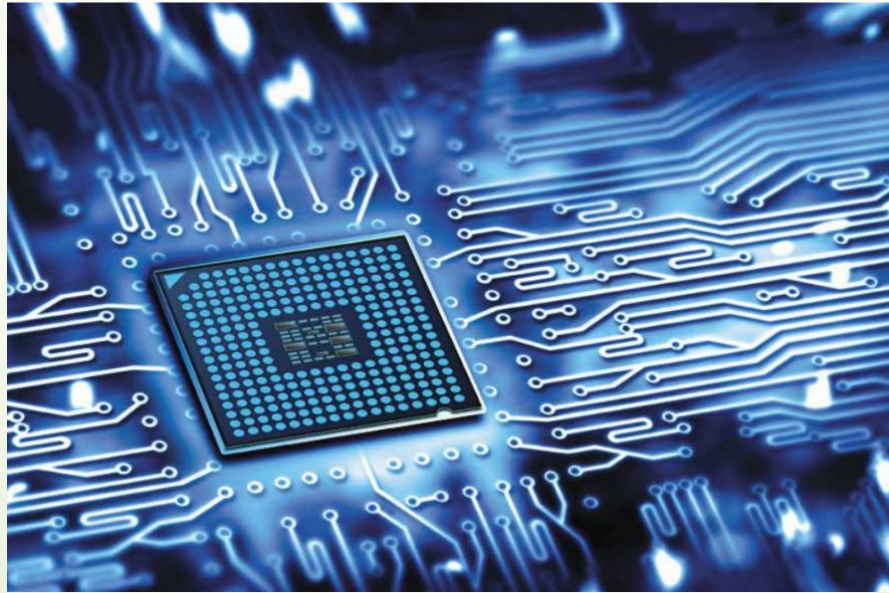


**Прогноз 2010 и достигнутые рубежи при разработке
Пакета Прикладных Программ EWT, а также роль
валидации в технологическом цикле организации
расчетных исследований**

Босняков С.М.



План сообщения



- ❖ *Мотивация и цели 2020*
- ❖ *EWT – промежуточный итог*
- ❖ *Приоритеты развития CFD, дорожная карта 2030*
- ❖ *Роль валидации алгоритмов и программ*
- ❖ *Заключение*

**АВИАЦИОННАЯ НАУКА
И ТЕХНОЛОГИИ 2030**

ФОРСАЙТ



ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

ПОДГОТОВЛЕНО ВЕДУЩИМИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИМИ ИНСТИТУТАМИ
АВИАЦИОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Москва **2012**



2010

Критические технологии

Оптимистический прогноз

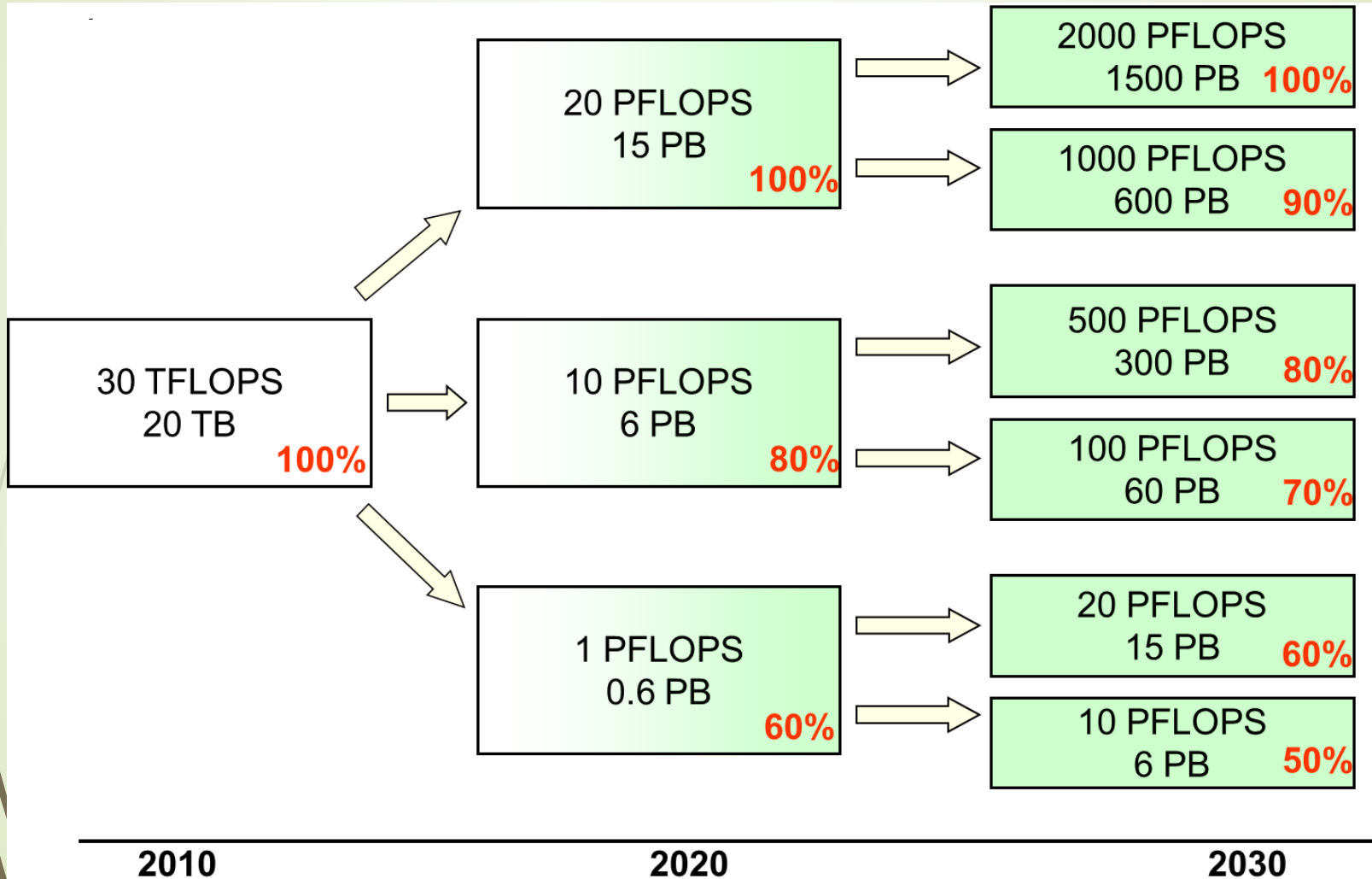


2010

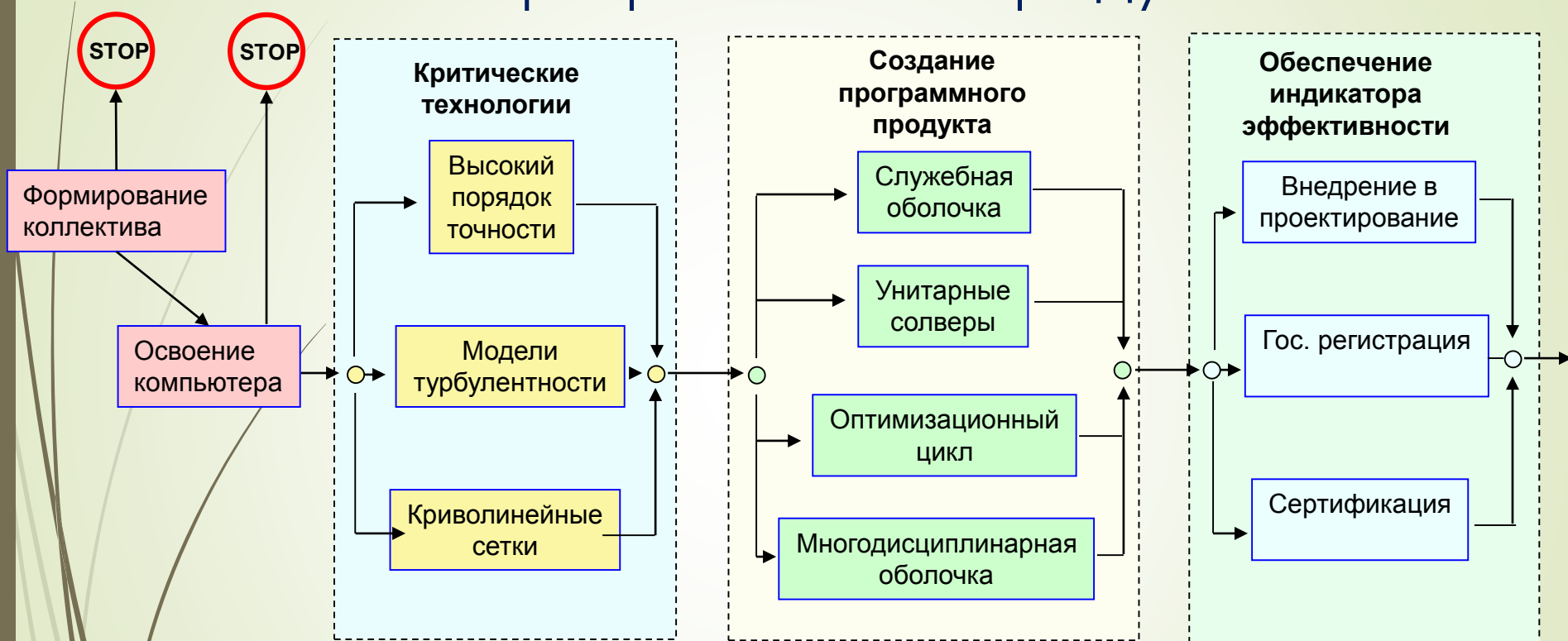
2020

2030

Потребные ресурсы



Фрагмент дорожной карты разработки программного продукта



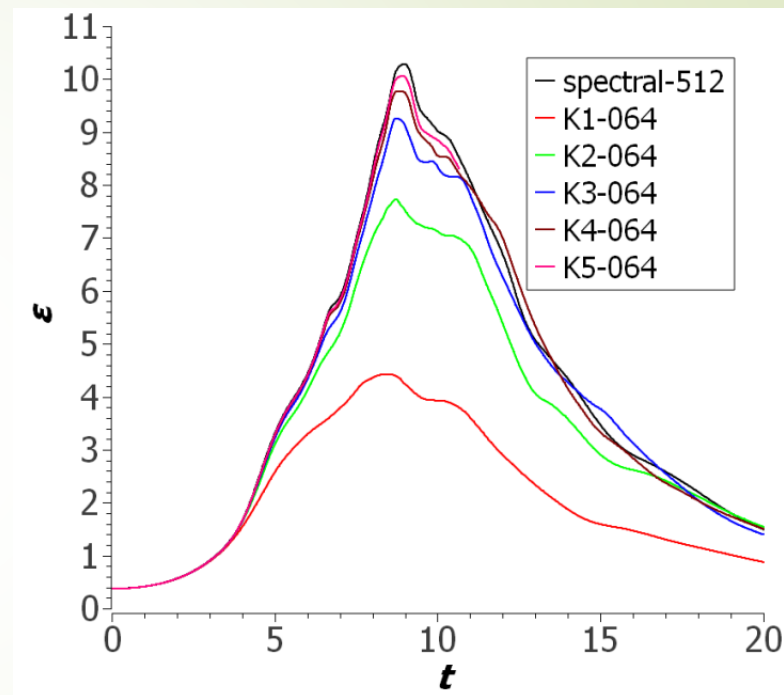
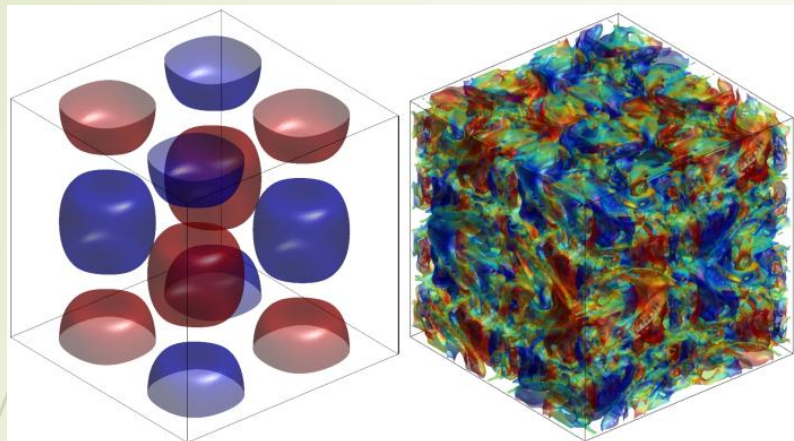
Прогноз 2010

План сообщения

- ❖ *Мотивация и цели 2020*
- ❖ *EWT – промежуточный итог*
- ❖ *Приоритеты развития CFD, дорожная карта 2030*
- ❖ *Роль валидации алгоритмов и программ*
- ❖ *Заключение*



Рекордные расчеты «Вихрь Грина Тейлора», LES. DG



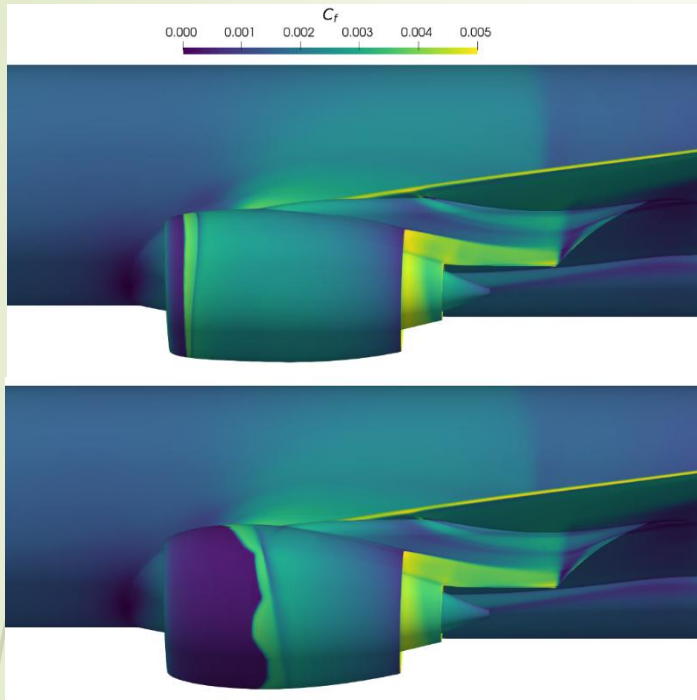
DLR – 11 Мин
 ONERA – 3 Мин
 ЦАГИ – 4 Мин.

Компьютер ВНИИЭФ

CPU	RAM	Время	Всего	Scaling
50 000	100 TB	4 мин	6 дней	1.65

ЦАГИ -2021

Монодисциплинарная оптимизация. RANS, SA. Имитационная модель. EGO.



Год	2020
Геометрия	Компоновка
Физ. модель	RANS + ЛТП
Целевая	Потери эфф. тяги ЛА
Ограничения	Сопло, ВЗ, C_y , $M_{кр}$
Режимы	5 шт.: крейсер (3 шт.), взлёт, бок. ветер
Сетка	60 млн ячеек

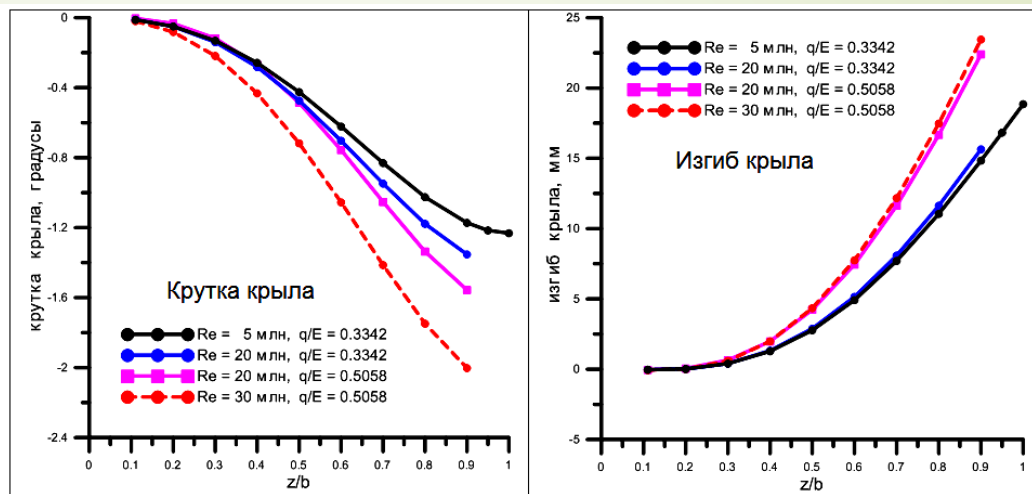
Результат: ~ 2 % снижение расхода топлива
 1 % — ламинаризация МГ
 1 % — учёт интерференции с планером

Компьютер ВНИИЭФ

CPU	RAM	Время	Всего	Scaling
2 000	0.5 TB	2 нед.	18 месяцев	1.65

ЦАГИ -2020

Многодисциплинарные задачи в нелинейной постановке RANS, SST, метод Ритца деформации панелей (АРГОН)



Сравнение влияния деформаций различных типов для $Re = 5$ млн

	Без деформации	Крутка	Крутка+изгиб
C_x	0.0443	0.0397	0.0393
C_y	0.648	0.627	0.625

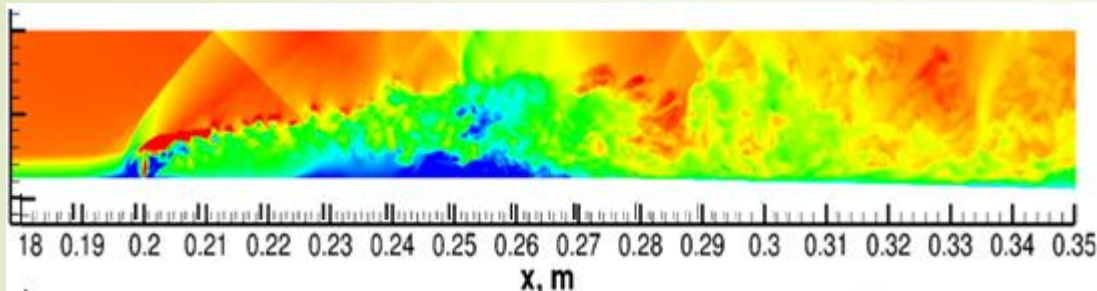
Компьютер ЦАГИ

CPU	RAM	Время	Всего	Scaling
500	0.5 TB	4 часа	Не ограничено	1.70

ЦАГИ -2020

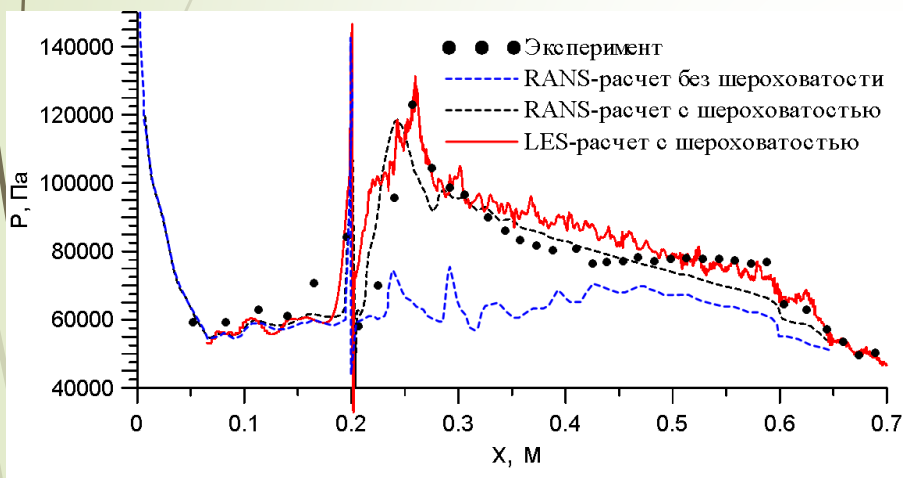
Многодисциплинарные задачи в нелинейной постановке

SST-IDDES (+SLA), 7 реакций, 7 компонент, модель Jachimovsky, НО



Камера сгорания

1. Горение водорода в воздухе
2. Учет шероховатости стенок
3. Семь реакций
4. Две модели (RANS, LES)
5. Высокий порядок

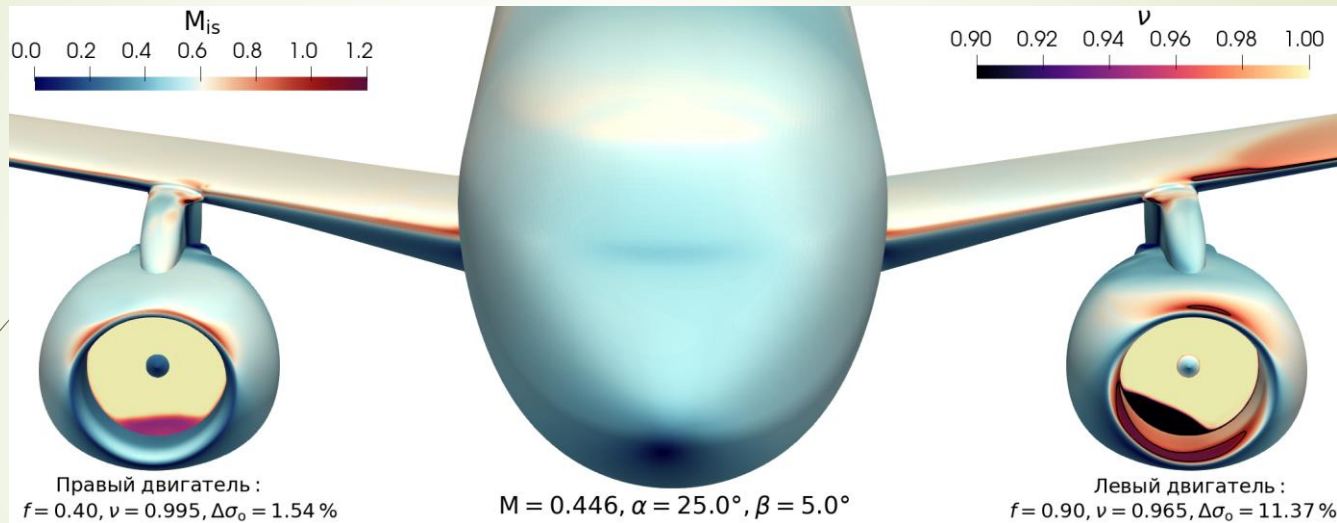


Компьютер ВНИИЭФ

CPU	RAM	Время	Всего	Scaling
3000	1.5 TB	3 недели	6 недель	1.70

ЦАГИ -2020

Монодисциплинарные задачи в нелинейной постановке RANS, SST



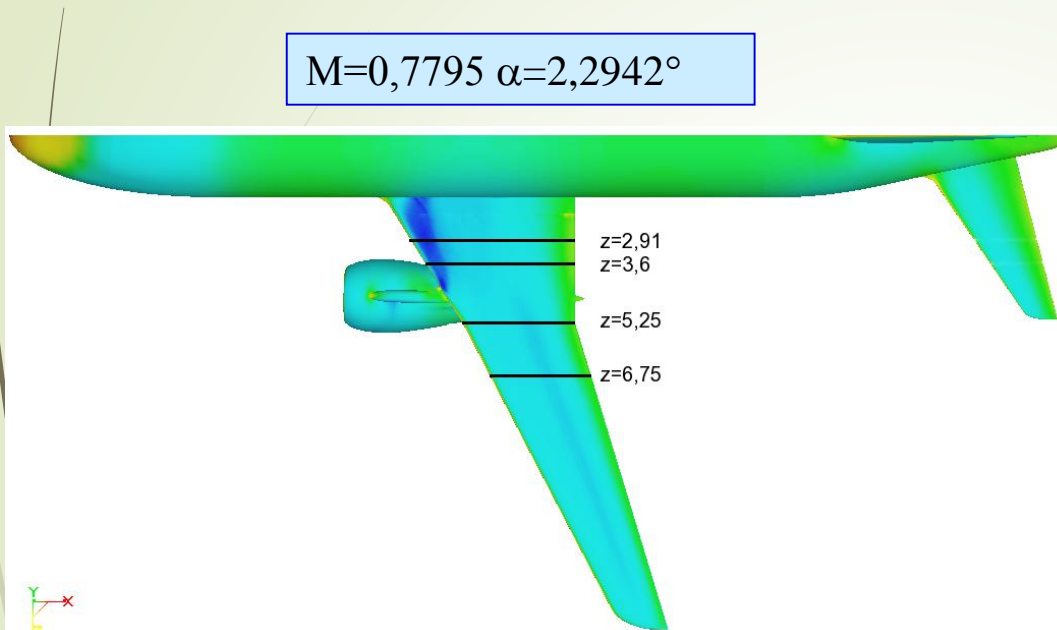
Ассиметричное обтекание за счет углов скольжения и режимов двигателей

Компьютер ВНИИЭФ

CPU	RAM	Время	Всего	Scaling
2 000	1 TB	5 часов	6 месяцев	1.75

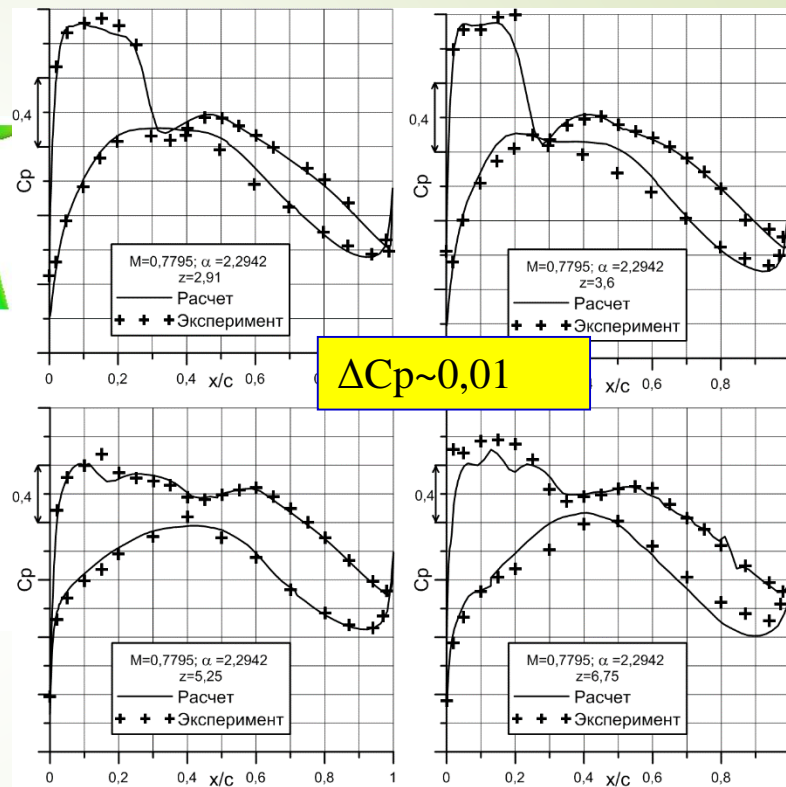
ЦАГИ -2020

Моно-дисциплинарные задачи в нелинейной постановке RANS, SST (Рутинные расчеты)



Крейсерский режим (безотрывное обтекание)

Компьютер ЦАГИ



ЦАГИ -2018

CPU	RAM	Время	Всего	Scaling
500	0.35 TB	2 часа	Не ограничено	1.70

План сообщения

- ❖ *Мотивация и цели 2020*
- ❖ *EWT – промежуточный итог*
- ❖ *Приоритеты развития CFD, дорожная карта 2030*
- ❖ *Роль валидации алгоритмов и программ*
- ❖ *Заключение*



Прогноз развития методов (Спаларт)

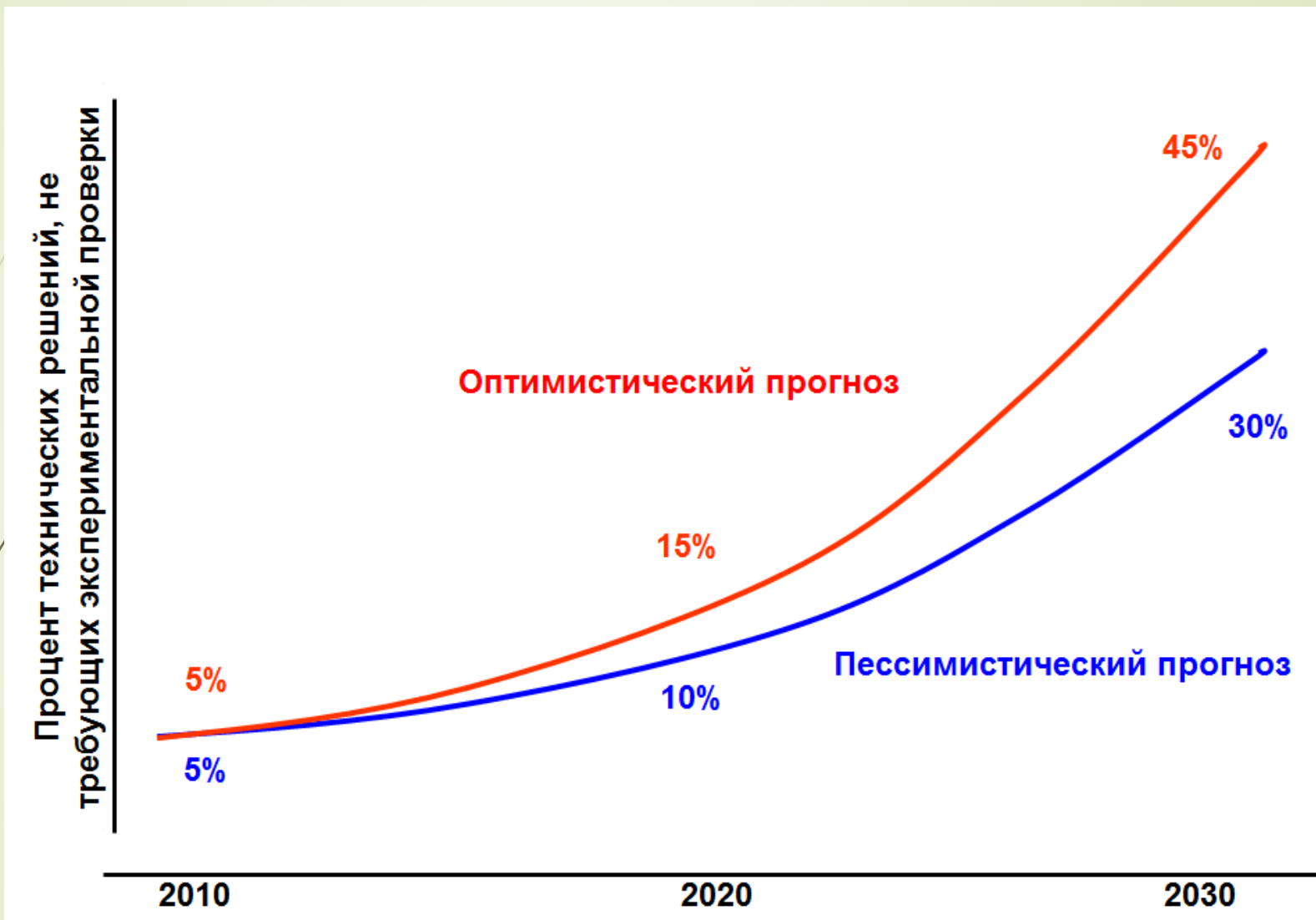
<i>Метод</i>	<i>DNS</i>	<i>WMLES</i>	<i>DES</i>	<i>RANS</i>
		RANS и LES - ПАРТНЕРЫ		
<i>Эмпирика</i>	<i>НЕТ</i>	<i>МАЛО</i>	<i>ЕСТЬ</i>	<i>МНОГО</i>
<i>F(t) [сек]</i>	<i>ДА</i>	<i>ДА</i>	<i>ДА</i>	<i>НЕТ</i>
<i>Узлов (Крыло)</i>	10^{20}	10^{11}	10^8	10^7
<i>Ожидается</i>	<i>2080</i>	<i>2045</i>	<i>2010</i>	<i>1995</i>

ЦАГИ -2021

Судьба методов RANS (URANS)

1. RANS будет оставаться основной рабочей методологией, по крайней мере для «внешних» задач (в основном из-за низкой стоимости расчета)
2. RANS будет совершенствоваться за счет улучшений моделей турбулентности методами DNS и LES
3. RANS сдержит высокую неопределенность результатов. Трудно различить влияние сеточных эффектов, несовершенство модели, нестыковки геометрии
4. RANS использует модели турбулентности, настроенные на безотрывные (слабо отрывные) режимы обтекания
5. RANS не может применяться для турбулентных потоков, так как дает осредненное решение. Следует следить за правильностью осреднения
6. RANS предсказывает факт отрыва осредненного потока, но не позволяет вести расчет внутри отрыва. Не следует забывать, что отрыв «дышит», а точки отрыва и присоединения подвижны во времени
7. RANS модели занижают производство турбулентности в отрывных зонах, что ведет к их переразмериванию

Основной вектор развития – переход к моделям
НАПРЯЖЕНИЙ РЕЙНОЛЬДСА



План сообщения

- ❖ *Мотивация и цели 2020*
- ❖ *EWT – промежуточный итог*
- ❖ *Приоритеты развития CFD, дорожная карта 2030*
- ❖ *Роль валидации алгоритмов и программ*
- ❖ *Заключение*



Определение понятия «Валидация»

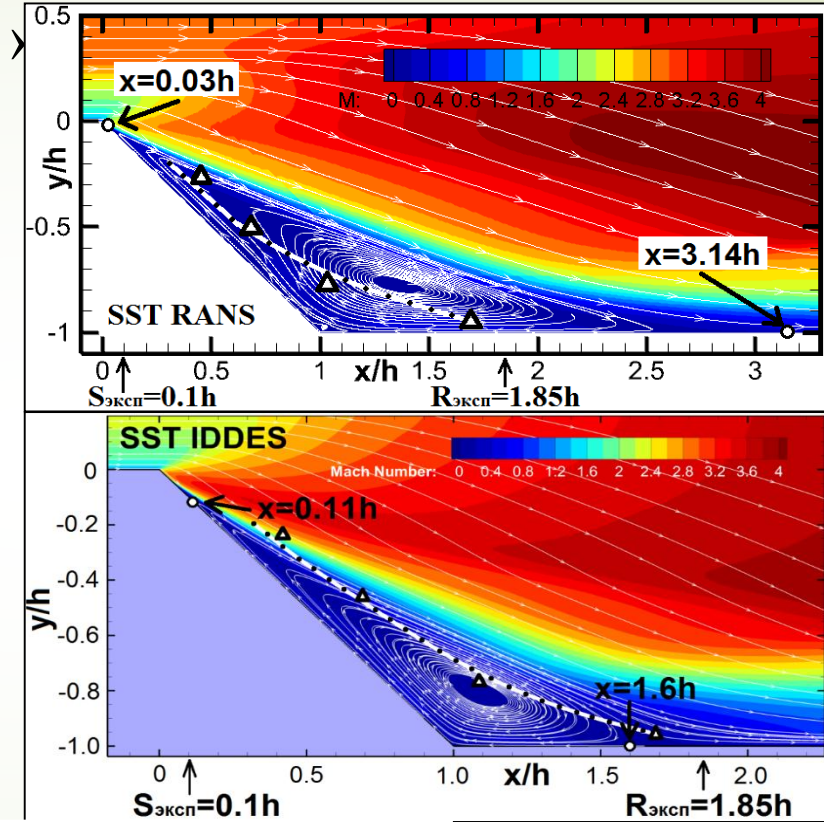
- ❖ Валидация- это процедура, дающая высокую степень уверенности в том, что конкретная система будет последовательно приводить к результатам, отвечающим заранее установленным критериям соответствия, полученным путем сопоставления с **«тестовыми примерами» (Test cases)**.
- ❖ Адекватность» определяется, как «Совокупность действий, включающих многошаговые процедуры верификации и **валидации**, результатом которых является подтверждение того факта, что полученные с помощью предлагаемой модели данные не выходят за пределы оговоренного заранее **«Доверительного диапазона»**.

Описание «тестового примера»

- ❖ *Введение и физическая постановка теста*
- ❖ *Область применения*
- ❖ *Нормативные ссылки*
- ❖ *Формулировка и описание Тестовой задачи*
- ❖ *Физические особенности течения и аналитика*
- ❖ *Экспериментальная модель и постановка эксперимента*
- ❖ *Методика и точность эксперимента*
- ❖ *Тестовый расчет*
- ❖ *Приложения (вся первичная документация)*

Тестовый пример ЦКМ

Тест отрыв «отрыв на клине разрежения»

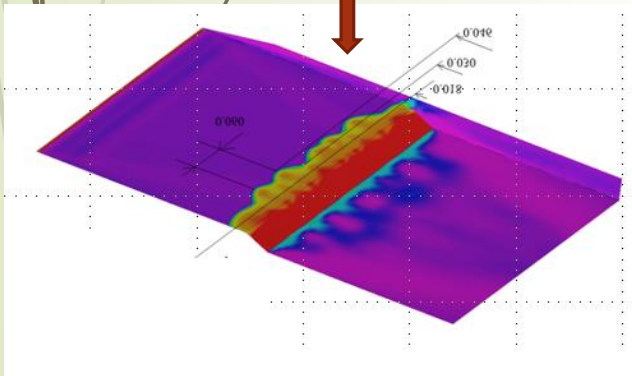


	Эксперимент	SST-RANS	SST-IDDES
Отрыв S	0,1 h	0.03 h	0.11 h
Прис. R	1.85 h	3.14 h	1.60 h

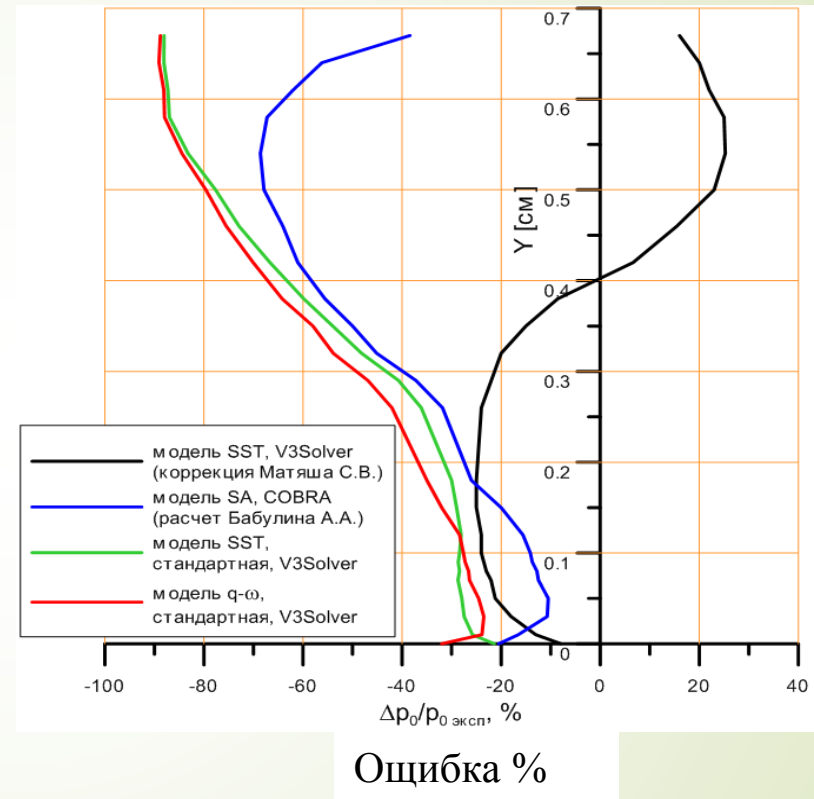
Эксперимент
А. Желтоводов
ИТПМ СО РАН

Тестовый пример «ЦКМ»

Тест отрыв «отрыв на клине торможения»



$M=3$; $Re \sim 10^6$ $\delta = 25^\circ$

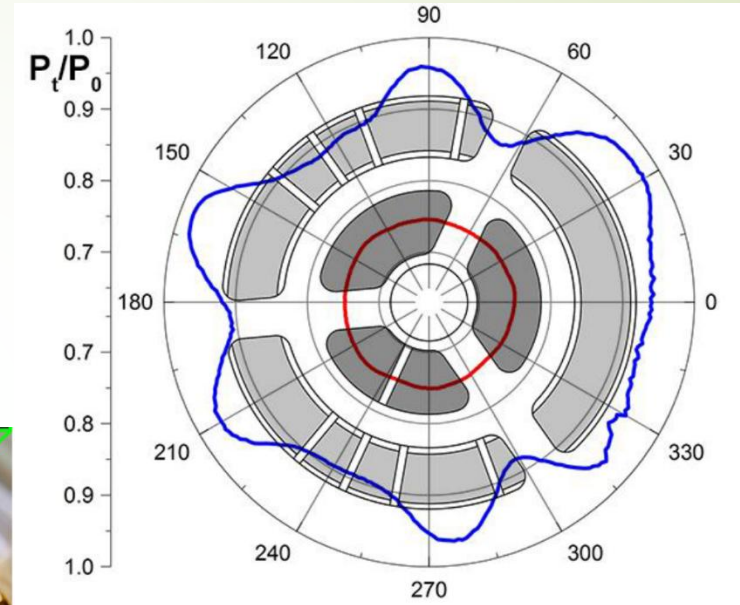
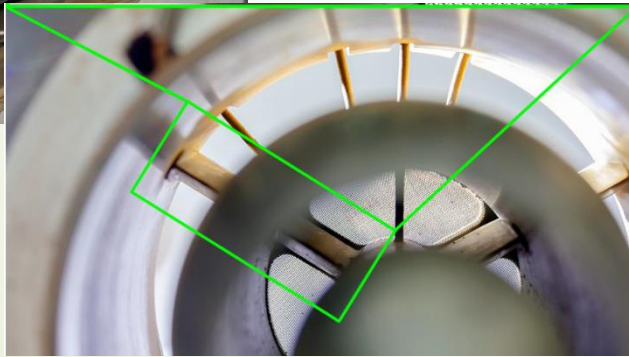
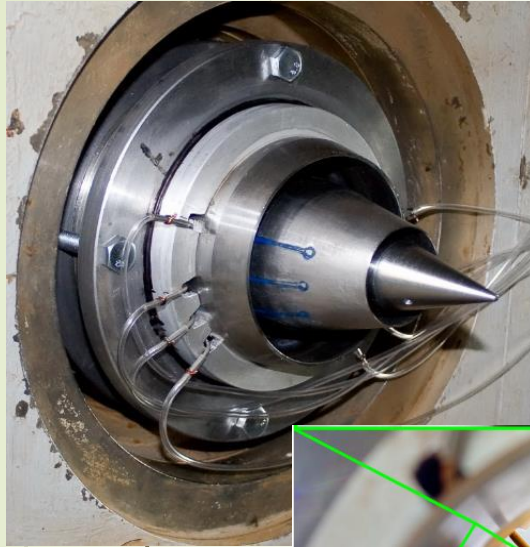


Ошибка при расчете v в отрывной зоне достигает 30 %

Эксперимент А. Желтоводов ИТПМ СО РАН

Тестовый пример «ЦКМ»

Тест сопло «двухконтурное сопло с пилонами»

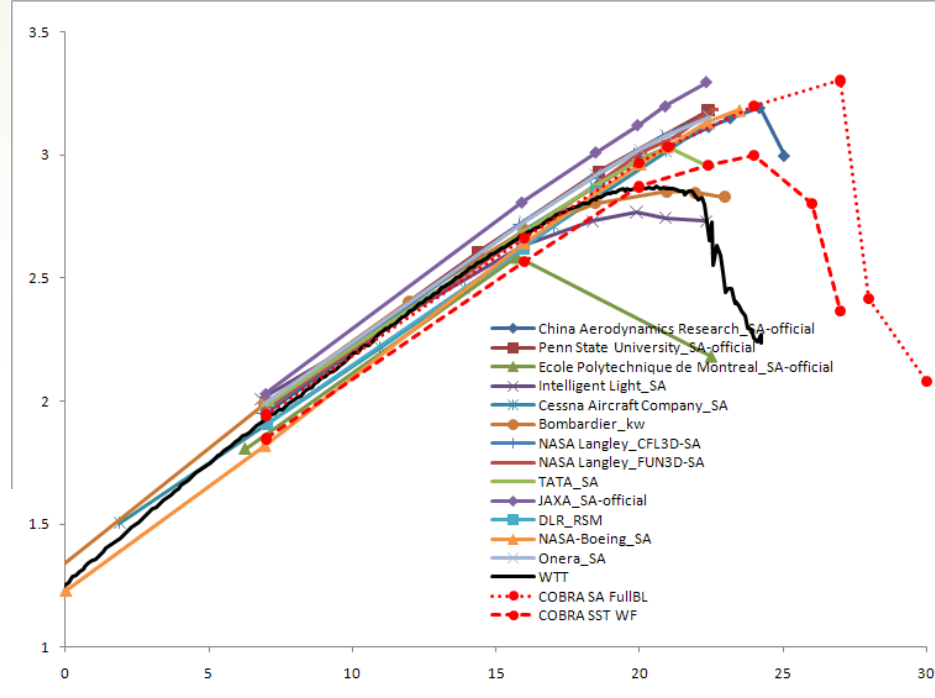
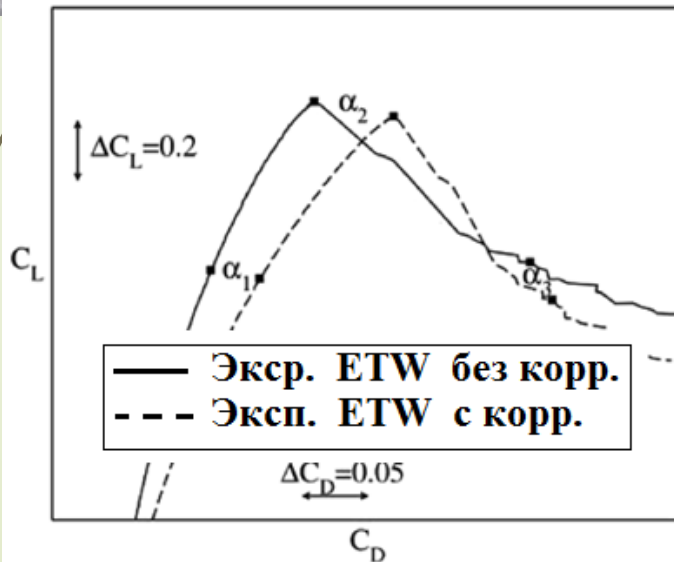


Эксперимент
В. Запрягаев ИТПМ СО РАН

$N_{pr1} = 1.72$, $M_{j1} = 0.915$, $Re_1 D = 0.96 \cdot 10^6$,
 $N_{pr2} = 2.25$, $M_{j2} = 1.141$, $Re_2 D = 2.872 \cdot 10^6$

Тестовый пример «Индукция»

Тест аэродинамика «компоновка & Re»

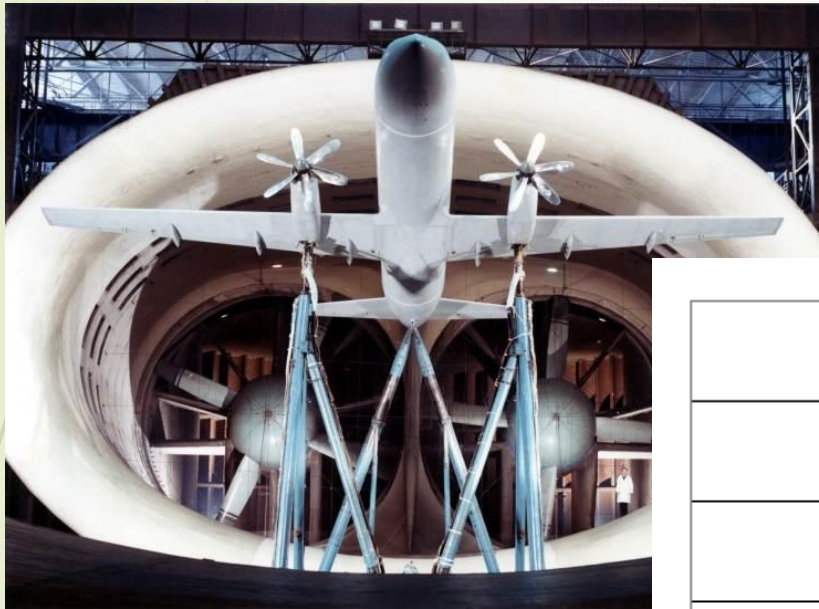


Горбушин А.Р. НИО-2 (DeSiReH, EU FP 4)

$M=0.2$ $Re \sim 15 \cdot 10^6$

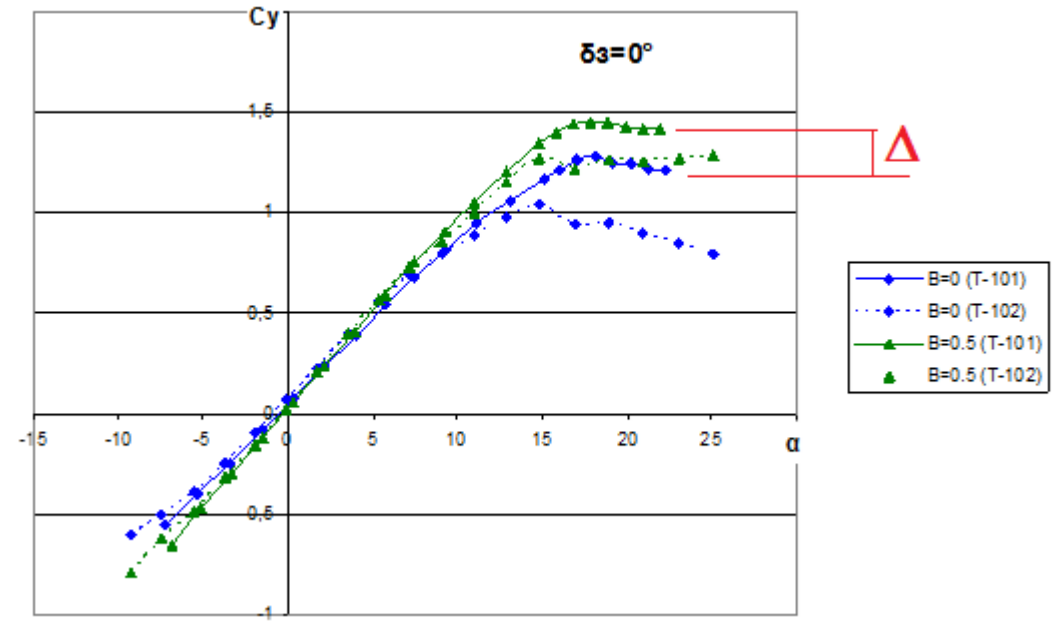
Тестовый пример «Масштаб»

Тест аэродинамика «компоновка & Re & имитаторы»



T-101
 Эллипс 24*14 М
 Re 3.6 млн на метр
 Размах модели 18 метров

T-103
 Эллипс 4*2.33 М
 Re 3.8 млн на метр
 Размах модели 2.5 метра



Эксперимент Петров А. В. (НИО-2)

План сообщения

- ❖ *Мотивация и цели 2020*
 - ❖ *EWT – промежуточный итог*
 - ❖ *Приоритеты развития CFD, дорожная карта 2030*
 - ❖ *Роль валидации алгоритмов и программ*
 - ❖ *Заключение*
- 

Заключение

- Основные положения, сформулированные в Форсайте 2010 последовательно выполняются
- Основной приоритет остается неизменным: **интеграция** на основе **многодисциплинарной** и многофакторной **оптимизации**, опирающейся на **нелинейные физические модели**, реализованные на суперкомпьютерах с применением **методов высокого порядка точности**.
- «**Тестовые примеры**» являются краеугольными камнями вычислительных технологий на этапе валидации
- «**Тестовые примеры**» необходимо готовить с привлечением высококлассного оборудования и результатов специальных расчетных и теоретических исследований

Благодарность за помощь в подготовке доклада: А. Чевагину, А. Волкову, А. Лысенкову, И. Курсакову, С. Михайлову, В. Подаруеву, В. Власенко, А. Савельеву, А. Трошину, С. Матяшу, Н. Зленко, М. Енгулатовой

Вопросы ?

