



Филиал ПАО «Компания Сухой «ОКБ Сухого»

Верификация и оценка имитационных моделей
динамики полета маневренного самолета,
применяемых на пилотажных стендах и в
технических средствах обучения

Тарасов А.З., главн. констр. по аэродинамике, к.т.н., с.н.с.

Кулагин А.Ф., начальник НИО

Тихонов В.Н., главный специалист, к.т.н., доцент

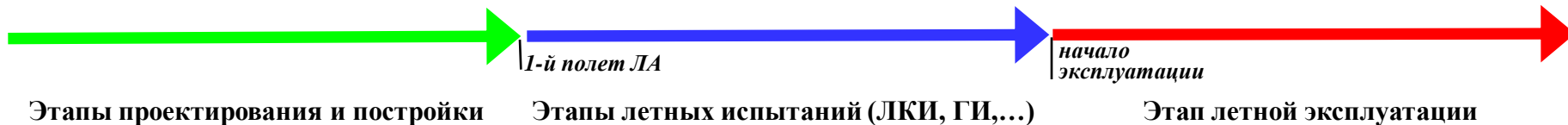
Москва,
сентябрь 2016 г.



Моделирование динамики самолета на разных этапах его создания

Цели моделирования динамики самолета:

- подтверждение реализуемости принятых технических решений для самолета и системы управления;
- выбор рациональных / оптимальных конструктивных параметров по плану, системе управления, другим системам;
- предварительная оценка систем безопасности (ОПР) и отказобезопасности;
- подтверждение соответствия требованиям для случаев редких или не воспроизводимых в реальных условиях (запасы устойчивости в системе управления, большие ветровые порывы, опасные режимы полета: отказы, редкие невоспроизводимые условия полета);
- тренировка летчиков перед 1-м полетом.
- моделирование в обеспечение безопасности ЛИ (опережающее моделирование, подготовка летного состава к испытательным полетам);
- уточнение и корректировка параметров системы управления, бортовых систем и т.п.
- подтверждение соответствия требованиям для случаев редких или не воспроизводимых в реальных условиях;
- обеспечение полноты ЛИ (замена части ЛИ моделированием при их большом количестве: маневренность, пуски и сбросы АСП и т.п.);
- расследование авиационных инцидентов и исследование непонятных/новых/неизученных эффектов.
- тренировка и подготовка летного состава;
- расследование авиационных инцидентов;
- исследования и отработка методов целевого (боевого) применения / тактики применения.

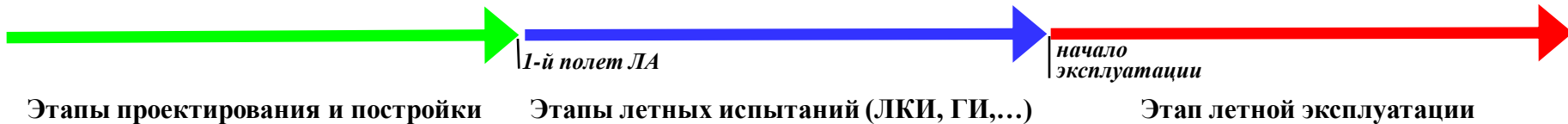


Требования к имитационным моделям самолета:





Моделирование динамики самолета на разных этапах его создания



Требования к имитационным моделям динамики полета (ИМДП) самолета:

- достаточная на соответствующий этап разработки полнота модели аэродинамики, системы управления и др. элементов (объем испытаний в АДТ, расчетов CFD, стендовых испытаний элементов, учет упругости и т.п.);
- предварительный учет внешних факторов (ветровые и др. воздействия) и требований к системе управления (запасы устойчивости, учет эффектов аэроупругой устойчивости: фильтрация сигналов и т.п.);

В формализованном виде требования отсутствуют

Пример: ветровые порывы для исследования на устойчивость «в большом» (1-COS, «пила» - амплитуда из Норм Прочности ВС)

Нужны рекомендации по модели, требованиям и внешним воздействующим факторам (возможный разработчик: ЦАГИ)

- максимальная по итогам разработки полнота модели аэродинамики, системы управления и др. элементов (полный объем испытаний в АДТ, расчетов CFD, стендовых испытаний элементов, учет упругости и т.п.);
- уточнение модели по результатам ЛИ;
- максимальный учет внешних факторов (ветровые и др. воздействия) и требований к системе управления (запасы устойчивости, учет эффектов аэроупругой устойчивости: фильтрация сигналов и т.п.);

В формализованном виде требования имеются для тренажеров:

- Справочник по проведению оценки тренажеров по объективным критериям QTG *Aeroplane flight simulation training device Evaluation Handbook, 4-th Edition, Vol. 1, Oct. 2009.*
- Руководство по квалификационным критериям тренажеров *Manual of Criteria for the Qualification of Flight Simulation Training Devices, 3-rd Edition, 2009.*
- Требования ОТТ ВВС к тренажерам

Методики «ОКБ Сухого» по применению критериев QTG при разработке тренажеров и программное обеспечение



Применение ИМДП на этапах проектирования и постройки ЛА



Пилотажный стенд ТМК-2.
Сферическая 8-и канальная система
визуализации внекабинной обстановки
с углами обзора 140° x 90°

Критерии достоверности ИМДП:

- Соответствие результатов моделирования физической сущности имитируемых процессов;
- Соответствие результатов моделирования аналогам;
- Отсутствие противоречий с ранее полученными результатами;
- Сходимость результатов моделирования, независимо выполняемого различными организациями: ОКБ, ЦАГИ и др.

Стенды и моделирующие установки с ИМДП, используемые в «ОКБ Сухого» на этапах проектирования и постройки ЛА:

- Пилотажный стенд ТМК-2 для исследования динамики полета и отработки алгоритмов системы управления, тренажа ЛС в процессе испытаний;
- Стенд №15 для проверки и отработки ФПО и комплекта КСУ (50/35);
- Стенд комплексной отработки БРЭО.



Применение ИМДП на этапах летных испытаний ЛА

Критерии достоверности ИМДП в ЛИ:

- соответствие результатов ЛИ и моделирования в «опорных точках» пространства существования по характеру изменения и значениям фазовых координат;
- соответствие результатов моделирования с применением ИМДП реальному полету по восприятию летчика (заключения летчиков-экспертов);
- сходимость результатов функциональной оценки имитационной модели (соответствие основных показателей пилотажных и летных характеристик);
- отсутствие противоречий с уже имеющимися результатами.

На этапе ЛИ самолета ИМДП – одновременно инструмент испытаний и объект оценки.

Результаты использования моделирования с ИМДП при ЛИ:

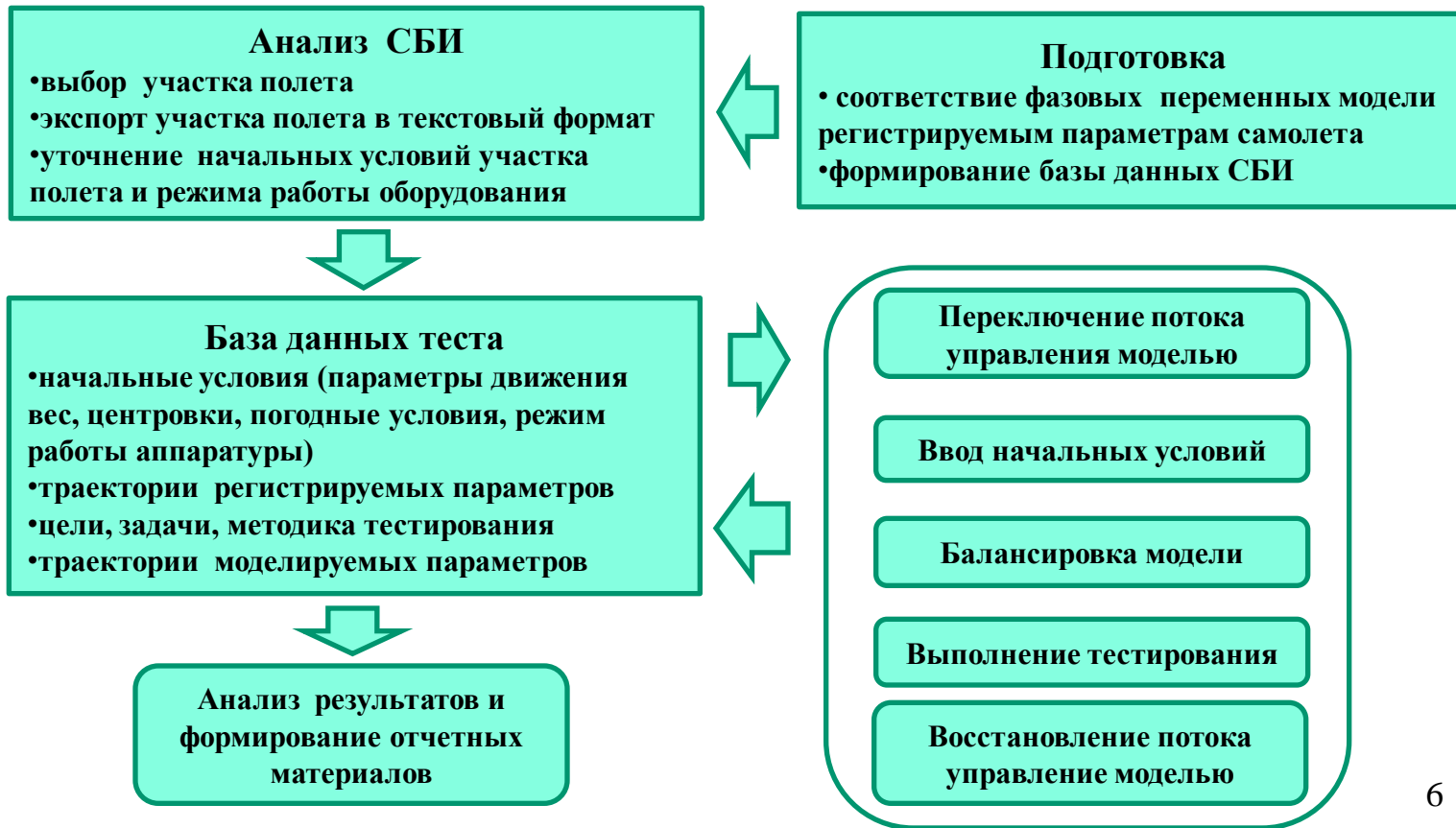
- Повышение безопасности ЛИ (не замена ЛИ!) – предполетный тренаж;
- Повышение зачетности и планирование ЛИ (предполетный тренаж);
- Оценка отказобезопасности (имитация отказов самолетных систем);
- Имитация нереализуемых в ЛИ условий полета (по ветру, высоте и т.п.);
- Обеспечение полноты данных по результатам ЛИ, получение
- Дополнительной информации;
- Исследование непонятных явлений, обнаруженных в ЛИ;
- Расследование инцидентов при ЛИ;

Результаты проведения ЛИ в части ИМДП:

- Уточнение ММ по результатам натуральных экспериментов,
- Оценка адекватности, определение пределов применимости модели.

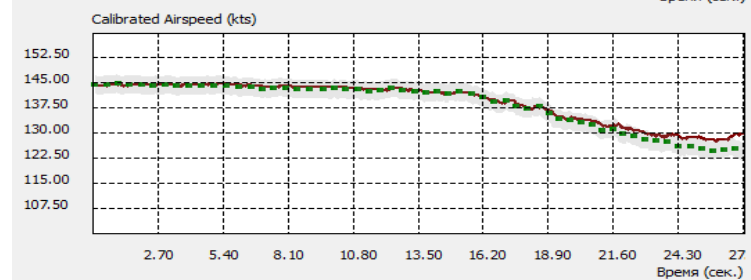
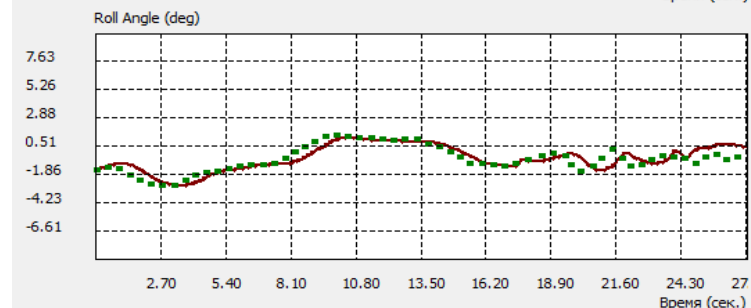
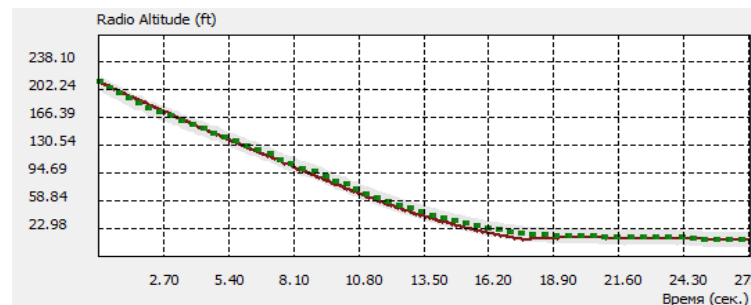
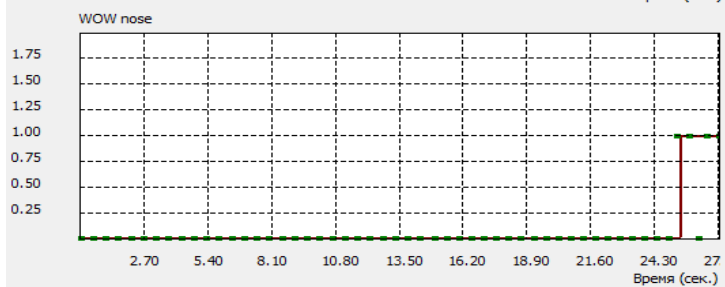
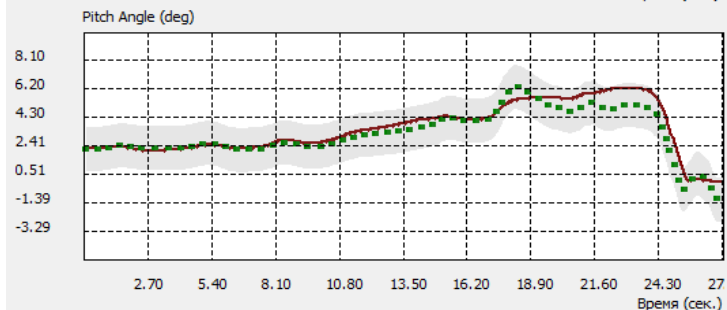
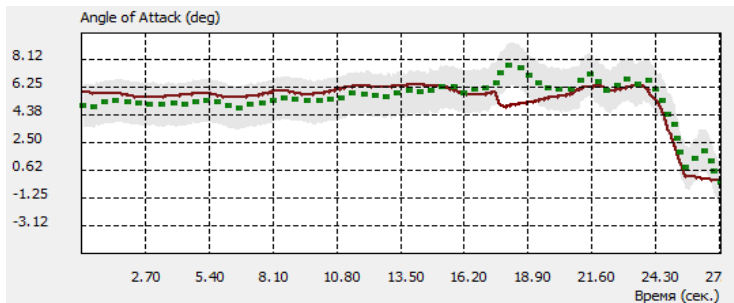


Технология тестирования ИМДП с использованием полетных данных





Пример автоматического тестирования ИМДП (режим посадки)





- В рамках УТК-35 и УТК-50 разрабатываются «Методика оценки математической модели динамики полета изд.Су-35 по данным объективного контроля» и «Методика оценки математической модели динамики полета изд.Т-50 по данным объективного контроля» (QTG);
- Разработаны ТЗ на ОКР «Разработка стенда создания математической модели динамики полета изд.Су-35» и «Разработка стенда создания математической модели динамики полета изд.Т-50»;
- Начаты работы по сбору материалов объективного контроля в обеспечении работ по оценке математических моделей динамики полета изд. Су-35 и изд. Т-50;
- Разработан комплект унифицированного специального программного обеспечения для тренажеров и УКК (под ОС Astra Linux);



➤ Представляется необходимым разработка рекомендаций по структуре и требованиям к ИМДП (маневренного) самолета, а также разработка рекомендаций по типовым требованиям и внешним воздействиям на самолет и систему управления, которые должны учитываться при моделировании динамики полета самолета и отработке алгоритмов и параметров его системы управления на этапах проектирования и сопровождения летных испытаний.

В качестве разработчика таких рекомендаций целесообразно привлечение ЦАГИ.

➤ Представляется необходимым разработка отечественного эквивалента методик и критериев оценки тренажеров (аналог QTG).

В качестве разработчиков целесообразно привлечение ОКБ промышленности, ЦАГИ, ЛИИ и ГЛИЦ.

➤ Выполненные в «ОКБ Сухого» работы по разработке методик и программного обеспечения для получения автоматизированных оценок математической модели динамики полета на основании данных летных испытаний позволяют надеяться на успешное решение этой задачи, что позволят существенно упростить создание ИМДП как основы авиационных тренажеров.

Спасибо за внимание !

