

ОТ ГЕОМЕТРИИ К ИНЖЕНЕРНОМУ РЕШЕНИЮ В ОБЛАСТИ ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ

Головкин Константин Станиславович

golovkin@topsystems.ru

LBM. Основная идея

Макроскопический масштаб Движение сплошной среды

- МКР, МКО, МКЭ
- СЛАУ + итерации

Мезоскопический масштаб Метод решёточных уравнений Больцмана

- Функция состояния
- Дискретизация по пространству и скоростям
- Локализованный характер решения

Микроскопический масштаб Поведение отдельных частиц

- Уравнения Гамильтона
- Положение и скорость каждой частицы среды
- Большое количество неизвестных

Возможности решения на базе LBM

Аэродинамика и Гидродинамика

- Внешние и внутренние течения газов
- Дозвуковые течения
- Расчет на адаптивных решетках

Тепло

- Изотропная теплопроводность в твердых телах
- Объемное тепловыделение/сток тепла

Теплообмен

- Сопряженный теплообмен (жидкость-твердое тело)

LBM упрощает препроцессинг: меньше требований к геометрии

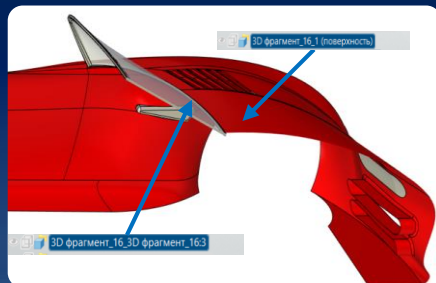
Классический МКЭ/МКО-подход

Геометрия должна быть «идеальной» для построения сетки

Ошибки геометрии при импорте

- ✗ 3D фрагмент_8_3D фрагмент_8_7 : (10)
- ✗ Машинка для картинки_3D фрагмент_8_1 : (10)
- ✗ 3D фрагмент_8_3D фрагмент_8_9 : (10)
- ✗ 3D фрагмент_8_3D фрагмент_8_11 : (10)
- ✗ 3D фрагмент_8_3D фрагмент_8_5 : (10)
- ✗ 3D фрагмент_16_1 : (8)
- ✗ 3D фрагмент_13:4_3D фрагмент_13:4_1 : (4)
- ✗ 3D фрагмент_13:4_3D фрагмент_13:4 : (4)
- ✗ 3D фрагмент_13_3D фрагмент_13:144 : (1)

Стык твёрдого тела и поверхности



«Дыры» в геометрии



Много ручной работы



Очистка геометрии



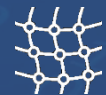
Построение поверхностной сетки



Построение объемной сетки



Проверка качества

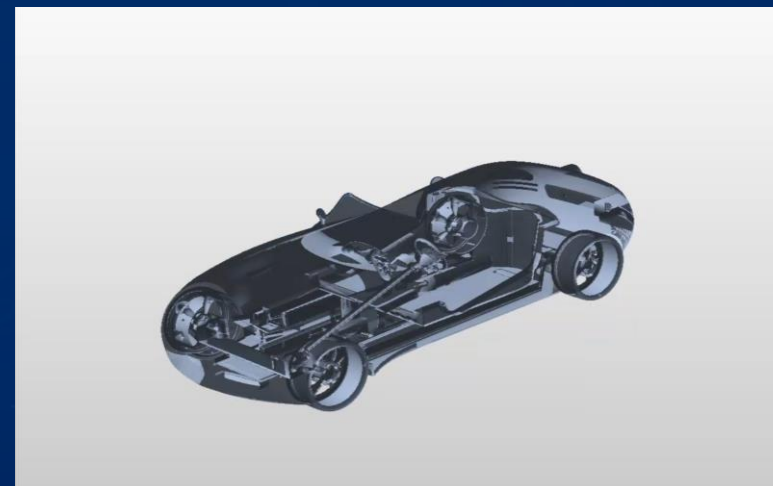


Исправление сетки

Ошибки геометрии -- > проблемы с сеткой -- > потеря времени

LBM-подход

Достаточно классифицировать пространство: жидкость/твёрдое тело/граница



Быстрый путь от CAD к расчету



Импорт CAD



Назначение патчей



Генерация регулярной решетки



Классификация узлов

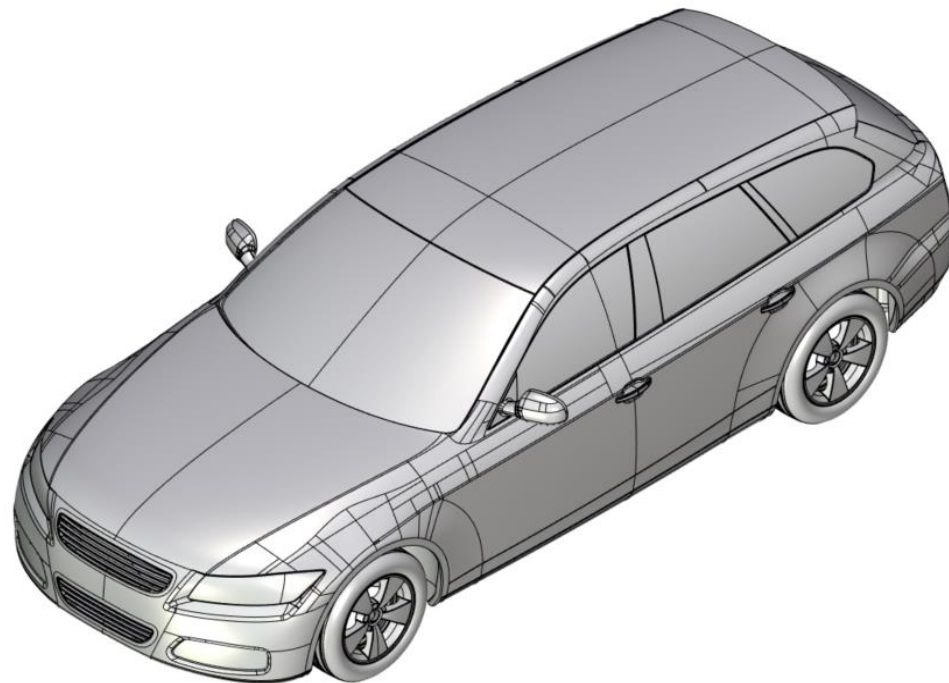
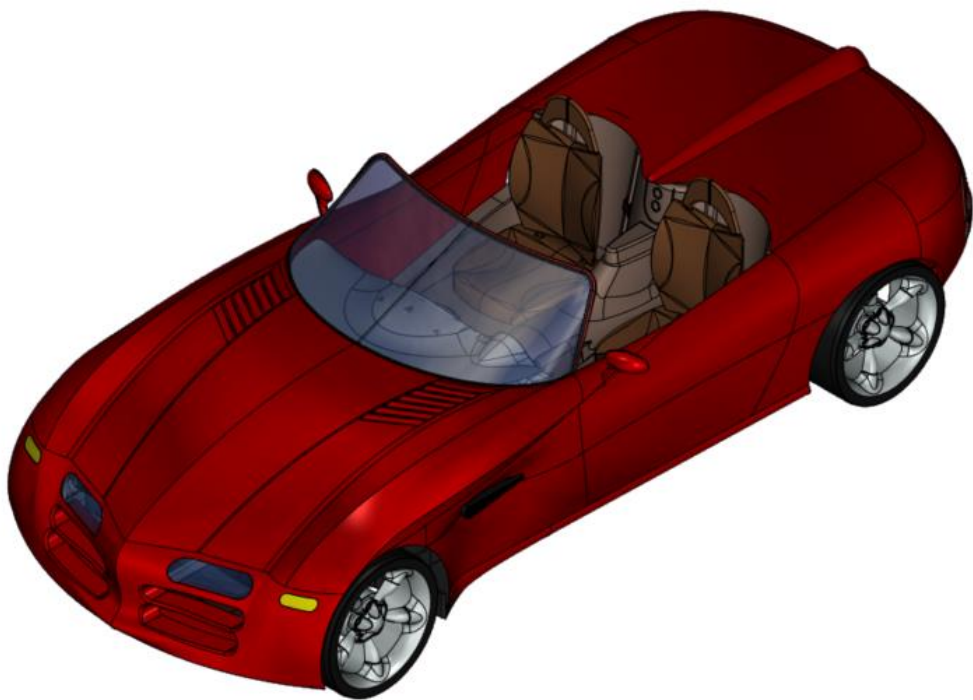


Запуск расчета

Не требуется «идеальная» геометрия. LBM переваривает сложность

LBM требует только карту пространства: где жидкость, где твердое тело, где границы.
Сложная и «грязная» CAD геометрия больше не является препятствием для старта расчета.

Предыстория и контекст задачи



Сценарий 1. Внешняя аэродинамика автомобиля

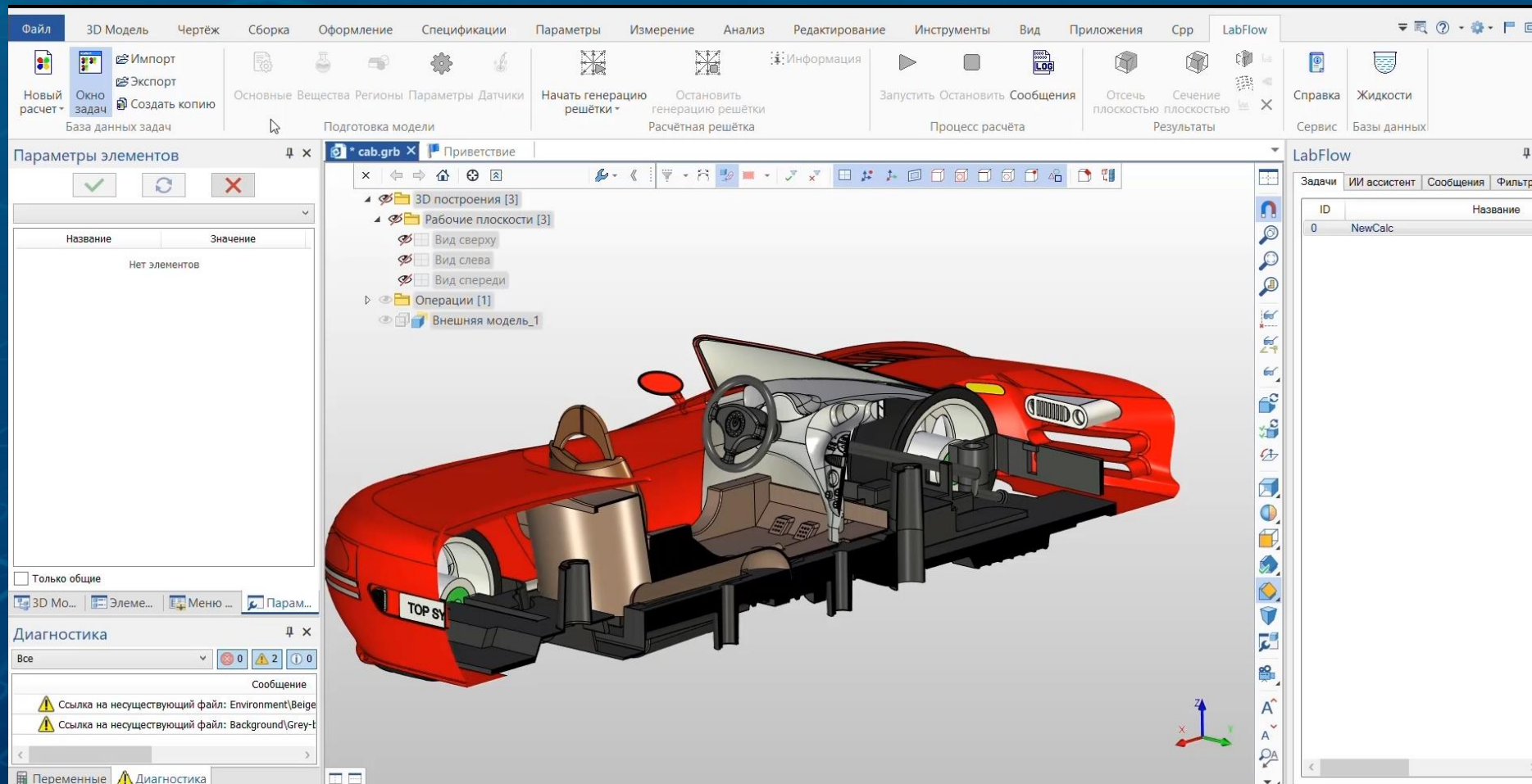
Постановка задачи

Анализ энергоэффективности автомобиля: определение коэффициентов сопротивления и выявление вихрей как потенциальных помех движению

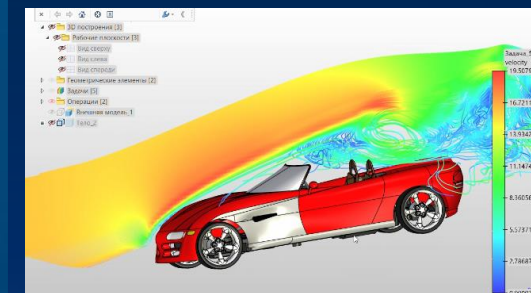
Что смотрим?

- Как форма влияет на поток
- Где возникают отрыв и рециркуляция
- Коэффициент сопротивления
- Линии тока и вихревые зоны

Сценарий 1. Внешняя аэродинамика автомобиля. Пример



Результаты



Характерная площадь A , м²

1

Параметры потока

ρ , кг/м ³	V , м/с	$q = \rho V^2/2$, Па
1.225	19.44	231.5

Суммарные силы

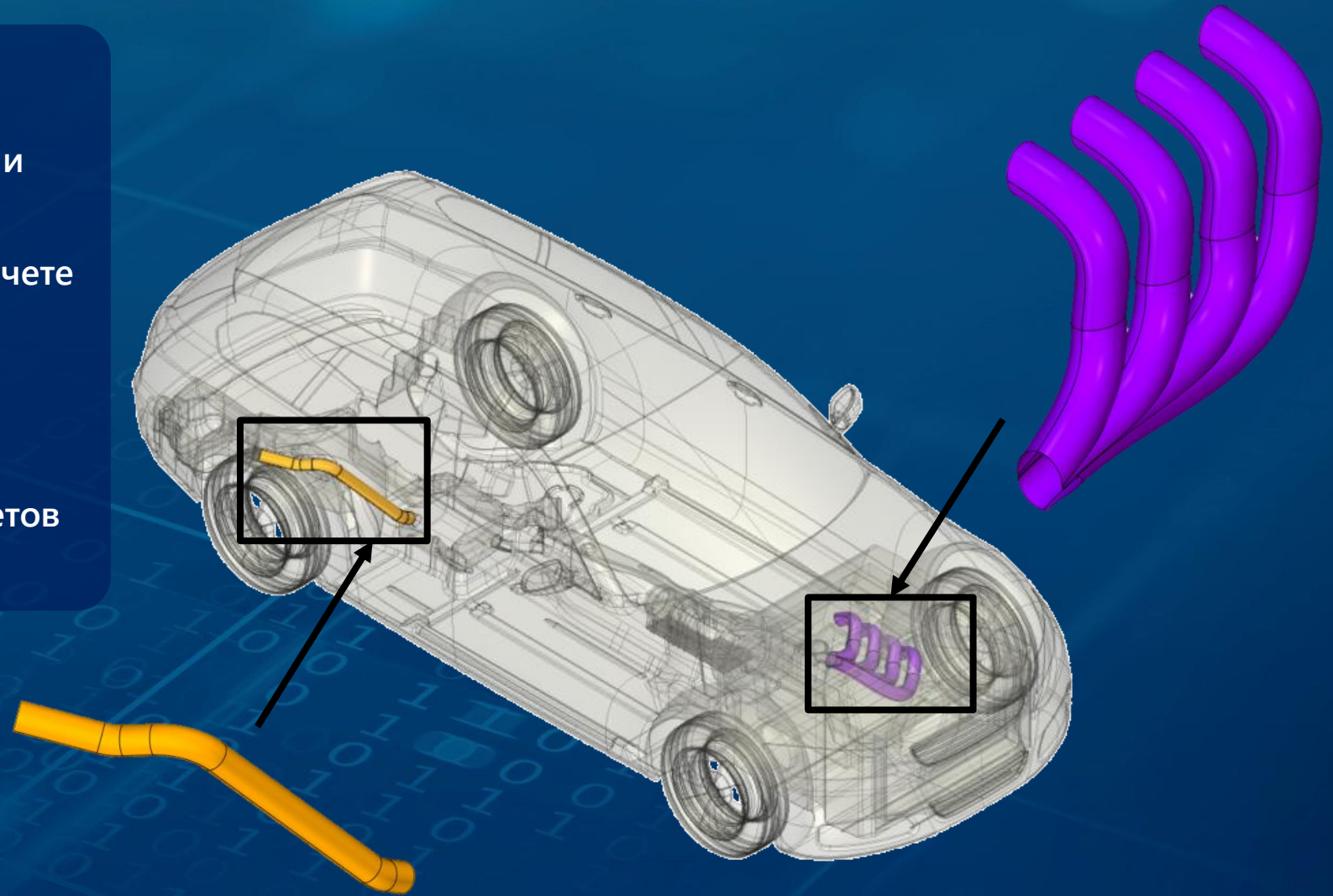
F_x , Н	F_y , Н	F_z , Н	$ F $, Н
75.469	0	66.556	100.625

Коэффициенты сил

C_x	C_y	C_z
0.3256	0	0.2875

Разные типы расчетов в одной 3D модели

- Проведение расчетов только с видимыми в 3D сцене объектами
- Отсутствие потребности в пересчете при выборе расчетов разных элементов модели
- Возможность хранения только необходимых результатов расчетов

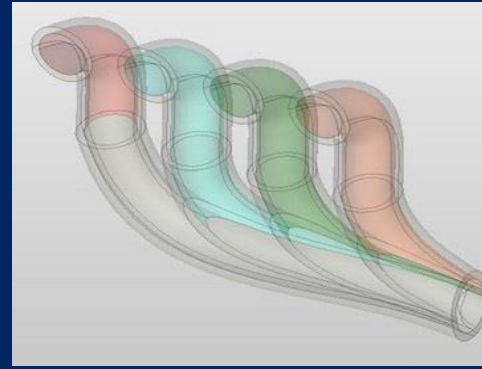


Сценарий 2. Впускной/выпускной коллектор

Постановка задачи

Анализ качества инженерных решений при проектировании коллектора, обеспечивающего подачу воздуха в цилиндры: определение равномерности распределения в каждой трубе

1. Заглушки



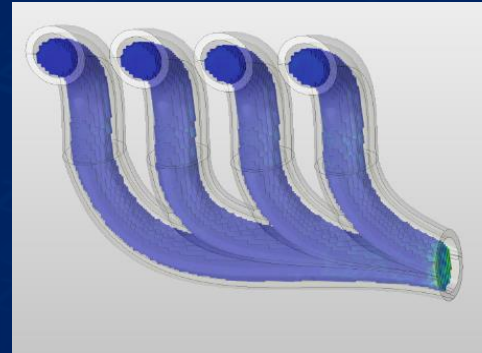
2. Автоматическое определение области



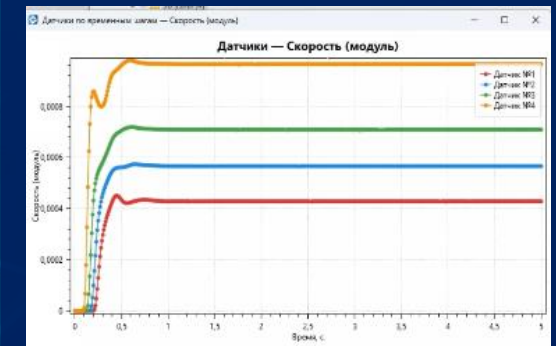
Что определяем?

- Неравномерность распределения воздуха по трубопроводам (эволюцию параметров и скорости на контрольных датчиках)

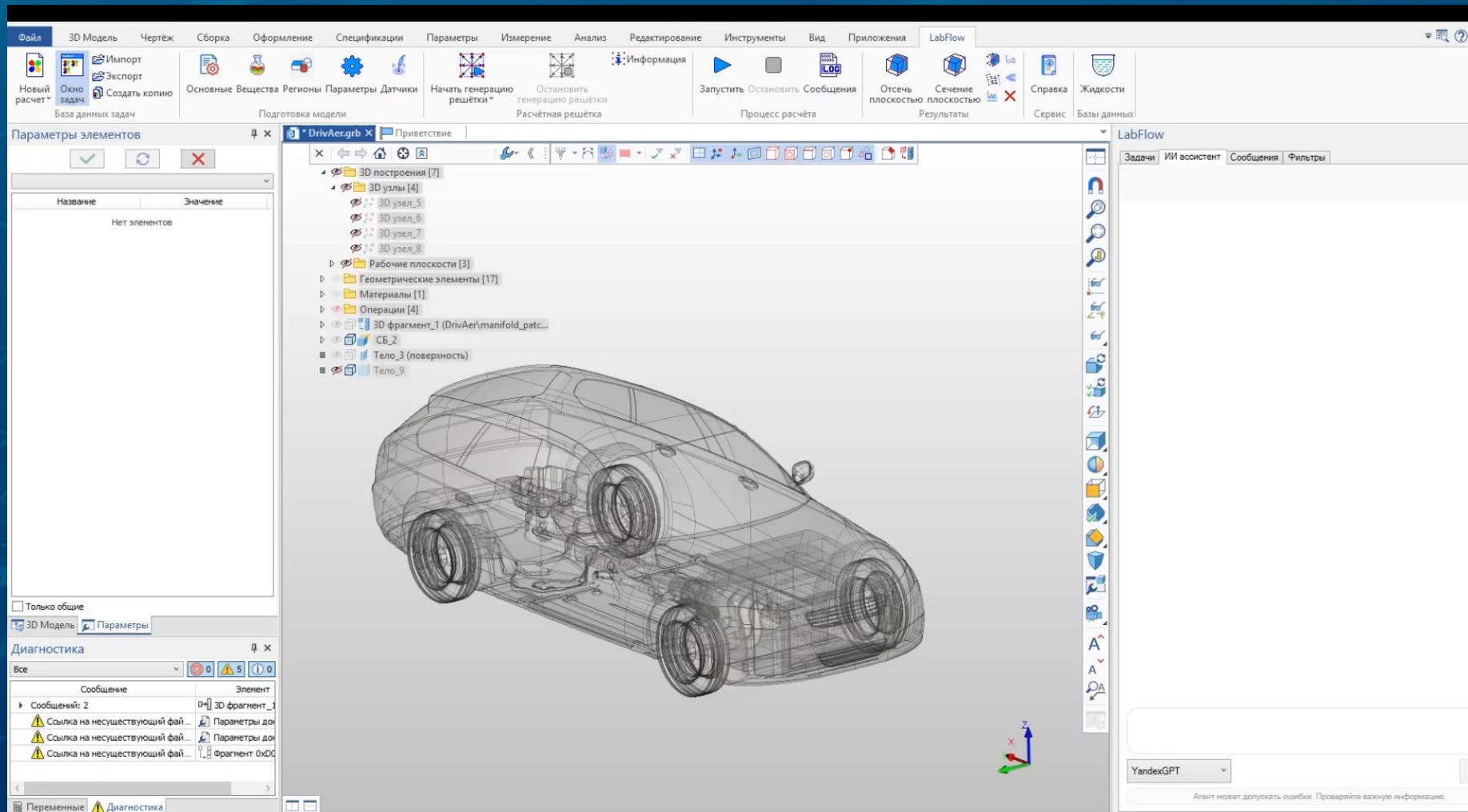
3. Расчет



4. Постпроцессинг

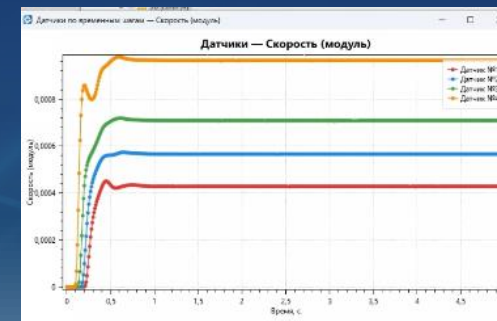


Сценарий 2. Впускной/выпускной коллектор



Результаты

- Исследовано стационарное ламинарное течение потока в коллекторе
- Получены характеристики потока в патрубках с течением времени (скорость, плотность) на датчиках
- Показатели могут быть использованы для подсчёта дополнительных параметров, например, коэффициента неравномерности распределения



Верификация, тестовые примеры и задачи

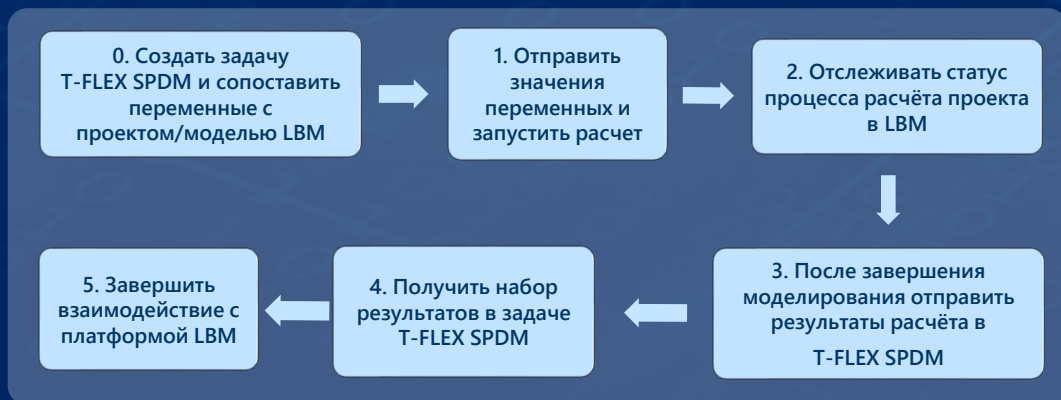
Тип задачи	Тестовые задачи	Что проверяем	Эталон	Полученные значения
 <p>Базовая внутренняя задача</p>	<p>Течение Пуазейля</p> 	Среднеквадратичное отклонение профиля скорости в различных сечениях	0%	5.5%
 <p>Отрывное течение</p>	<p>Течение в канале с уступом</p> 	Длина отрывной зоны	0.82	0.84 (-3.1%)
 <p>Внешнее обтекание</p>	<p>Вихревая дорожка Кармана</p> 	Число Струхала	4.76	5.09 (+7%)
 <p>Автомобильная аэродинамика</p>	<p>DrivAer</p> 	Коэффициент сопротивления	0.299	0.305 (+2%)
 <p>Аэродинамика самолета</p>	<p>NASA CRM</p> 	Коэффициент подъемной силы	1.66134	1.556 (-7%)

Планируемые дополнительные возможности

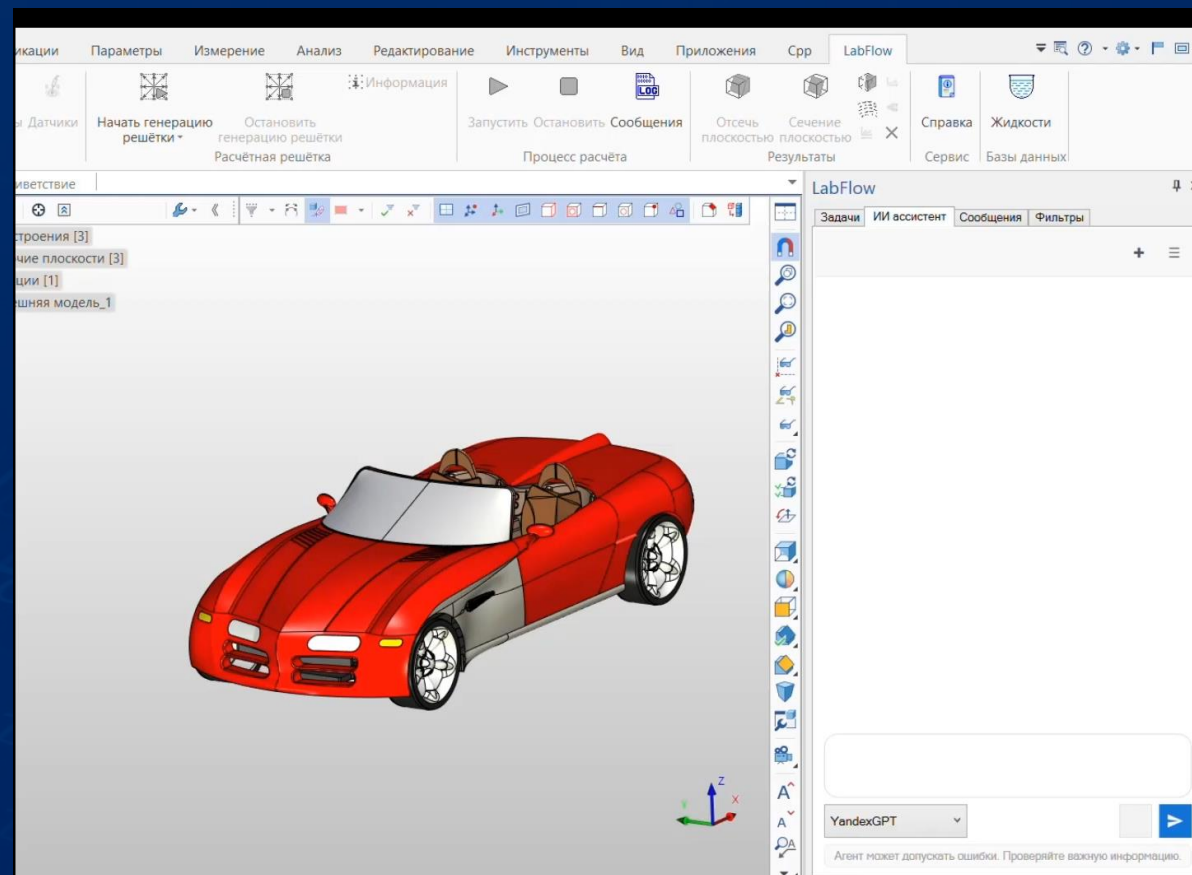
Взаимодействие с T-FLEX SPDM



Общий сценарий



ИИ ассистент



Дорожная карта

План развития



Многофазные течения



Неизотермичность



Сопряженный теплообмен



Многокомпонентность для газов



Акустические колебания



НРС вычисления



Движущиеся регионы

Планируемый срок реализации: 2-ое полугодие 2026 года

НРС (High-Performance Computing) - Высокопроизводительные вычисления

Головкин Константин Станиславович
golovkin@topsystems.ru



@GOLOVKINKS