



**ОПТИМАЛЬНОЕ
ПРОЕКТИРОВАНИЕ НА БАЗЕ
ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ
НОВОГО ПОЕОЛЕНИЯ**

Разработка новых индустриальных продуктов: Текущая Практика

- **Основана на интенсивном использовании программных средств математического моделирования**
- **Основная функция этих программных продуктов - обеспечить детальную информацией о свойствах заданного индустриального объекта на основе решения так называемых прямых задач моделирования**
- **В общепринятой практике такие компьютерные коды называются кодами анализа**

Разработка новых индустриальных продуктов: Текущая Практика

- **Текущая практика дизайна фактически основана на «ручном» методе проб и ошибок**
- **Успех разработки целиком зависит от опыта и интуиции инженеров-разработчиков, широко использующих при принятии решений информацию, поставляемую кодами анализа.**
- **Требует значительного числа циклов дизайна и больших временных и финансовых затрат**

ТРЕБОВАНИЕ

ПРОМЫШЛЕННОСТИ :

НОВЫЙ ВЫЗОВ

- **Конечным запросом индустрии является переход с “ручного” метода проб и ошибок на новый технологический подход**
- **В основе этого подхода лежат средства автоматического оптимального дизайна**
- **Коды оптимального дизайна призваны:**
 - Сократить расходы на дизайн**
 - Улучшить качество дизайна**
 - Стать важной интегральной частью создания новых продуктов**

ПРОМЫШЛЕННОСТИ : **НОВЫЙ ВЫЗОВ**

Главные проблемы:

- **Обеспечение глобальности оптимального поиска**
- **Нахождение глобальной параметризации оптимизируемого объекта**
- **Удовлетворение большого количества ограничений на искомое решение**
- **Создание эффективных алгоритмов поиска в пространстве большой размерности**
- **Гигантский объем вычислений**

**ПАДЕЖТАЙ, ГО ШАЙ И ЭФФЕКТИВНАЙ
ТЕХНОЛОГИЯ
ГЛОБАЛЬНОГО ОПТИМАЛЬНОГО
ДИЗАЙНА**



**OPTIMization ENGINE for
Application**

- Компания OPTIMENGA смогла решить все вышеперечисленные фундаментальные проблемы математического моделирования
- В основе технологии лежат гибридные Генетические Алгоритмы в сочетании с методом Аппроксимационных Моделей, использующих многоуровневые связанные базы данных

Метод оптимизации:

Генетические алгоритмы

- **ГА** основаны на комбинации детерминистических и вероятностных подходов при поиске оптимума
- Базовая идея **ГА** состоит в имитации эволюционного процесса путем использования “генетических” операторов:
 - * селекции
 - * размножения
 - * мутации

Учет нелинейных

ограничений

Почему это важно?

В рассматриваемой задаче учет ограничений на решение исключительно важен так как:

- ❖ Оптимальное решение не является локальным минимумом
- ❖ Напротив, оптимум находится на пересечении гиперповерхностей различной размерности образованными этими ограничениями
- ❖ Положение этих поверхностей заранее не известно

ограничений

в рамках ГА

Новый подход

- Изменение традиционной стратегии поиска:

использование маршрутов поиска, проходящих как через допустимые (удовлетворяющие ограничениям), так и через недопустимые точки

- Основная идея: информация из областей не удовлетворяющих ограничениям очень важна и ***такие пути к оптимальной точке могут быть существенно***

Оптимизация с учетом ограничений



Вычислительная эффективность

Основная проблема

- Традиционное использование **ГА** требует очень большого объёма вычислений
- Даже алгоритм с населением **$M=100$** требует (в случае **200 поколений**) по меньшей мере **20000** решений **прямой задачи**
- Практически это абсолютно неприемлемо!

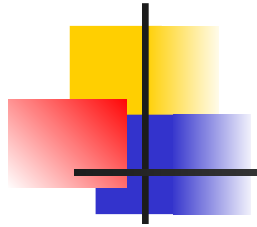
Вычислительная эффективность

Требования

Какие свойства алгоритма нам необходимы ?

- число точных расчетов прямой задачи **должно быть очень ограничено**
- алгоритм должен обеспечить **быстрый**
и
достаточно точный расчет
целевой функции при генетическом
поиске

Метод Аппроксимационных Моделей



- целевая функция аппроксимируется на основе **локальной базы данных**
- для обеспечения точности и надёжности метода используется принцип **“предикции-верификации”** на ряде вложенных областей
- **этап предикции:** Генетический поиск на ряде областей
- **этап верификации:** полученный набор «кандидатов на оптимальность» проверяется на основе точного решения прямой задачи
- для обеспечения глобальности поиска используется

Вычислительная эффективность: **Как её улучшить?**

- Быстрое преобразование сеток

- ❖ автоматическая трансформация исходной сетки на основе топологического подобия геометрических конфигураций

- Огрубление сетки

- ❖ сохранение иерархии целевой функции

- **Многоуровневая
параллелизация**

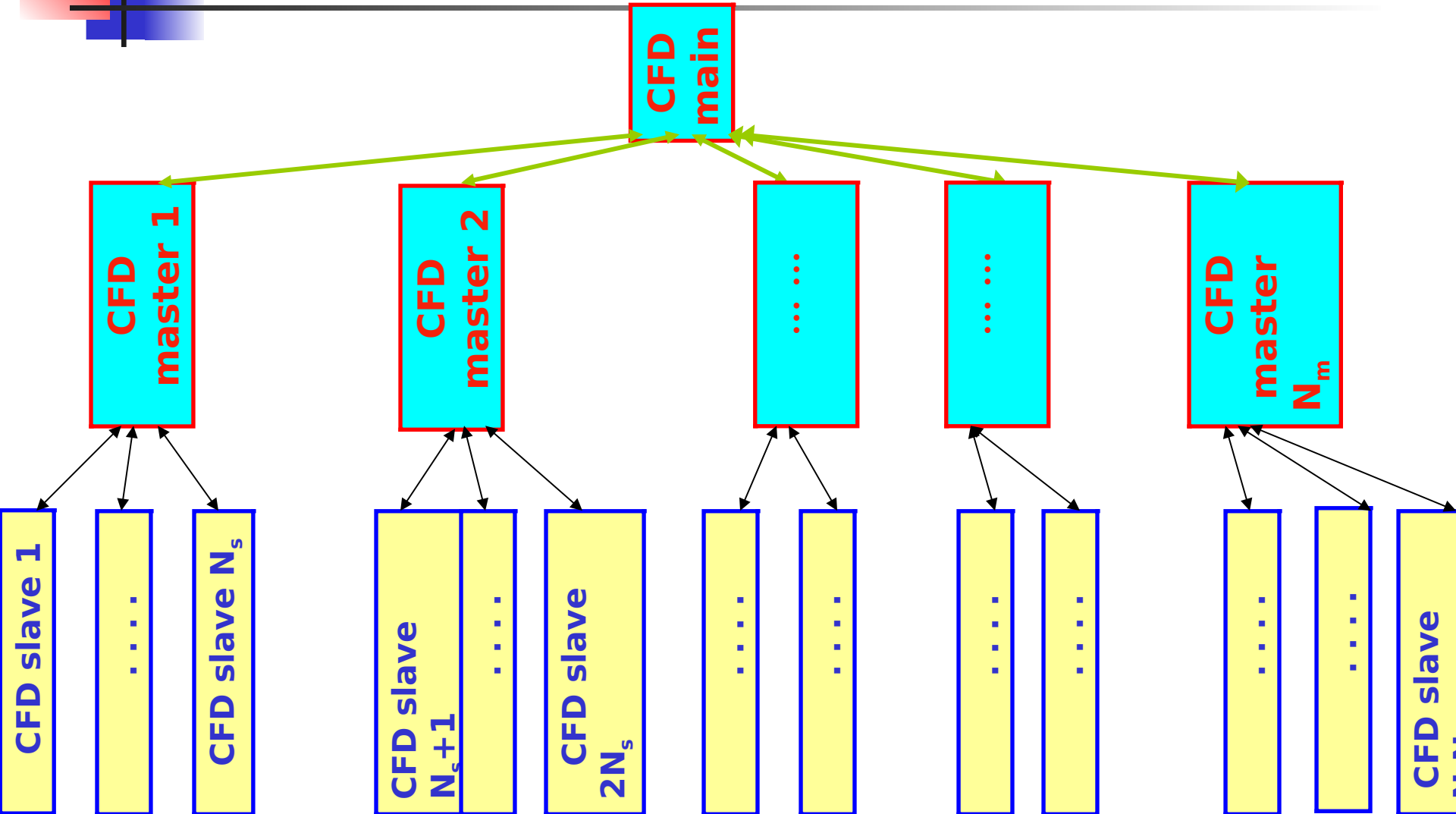
Многоуровневая параллелизация

Пять уровней параллелизации:

- **Уровень 1** – Параллелизация кода анализа
- **Уровень 2** – Параллельный расчет ряда геометрий
- **Уровень 3** – Параллелизация генетического поиска
- **Уровень 4** – Параллельный поиск на ряде областей
- **Уровень 5** – Параллельная генерация сеток

Двухуровневая параллелизация

расчетов прямой задачи



Верификация результатов



Сравнение с результатами:

- ❖ ***Оптимизация на основе кода MDORT – компания Boeing***
- ❖ ***Оптимизация в рамках Европейского Проекта***



Сравнение с MDOPT (Boeing)

Оптимизация крыла DPW3 W1

Двухточечная оптимизация:

$M=0.76$, $C_L=0.50$; $M=0.78$, $CL=0.50$

Код оптимизации	Время расчета необходимое для оптимизации	Снижение сопротивления	
		$M=0.76$	$M=0.78$
MDOPT	1200 часов (50 дней)	8.4 counts (3.8%)	24.7 counts (10.1%)
OPTIMENGA_AERO	27 часов	12.6 counts	12.2 counts (12.2%)

Сравнение с

Европейским проектом

Оптимизация самолета BWB

Оптимальная геометрия	Снижение сопротивления
Европейский проект	26.0 counts
OPTIMENGA_AERO	52.5 counts



Оптимизация самолета *BWB*

Главная точка дизайна

❖ $M = 0.85$

❖ $C_L = 0.41$

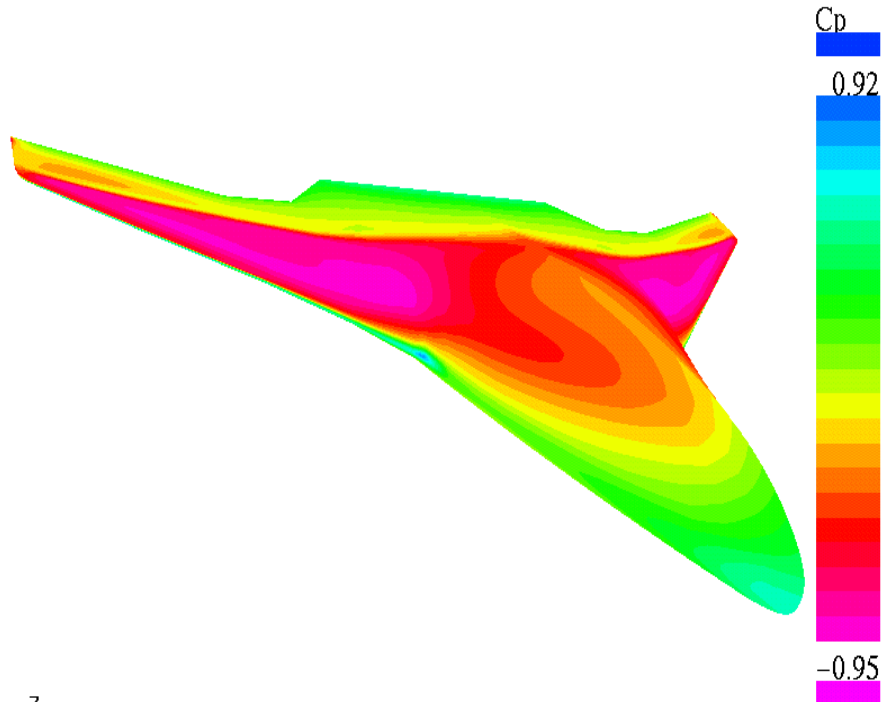
Дополнительные точки дизайна

❖ $M = 0.87, C_L = 0.41$

❖ $M = 0.20, C_L = 1.63$

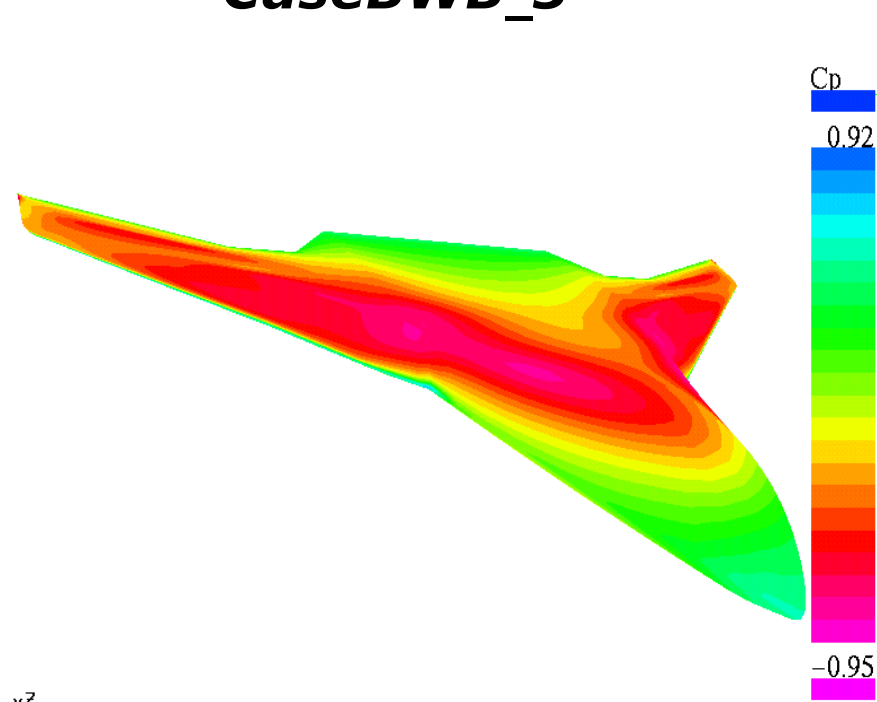
Оптимизация самолета BWB

До оптимизации $M=0.85,$
 $C_D=0.41$



$C_D=247$
counts

После оптимизации
CaseBWB_3



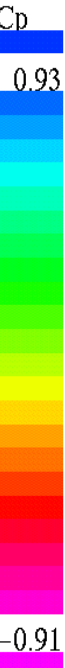
$C_D=197$ counts
 $C_M=-0.075$

Оптимизация самолета BWB

До оптимизации

$M=0.87,$

После оптимизации
CaseBWB_3



$C_D=287$ counts

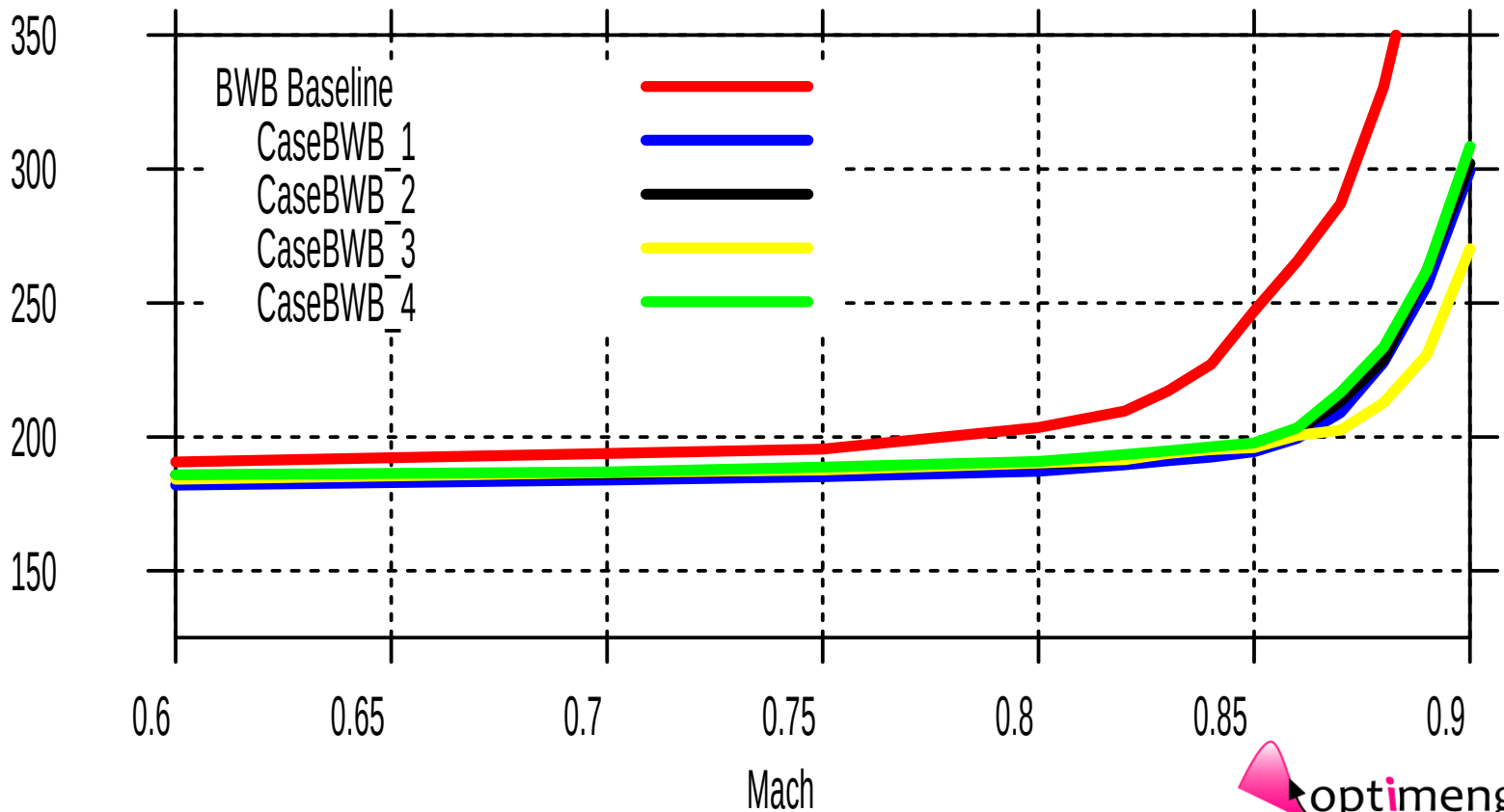
$C_M=-0.104$

$C_D=202$ counts

$C_M=-0.094$

Оптимизация самолета BWB

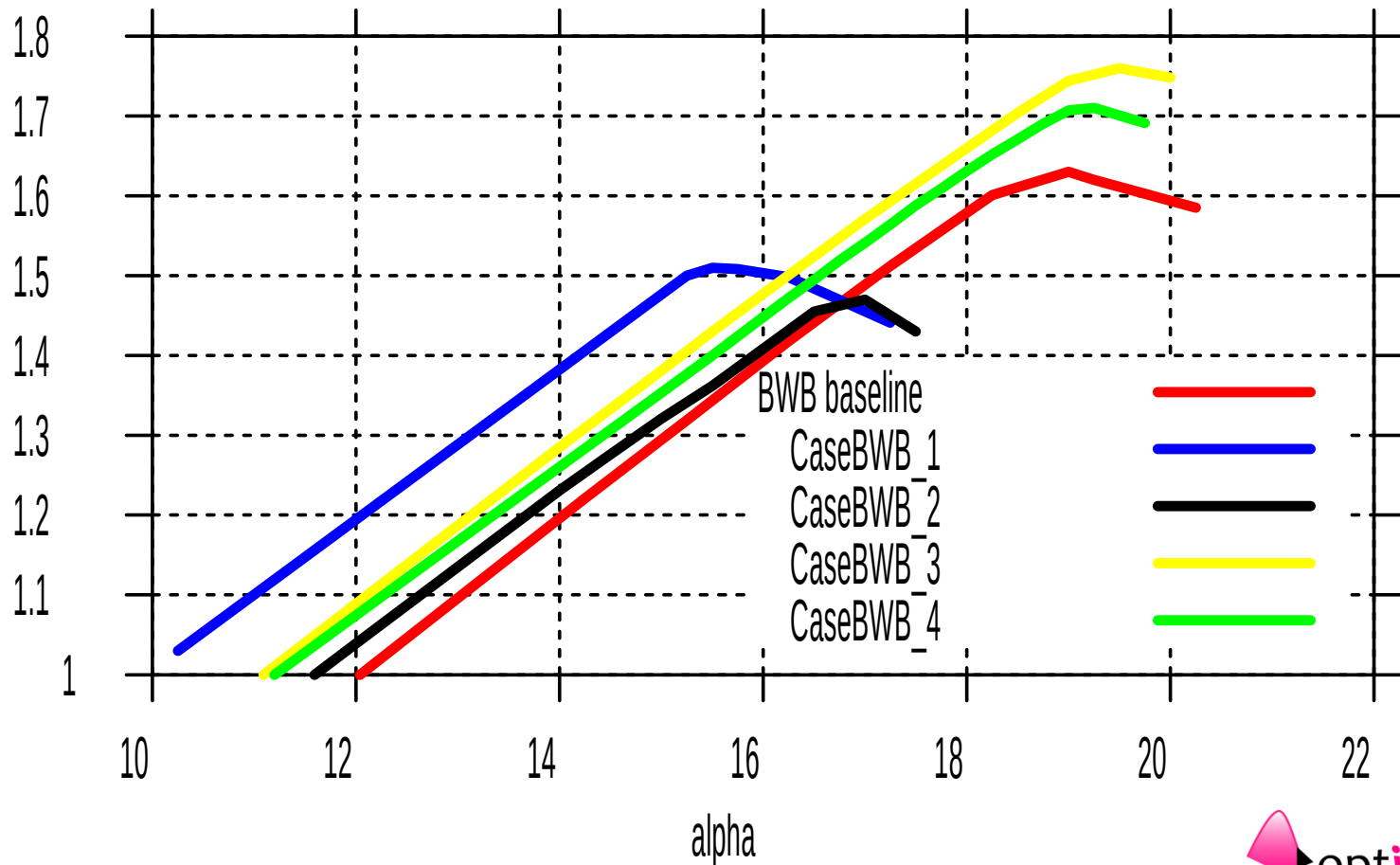
CD BWB Configuration. Mach drag divergence at CL=0.41



Оптимизация самолета BWB

BWB Configuration. CL vs. alpha at M=0.20

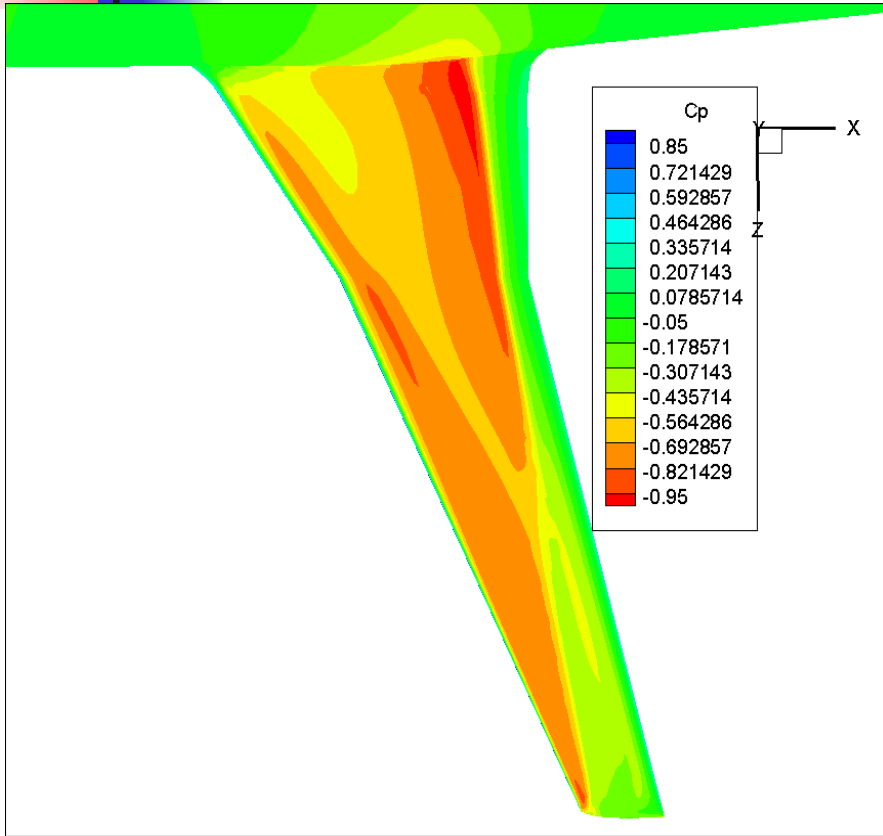
CL



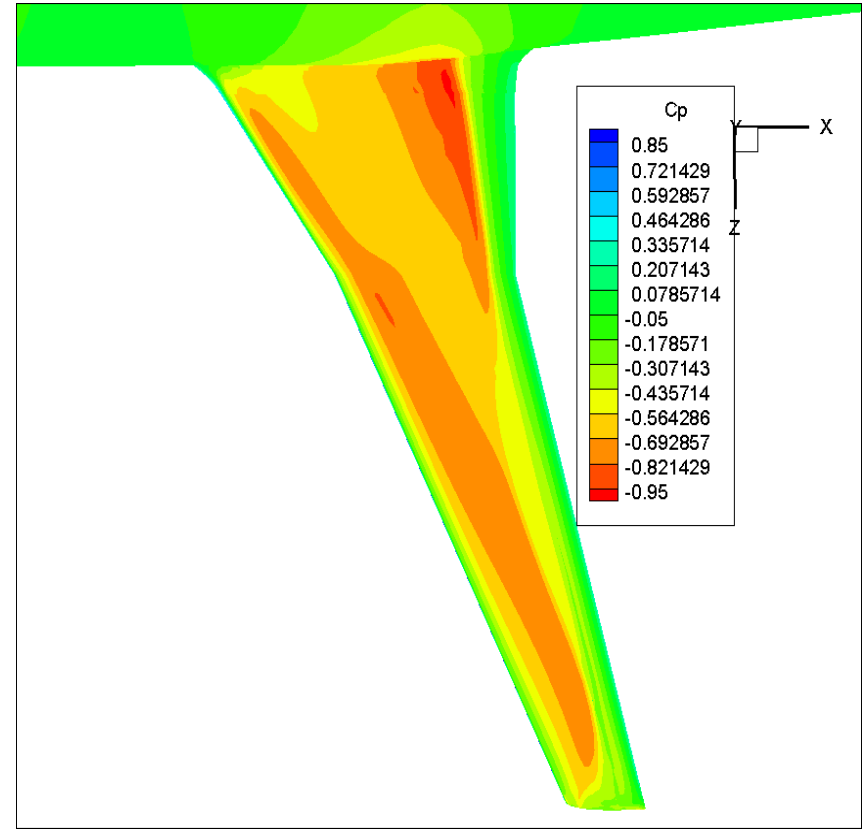
Оптимизация крыла в присутствии фюзеляжа

$M=0.82$

$CL=0.40$



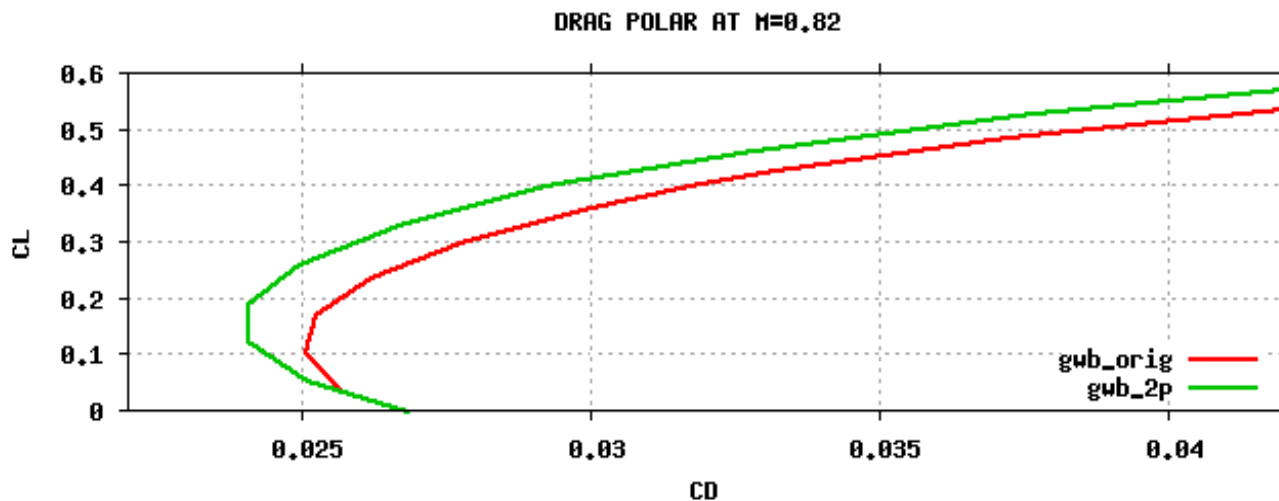
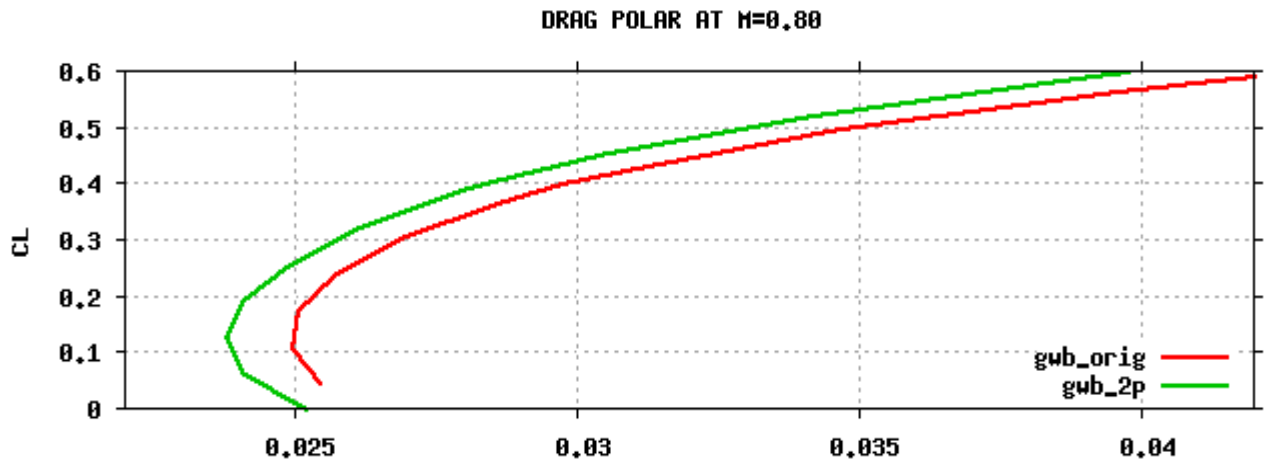
**Начальное -
317.3 counts**



**Оптимальное -
292.1 counts**

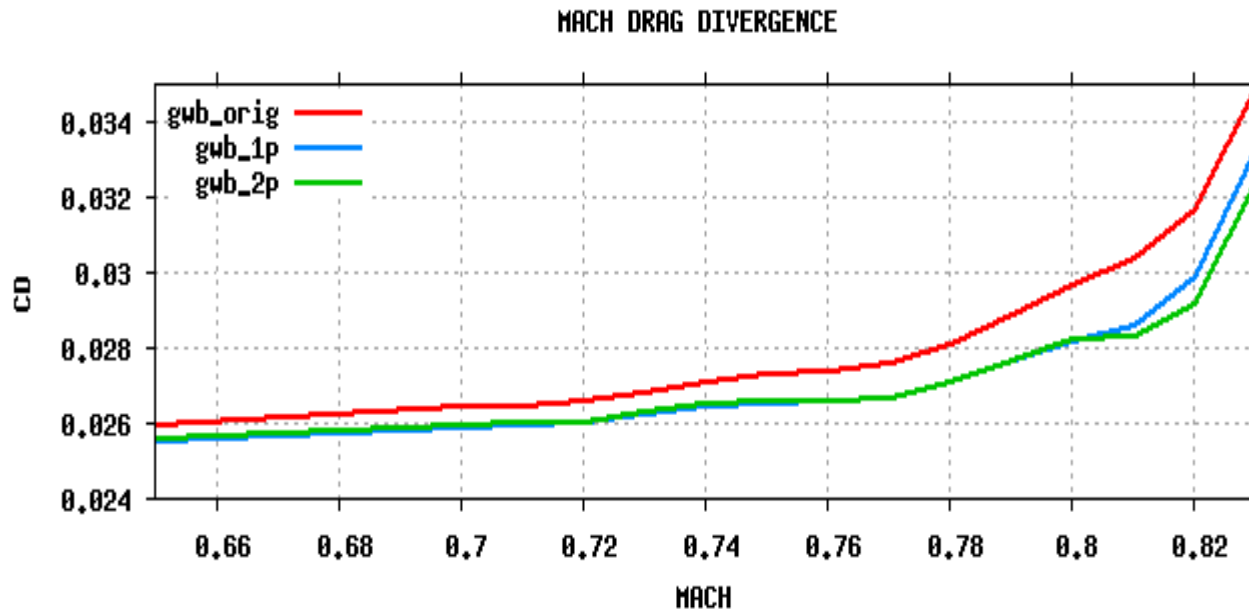
Оптимизация крыла в присутствии фюзеляжа

$M=0.80$, 0.82 $CL=0.40$



Оптимизация крыла в присутствии фюзеляжа

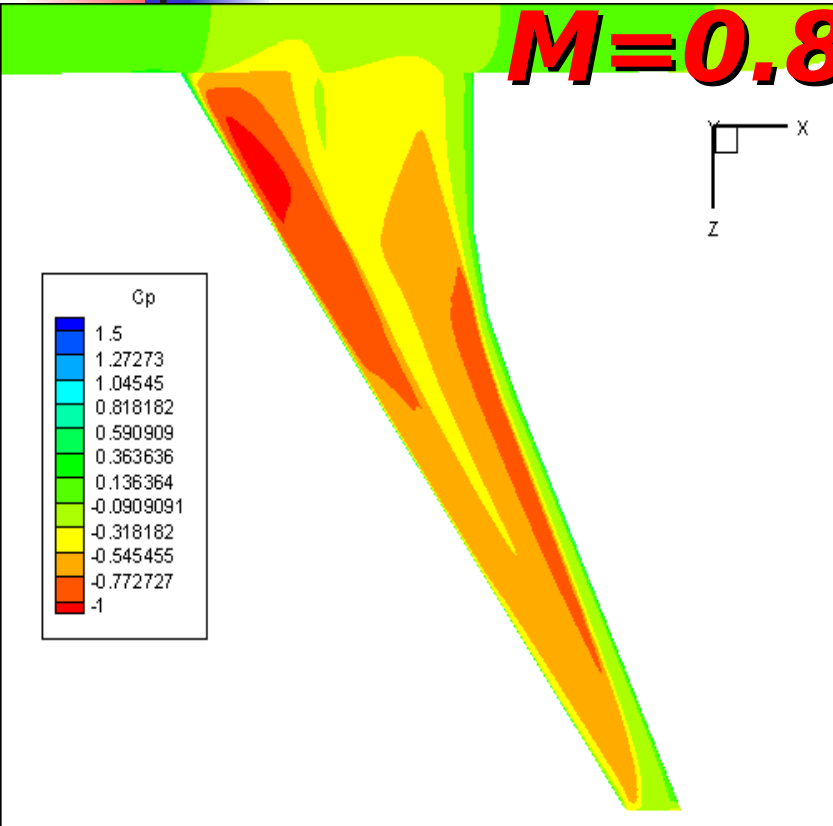
$CL=0.40$



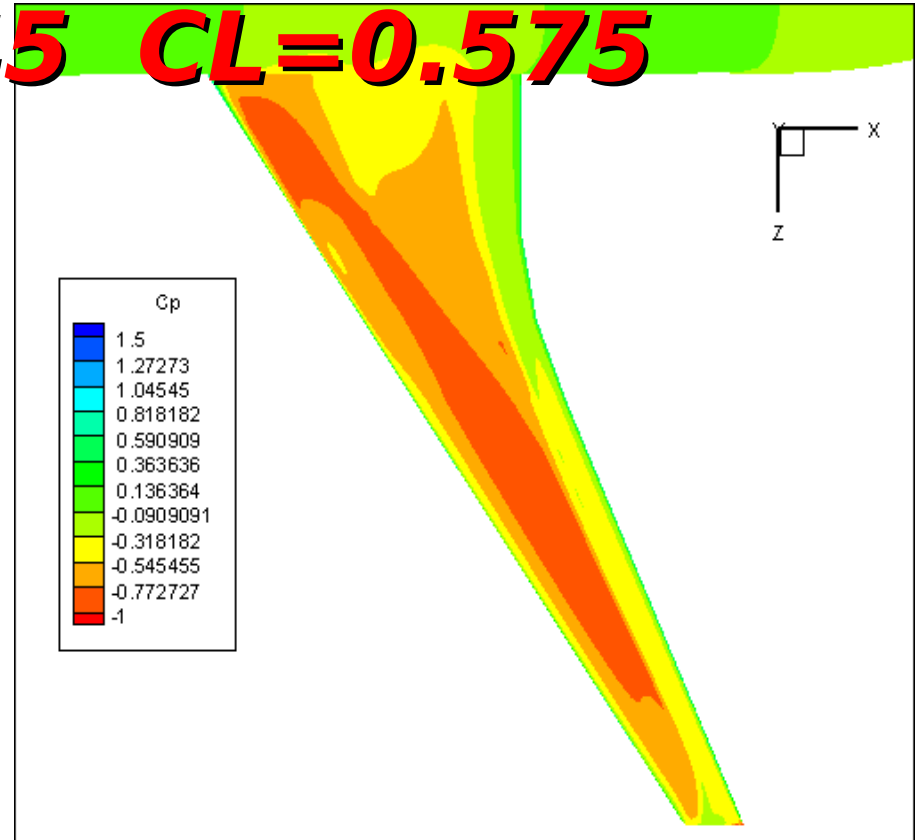
ОПТИМИЗАЦИЯ КРЫЛА В ПРИСУТСТВИИ

ФЮЗЕЛЯЖА

$M=0.845$ $CL=0.575$



**Начальное -
328.1 counts**

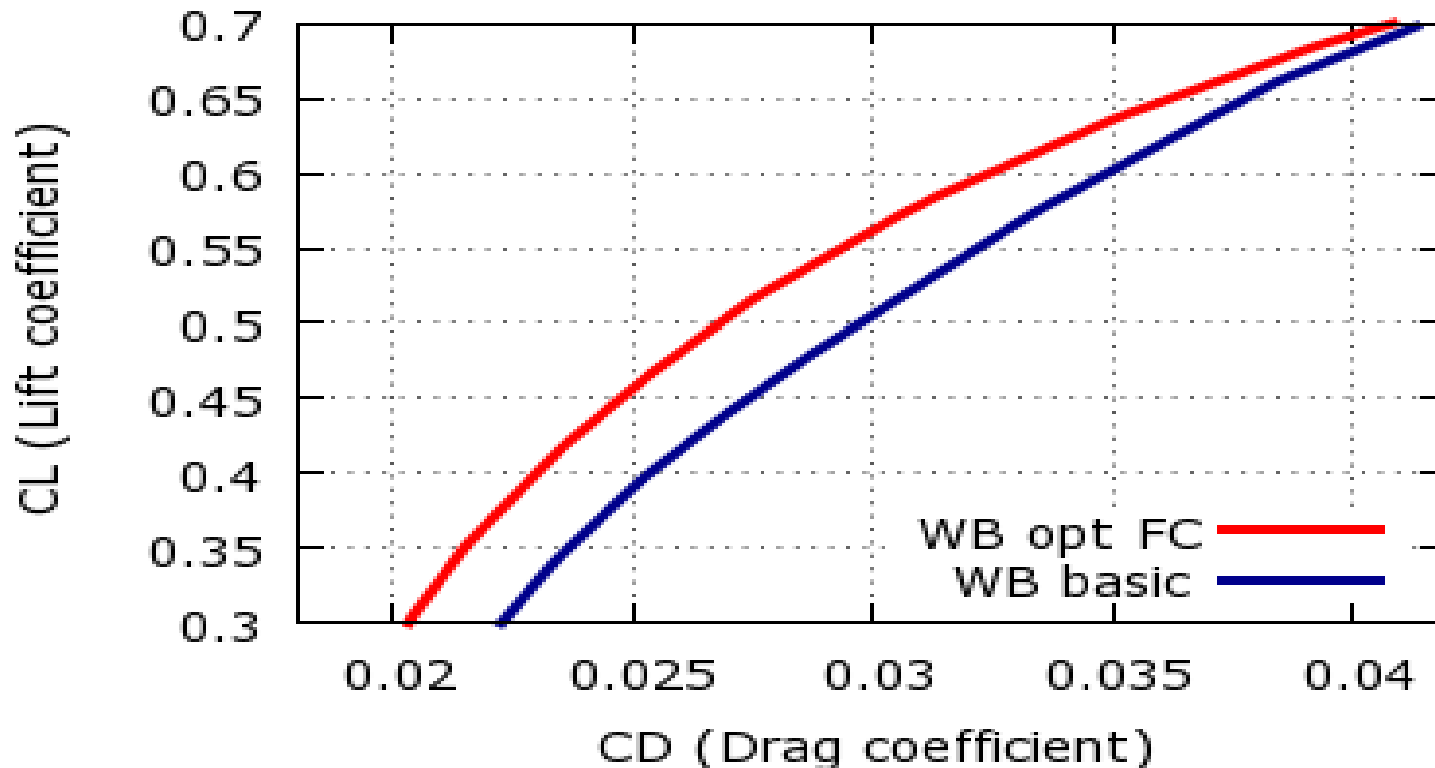


**Оптимальное -
302.0 counts**

ОПТИМИЗАЦИЯ КРЫЛА В ПРИСУТСТВИИ

ФЮЗЕЛЯЖА

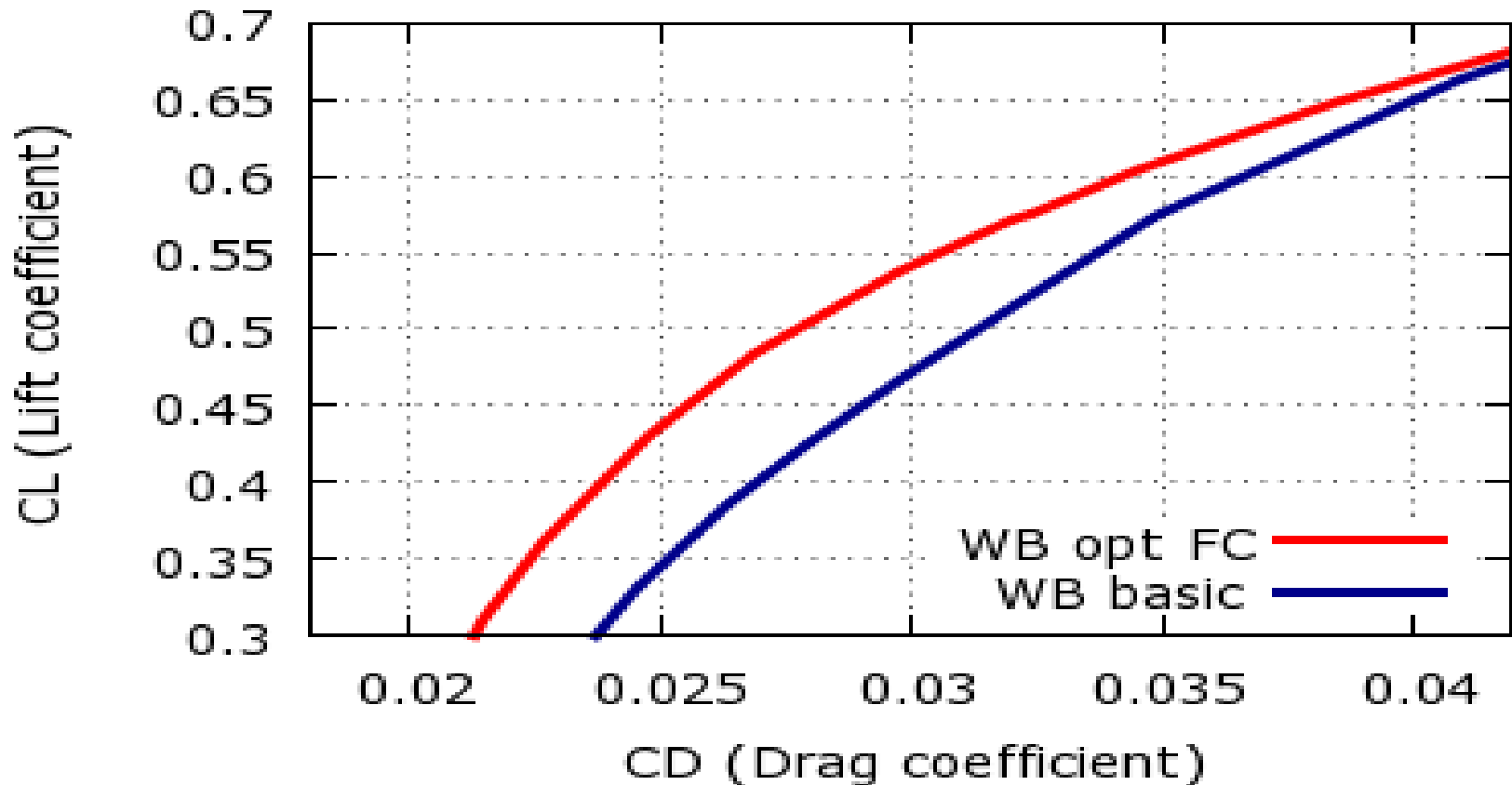
$M=0.845$ $CL=0.575$
Lift/Drag Polars at $M=0.85$



ОПТИМИЗАЦИЯ КРЫЛА В ПРИСУТСТВИИ

ФЮЗЕЛЯЖА

$M=0.845$ $CL=0.575$

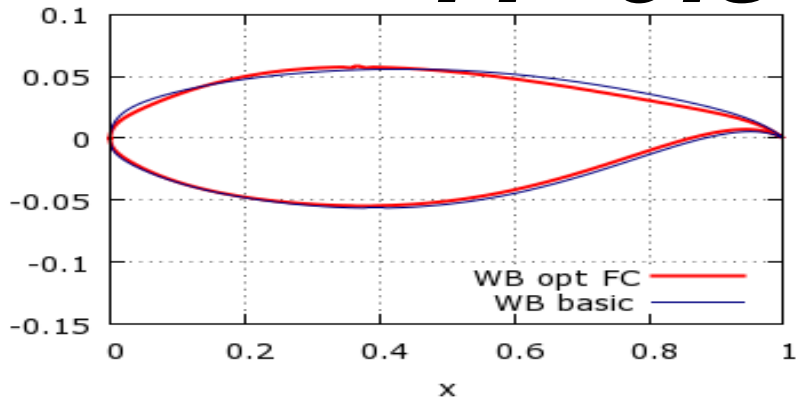


ОПТИМИЗАЦИЯ КРЫЛА В ПРИСУТСТВИИ

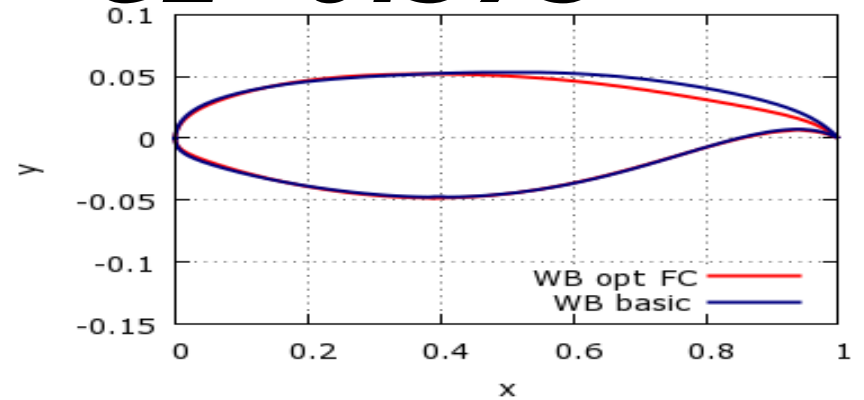
ФЮЗЕЛЯЖА

$M=0.845$ $CL=0.575$

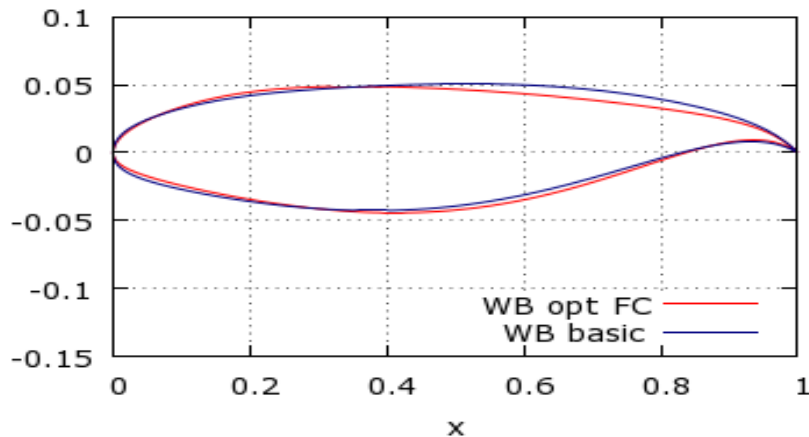
inboard crank shape



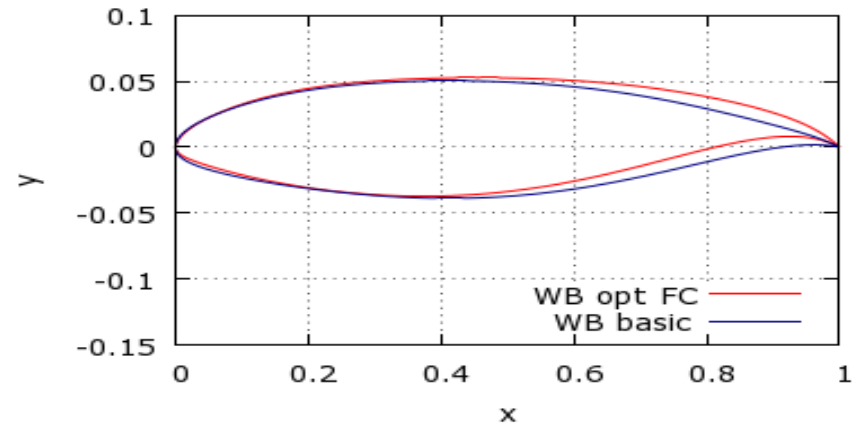
crank2 shape



crank2 shape

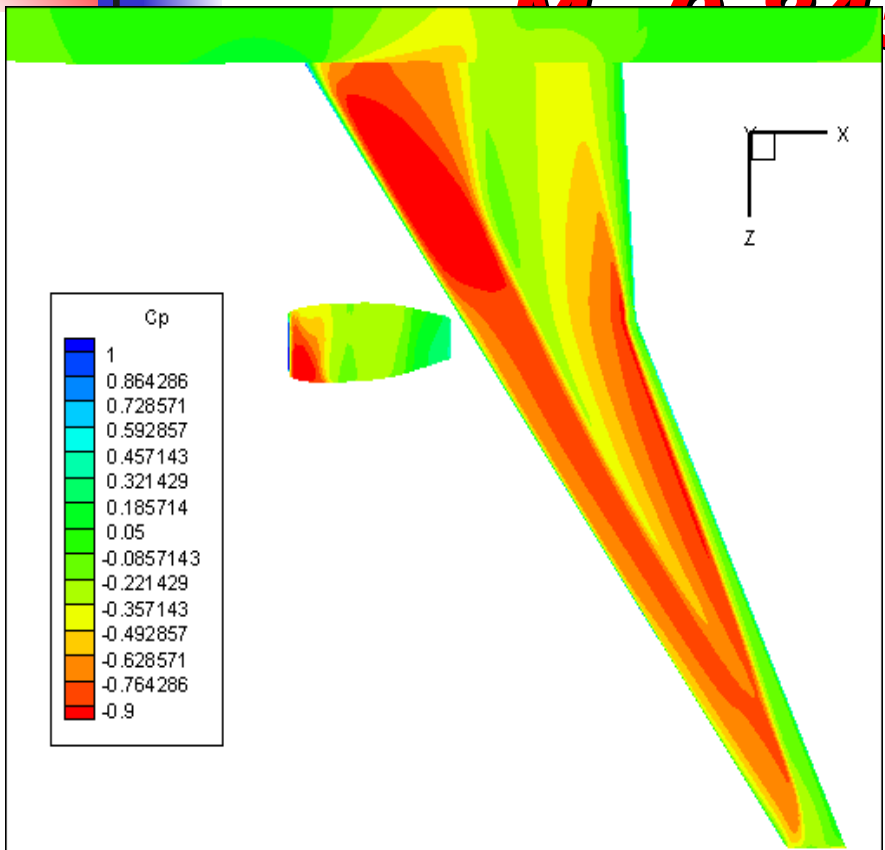


tip shape

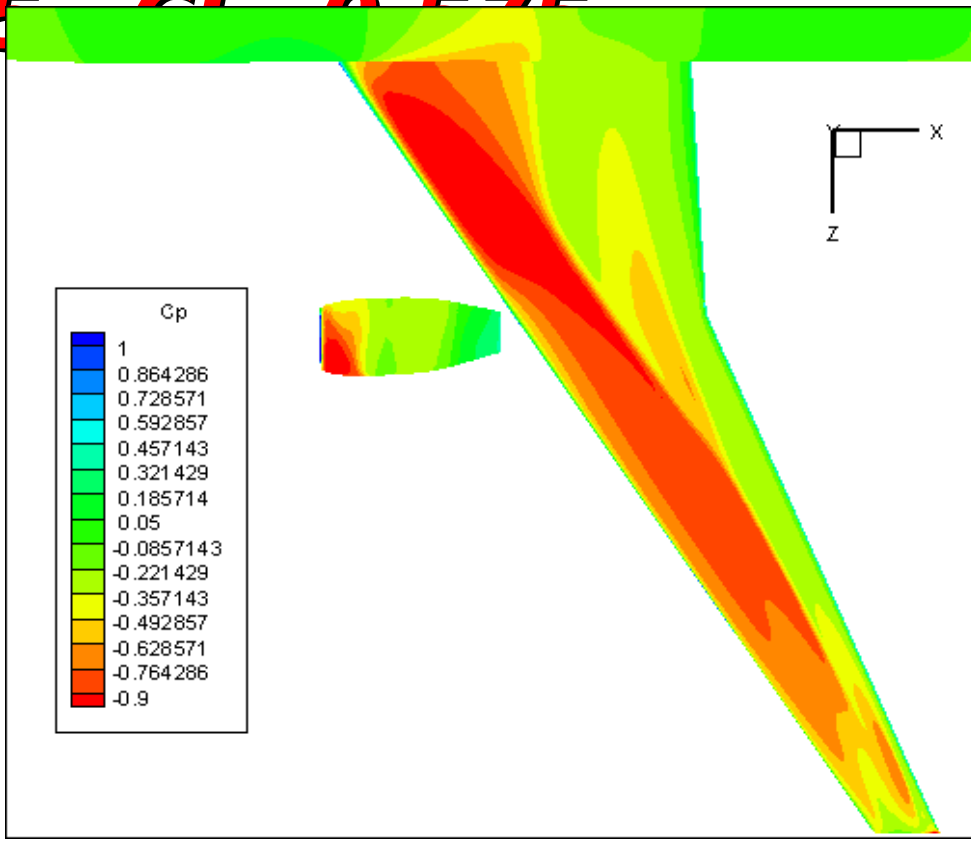


Оптимизация крыла в присутствии фюзеляжа и мотогондолы двигателя

М. 0.045 С. 0.575

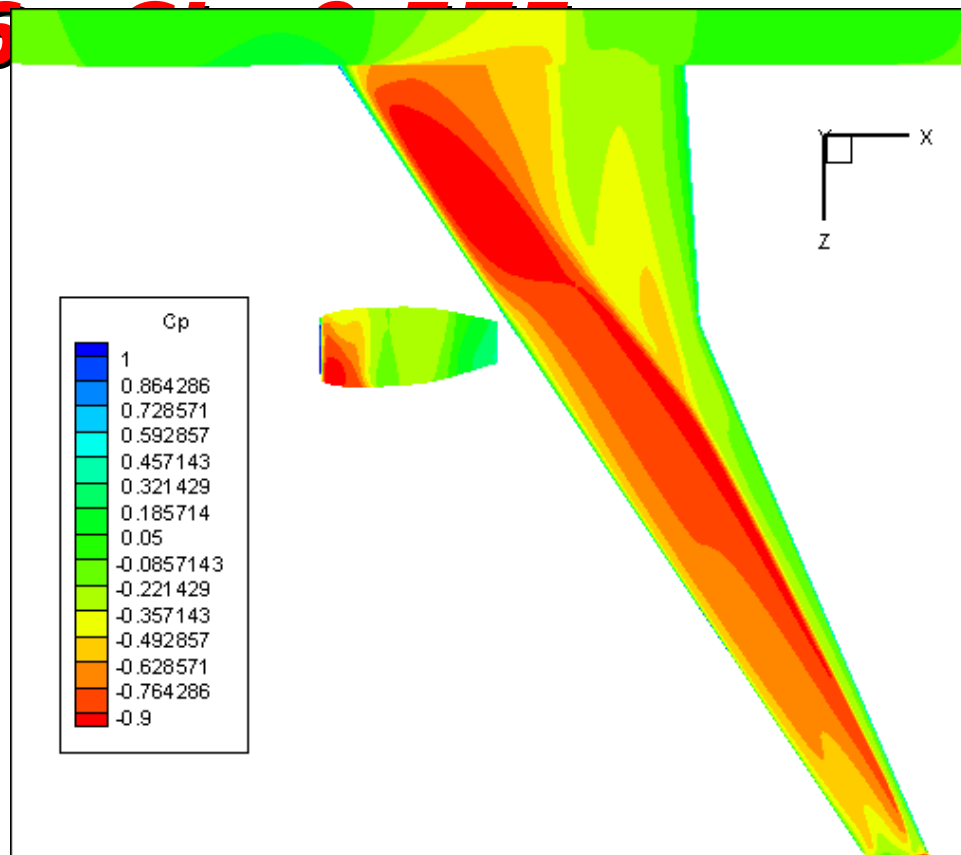
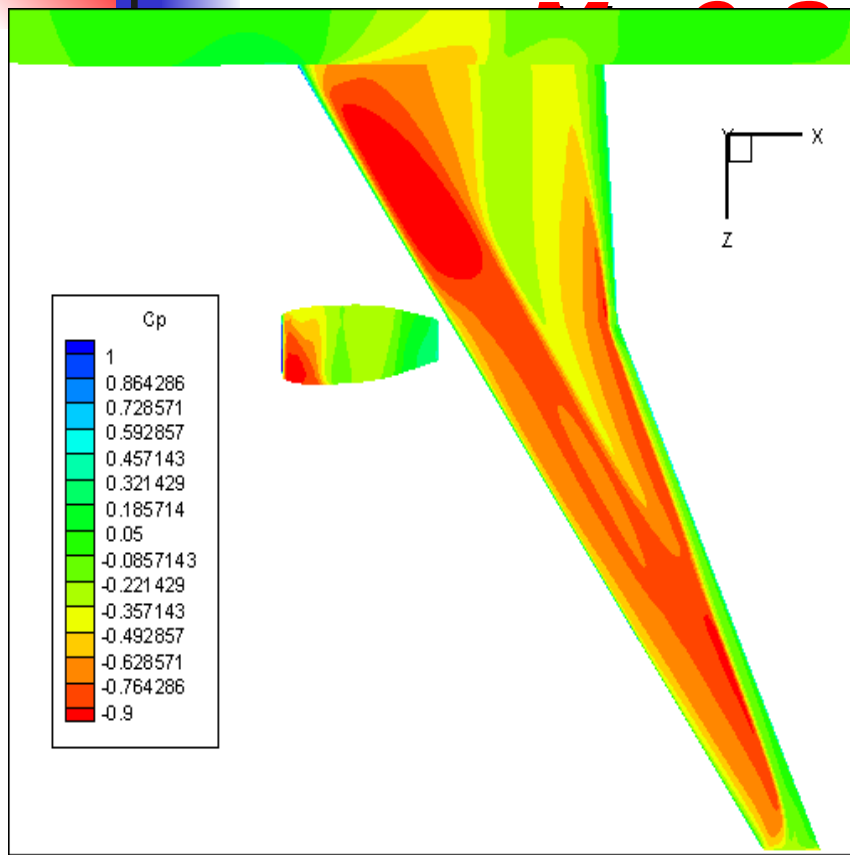


Начальное - 353 counts



Оптимальное - 319 counts

Оптимизация крыла в присутствии фюзеляжа и мотогондолы двигателя



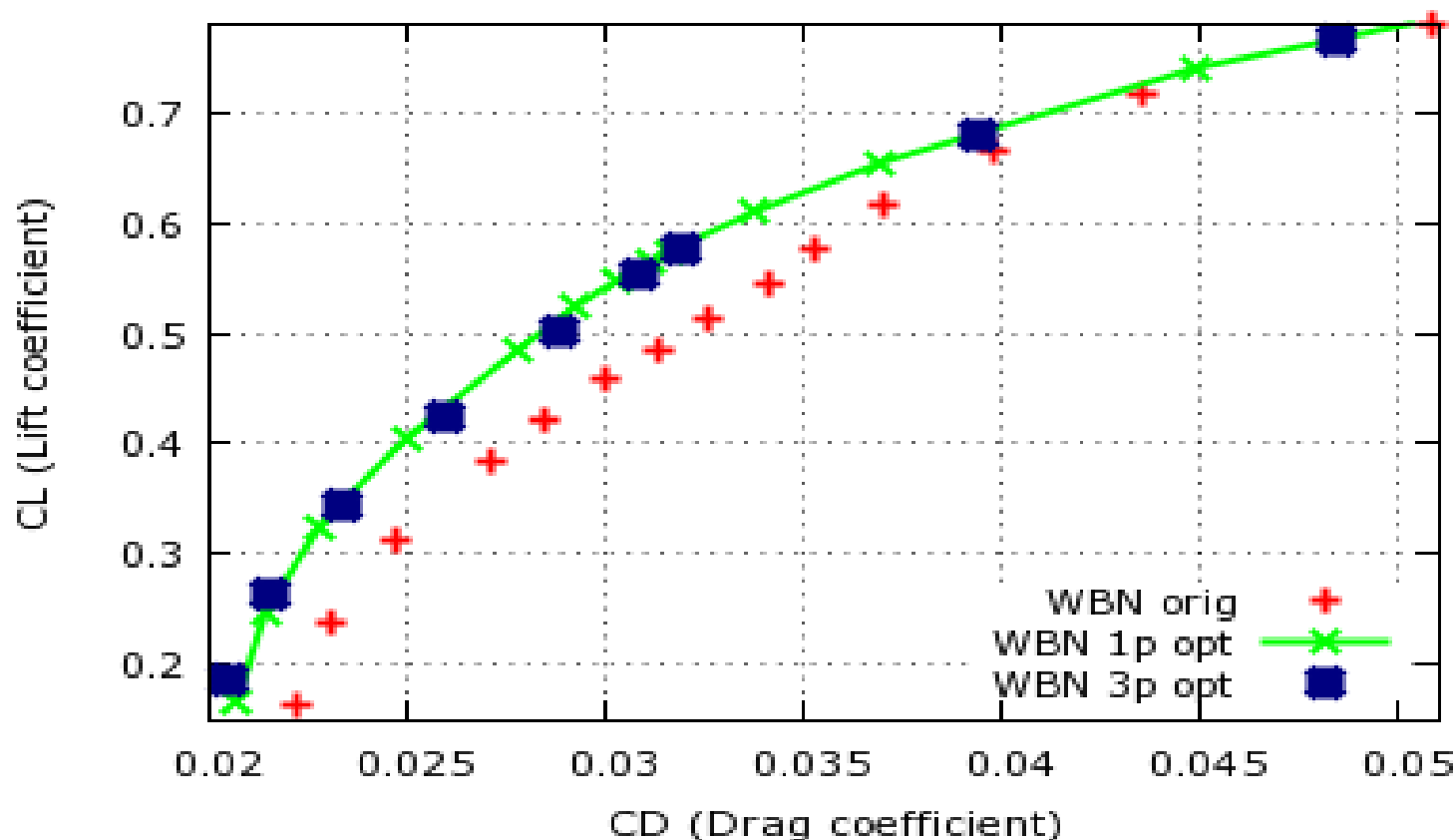
**Начальное - 363
counts**

**Оптимальное - 334
counts**

Оптимизация крыла в присутствии фюзеляжа и мотогондолы двигателя

$M=0.845$ $CL=0.575$

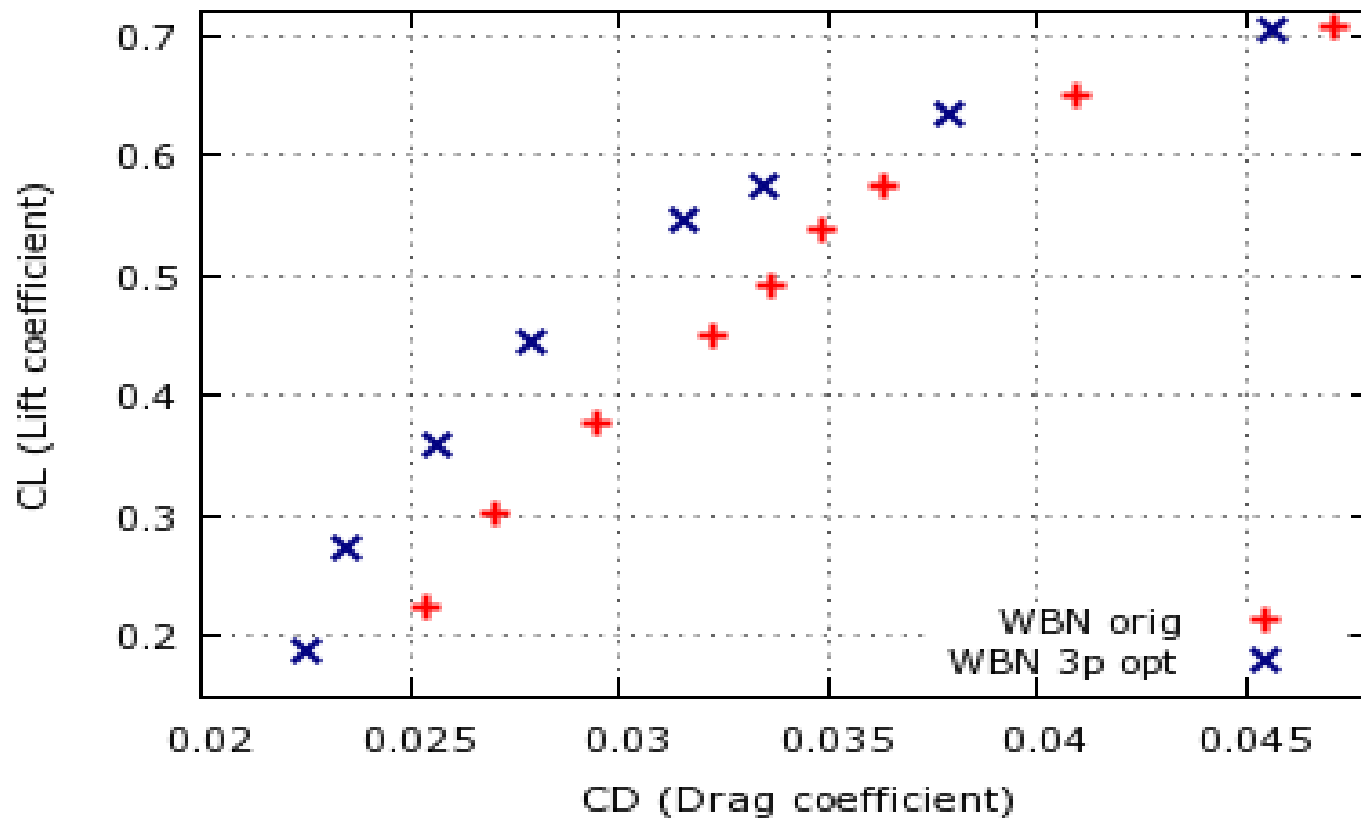
Lift/Drag Polars at Mach=0.845



Оптимизация крыла в присутствии фюзеляжа и мотогондолы двигателя

$M=0.86$ $CL=0.575$

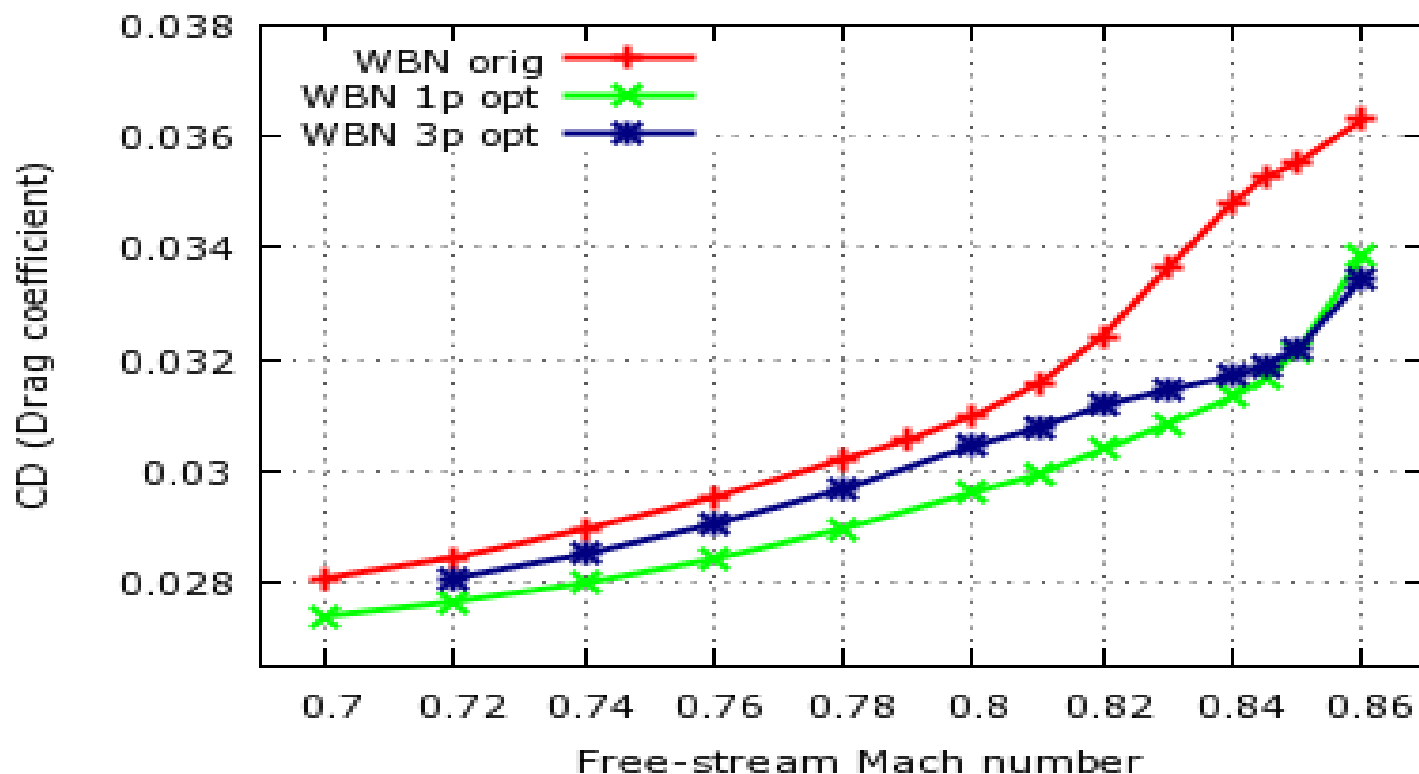
Lift/Drag Polars at Mach=0.86



Оптимизация крыла в присутствии фюзеляжа и мотогондолы двигателя

CD vs Mach at CL=0.575

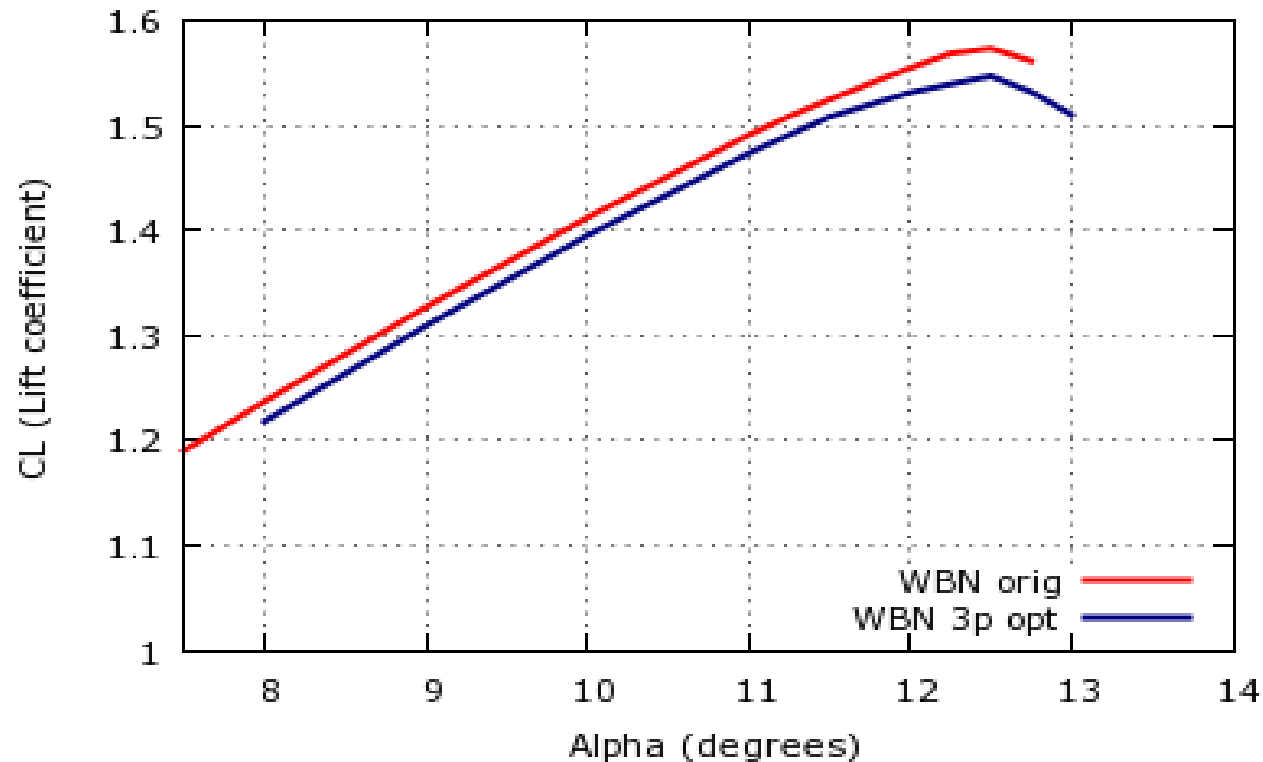
Mach Drag Rise at CL=0.575



Оптимизация крыла в присутствии фюзеляжа и мотогондолы двигателя

CL vs alpha

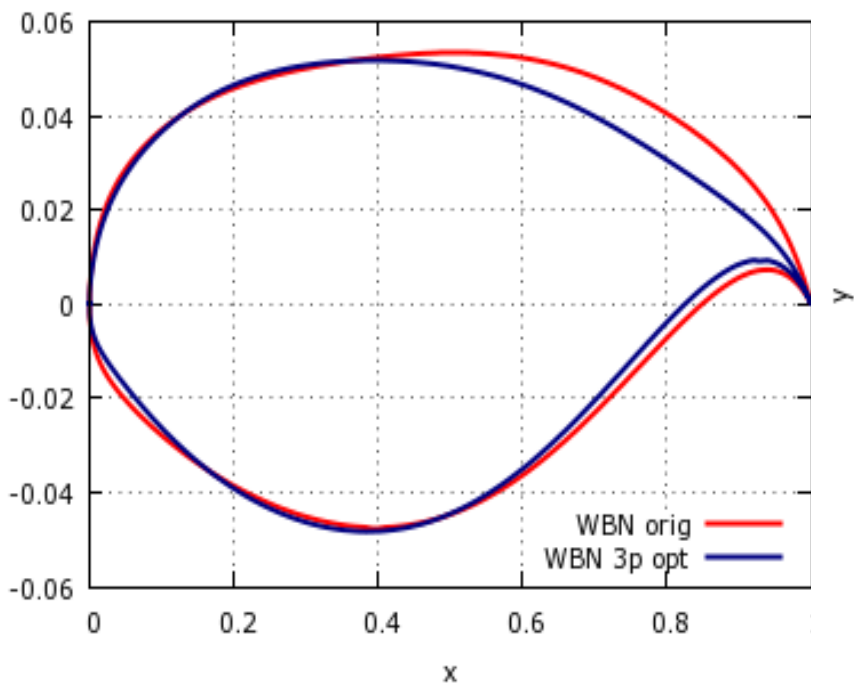
Lift vs. alpha at Mach=0.20



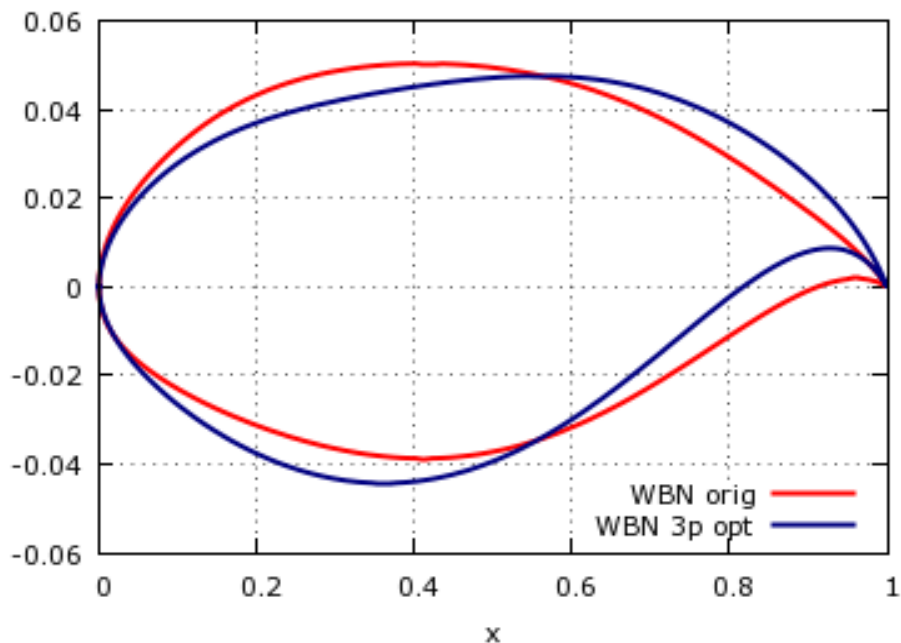
Оптимизация крыла в присутствии фюзеляжа и мотогондолы двигателя

M = 0.845 $C_l = 0.575$

Crank airfoil



Tip airfoil



Тенденций в аэродинамическом дизайне

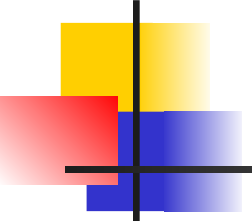
Суперкритические профили

- ❖ **Этот эффект был открыт 60 лет назад .
Практический дизайн таких профилей
особенно сложен для трехмерных
крыльев, где они должны быть
скомбинированы с обычными профилями**
- ❖ **Аэродинамический дизайн изначально
симметричного крыла, произведённый
OPTIMENGA_AERO, автоматически находит
суперкритическую форму для профиля на
трансзвуковых режимах**

Основные преимущества по сравнению с другими методами

- ❖ **Высокая точность**
- ❖ **Гарантия глобального характера оптимального дизайна**
- ❖ **Применимость к аэродинамическим конфигурациям со значительно более высоким уровнем геометрической сложности**
- ❖ **Очень высокий уровень надежности в широком диапазоне условий дизайна**
- ❖ **Возможность учета произвольного числа как геометрических так и аэродинамических ограничений**
- ❖ **Средство дизайна работает полностью в автоматическом режиме. Не требует какой-либо настройки и специальной квалификации пользователя**
- ❖ **Очень малое время расчета – одноточечная оптимизация крыла в присутствии фюзеляжа и мотогондолы за 10-12 часов**

Требования к вычислительным ресурсам



- **Компьютерный кластер в 300-400 вычислительных ядер на базе процессоров Intel**
- **Операционная система LINUX**
- **Сеть со скоростью 1 Gbps или выше**



Выводы

- Новое точное, надежное и вычислительно эффективное средство аэродинамического дизайна, предназначенное для многоточечного оптимального проектирования, доступно для пользователей
- Данный продукт позволяет осуществить прорыв в технологии промышленного аэродинамического дизайна и является важным элементом в модернизации авиационной промышленности в целом
- Новая технология позволяет улучшить качество дизайна, значительно сократить время дизайна и одновременно существенно снизить материальные и трудовые затраты.