

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

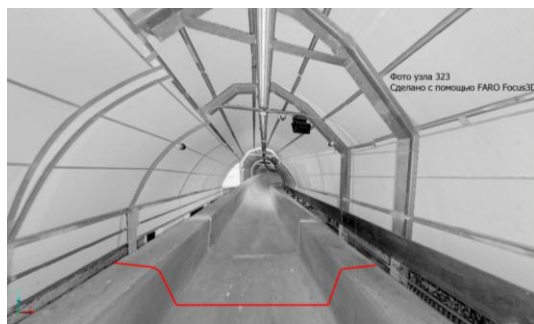
Разработка электронно-цифровых макетов трасс **Парамоново** и **п. Красная поляна** в среде виртуального моделирования на основе данных, полученных при помощи высокоточного лазерного сканирования



Трасса Парамоново



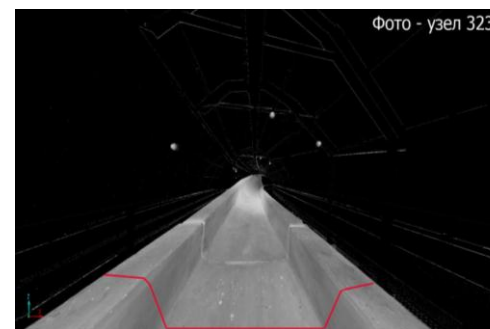
Трасса п. Красная поляна



Полная виртуальная модель для партнеров

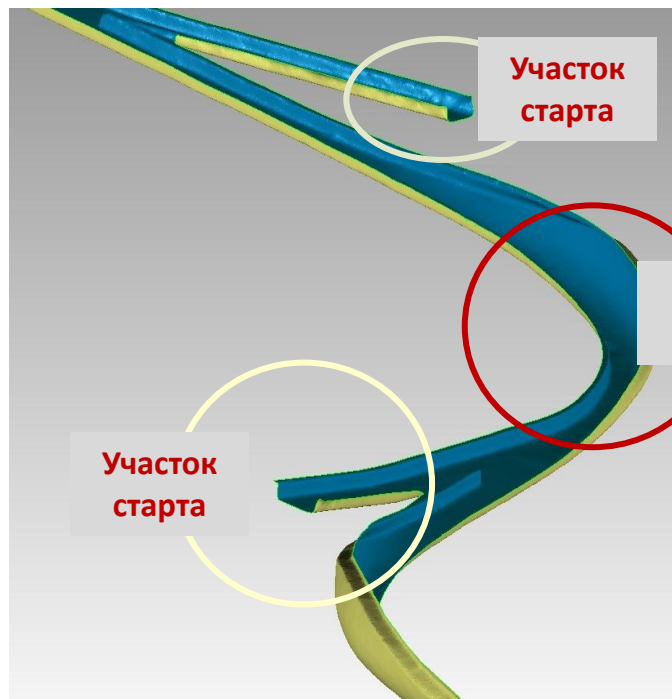


Лазерный сканер FARO Focus 3D

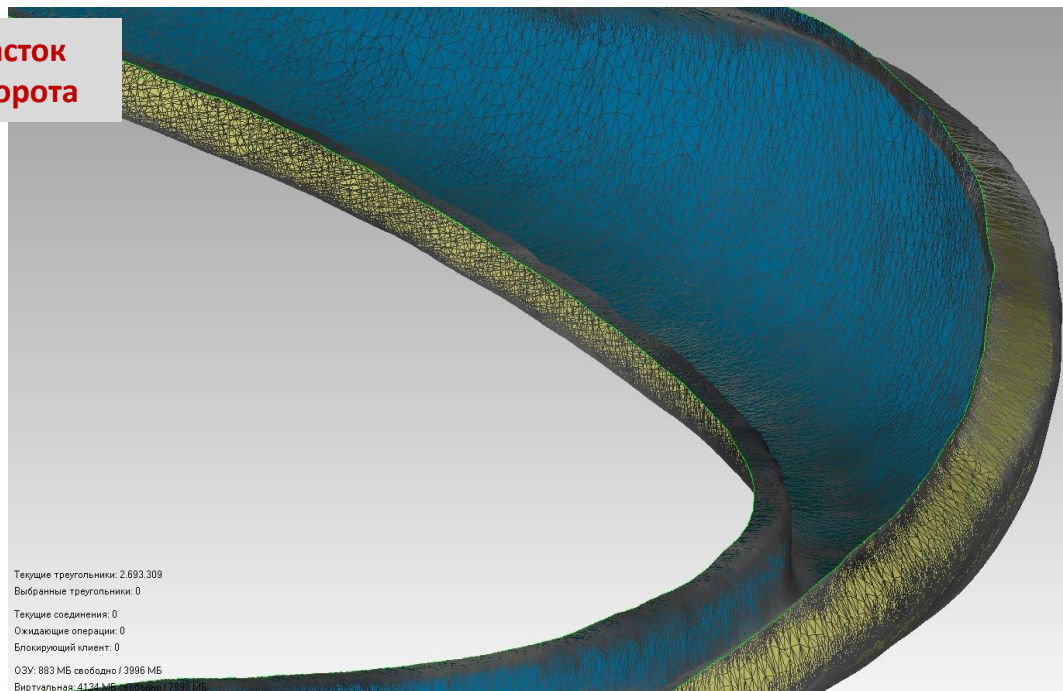


Редуцированная виртуальная модель для расчетов

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



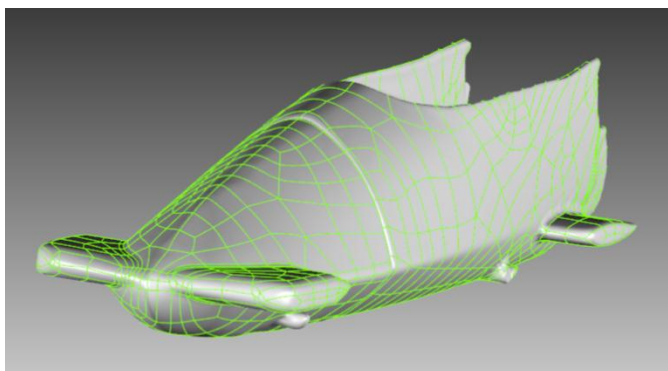
ДВИЖЕНИЕ БОБА



Боб сборной России



**Лазерный сканер
FARO Focus 3D**



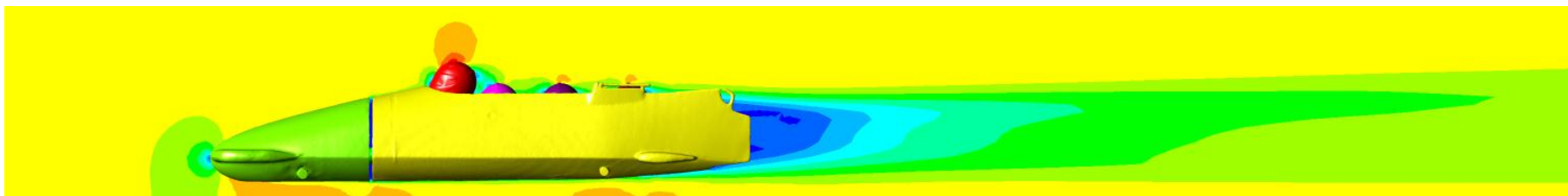
**Полученная математическая
модель боба**



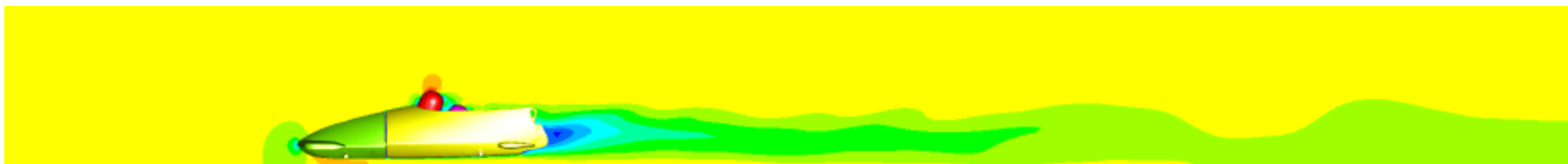
Подготовка сканирования



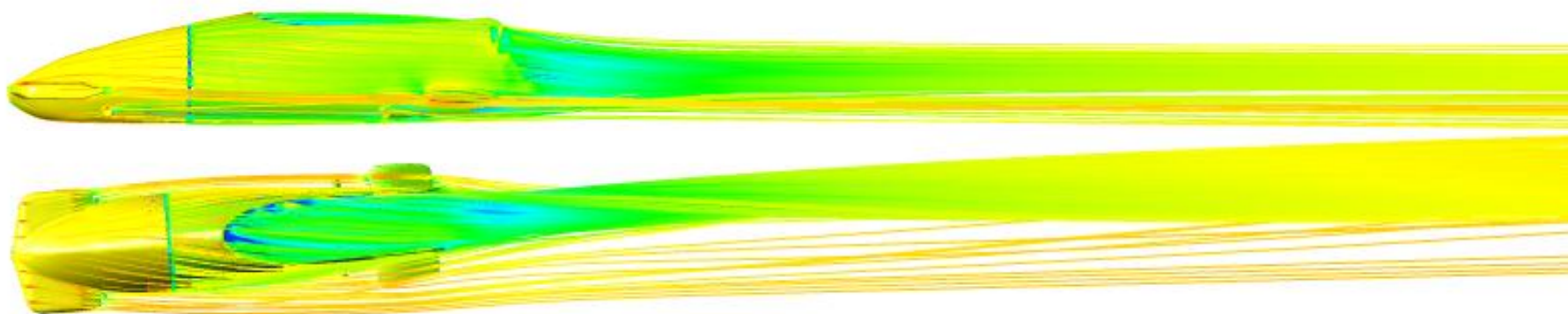
Сканирование боба



Боб 4 места, картина обтекания



Боб 2 места, картина обтекания

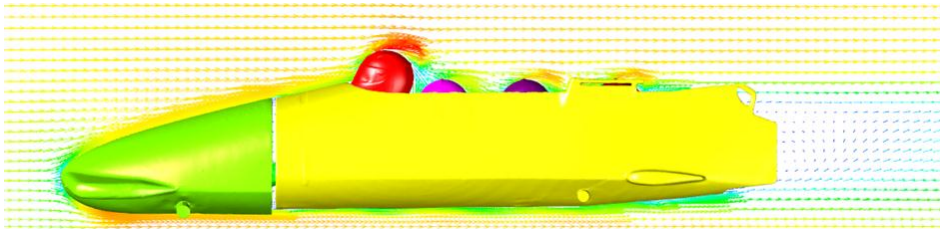


Боб 2 места, линии тока

Аэродинамическое обтекание



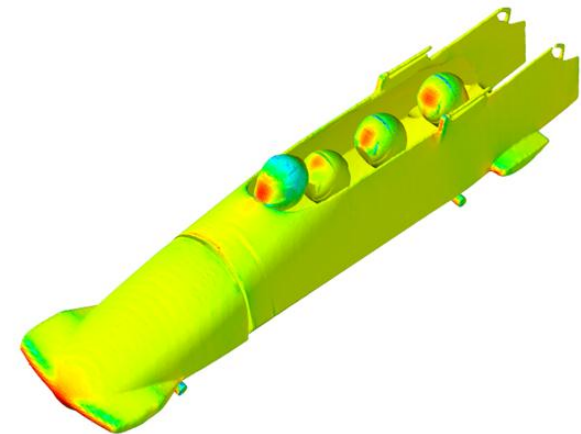
Картина **полей скоростей и давлений** для **качественной** оценки структуры течения в исследуемой области



Векторное переменной Скорость



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

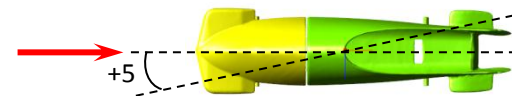


Распределение Давления

Обтекание боба на плоскости

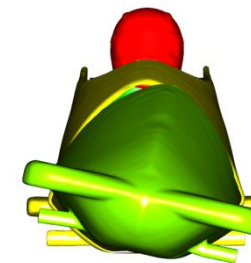
Угол курса

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

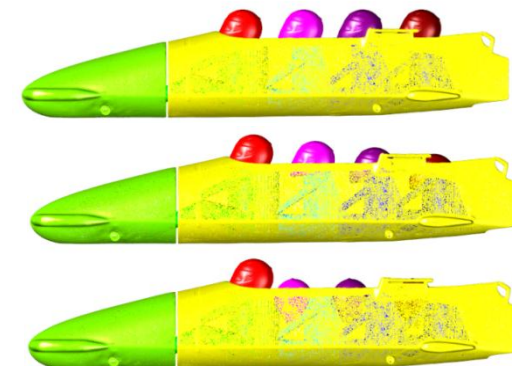
Углы скручивания = 0, 6, 12

Положение шлемов по линиям тока

Углы скручивания = 0, 6, 12

Стандартное положение шлемов

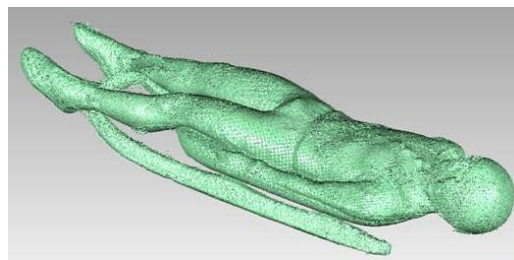
Углы скручивания = 0, 6, 12



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**



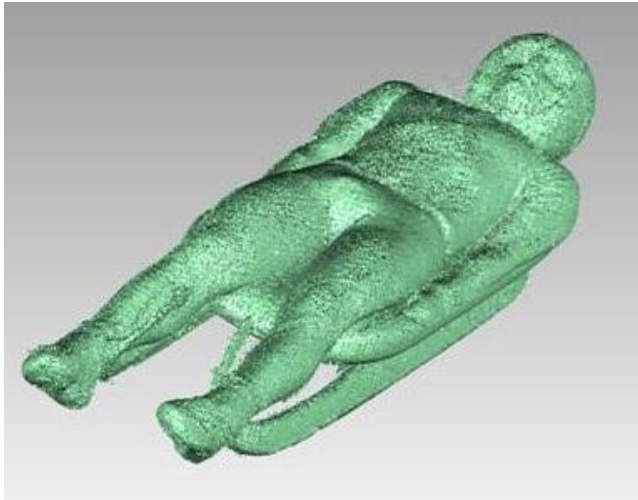
ДВИЖЕНИЕ САНЕЙ



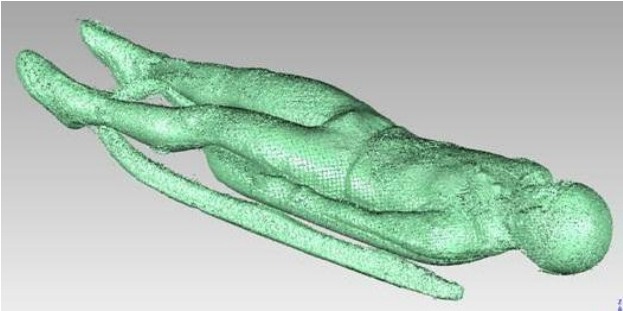
Сканирование саночника и санок



Лазерный сканер
FARO Focus 3D

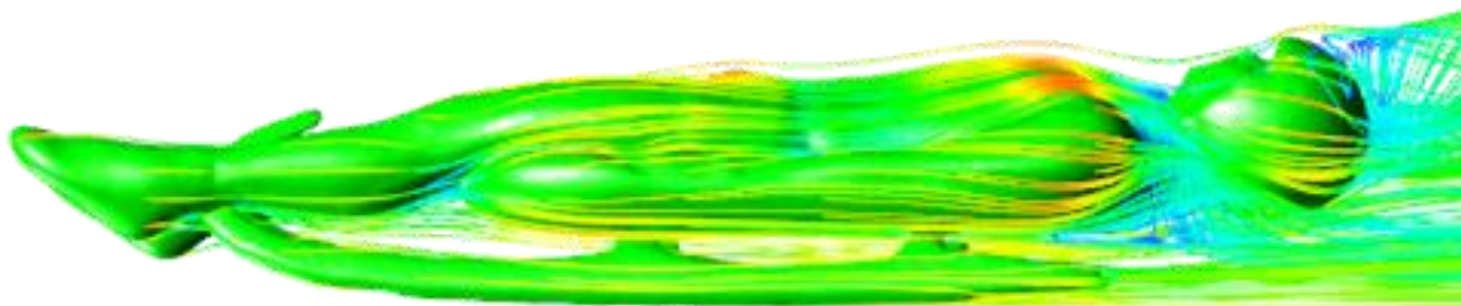


Полученная математическая модель

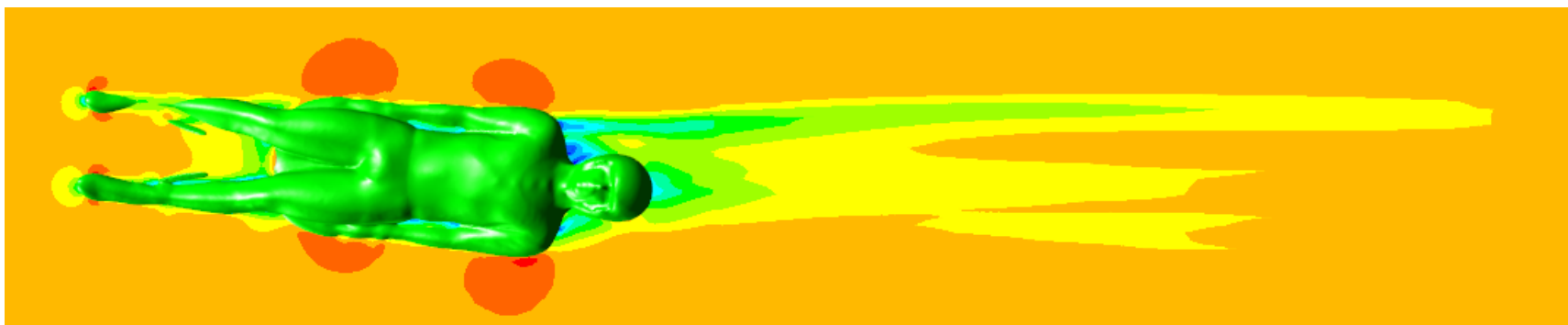
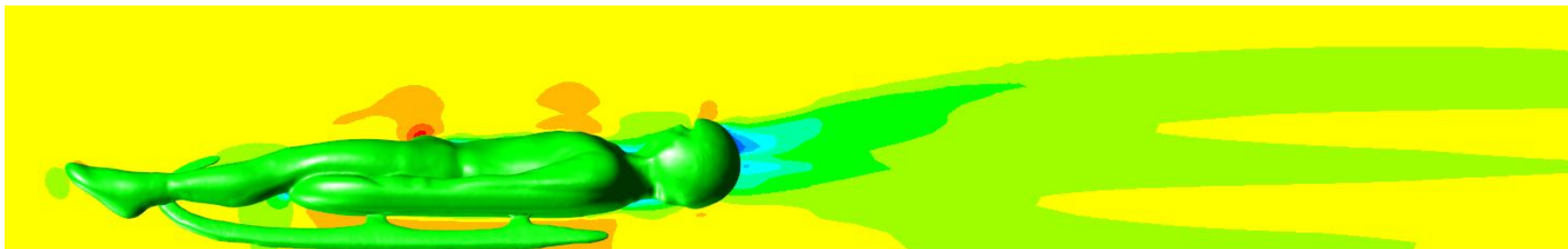




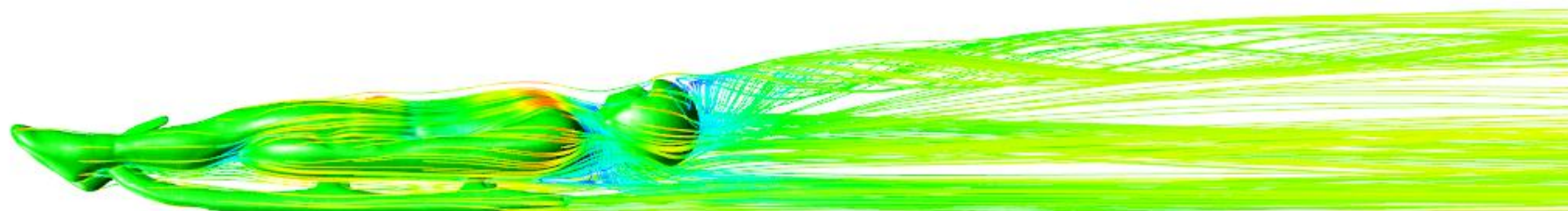
Член молодежной сборной России, процесс сканирования



Виртуальный спортсмен в виртуальной среде программного комплекса FlowVision



Сани , картина обтекания



Сани , линии тока

Обтекание саней на плоскости

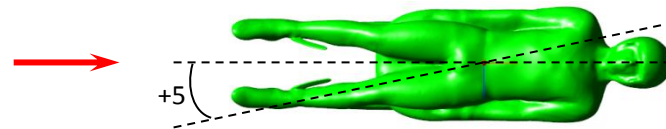
Влияние угла натекания

Углы натекания = 0, -5, +5

Обтекание саней на прямолинейном участке трассы

Влияние угла натекания

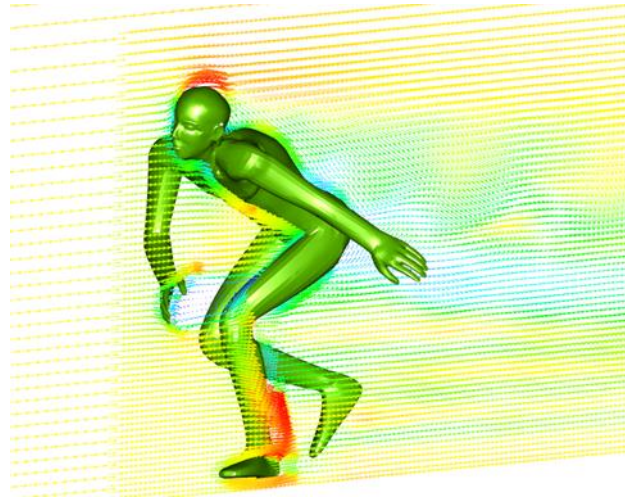
Углы натекания = 0, -5, +5



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**

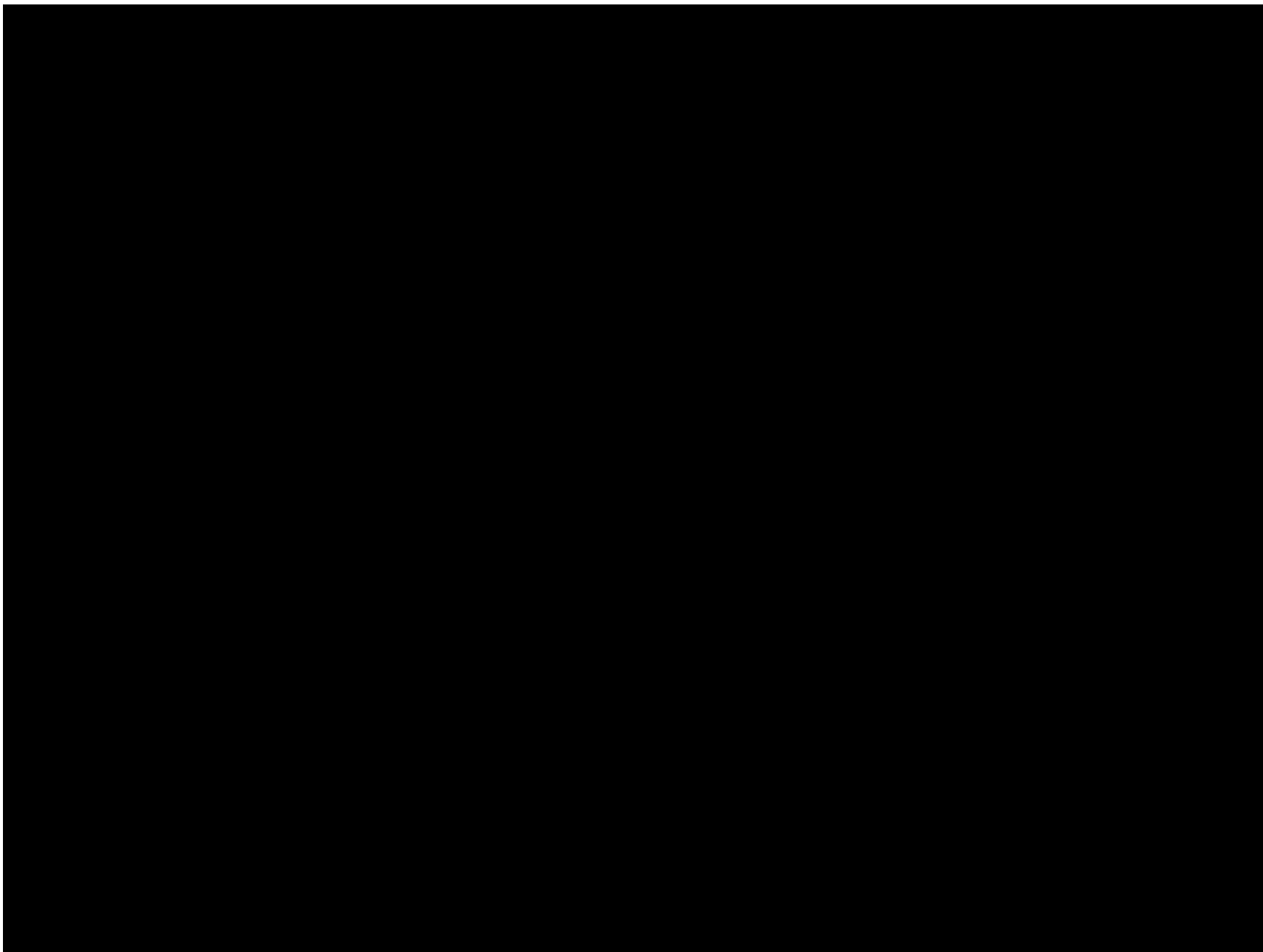


ДВИЖЕНИЕ КОНЬКОБЕЖЦА

Оптическое сканирование

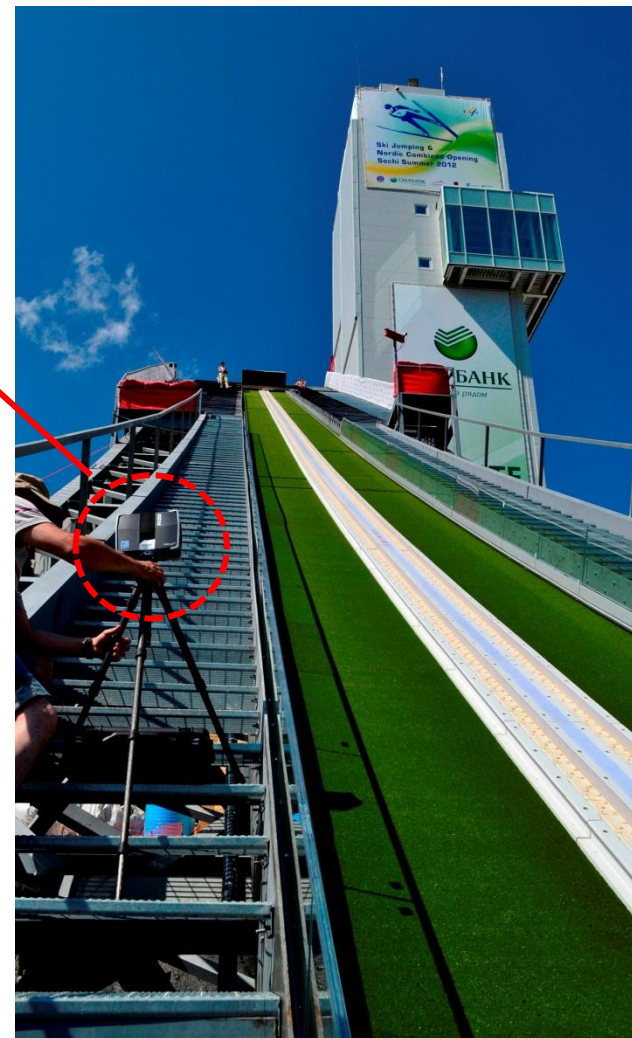
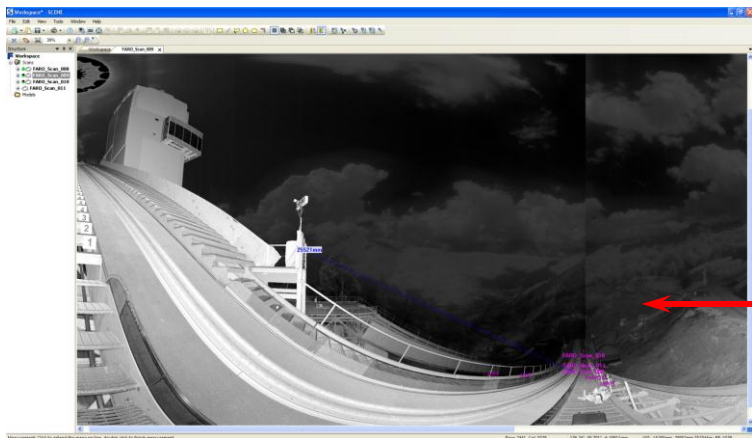


Фазы движения конькобежца по льду
(черновая модель, данные по движению получены со стенда)



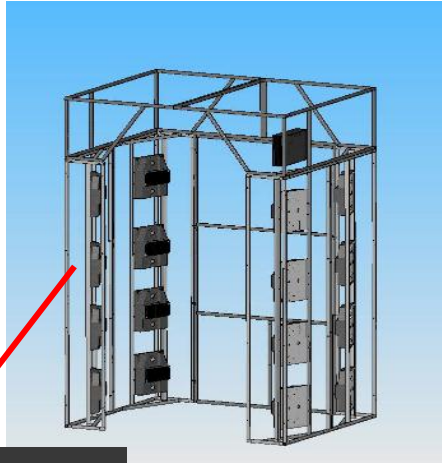


ПРЫЖКИ НА ЛЫЖАХ С ТРАМПЛИНА

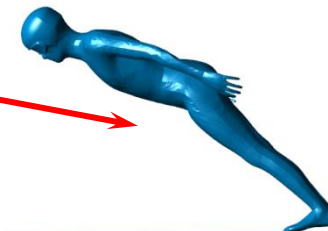


Лазерный сканер ФАРО

- 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

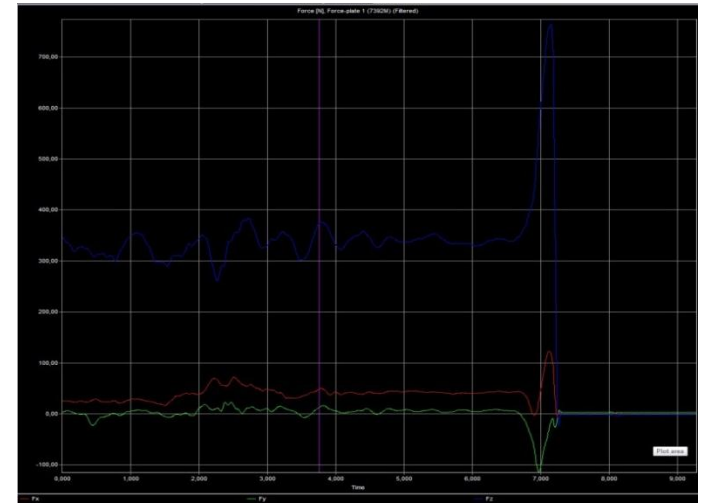
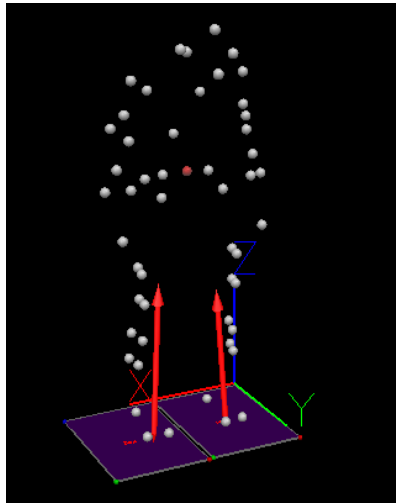


- Трехмерный сканер
- Программное обеспечение для обработки облака точек и построение полигональных моделей
- Камеры для съемки подвижного спортсмена
- Калибровочное оборудование
- Перенос отснятого материала на созданные индивидуальные модели
- Создание моделей для математического моделирования

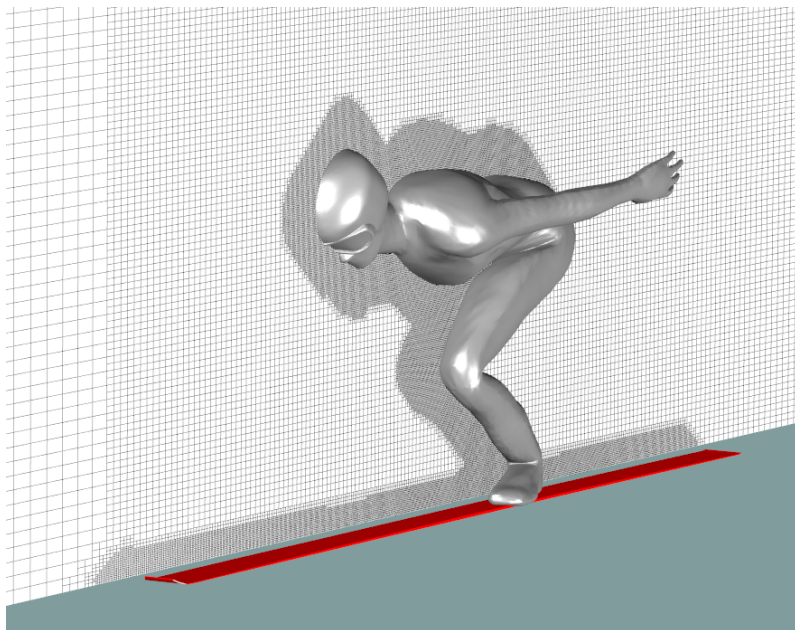




- Тензометрическая платформа для снятия значения реакции опоры в течение времени
- Получение значения реакции опоры в виде вектора сил с каждой ноги испытуемого спортсмена



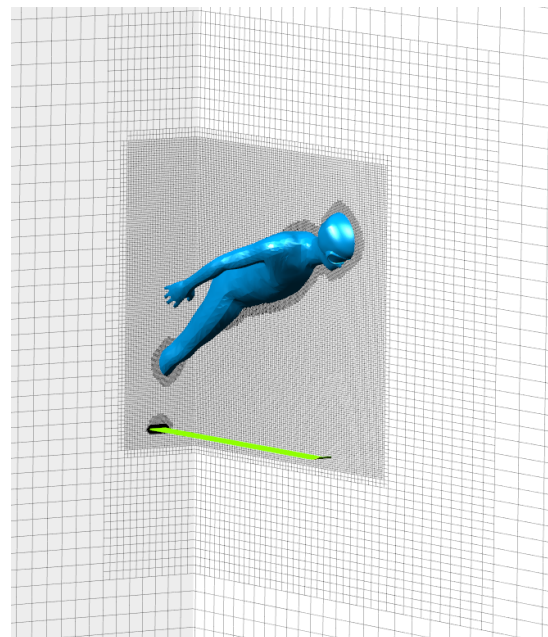
РАЗГОН



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

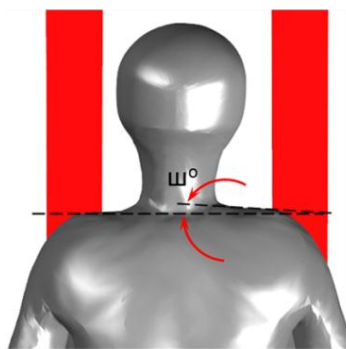
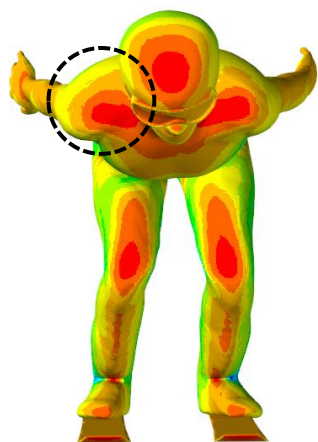
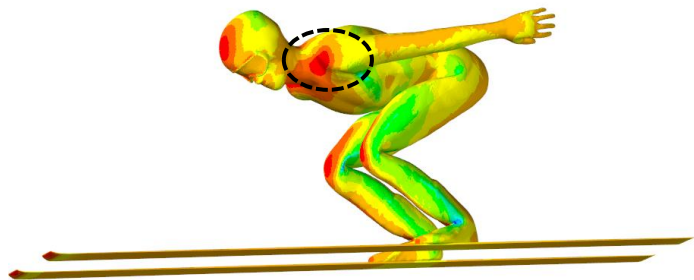


8 943 347 ячеек

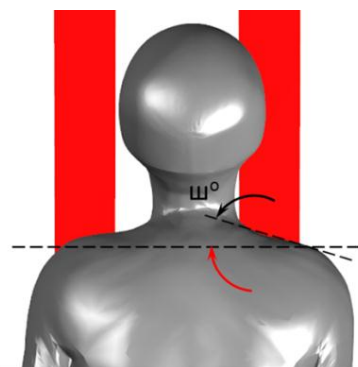
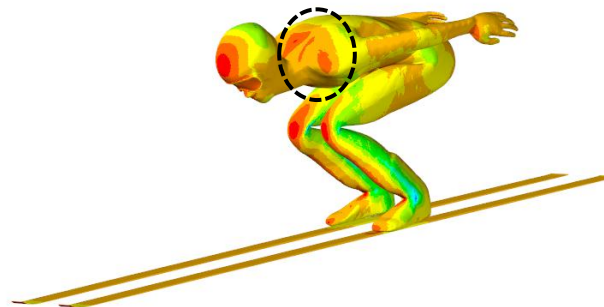
- Неравномерная расчетная сетка, сгущенная в области исследуемого объекта
- Объемная адаптация 1-го и 3-го уровней
- Адаптация по ГУ «стенка» 4-го уровня в 15 слоев ячеек

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 α (34 вар.)
- углы м/д лыжами и спортсменом (3 вар.)

Влияние угла атаки α

- скорости (3 вар.)
- углы α (17 вар.)

Влияние угла скрутки β

- углы β (10 вар.)
- углы α (3 вар.)
- скорость (1 вар.)

Влияние курсового угла γ

- углы γ (10 вар.)
- углы α (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)

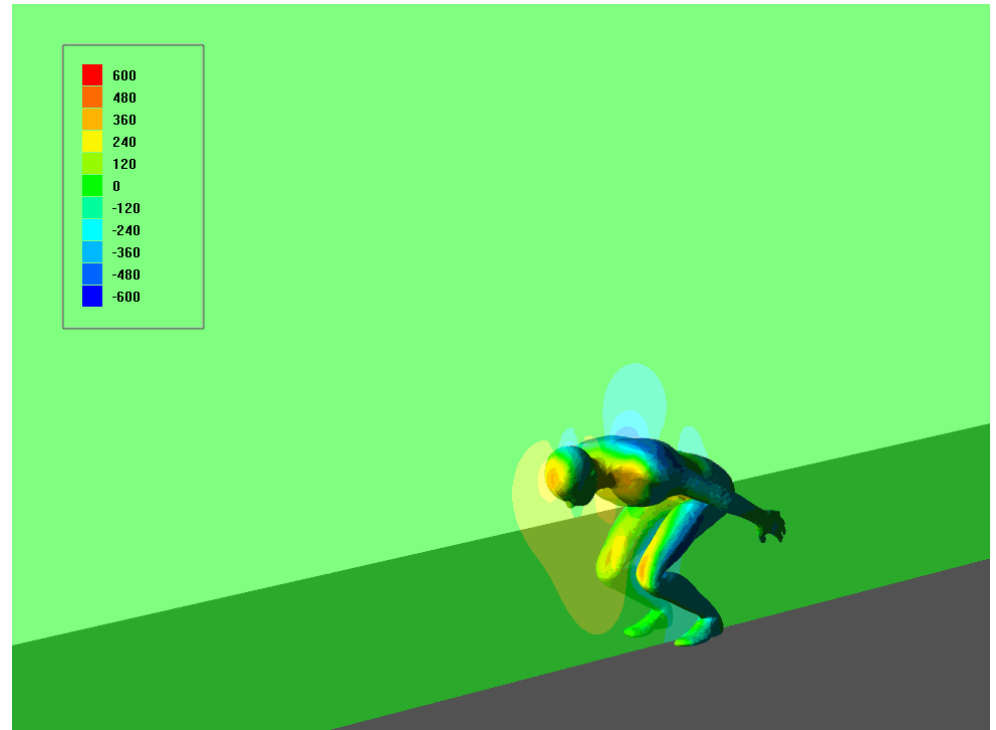


Среднее время расчета
задачи: 52 часа

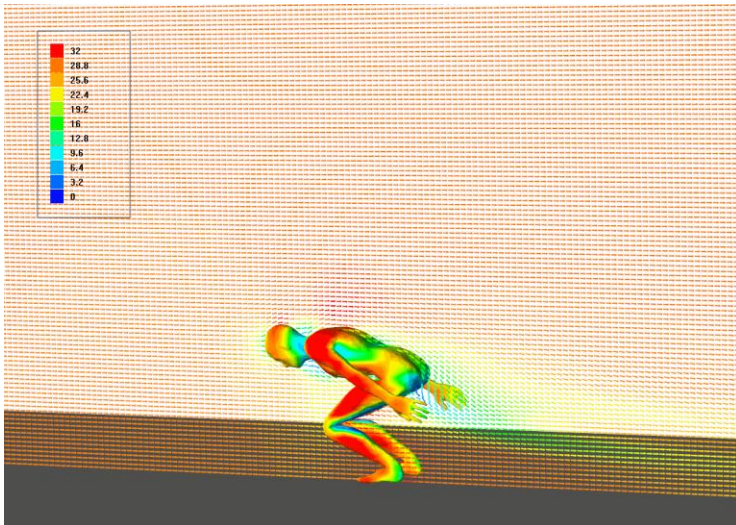




Технология Motion Capture



Распределение избыточного давления, Па



Вектора скорости, м/с

