

УТВЕРЖДАЮ

Директор Института автоматике
и электрометрии СО РАН
академик РАН



А. М. Шалагин

2017 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

о диссертации Белокопя Сергея Александровича «Разработка математических моделей, методов и средств исследования аэродинамики, динамики полета и систем автоматического управления свободнолетающих динамически подобных моделей», представляемой на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

(выписка из протокола семинара «Информационные технологии и системы» от 18 декабря 2017 г.)

Присутствовали:

д.т.н. Потатуркин О. И., ИАиЭ СО РАН (председатель семинара)
д.т.н. Золотухин Ю. Н., ИАиЭ СО РАН
д.т.н. Зюбин В. Е., ИАиЭ СО РАН
д.т.н. Лихачев А. В., ИАиЭ СО РАН
д.т.н. Нежевенко Е. С., ИАиЭ СО РАН
д.т.н. Окольнишников В. В., ИВТ СО РАН
д.т.н. Резник А. Л., ИАиЭ СО РАН
к.т.н. Будников К. И., ИАиЭ СО РАН
к.т.н. Косых В. П., ИАиЭ СО РАН
к.т.н. Лубков А. А., ИАиЭ СО РАН
к.т.н. Нестеров А. А., ИАиЭ СО РАН
к.т.н. Филиппов М. Н., ИАиЭ СО РАН
к.т.н. Ян А. П., ИАиЭ СО РАН

и другие сотрудники Института автоматике и электрометрии СО РАН, всего 17 человек.

Слушали: Доклад Белокопя С. А. по материалам диссертации «Разработка математических моделей, методов и средств исследования аэродинамики, динамики полета и систем автоматического управления

свободнолетающих динамически подобных моделей», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

В обсуждении работы приняли участие д.т.н. Потатуркин О. И., д.т.н. Нежевенко Е. С., д.т.н. Зюбин В. Е., к.т.н. Будников К. И., к.т.н. Лубков А. А., к.т.н. Косых В. П. Высказанные замечания касались в основном нечетких формулировок постановки задачи, личного вклада, а также необходимости улучшения формы устного выступления. Научный руководитель д.т.н. Золотухин Ю. Н. отметил существенный личный вклад Белокопя С. А. в получении изложенных в диссертационной работе результатов, самостоятельность и инициативу при постановке и решении научных задач, его высокую квалификацию.

Постановили:

Принять следующее заключение по диссертации Белокопя С. А. «Разработка математических моделей, методов и средств исследования аэродинамики, динамики полета и систем автоматического управления свободнолетающих динамически подобных моделей»:

1. Метод исследований с помощью летающих динамически подобных моделей (ЛДПМ) позволяет устранить разрыв между испытаниями моделей в аэродинамических трубах и летными испытаниями натуральных летательных аппаратов. Исследования на ЛДПМ позволяют получить достоверный прогноз поведения самолета на критических режимах полета, определить способы возвращения в область эксплуатационных режимов, оценить эффективность различных противоштопорных устройств, а также влияние системы автоматического управления (САУ) и скорректировать при необходимости её алгоритмы. На ЛДПМ могут быть адекватно смоделированы взлетно-посадочные режимы и пространственные маневры с использованием отклонения вектора тяги, есть возможность отработки системы активного управления перегрузкой.

Одной из важнейших составляющих технологии ЛДПМ являются программно-аппаратные стенды полунатурного моделирования с полной или частичной имитацией объекта управления, бортового радиоэлектронного оборудования, органов управления. Такие стенды обеспечивают возможность испытаний объекта и систем управления для оценки влияния различных факторов и возмущающих воздействий, имитирующих условия эксплуатации. Отработка алгоритмов функционирования и аппаратного обеспечения системы управления на имитационном стенде позволяет более детально изучить поведение летательного аппарата и системы управления в различных режимах. Стенды полунатурного моделирования разрабатываются и применяются для моделирования систем автоматического управления летательными

аппаратами и визуализации полета, тестирования алгоритмов пилотирования, сопровождающего моделирования летательных аппаратов, в качестве тренажеров пилотов.

При исследовании аэродинамики и динамики полета с использованием технологии ЛДПМ важным фактором становится обеспечение точного выполнения объектом маневров, задаваемых действиями оператора или полетным заданием. Особенностью динамики полета беспилотных летательных аппаратов являются нелинейность, сильная взаимная зависимость продольного и поперечного движения, высокая чувствительность к внешним возмущениям. Кроме того, ограничено доступное пространство для размещения бортового радиоэлектронного оборудования и элементов питания. С другой стороны, вычислительные мощности современных миниатюрных электронных устройств позволяют реализовать более сложные алгоритмы управления. Все это накладывает определенные требования к разрабатываемым для таких аппаратов системам автоматического управления, которые должны обеспечивать безопасное и предсказуемое поведение на всех этапах полета.

Вышеизложенное позволяет сделать вывод об актуальности разработки математических моделей, методов и программно-аппаратных средств для исследования аэродинамики, динамики полета и систем автоматического управления свободнолетающих динамически подобных моделей. Результаты работы могут быть использованы при создании и исследовании новых беспилотных летательных аппаратов, в том числе летающих динамически подобных моделей.

2. Диссертационная работа выполнялась в лаборатории нечетких технологий Института автоматики и электрометрии СО РАН в рамках программы фундаментальных научных исследований «Построение моделей и разработка методов управления сложными динамическими объектами и процессами. Системы для автоматизированных измерений и управления исследовательскими установками, технологическими процессами», НИР «Математические методы, модели и программно-алгоритмические средства для создания интеллектуальных систем восприятия и анализа сигналов и изображений, управления и принятия решений», прикладных НИР «Разработка проекта автоматизированной системы диспетчерского управления движением поездов второй очереди метрополитена в г. Новосибирске», «Методы наземной отработки системы автоматического управления изделия МЛД», «Разработка стенда полунатурного моделирования САУ изделия «ДПМ-80» и отработка алгоритмов управления полетом. Разработка программного обеспечения САУ изделия «ДПМ-80» и НПУ» и др.

3. Основные результаты, представленные в диссертационной работе.

- На основе проведенного исследования задачи управления пространственным движением летательного аппарата разработана программно-аппаратная платформа для моделирования и исследования аэродинамики, динамики полета и систем автоматического управления свободнолетающих динамически подобных моделей.
- С использованием разработанной программно-аппаратной платформы созданы полные нелинейные модели пространственного движения нескольких летательных аппаратов.
- Корректность модельного представления объекта подтверждена сравнением модельных данных и результатов летных экспериментов.
- Устойчивость летательного аппарата подтверждена исследованиями реакции на отклонения органов управления при различных скоростях движения и воздействия внешних возмущений.
- Предложен метод управления угловым положением летательного аппарата, основанный на расчете потребных аэродинамических моментов вращения, приводящих летательный аппарат в заданное пространственное положение по заданной траектории в пространстве состояний системы.
- Предложен метод построения маршрута летательного аппарата, заданного последовательностью поворотных пунктов, позволяющий рассчитать траекторию движения с учетом требований плавного изменения и ограничения максимального значения перегрузки.

4. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы компьютерным моделированием с использованием экспериментально полученных данных и согласуются с результатами практического применения.

5. Основные результаты работы были изложены и обсуждались на следующих научно-технических конференциях и семинарах:

- VII международная конференция памяти академика А. П. Ершова «Перспективы систем информатики», Новосибирск, 2009 г.
- The IASTED International Conference “Automation, Control, and Information Technology (ACIT 2010)”, Novosibirsk, 2010 г.
- XII международная научно-практическая конференция «Энергетическая безопасность России: новые подходы к развитию угольной промышленности», Кемерово, 2010 г.

- Третья российская конференция с международным участием "Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения", Москва, 2012 г.
- The 2013 IFAC International Conference «Intelligent Control and Automation Science», Chengdu, 2013 г.
- XVIII Международная конференция "Проблемы управления и моделирования в сложных системах", Самара, 2016 г.

Основные результаты опубликованы в следующих работах:

Статьи в рекомендованных ВАК журналах:

1. С.А. Белоконь, В. В. Васильев, Ю. Н. Золотухин, А. С. Мальцев, М. А. Соболев, М. Н. Филиппов, А. П. Ян. Автоматизированные системы диспетчерского управления объектами повышенной опасности // *Автометрия*. 2011. 47, №3. С. 73-83.
2. С. А. Белоконь, В. В. Васильев, Ю. Н. Золотухин, М. Н. Филиппов, А. П. Ян. Автоматизированная система диспетчерского управления движением поездов Новосибирского метрополитена // *Датчики и Системы*. 2012. 3. С. 38-42.
3. С. А. Белоконь, Ю. Н. Золотухин, А. А. Нестеров. Планирование маршрутов движения летательного аппарата с использованием гладких траекторий // *Автометрия*. 2017. 53, № 1, С. 3-11.
4. С. А. Белоконь, Ю. Н. Золотухин, М. Н. Филиппов. Архитектура комплекса полунатурного моделирования систем управления летательными аппаратами // *Автометрия*. 2017. 53, № 4, С. 44-50.

Материалы научных мероприятий:

5. Белоконь С. А., Васильев В. В., Золотухин Ю. Н., Филиппов М. Н., Ян А. П. Отладка автоматизированной системы диспетчерского управления путем моделирования маршрутно-релейной централизации станции метро // 7-ая международная конференция памяти ак. А. П. Ершова. Перспективы систем информатики. 15-19 июня 2009 г., Новосибирск, изд. ИСИ СО РАН, С. 48-51.
6. S. A. Belokon, V. V. Vasilev, M. N. Filippov, A. P. Yan. Development and Testing of the Automated System of Supervisor Subway Traffic Control with the Use of the Relay-based Interlocking System Model.// In: Proceedings of the IASTED Int. Conf. on Automation, Control, and Information Technology (ACIT 2010), June 15-18, 2010 in Novosibirsk, Russia. Acta Press Anaheim, Calgary, Zürich. P. 241-244.
7. Белоконь С. А., Васильев В. В., Золотухин Ю. Н., Мальцев А. С., Соболев М. А., Филиппов М. Н., Ян А.П. Автоматизированные системы диспетчерского управления (на примере управления движением поездов Новосибирского метрополитена) // В кн. Сборник трудов XII международной научно-практической конференции «Энергетическая

- безопасность России: новые подходы к развитию угольной промышленности», 14-17 сентября 2010 г., г. Кемерово, Кемерово, 2010, С. 27-33.
8. С. А. Белоконов, В. В. Васильев, Ю. Н. Золотухин, М. Н. Филиппов, А. П. Ян. Способы разработки распределенных автоматизированных систем диспетчерского управления повышенной надежности. // Труды Третьей российской конференции с международным участием "Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения": труды и пленарные доклады участников конференции УКИ'12. - М.:ИПУ РАН, Москва, 16-19 апреля 2012, С. 291-300 — 1 электрон. опт. диск. — ISBN 978-5-91450-100-3.
 9. Belokon' S. A., Filippov M. N., Vasil'ev V. V., Yan A. P., Zolotukhin Yu. N. Architecture of the Novosibirsk Subway Automated Traffic Control System. // In: Proceedings of the 2013 IFAC International Conference on Intelligent Control and Automation Science September 2-4, 2013, Chengdu, China. С. 178-181 — 1 электрон. опт. Диск.
 10. Золотухин Ю. Н., Белоконов С. А., Васильев В. В., Филиппов М. Н., Ян А. П. Автоматизированные системы диспетчерского управления движением поездов Новосибирского метрополитена. // В кн. Сборник тезисов докладов Всероссийской конференции «Индустриальные информационные системы» ИИС-2013. Новосибирск, 24-28 сентября 2013 г., С. 26-27.
 11. С. А. Белоконов, Д. С. Деришев, Ю. Н. Золотухин, М. А. Золотухина, М. Н. Филиппов, А. П. Ян. Комплекс полунатурного моделирования систем управления летательным аппаратом // Труды XVIII Международной конференции "Проблемы управления и моделирования в сложных системах", (20-25 сентября 2016 г., Самара, Россия). Самара: ООО "Офорт", 2016. С. 374-379.
 12. С. А. Белоконов, Ю. Н. Золотухин, А. А. Нестеров. Использование гладких траекторий при планировании маршрутов движения летательного аппарата (кинематика) // Труды XVIII Международной конференции "Проблемы управления и моделирования в сложных системах", (20-25 сентября 2016 г., Самара, Россия). Самара: ООО "Офорт", 2016. С. 380-388.
 13. С. А. Белоконов, Ю. Н. Золотухин, А. А. Нестеров. Метод управления угловым положением летательного аппарата // Труды XVIII Международной конференции "Проблемы управления и моделирования в сложных системах", (20-25 сентября 2016 г., Самара, Россия). Самара:

ООО "Офорт", 2016. С. 389-395.

6. Личный вклад автора включает разработку архитектуры программно-аппаратного комплекса полунатурного моделирования в части подсистем моделирования и визуализации. Им созданы и исследованы математические модели нескольких летательных аппаратов, элементов системы управления; разработан и реализован метод управления угловым положением летательного аппарата, основанного на расчете потребных моментов вращения; разработан метод планирования маршрута летательного аппарата с использованием кривых Корню в качестве траектории поворота. Автор принимал активное участие в проведении численных и натуральных экспериментов, а также в обработке и анализе результатов. В опубликованных работах участие автора заключалось в проведении исследовательских работ, реализации алгоритмов и тестировании. Постановка задач и выбор метода решения осуществлялись коллективом исполнителей при непосредственном участии соискателя.

При выполнении диссертационной работы С. А. Белоконь проявил себя сложившимся научным работником, способным ставить и решать сложные задачи и проводить исследования на высоком научном уровне.

7. На основе вышеизложенного, семинар постановил считать диссертационную работу С. А. Белоконя «Разработка математических моделей, методов и средств исследования аэродинамики, динамики полета и систем автоматического управления свободнолетающих динамически подобных моделей» удовлетворяющей всем требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, и рекомендовать к защите по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Председатель семинара
д.т.н.

О. И. Потатуркин

Секретарь семинара
д.т.н.

А. В. Лихачев