

Конкурсная работа

Технология электронной аэродинамической трубы для проведения испытаний в АДТ Т-128

(За создание новой технологии)

**Анисимов К.С., Босняков С.М., Глазков С.А., Горбушин А.Р.,
Кулеш В.П., Курсаков И.А., Мошаров В.Е., Семенов А.В., Стрельцов Е.В.
(ФАУ «ЦАГИ»)**

Задача повышения точности определения аэродинамических характеристик летательной техники нового поколения на этапах НИР и ОКР приобретает всё большую актуальность. В настоящее время эта задача может быть решена путем экспериментальных исследований в аэродинамических трубах (АДТ) или с использованием средств вычислительной аэродинамики. Каждый из этих подходов имеет свои преимущества и недостатки.

Разумным шагом выглядит объединение расчётного и экспериментального подходов к исследованию аэродинамических характеристик с целью нивелирования недостатков и сохранения преимуществ этих подходов. Такое взаимное дополнение привело к появлению концепции Электронной Аэродинамической Трубы (ЭАДТ), которая состоит в максимально детализированном моделировании средствами вычислительной аэродинамики реальной экспериментальной установки, включающей в себя АДТ, испытательный стенд и объект испытаний. При моделировании воспроизводятся реальные условия испытаний, что позволяет проводить корректное сопоставление расчетных и экспериментальных данных, а также получать поправки к экспериментальным данным, учитывающие влияние особенностей экспериментальной установки.

В настоящее время концепция ЭАДТ может применяться на всех стадиях подготовки и проведения реального эксперимента:

– стадия планирования эксперимента: оптимальное планирование эксперимента при наличии валидированных расчетных данных для уменьшения количества пусков АДТ в диапазоне режимов, для которых имеющиеся результаты расчетов обладают доказанной

точностью, а также сокращение количества исследуемых конфигураций модели для уменьшения производственных затрат;

– стадия подготовки модели: определение деформации модели под действием аэродинамических сил для выбора материалов и конструкции модели, введение поправок к параметрам набегающего потока, связанных с влиянием стенок и поддерживающих устройств, для корректировки испытательной программы, проведение вспомогательных расчетов для подбора подходящей измерительной аппаратуры;

– стадия проведения испытаний: адаптация проницаемости перфорированных стенок рабочей части АДТ с использованием предварительно рассчитанных полей течения в окрестности изолированной модели для минимизации влияния границ, контроль состояния аэродинамической модели для обеспечения безопасности испытаний;

– стадия обработки экспериментальных данных: сопоставление расчетных результатов, полученных с учетом и без учета основных элементов АДТ, для внесения необходимых поправок к результатам эксперимента;

– стадия вторичной обработки экспериментальных данных: синтез экспериментальных и расчётных данных для восполнения экспериментальной информации.

Схема взаимодействия электронной и реальной АДТ приведена на рис. 1.

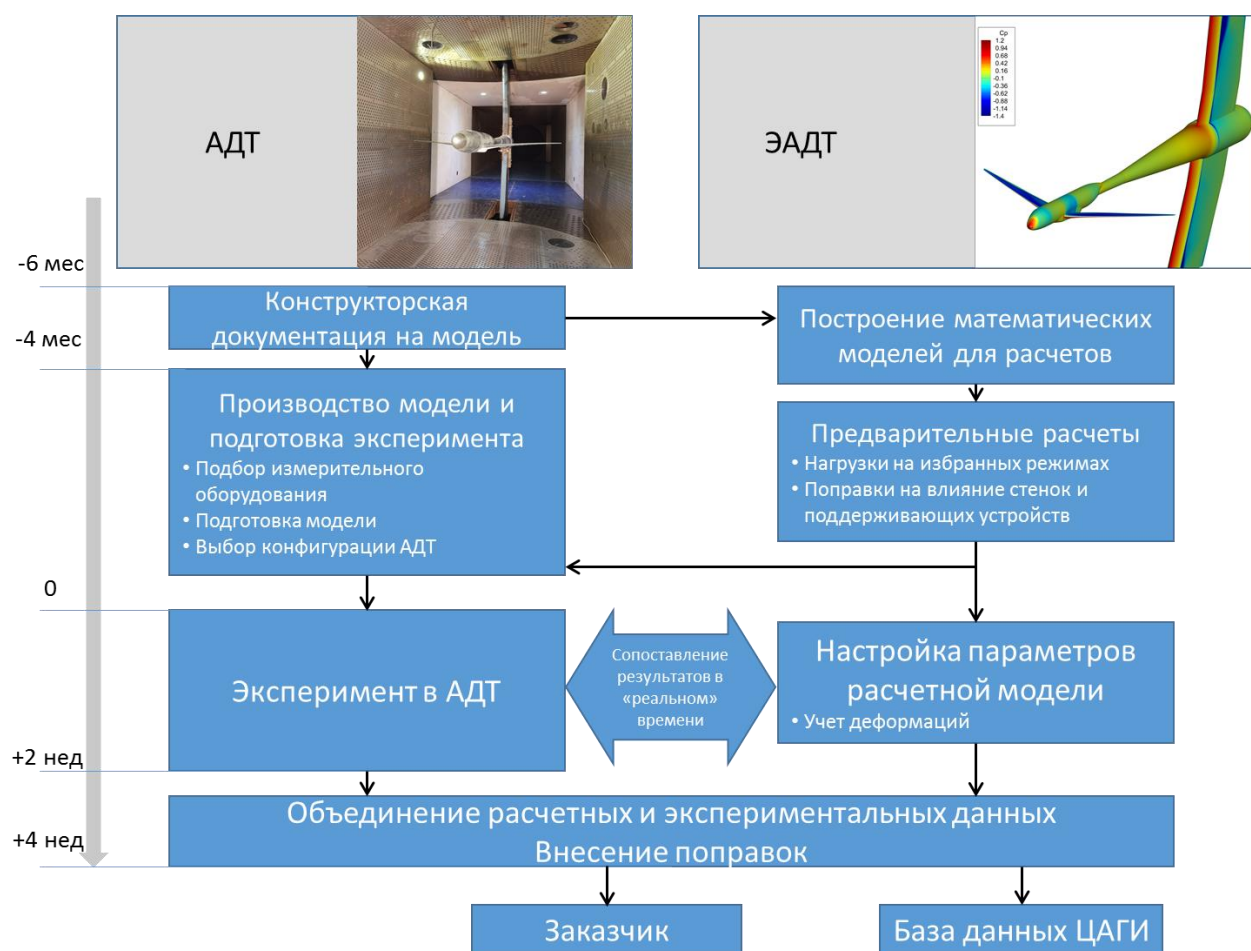


Рис. 1 — Схема взаимодействия электронной и реальной АДТ

Уровень технологической готовности варьируется от 3 до 6 применительно к различным АДТ. Значение УТГ=6 достигнуто за счет внедрения технологии ЭАДТ в методику проведения испытаний в АДТ Т-128 – крупнейшей в восточном полушарии трансзвуковой аэродинамической трубе.

Для повышения точности и достоверности результатов экспериментальных исследований моделей перспективных летательных аппаратов и космической техники в трансзвуковой аэродинамической трубе Т-128 за счет внедрения методики вычислительного эксперимента в технологический цикл испытаний решены следующие задачи:

- Создана методическая база для объединения экспериментальных и численных исследований;

- Создана инфраструктура, необходимая для внедрения методики вычислительного эксперимента в технологический цикл испытаний в АДТ Т-128;
- Системы получения, обработки и визуализации экспериментальных данных адаптированы для работы с результатами вычислительного эксперимента;
- Разработана система экспресс-анализа результатов испытаний в ходе эксперимента с учетом расчетных данных;
- Создана система визуализации и принятия решений, совмещающая экспериментальные и расчётные данные;
- Доработана существующая методика использования результатов численного моделирования для введения поправок при испытаниях в АДТ Т-128;
- Создана нормативная документация;
- Проведено обучение персонала АДТ Т-128 работе с созданной системой.

В рамках работ по реализации комплексного проекта «Внедрение технологии Электронной Аэродинамической Трубы в методику проведения испытаний в АДТ Т-128» методика использования результатов моделирования применена при испытаниях универсальной контрольной модели в АДТ Т-128.

На стадии планирования эксперимента и подготовки модели создана математическая модель экспериментальной установки, содержащая все основные элементы реального объекта исследований. Корректность созданной математической модели подтверждена в ходе контрольных обмеров при помощи контрольно-измерительной машины (рис. 2).



Рис. 2 — Контроль корректности математической модели

Созданная математическая модель экспериментальной установки использовалась на стадии планирования эксперимента:

- для определения деформации модели под действием аэродинамических сил;
- для определения поправок к параметрам набегающего потока, связанных с влиянием стенок и поддерживающих устройств;
- для определения областей начала бафтинга. Полученная информация использовалась при планировании измерений при помощи метода многоцветного масла.

В ходе эксперимента состояние модели контролировалось при помощи видеограмметрической системы измерения полей деформаций. Погрешность измерений линейных параметров перемещений и деформации изгиба не превышает за редкими исключениями 0.2 мм, а угловых параметров 0.1°. Максимальные различия между измеренными данными и рассчитанными значениями деформаций изгиба и крутки наблюдаются в концевых сечениях крыла и не превышают величин 0.5 мм для изгиба и 0.1° для крутки, что сопоставимо с точностью измерений методом видеограмметрии. Сопоставление результатов измерений деформации изгиба и кручения консоли крыла методом видеограмметрии (VGM) с результатами численного моделирования (CFD) представлено на рис. 3.

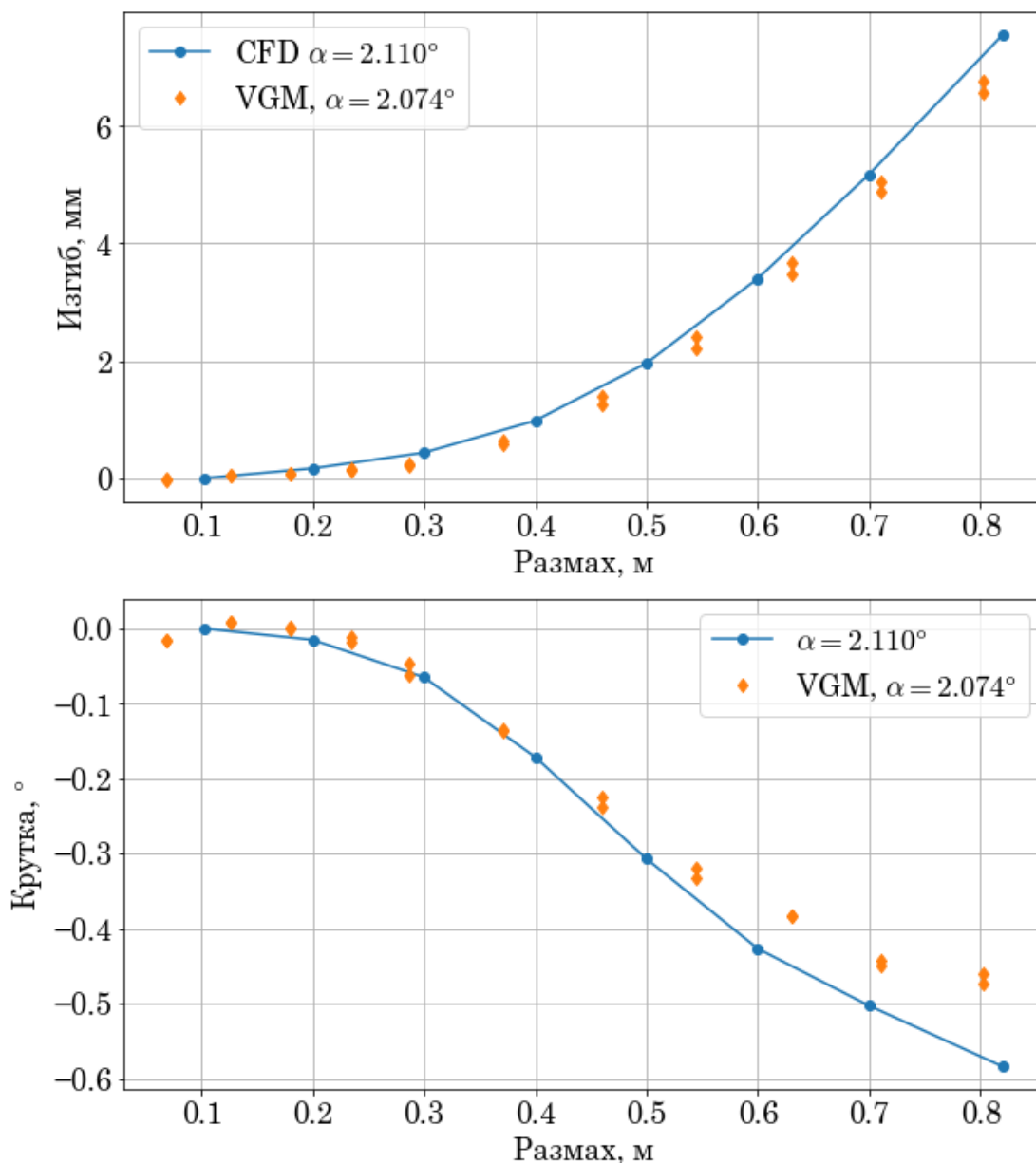


Рис. 3 — Сопоставление результатов измерений деформации изгиба и кручения консоли крыла методом видеограмметрии (VGM) с результатами численного моделирования (CFD)

Продемонстрирована работоспособность систем экспресс-анализа результатов и принятия решений, использующих расчетные данные и результаты эксперимента, получаемые в реальном времени. На рис. 4 приведена фотография экрана рабочего места оператора с запущенным окном системы экспресс-анализа и принятия решений.



Рис. 4 — Окно программы визуализации данных в реальном времени при испытаниях в АДТ

На стадии обработки экспериментальных данных проводилось сопоставление картин течения, полученных при помощи метода многоразового масла, с визуализацией результатов численного моделирования (рис. 5). Характерные особенности течения на крыле – положение скачка, возвратные токи, диффузорный отрыв в корневой части крыла – воспроизводятся на картинах, полученных разными методами, при этом положения и размеры указанных особенностей близки. Это позволяет использовать информацию о пространственных характеристиках особенностей течения, полученную в расчете, совместно с данными, полученными методом многоразового масла, таким образом осуществляется восполнение экспериментальных данных на основе численного моделирования.

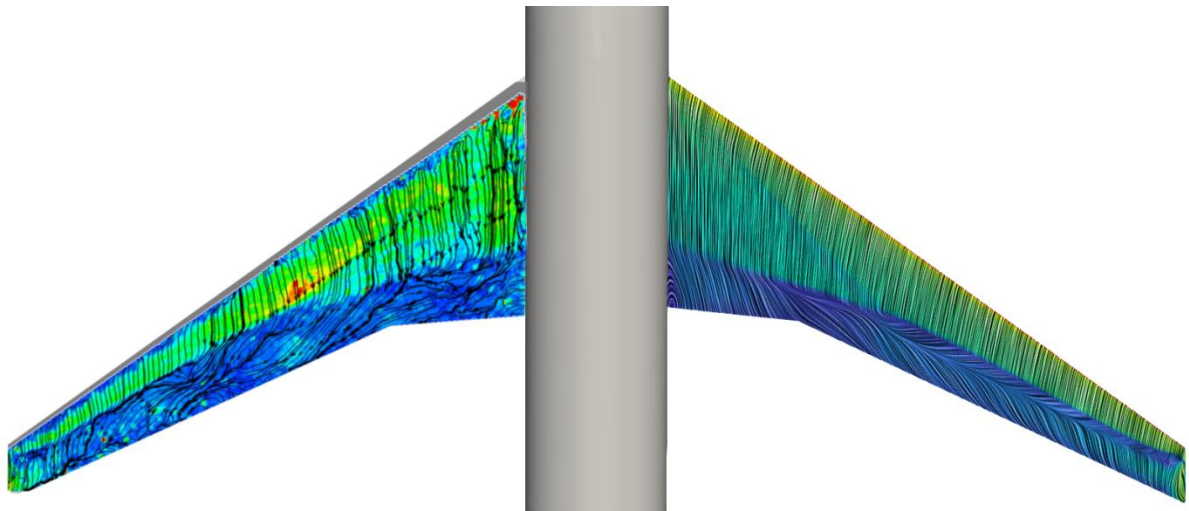


Рис. 5 — Визуализация предельных линий тока и коэффициента трения. $M = 0.85$, $C_{\text{фа}} = 0.67$. Слева – метод многоразового масла, справа – численное моделирование

Описана процедура определения поправок на влияние границ рабочей части АДТ Т-128 и поддерживающих устройств. Внесение этих поправок заметно устраняет влияние границ потока и поддерживающих устройств. Определены остаточные поправки, учитывающие влияние искажения геометрии хвостовой части фюзеляжа поддерживающим устройством.

Разработана документированная процедура системы менеджмента качества (ДП СМК) по проведению испытаний в АДТ Т-128 с использованием результатов численного моделирования. В разработанной и утвержденной ДП СМК представлен порядок организации и проведения нового типа испытаний в АДТ Т-128.

В совокупности, внедрение технологии электронной аэродинамической трубы в методику экспериментальных исследований позволит снизить число дорогостоящих пусков реальной АДТ, повысить достоверность и информативность получаемых на этапе НИР и ОКР результатов. Это дает возможность сократить время вывода новых образцов авиационной техники на рынок. Технология электронной аэродинамической трубы применена при испытаниях моделей пассажирских самолетов ШФДМС, МС-21, SSJ-NEW, а также при испытаниях моделей мотогондол силовых установок ПД-14, ПД-8.