

# Численное моделирование в спорте высоких достижений



Авторы: Жаркова В. В., Щеляев А. Е., Фишер Ю. В.,  
Нуштаев Д. В., Рыжов С. А.  
(ООО «ТЕСИС»);  
Волков-Богородский Д. Б.  
(ИПРИМ РАН);  
Шестаков М. П. (ЦСП сборной России)

Челябинск, 4 апреля 2013 г



# КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТА

## ЭКСПЕРИМЕНТ (аэродинамическая труба)

—

- **Дороговизна** (воссоздание условий, аналогичных натурным);
- **Время** (спортсмен выпадает из тренировочного процесса)

## МЕТОДИКА

Лазерное сканирование снарядов и спортсменов

геометрическая модель

Внешнее обтекание

Аэродинамические нагрузки

Движение по трассе

Траектория

Время прохождения трассы



**TPACCA**

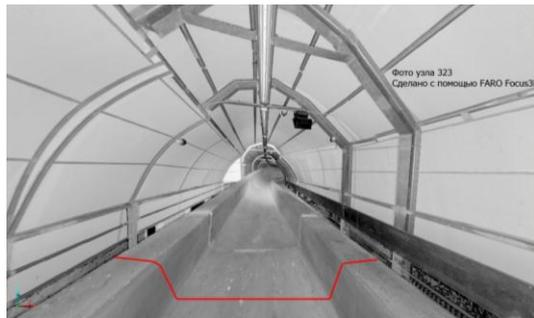
Разработка электронно-цифровых макетов трасс **Парамоново** и **п. Красная поляна** в среде виртуального моделирования на основе данных, полученных при помощи высокоточного лазерного сканирования



**Трасса Парамоново**



**Трасса п. Красная поляна**



**Полная виртуальная модель для партнеров**

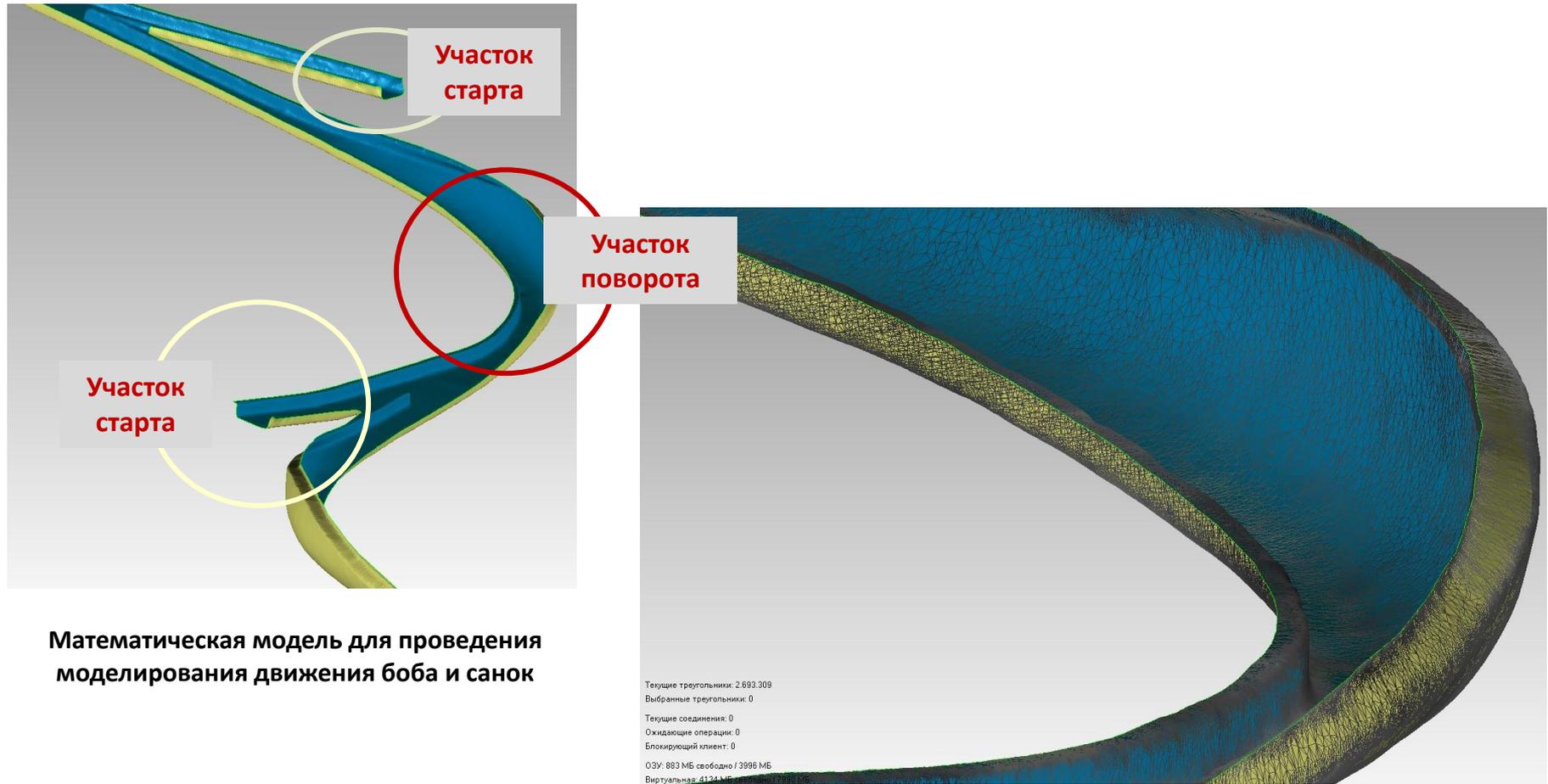


**Лазерный сканер FARO Focus 3D**



**Редуцированная виртуальная модель для расчетов**

Использование разработанного макета трассы для математического моделирования движения боба и санок по трассе



Математическая модель для проведения моделирования движения боба и санок

Показан участок поворота



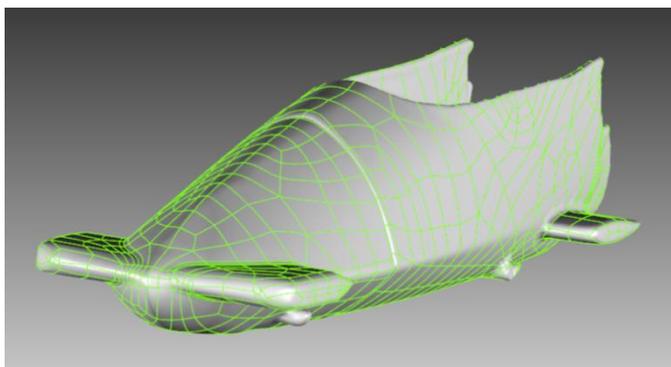
# ДВИЖЕНИЕ БОБА



Боб сборной России



Лазерный сканер  
FARO Focus 3D



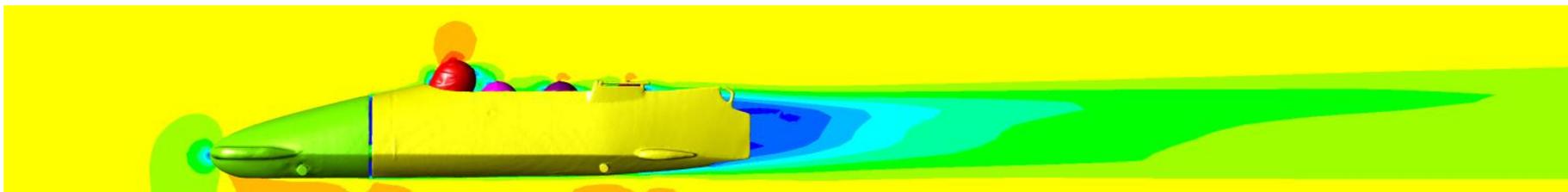
Полученная математическая  
модель боба



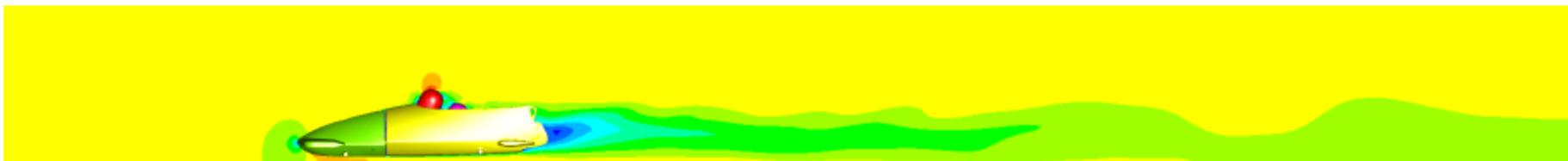
Подготовка сканирования



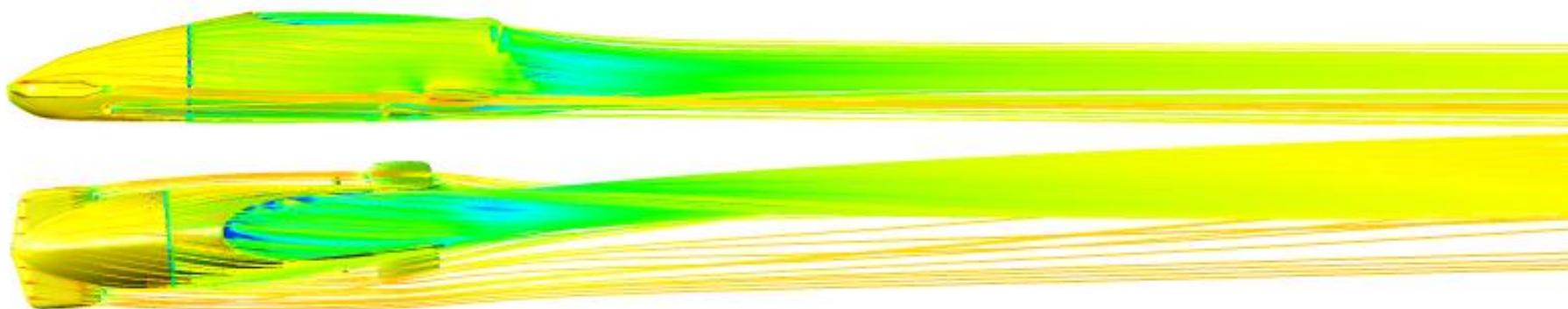
Сканирование боба



Боб 4 места, картина обтекания



Боб 2 места, картина обтекания

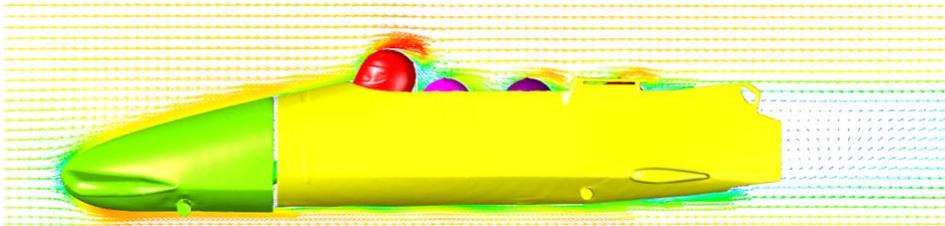


Боб 2 места, линии тока

## Аэродинамическое обтекание



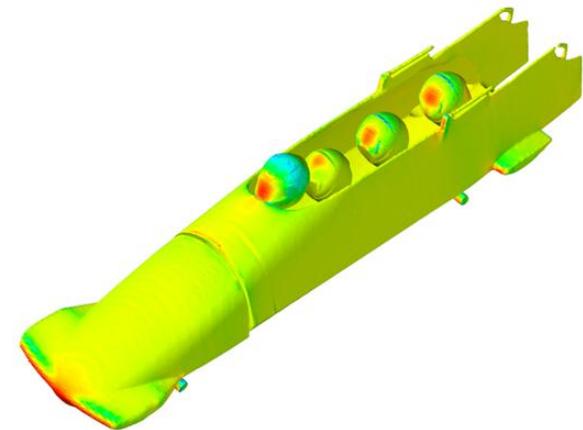
Картина **полей скоростей и давлений** для **качественной** оценки структуры течения в исследуемой области



Векторное переменной Скорость



Значения **сил и моментов**, действующих на боб, в интересующий момент времени

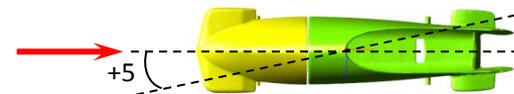


Распределение Давления

## Обтекание боба на плоскости

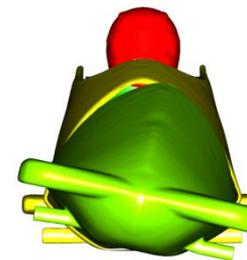
**Угол курса**

Углы натекания = 0, -5, +5  
Варианты угла установки конька:  
-2, 0, 2, без конька



**Влияние угла скручивания**

Углы скручивания = 0, 6, 12  
Варианты расчета: пустой боб, боб со спортсменами



## Обтекание боба на прямолинейном участке трассы

**Влияние угла скручивания**

Углы скручивания = 0, 6, 12  
Варианты расчета: пустой боб, боб со спортсменами

## Влияние положения шлемов спортсменов на аэродинамику

**Положение шлемов на одной линии** Углы скручивания = 0, 6, 12



**Положение шлемов по линиям тока** Углы скручивания = 0, 6, 12



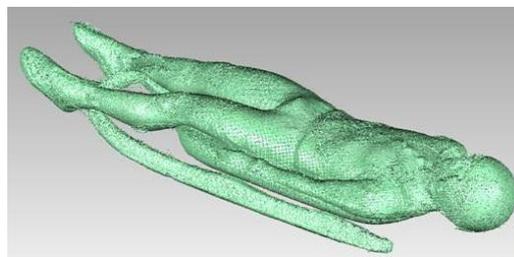
**Стандартное положение шлемов** Углы скручивания = 0, 6, 12



## Варианты расчетных скоростей

		Боб -2	Боб -4
Максимальная	км/ч	138,5	150
Средняя	км/ч	115	138,5
Минимальная	км/ч	100	115
Дополнительные	км/ч	80	80
		50	50

- Всего рассчитано **165 проектов**
- На этапе отладки проекта было просчитано **24 черновых варианта**
- Моделирование аэродинамики проводилось на расчетном кластере **«Саров»**
- При расчете одной задачи задействуются **48 ядер** (8 процессоров x 6 ядер)
- Среднее время расчета одной задачи до сходимости – **36 часов**



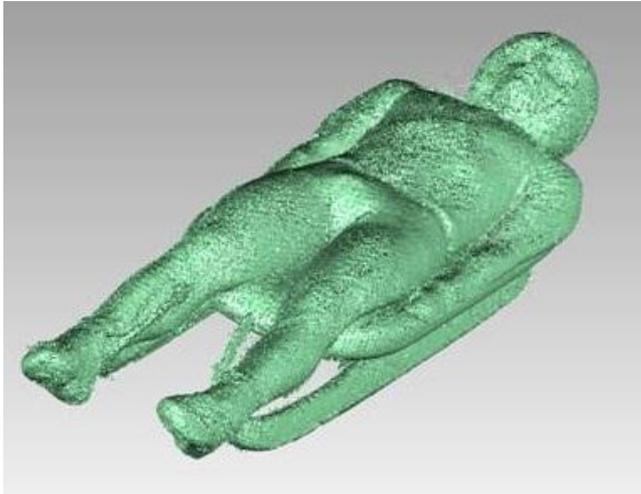
# ДВИЖЕНИЕ САНЕЙ



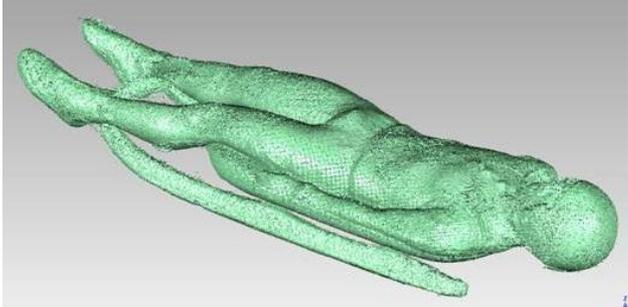
Сканирование саночника и санок



Лазерный сканер  
FARO Focus 3D

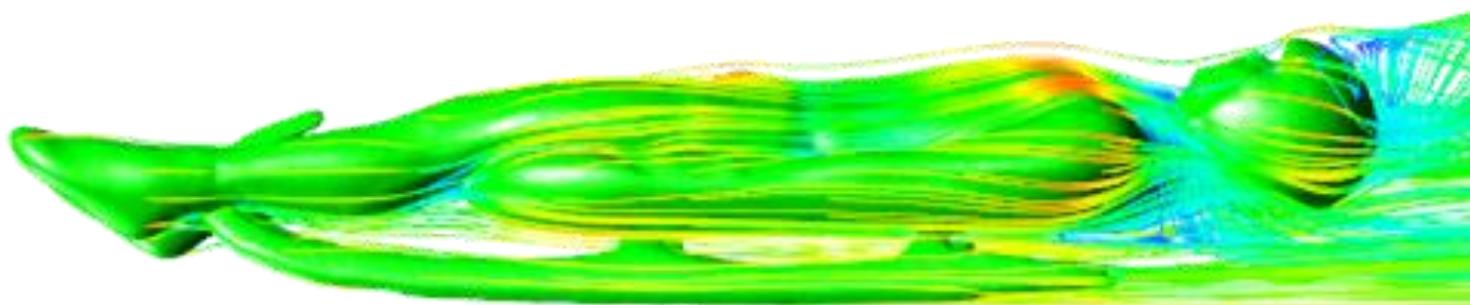


Полученная математическая модель

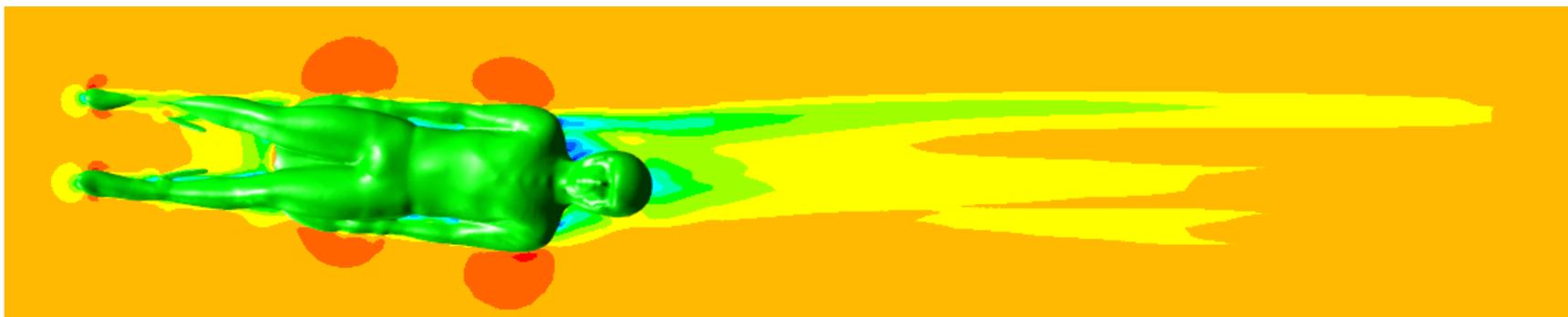
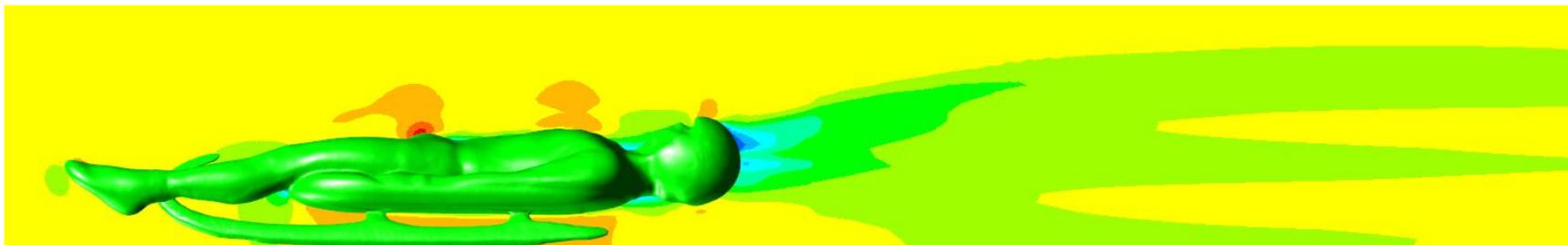




Член молодежной сборной России, процесс сканирования



Виртуальный спортсмен в виртуальной среде программного комплекса FlowVision



Сани , картина обтекания



Сани , линии тока

**Обтекание саней на плоскости**

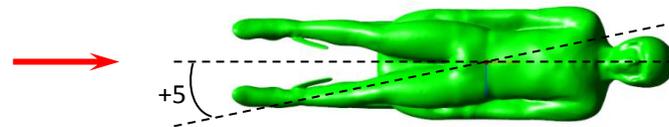
Влияние угла натекания

Углы натекания = 0, -5, +5

**Обтекание саней на прямолинейном участке трассы**

Влияние угла натекания

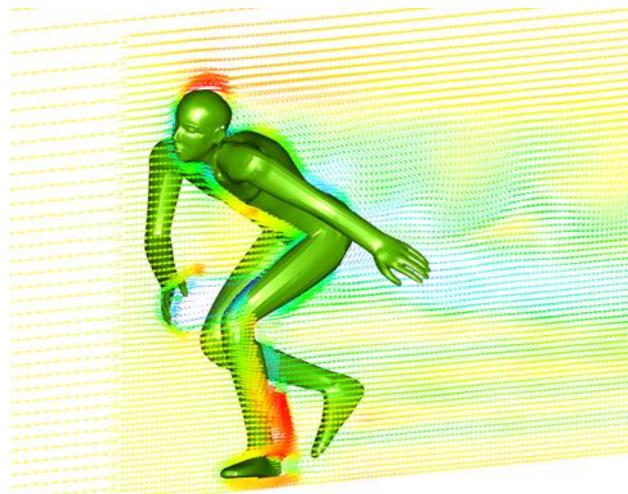
Углы натекания = 0, -5, +5



**Варианты расчетных скоростей**

Максимальная	км/ч	100
Средняя	км/ч	85,5
Минимальная	км/ч	70
Дополнительная	км/ч	50

- Всего рассчитано **24 проекта**
- Моделирование аэродинамики проводилось на расчетных кластерах **«Саров»** и **«Ломоносов»**
- При расчете одной задачи задействуются **48 ядер** (8 процессоров x 6 ядер)
- Среднее время расчета одной задачи до сходимости – **32 часа**

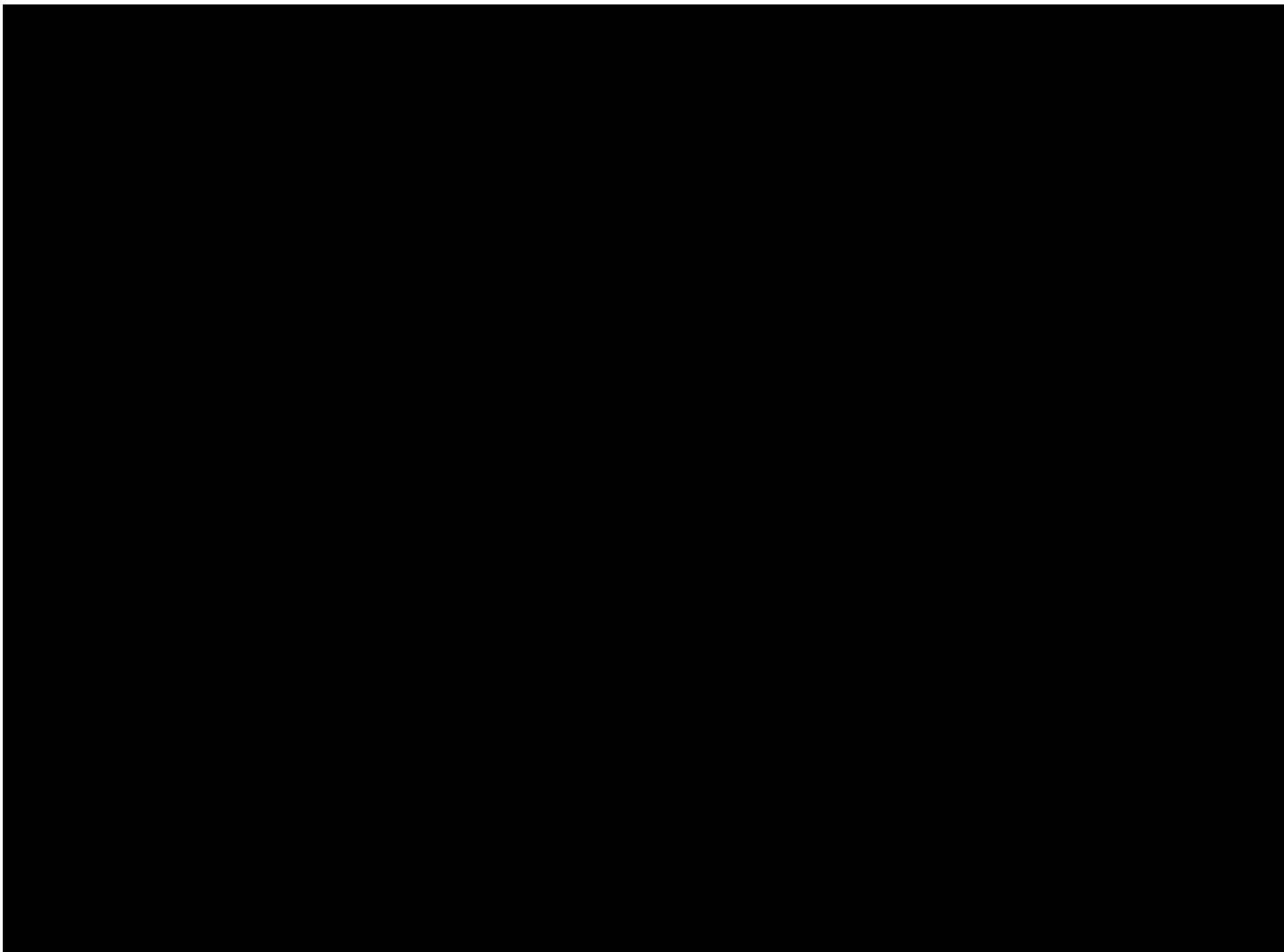


# ДВИЖЕНИЕ КОНЬКОБЕЖЦА

Оптическое сканирование

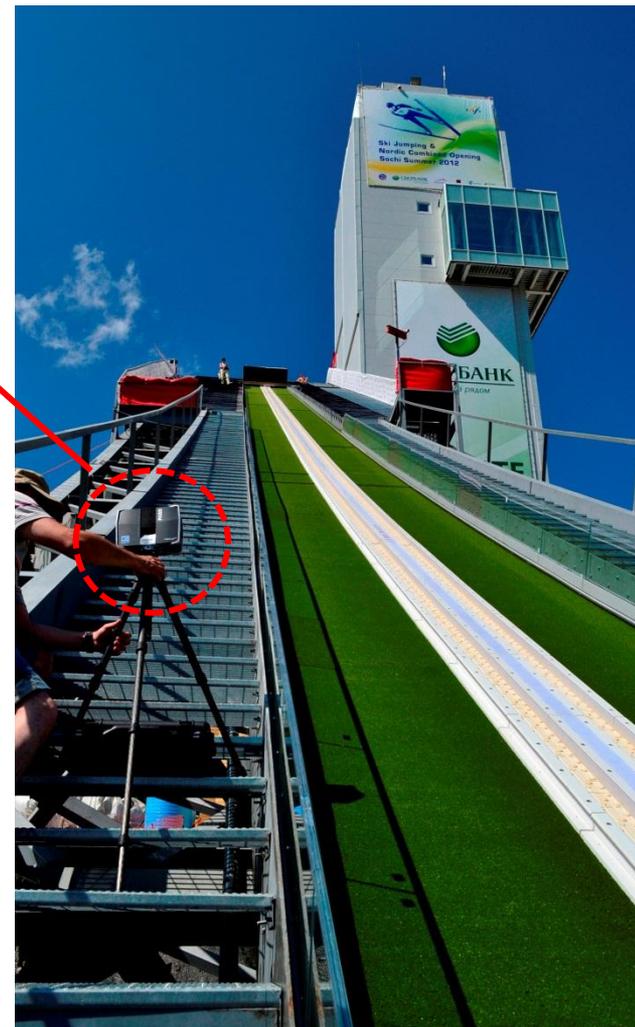
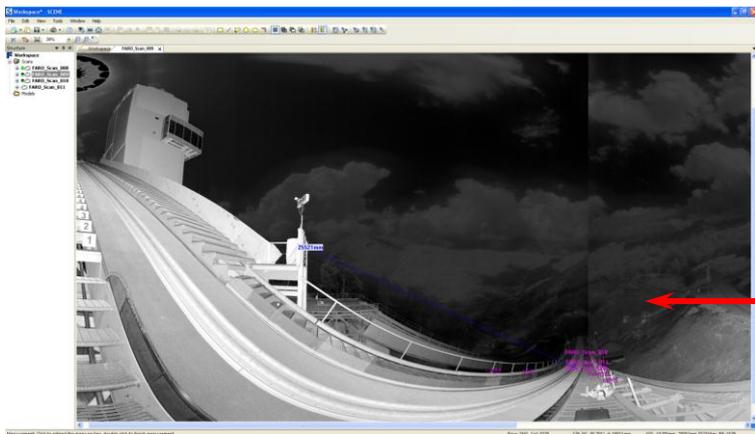


Фазы движения конькобежца по льду  
(черновая модель, данные по движению получены со стенда)



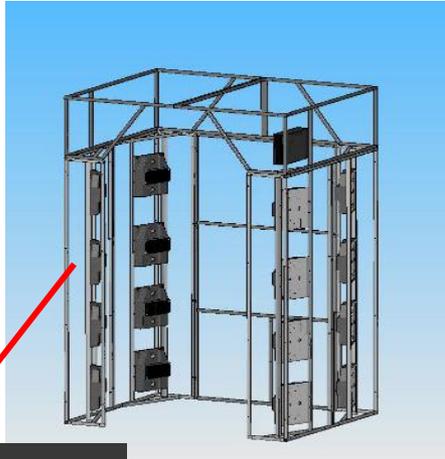


# ПРЫЖКИ НА ЛЫЖАХ С ТРАМПЛИНА

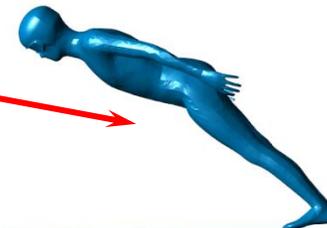


## Лазерный сканер ФАРО

- магнитные сферы-маркеры -12 шт.
- растр-маркер – 12 шт.
- программное обеспечение: FARO Scene 4.8, Geomagic, 3DTransVidia
- сканирование объектов в радиусе 120 м
- высокая автоматизация процесса
- сшивка нескольких сканов в одно облако точек
- высокая компактность и мобильность
- не требуется специализированных навыков в области метрологии

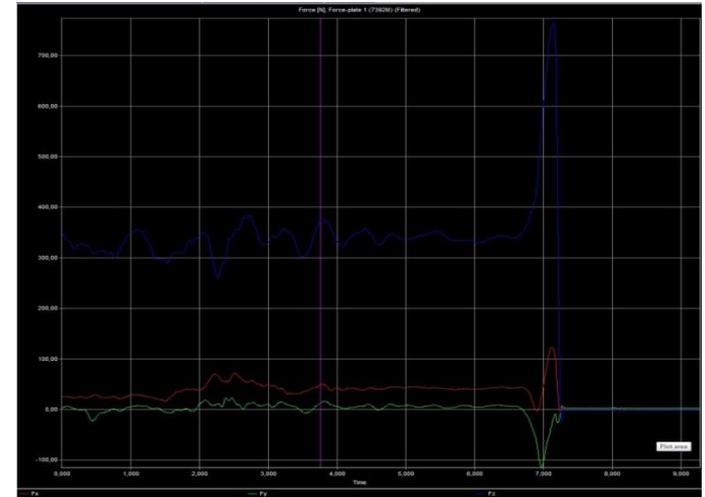
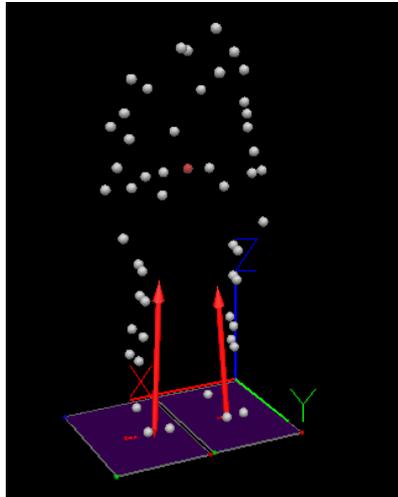


- Трехмерный сканер
- Программное обеспечение для обработки облака точек и построение полигональных моделей
- Камеры для съемки подвижного спортсмена
- Калибровочное оборудование
- Перенос отснятого материала на созданные индивидуальные модели
- Создание моделей для математического моделирования

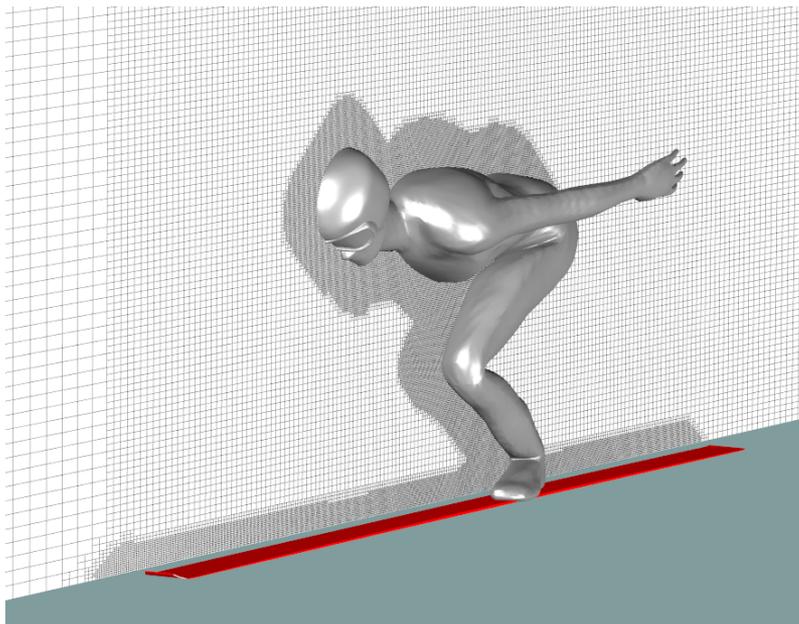




- Тензометрическая платформа для снятия значения реакции опоры в течение времени
- Получение значения реакции опоры в виде вектора сил с каждой ноги испытуемого спортсмена



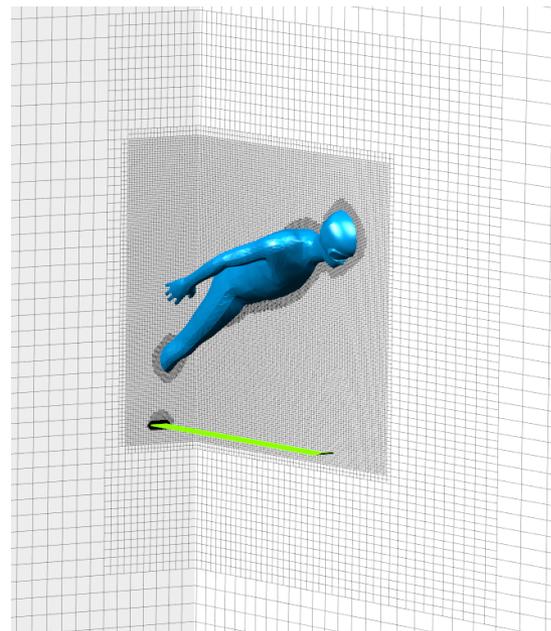
**РАЗГОН**



**8 189 097 ячеек**

- Неравномерная расчетная сетка, сгущенная в области исследуемого объекта
- Объемная адаптация 1-го уровня
- Адаптация по ГУ «стенка» 3-го уровня в 30 слоев ячеек

**ПРЫЖОК**

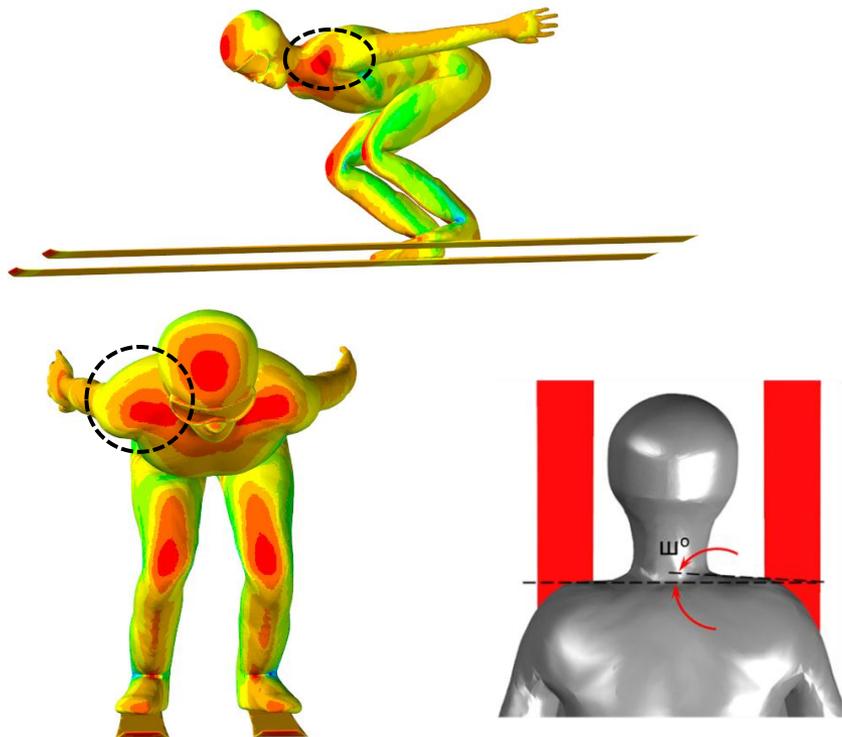


**8 943 347 ячеек**

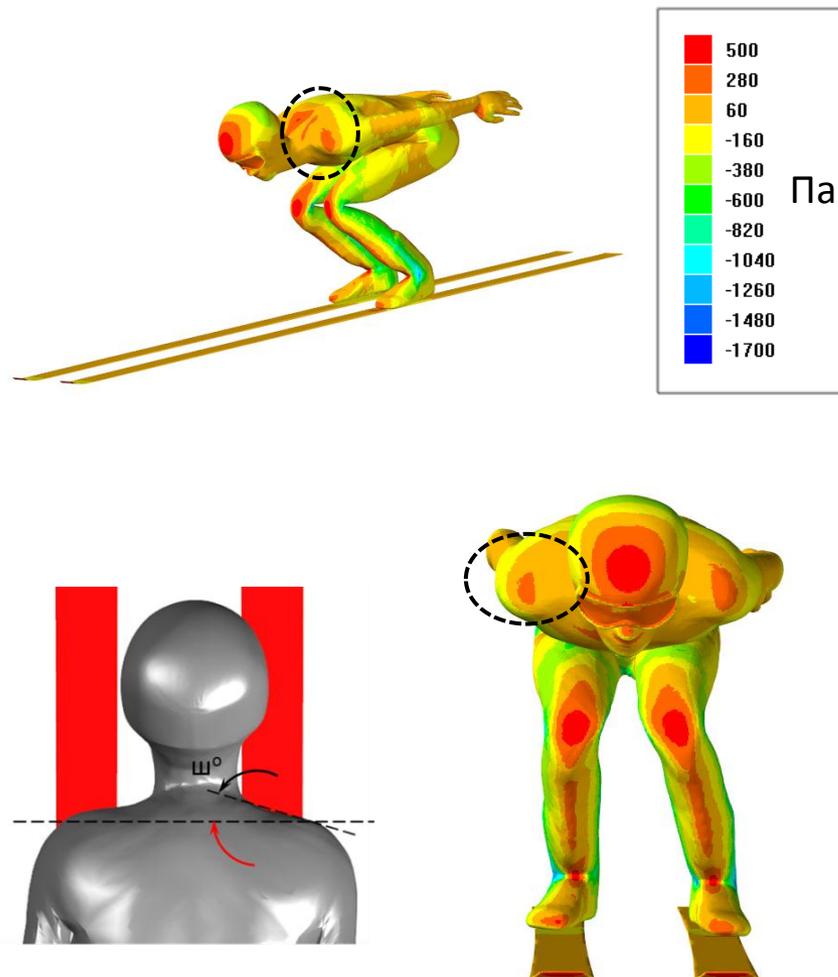
- Неравномерная расчетная сетка, сгущенная в области исследуемого объекта
- Объемная адаптация 1-го и 3-го уровней
- Адаптация по ГУ «стенка» 4-го уровня в 15 слоев ячеек

В ходе проведенных исследований качественно были определены участки на теле спортсмена, вносящие вклад в силу сопротивления (на моделях, интересующих заказчика) ...

Например:



... и способы минимизации данных зон



Всего: 329  
расчетных  
случаев

**СПОРТСМЕН**

Фаза разгона

- позы (5 вар.)
- скорости (4 вар.)

**ЛЫЖИ БЕЗ  
СПОРТСМЕНА**

Фаза полета

- позы (2 вар.)
- скорости (6 вар.)
- углы  $\alpha$  (34 вар.)
- углы м/д лыжами и спортсменом (3 вар.)

Влияние угла атаки  $\alpha$

- скорости (3 вар.)
- углы  $\alpha$  (17 вар.)

Влияние угла скрутки  $\beta$

- углы  $\beta$  (10 вар.)
- углы  $\alpha$  (3 вар.)
- скорость (1 вар.)

Влияние курсового угла  $\gamma$

- углы  $\gamma$  (10 вар.)
- углы  $\alpha$  (3 вар.)
- скорость (1 вар.)

При решении задач были задействованы высокопроизводительные аппаратные суперкомпьютеры **НИВЦ МГУ «Ломоносов»** и **СКЦ ЮУрГУ «Торнадо»**

**ЛЫЖИ**



Режим расчета: 48 ядер  
(8 процессоров с 6 ядрами  
каждый)



Среднее время расчета  
задачи: 36 часов

**СПОРТСМЕН + ЛЫЖИ**



Режим расчета: 128 ядер  
(16 процессоров с 8 ядрами  
каждый)

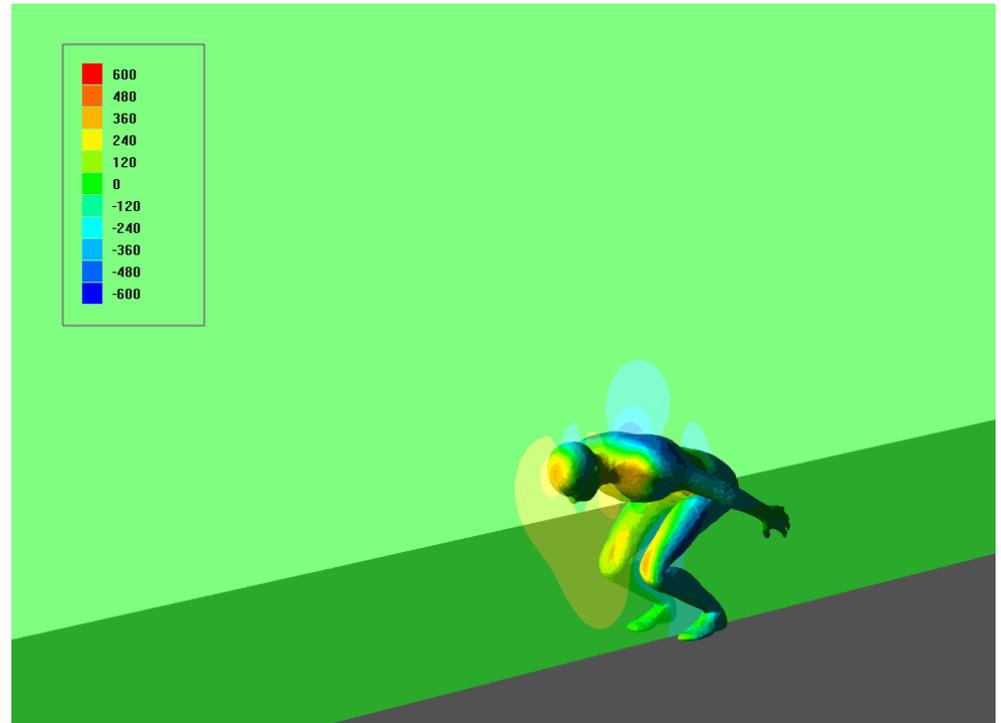


Среднее время расчета  
задачи: 52 часа

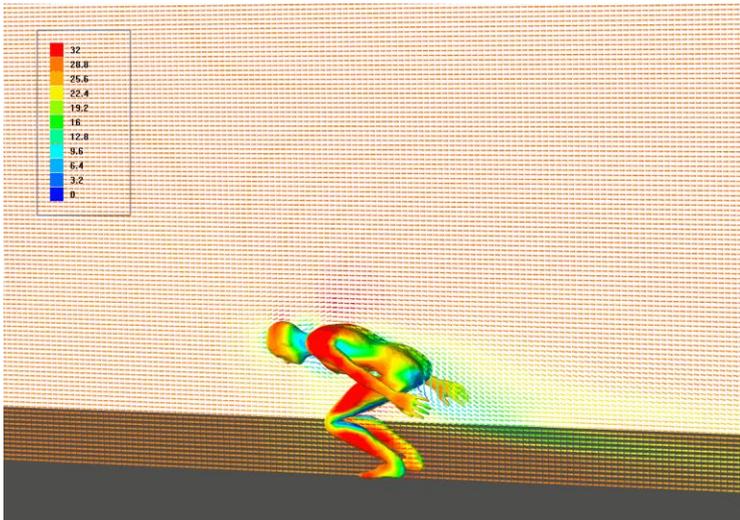




Технология Motion Capture



Распределение избыточного давления, Па



Вектора скорости, м/с

