса, и не касались изменения критерия качества, который на протяжении всего процесса оставался интегралом от некоей квадратичной формы.

Доклад *А.П. Курдюкова* (ИПУ РАН) «От теории LQG к минимаксой фильтрации и управлению», напротив, был посвящен построению управления при изменении критериев качества в задаче минимизации влияния внешних возмущений. Были проанализированы наиболее популярные критерии качества в задаче минимизации влияния внешних возмущений, появившиеся за 50 лет со дня опубликования решения LQG-задачи. Так, были изложены решения LEQG (линейной экспоненциально-квадратичной гауссовской) задачи, задачи чувствительности к риску (risk sensitivity problem), задачи H_∞ -оптимизации. Были отмечены достоинства и недостатки решений каждой из рассмотренных задач в случае, когда предположения о характеристиках входного сигнала не совпадали с его реальными характеристиками (например, шум оказывался не «белым» в LQG задаче и, наоборот, в H_∞ -задаче шум оказывался близким к «белому»). Далее были рассмотрены предложенные ранее теории, в которых использовались преимущества каждого из подходов. В завершение была изложена построенная на идеях теории информации теория стохастического робастного управления, которая для линейных дискретных стационарных систем обобщает известные LQG и H_∞ -теории управления и позволяет эффективно решать задачу подав-

ления влияния внешних возмущений при наличии «цветного» шума в системе.

Доклад *В.А. Тупысева* (ОАО Концерн «ЦНИИ «Электроприбор») «Синтез субоптимальных фильтров калмановского типа с гарантированным качеством оценивания» был посвящен задачам синтеза как редуцированных фильтров калмановского типа, вектор состояния которых меньше вектора состояния оптимального фильтра Калмана, что учитывает ограниченные возможности вычислительных средств, так и фильтров, обеспечивающих гарантированное оценивание основных навигационных параметров в условиях неопределенности в описании возмущений и ошибок измерений. Особенность предлагаемого подхода к синтезу таких фильтров состоит в выборе параметров фильтров калмановского типа таким образом, чтобы матрица $P(t)$, являющаяся решением уравнения Риккати и рассчитываемая в ковариационном канале фильтра, была больше (в смысле неравенства квадратичных форм) действительной ковариационной матрицы $D(t)$ для любого момента времени. В этом случае матрица $P(t)$ может использоваться как мера точности проведенного оценивания. Точность построенного фильтра существенным образом зависит от параметров некоего вспомогательного уравнения. В докладе рассмотрены вопросы выбора этих параметров, обеспечивающих повышение точности фильтра калмановского типа для установленного режима и на начальном этапе оценивания. Выбор таких параметров проведен как для случая синтеза редуцированного фильтра, так и для фильтра, обеспечивающего гарантированное оценивание в условиях интервальной неопределенности параметров формирующих фильтров, используемых для описания возмущений и ошибок измерений.

В докладе *С.П. Дмитриева* и *Д.А. Кошаева* (ОАО Концерн «ЦНИИ «Электроприбор») «Оценивание сигналов на основе их кусочно-полиномиального представления с учетом ограничений и непрерывной дифференцируемости», который сделал *Д.А. Кошаев*, была сформулирована задача оценки сигнала при структурной неопределенности его стохастической модели. Исходной информацией о свойствах сигнала служит его непрерывная дифференцируемость и соблюдение ограничений на уровень сигнала и его производную. Предложен подход, основанный на кусочно-полиномиальном представлении оцениваемого сигнала и позволяющий формализовать смешанную постановку задачи с нестохастическим описанием полезного сигнала и стохастической моделью помех измерений. Обоснована двухэтапная схема решения сформулированной задачи оценивания сигнала на основе кусочно-полиномиальной модели с учетом ограничений и непрерывной дифференцируемости. На первом этапе с помощью процедуры калмановского типа вырабатываются оценки полиномиальных

коэффициентов и ковариационная матрица их ошибок с соблюдением непрерывной дифференцируемости полезного сигнала, но без учета ограничений. На втором этапе в результате решения задачи условной оптимизации с квадратичной целевой функцией определяются оценки коэффициентов кусочно-полиномиального представления сигнала с учетом заданных ограничений с последующим получением оценок значений самого сигнала. Установлено, что предложенная кусочно-полиномиальная модель достаточно адекватно передает неопределенность информации о свойствах оцениваемого сигнала. Приведены примеры, демонстрирующие преимущество оценивания с учетом ограничений по сравнению с вариантом, где соблюдается лишь условие непрерывной дифференцируемости.

Доклад *В.Д. Дишеля* (ФГУП «НПЦ АП им. академика Н.А. Пилюгина») «Методы высокоточной навигации и ориентации в первой корректируемой инерциально-спутниковой системе управления космических средств выведения» посвящен описанию принципов построения и технического облика интегрированной инерциально-спутниковой системы навигации и ориентации, разработанной для динамических объектов с повышенными требованиями к информационной надежности. В докладе была представлена информационно-страховочная технология интеграции инерциальной и спутниковой навигационных систем (ИСТИНА), положенная в основу данной системы. Теоретической базой технологии ИСТИНА, определяющей ее преимущества, является новая разновидность метода динамической фильтрации. Ее отличает, прежде всего, интервально-пространственный подход к формированию избыточности внешнетракторных (спутниковых) измерений. Кроме того, введенные в состав оцениваемых наряду с полными координатами движения кажущихся координат, совместное их рассмотрение и образование единого пространства оцениваемых кажущихся и действительных координат. Летные испытания интегрированной навигационной системы в составе терминальной системы управления разгонного блока, организованные как попутная фоновая задача системы управления, проводились в тестовом режиме на протяжении шести лет. Благодаря ряду новых качеств данная система стала фундаментом нового поколения корректируемых терминальных систем управления разгонных блоков.

На **вечернем заседании** Семинара председательствовал генеральный директор-главный конструктор ФГУП «ЦНИИАГ» *В.Л. Солунин*.

Первый доклад вечернего заседания *Ю.В. Визильтер*, *С.Ю. Желтов*, *Г.Г. Себряков* (ФГУП «ГосНИИАС») «Автоматизированные системы улучшенного видения для перспективных самолетов гражданской авиации» представлял *Ю.В. Визильтер*. Рассматривались подходы к разработке



аппаратно-программных комплексов «улучшенного видения» (Enhanced Vision Systems, EVS). Доклад был посвящен разработке принципов построения и структуры программно-алгоритмического обеспечения многоспектральной системы технического зрения для улучшенной компьютерной визуализации закабинной обстановки при заходе на посадку, посадке и рулежке по взлетно-посадочной полосе. В докладе рассмотрены: общая структура аппаратного обеспечения системы технического зрения, основные задачи по комплексованию и обработке многоспектральной видеoinформации и автоматизированного обнаружения элементов закабинной обстановки, а также основные алгоритмические подходы к решению этих проблем. Описаны методы автоматического обнаружения взлетно-посадочной полосы на изображениях, регистрируемых с борта самолета в режимах захода на посадку и посадки, основанные на различных модификациях преобразования Хафа. Обоснован способ автоматического обнаружения препятствий на взлетно-посадочной полосе, основанный на вычислительно эффективной реализации метода дифференциального ортофото.

В докладе *Г.Г. Себрякова, В.Н. Сошников, К.В. Обросова* (ФГУП «ГосНИИАС») «Принципы построения и алгоритмы бортовых оптико-радиолокационных систем автоматического обнаружения, идентификации и сопровождения групп наземных объектов для навигации и высокоточного наведения», который сделал *В.Н. Сошников*, были представлены результаты разработки принципов построения, методов и алгоритмов систем высокоточного наведения и навигации, обеспечивающих автоматический анализ 3D-сцен со сложной структурой, автоматическое обнаружение, идентификацию и сопровождение групп наземных объектов с помощью оптико-радиолокационных систем. Решение этих задач позволяет автоматизировать процессы навигации, целераспределения, целеуказания и наведения при групповом применении летательных аппаратов (ЛА). В настоящее время эти задачи не решены, и разработка методов их решения весьма актуальна для повышения эффективности применения рассматриваемого класса ЛА. В докладе кратко изложены результаты исследований по четырем направлениям:

- экспериментальные исследования изображений типовых сцен для многоспектральных оптико-электронных визирных и локационных систем;
- разработка принципов построения оптико-радиолокационных систем и сопоставления наблюдаемых и эталонных сцен на основе 3D-портретов и космоснимков;
- разработка алгоритмов бортовых оптико-электронных систем для автоматического обнаружения, идентификации и сопровождения группы наземных объектов;

- разработка алгоритмов определения навигационных параметров ЛА по результатам наблюдения группы наземных объектов с известными координатами с помощью оптико-электронной визирной системы переднего обзора.

В докладе *А.П. Кирпичникова* (ИПУ РАН) «Повышение безопасности систем управления с учетом тенденций в электронике», тема которого по признанию самого докладчика находится несколько в стороне от тематики Семинара, были изложены философские вопросы современного проектирования систем управления объектами критического приложения. Современное проектирование представляет собой компромисс между прогрессивными и экономически эффективными методами и безопасностью результата, который должен быть решен в пользу последнего. На примере разработки нового блока безопасности поезда московского метрополитена продемонстрирована идеология и основные принципы проектирования современной системы с высоким уровнем безопасности.

Доклад *С.В. Соколова* (Ростовский государственный университет путей сообщения) и *В.А. Погорелова* (Ростовский военный институт ракетных войск им. М.И. Неделина) «Выбор оптимальной конфигурации и стохастическая оценка состояния автономных бесплатформенных навигационных систем» (доклад делал *В.А. Погорелов*) был посвящен анализу путей решения задачи синтеза универсальных помехоустойчивых навигационных алгоритмов комплексированной навигационной системы на основе единых принципов обработки измерительной информации в каждой навигационной структуре и решению проблемы оптимального управления оценками вектора состояния комплексированной навигационной системы в условиях действия возмущающих факторов.

В докладе *Ю.В. Болотина, А.А. Голована* (МГУ) и *Е.В. Каршакова* (ИПУ РАН) «Стохастические модели в алгоритмах обработки измерений аэрогеофизических систем» (докладчик *Е.В. Каршаков*) были представлены некоторые результаты, полученные при обработке данных аэрогеофизических систем разного типа. Общим при решении задач по обработке данных аэрографических систем является стохастический подход к моделированию аномального поля. На основе стохастической модели поля в пространстве строится его стохастическая модель во времени вдоль линии полета. Эта модель описывается формирующим фильтром, который включается в общую структуру уравнений состояния системы при построении фильтра или сглаживателя Калмана. При выполнении аэрогеофизических измерений характер аномалий заранее, как правило, не известен. Поэтому на практике используется одна из эвристических моделей поля. В качестве примера работы описанных алгоритмов приводятся результаты вычисления верти-

кальной составляющей аномалии силы тяжести на линии полета. Оказывающие влияния на показания гравиметра силы инерции, ошибки построения приборной вертикали и другие факторы определяются при совместной обработке данных инерциальной навигационной системы и спутниковой навигационной системы, работающей в дифференциальном режиме. Приведены примеры применения предложенного метода обработки данных летных испытаний. Данные аэрогравиметрии получены при помощи системы МАГ-1 («Гравиметрические технологии», Россия) на борту самолета Ан-26. Аэромагнитометрическая система была установлена на борту самолета Ан-2 и включала в себя квантовый датчик Cs-3 («Scintrex», Канада).

Уже после утверждения программы Семинара к организаторам поступил доклад *В.А. Садовниченко* и *В.В. Александрова* (МГУ) «Информационные процессы в инерциальных механорецепторах, персональная ориентация в пространстве и ее коррекция с помощью навигационных систем». Было решено включить этот доклад в программу. В докладе, который сделал *В.В. Александров*, были представлены результаты исследований группы математиков МГУ, которые вместе с мексиканскими физиологами в конце 1990-х гг. начали совместную работу в филиале лаборатории, созданной Винером и Ро-

зенблютом в 1950-х гг., по математическому моделированию информационных процессов в инерциальных биосенсорах.

Как отметил председательствовавший на вечернем заседании *В.Л. Солунин*, семинар вновь привлёк внимание широкого круга специалистов и было высказано общее мнение — продолжать организацию такого рода семинаров на базе ИПУ РАН и далее.

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. Kalman R.E. Contributions to the theory of optimal control // Bol. Soc. Mat. Mexicana. — 1960. — N 5. — P. 102—119.

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.



Александр Семенович РЫКОВ 1945—2010

2 мая 2010 года ушёл из жизни известный учёный в области системного анализа, методов оптимизации и принятия решений, заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор технических наук, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, член редколлегии журнала «Проблемы управления», профессор Александр Семёнович Рыков.

Его научная деятельность началась в 1969 г. в Институте проблем управления АН СССР после окончания Московского физико-технического института. Затем он работал во Всесоюзном научно-исследовательском институте системных исследований, а с 1982 г. до последних дней своей жизни — в Московском институте стали и сплавов.

Профессор А.С. Рыков является автором нового класса поисковых методов оптимизации — методов деформируемых конфигураций. Им предложены формальные математические модели принятия решений при различных видах неопределенности, разработаны специальные универсальные комбинированные критерии для снятия неопределенности, учитывающие степень доверия к априорной информации лица, принимающего решения, различные подходы и методы преодоления многокритериальности задач принятия решений. Результаты его научных исследований нашли широкое практическое применение на многих промышленных предприятиях.

Как учёный, А.С. Рыков известен далеко за пределами нашей страны, он многократно приглашался для чтения лекций во многие университеты и научные коллективы мира. Профессор А.С. Рыков — автор более 200 научных трудов, за последние годы он выпустил семь монографий, 10 учебных пособий, опубликовал серию статей в научных журналах, в том числе и в журнале «Проблемы управления». В 2009 г. вышел из печати его фундаментальный труд «Системный анализ: модели и методы принятия решений и поисковой оптимизации». Много времени и сил отдавал педагогической и научно-организационной работе, активно участвовал в работе редколлегии журнала «Проблемы управления».

Трудно поверить, что Александра Семёновича уже нет среди нас — ещё в прошлом номере нашего журнала мы поздравляли его с 65-летием...

В памяти коллег и друзей Александр Семёнович навсегда останется как талантливый учёный, незаурядный педагог, скромный и доброжелательный человек, неутомимый труженик и примерный семьянин, надёжный товарищ, всегда готовый помочь и словом, и делом.

*Сотрудники Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Редакционная коллегия
Редакция*