



Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

## Веб-компонент подготовки геометрии для суперкомпьютерного моделирования потоков около летательных аппаратов

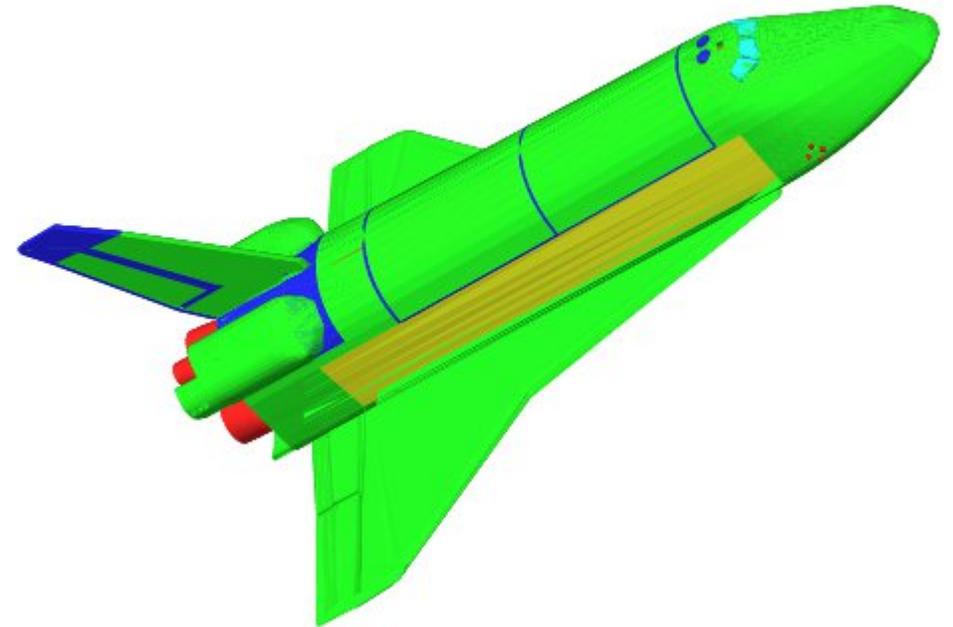
Тарасов Н.И.\*, Калиничев Н.И., Поляков С.В.

\*e-mail: [nikita\\_tarasov@imamod.ru](mailto:nikita_tarasov@imamod.ru)

11th International Conference «Distributed Computing and Grid Technologies in Science and Education» (GRID'2025), 7-11 июля 2025, Дубна, Россия

# Актуальность

- Моделирование воздушных потоков около высокоскоростных объектов актуально в таких областях, как гражданская авиация и космические исследования
- Требованием момента в данной области является уточнение математических моделей, а также использование многомасштабных подходов
- Это существенно увеличивается сложность и ресурсоемкость вычислительных экспериментов
- Появляется необходимость межпрограммных обменов и определенного порядка исполнения приложений
- Усложняется каталогизация, долгосрочное хранение и анализ результатов расчета



*Sverdlin A.A. MCS-based simulation of two- and three-dimensional flows of a viscous gas based on quasi-gasdynamics equations on irregular grids. PhD thesis. Moscow, 2008*

# Технологический стэк

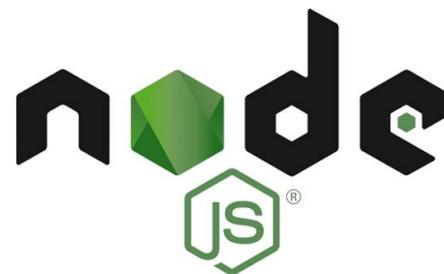
- Клиент-серверная архитектура
- Язык программирования TypeScript (TS) добавляющий систему типов к JavaScript (JS)

Сервер:

- Node.js<sup>1</sup> расширяет возможности TS/JS до языка общего назначения
- Применение программной платформы NestJS<sup>2</sup> обеспечивает модульность проекта

Клиент:

- Реактивная парадигма Vue.js<sup>3</sup> обеспечивает высокую интерактивность веб-интерфейса
- Программная платформа Quasar<sup>4</sup> для Vue.js имеет широкий набор реактивных компонентов пользовательского взаимодействия



Nest JS



Vue.js



QUASAR

BEYOND THE  
FRAMEWORK

<sup>1</sup>Node.js | <https://nodejs.org>

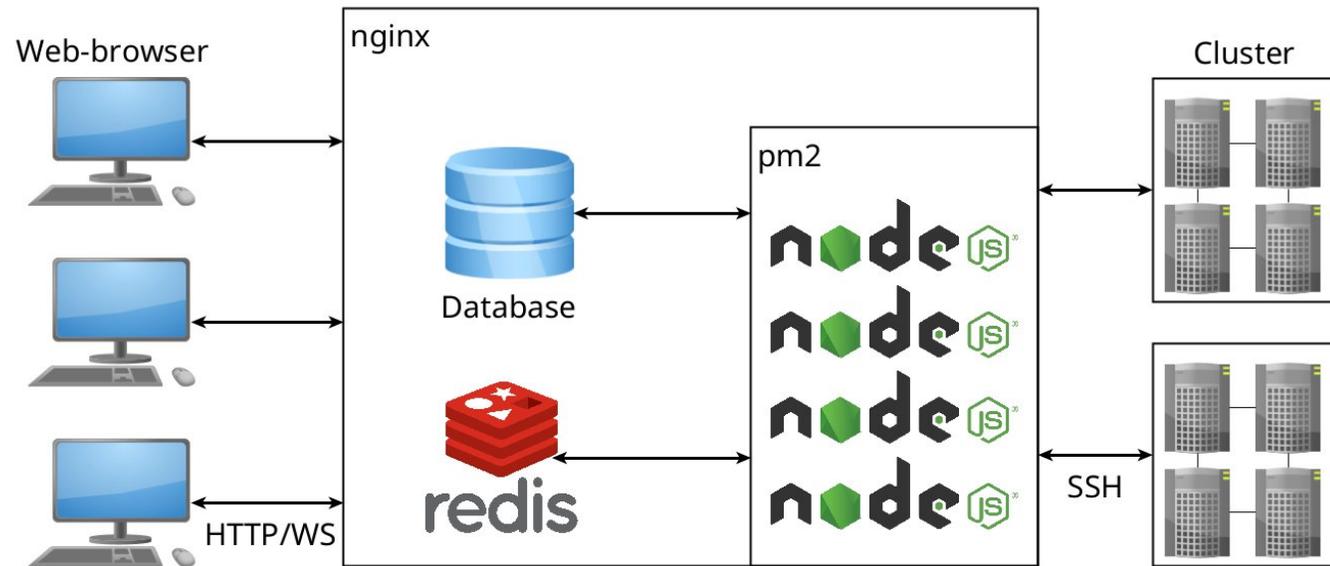
<sup>2</sup>NestJS | <https://nestjs.com>

<sup>3</sup>Vue.js | <https://vuejs.org>

<sup>4</sup>Quasar Framework | <https://quasar.dev>

# Архитектура платформы

- Взаимодействие между клиентом и сервером осуществляется по HTTPS протоколу с применением технологии веб-сокетов
- Масштабирование сервера осуществляется с помощью утилиты pm2<sup>1</sup>
- Взаимодействие с удаленными вычислительными ресурсами по SSH с учетом системы прохождения пользовательских заданий
- Взаимодействие с базой данных – TypeORM<sup>2</sup>

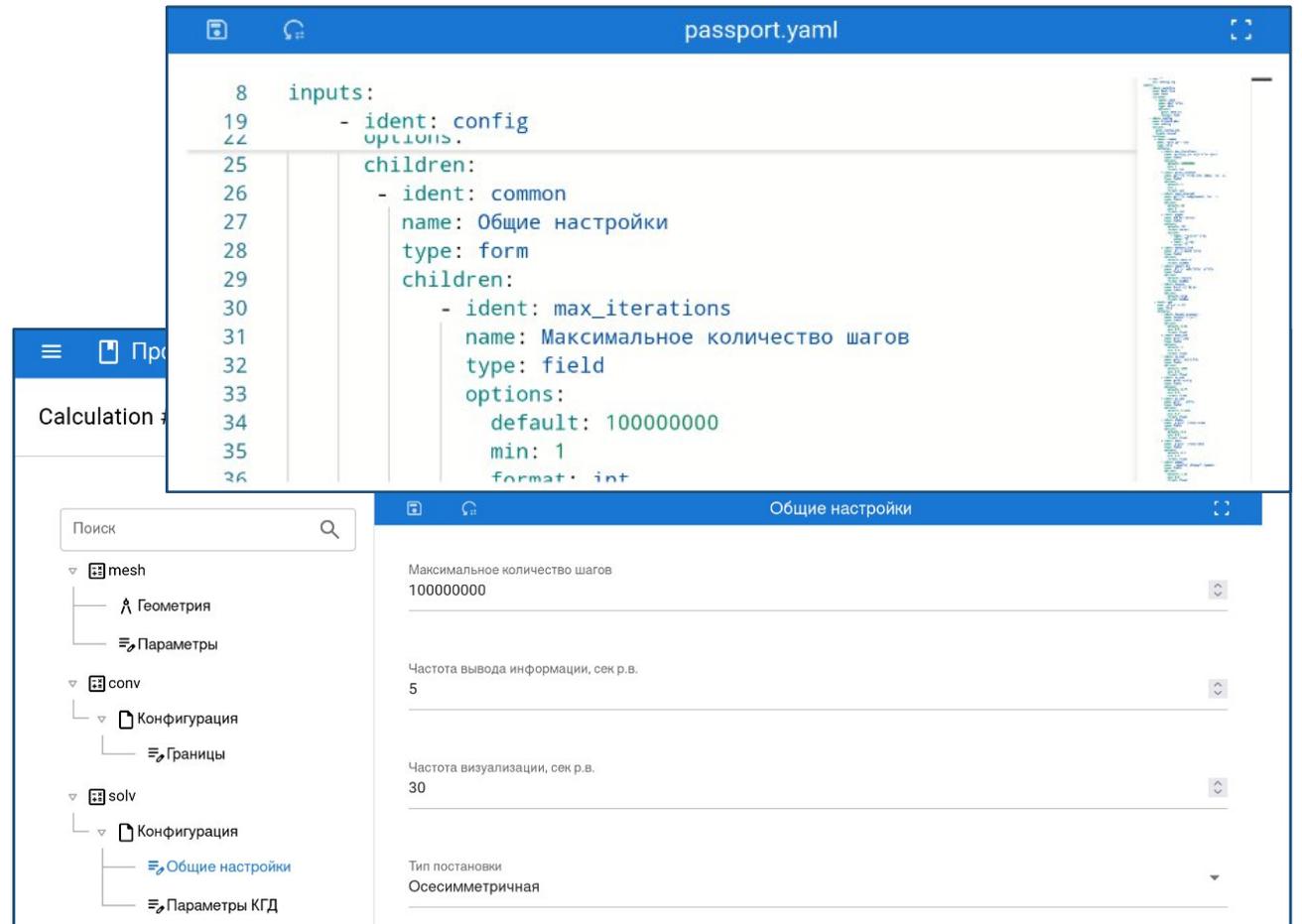


<sup>1</sup>pm2 | <https://pm2.keymetrics.io>

<sup>2</sup>TypeORM | <https://typeorm.io>

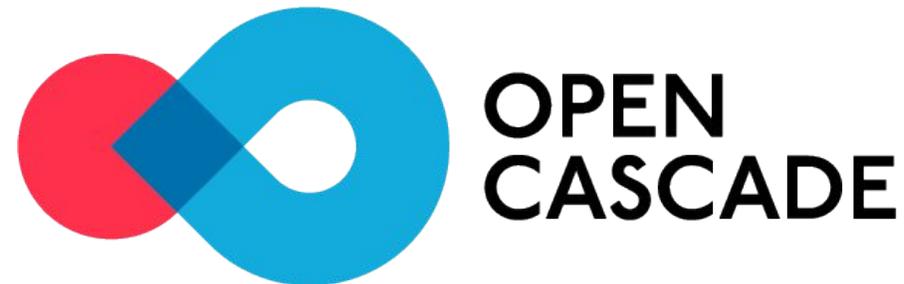
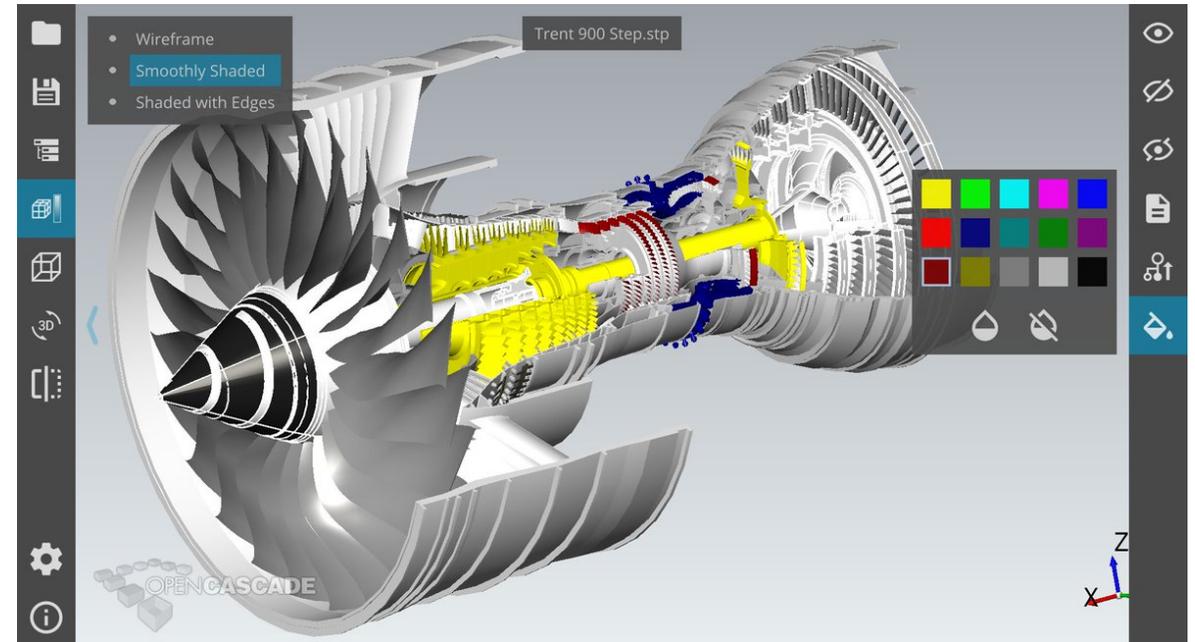
# Подготовка исходный данных

- Генерация графических форм на основе паспорта приложения
- Формирование дерева исходных данных
- Генерация файлов конфигурации в необходимом прикладной программе формате из пользовательского ввода



# Требуемая функциональность

- Формирование граничных представлений областей расчета (BREP)
- Поддержка стандартных возможностей CAD-систем (объединение точек, линий, поверхностей, объемов; модификация элементов; вытягивание, вращение и др.)
- Разметка элементов для задания граничных и начальных условий, материалов и уравнений состояния
- Возможность использования в веб-окружении

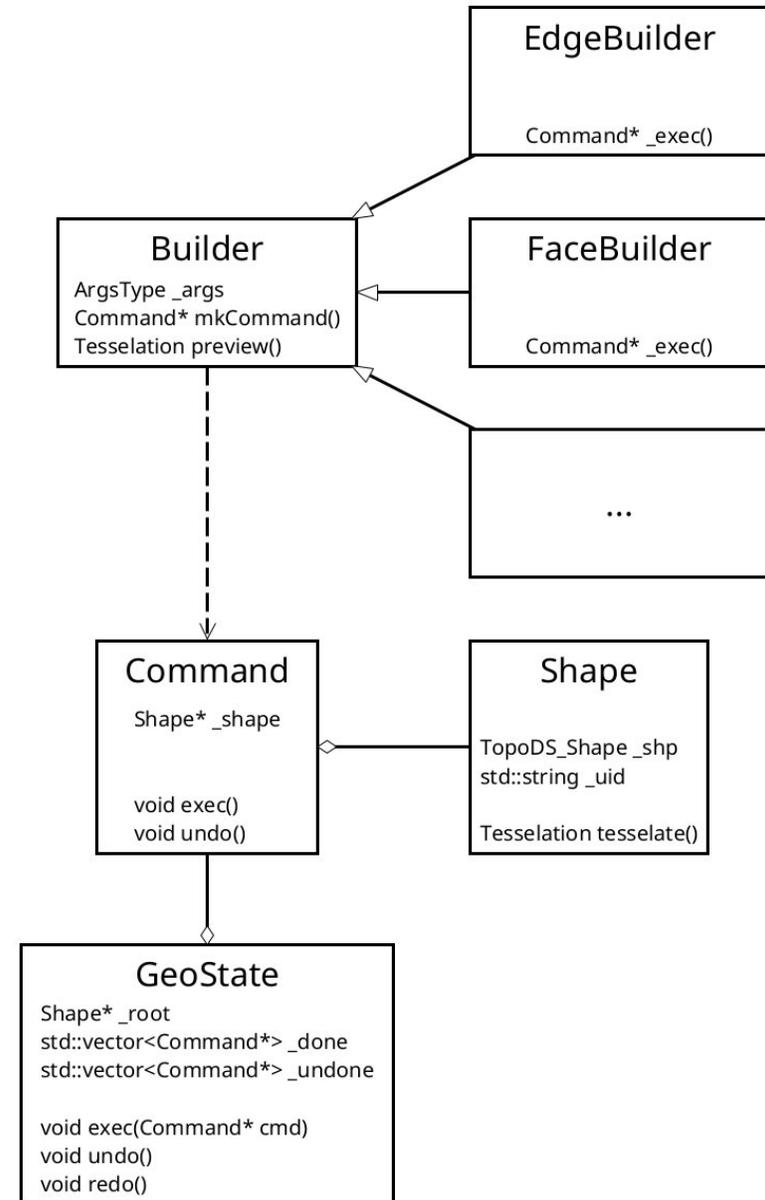


<sup>1</sup>OpenCascade | <https://www.opencascade.com/>

<sup>2</sup>OpenCascade.js | <https://ocjs.org/>

# Геометрическое ядро

- Объект-«синглтон» для хранения состояния
- Генерация, модификация и удаление средствами «команд»
- Расширяемый интерфейс к возможностям OpenCascade с помощью «строителей»
- Компиляция в WASM<sup>1</sup> с помощью Emscripten<sup>2</sup>

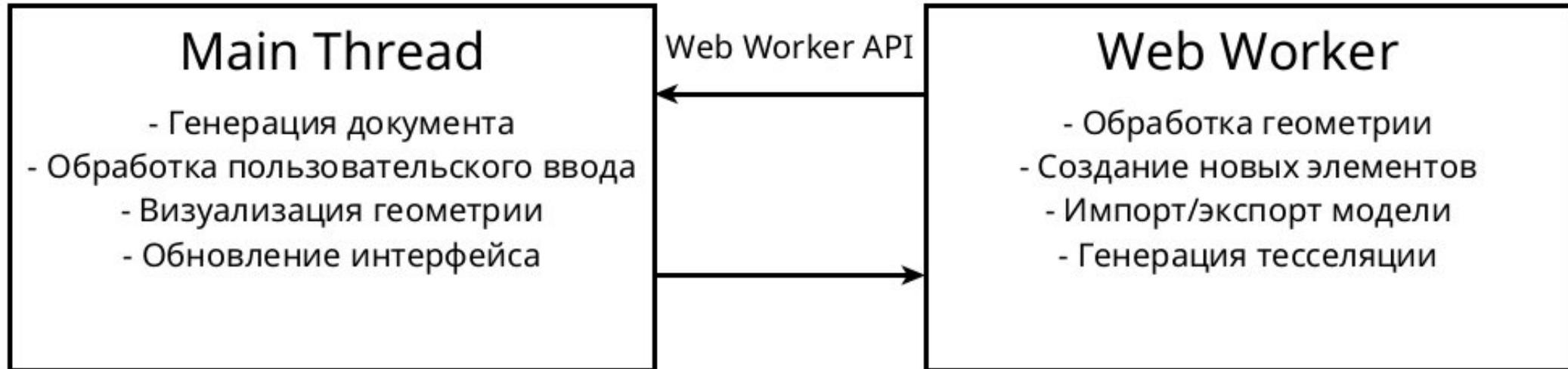


<sup>1</sup>WebAssembly | <https://webassembly.org/>

<sup>2</sup>Emscripten | <https://emscripten.org/>

# Особенности веб-реализации

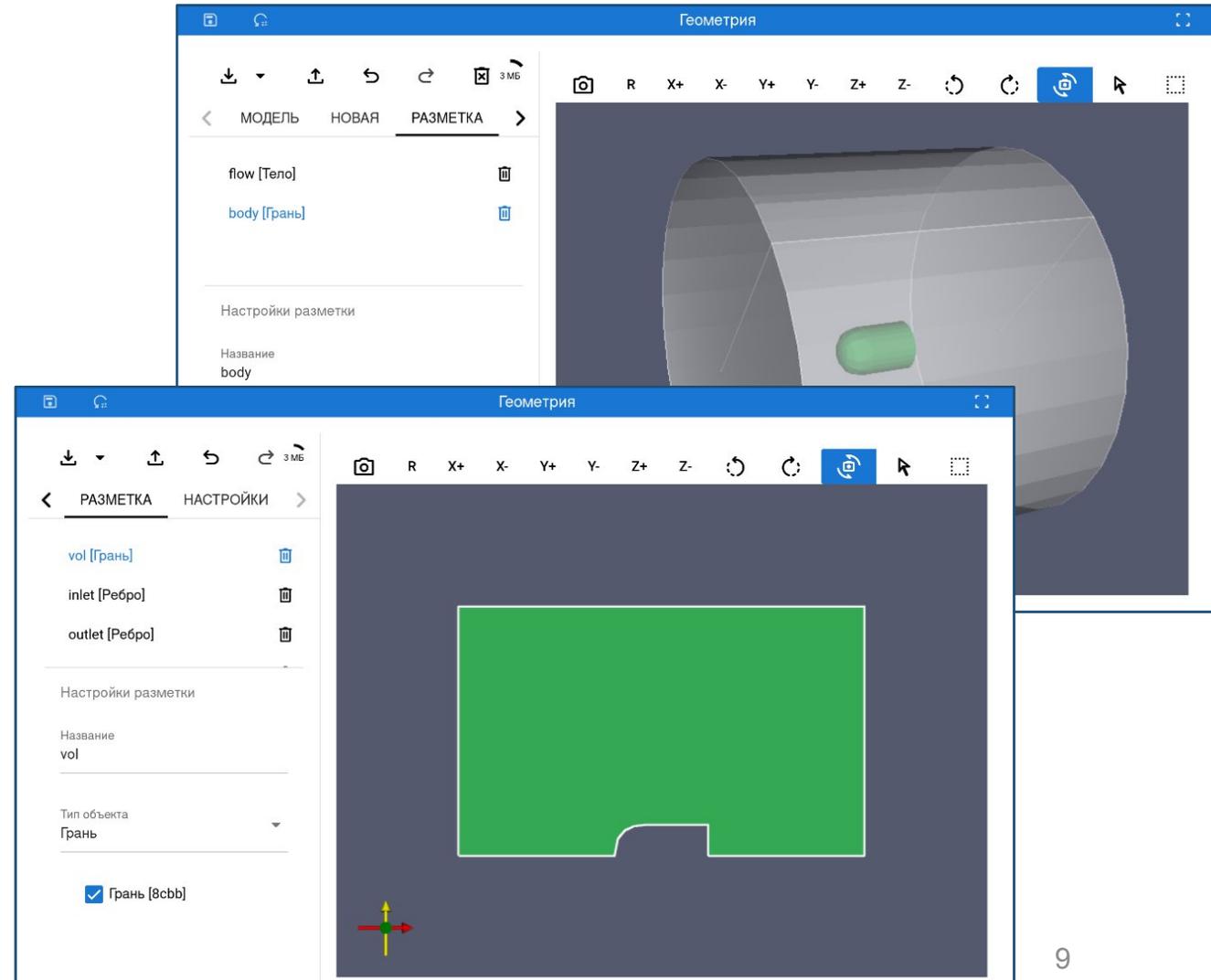
- Окружение веб-браузера использует один поток для исполнения JS, компоновки DOM и отрисовки графики
- Операции с геометрией могут быть вычислительно сложны, что приведет к замедлению обновлений интерфейса
- Выход: исполнение геометрических операций в веб-воркере<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Web Workers API | [https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/API/Web\\_Workers\\_API](https://developer.mozilla.org/ru/docs/Web/API/Web_Workers_API)

# Визуализация и разметка

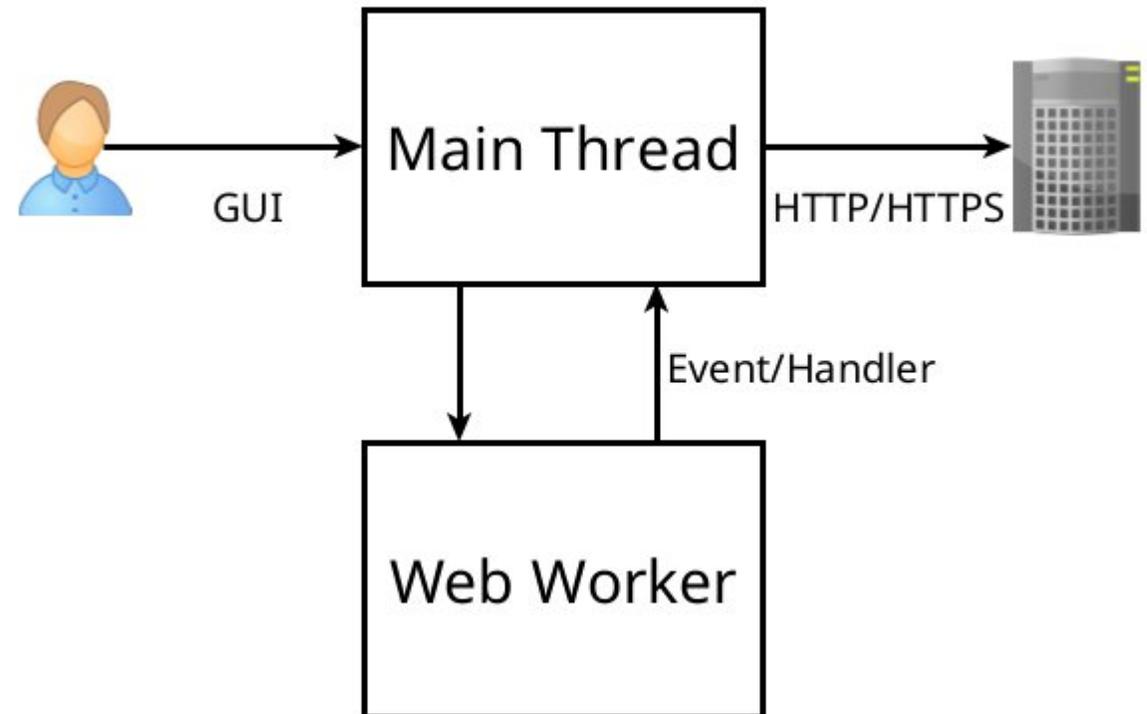
- Визуализация реализуется средствами VTK.js<sup>1</sup>
- Изменение объекта приводит к генерации в веб-воркере новой тесселяции
- Разметка хранится отдельно (json). Она позволяет объединить элементы одной размерности под единым псевдонимом
- Формы задания исходных данных генерируются для каждой из разметок при необходимости



<sup>1</sup>VTK.js | <https://kitware.github.io/vtk-js/index.html>

# Схема взаимодействия

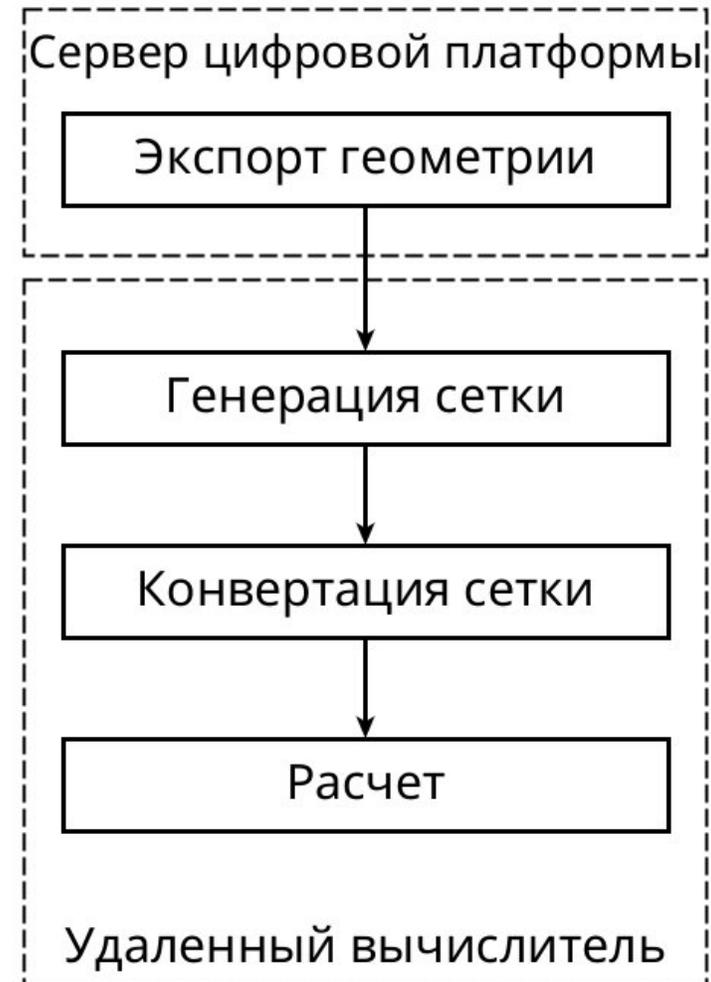
- Передача результатов пользовательского взаимодействия веб-воркеру
- Обработка запроса веб-воркером
- Генерация события: новые объекты/разметка, модификация существующих элементов модели, удаление элементов модели
- Запрос главным потоком новой тесселяции, обновление элементов интерфейса и визуального представления модели



# Использование геометрического представления в расчетах

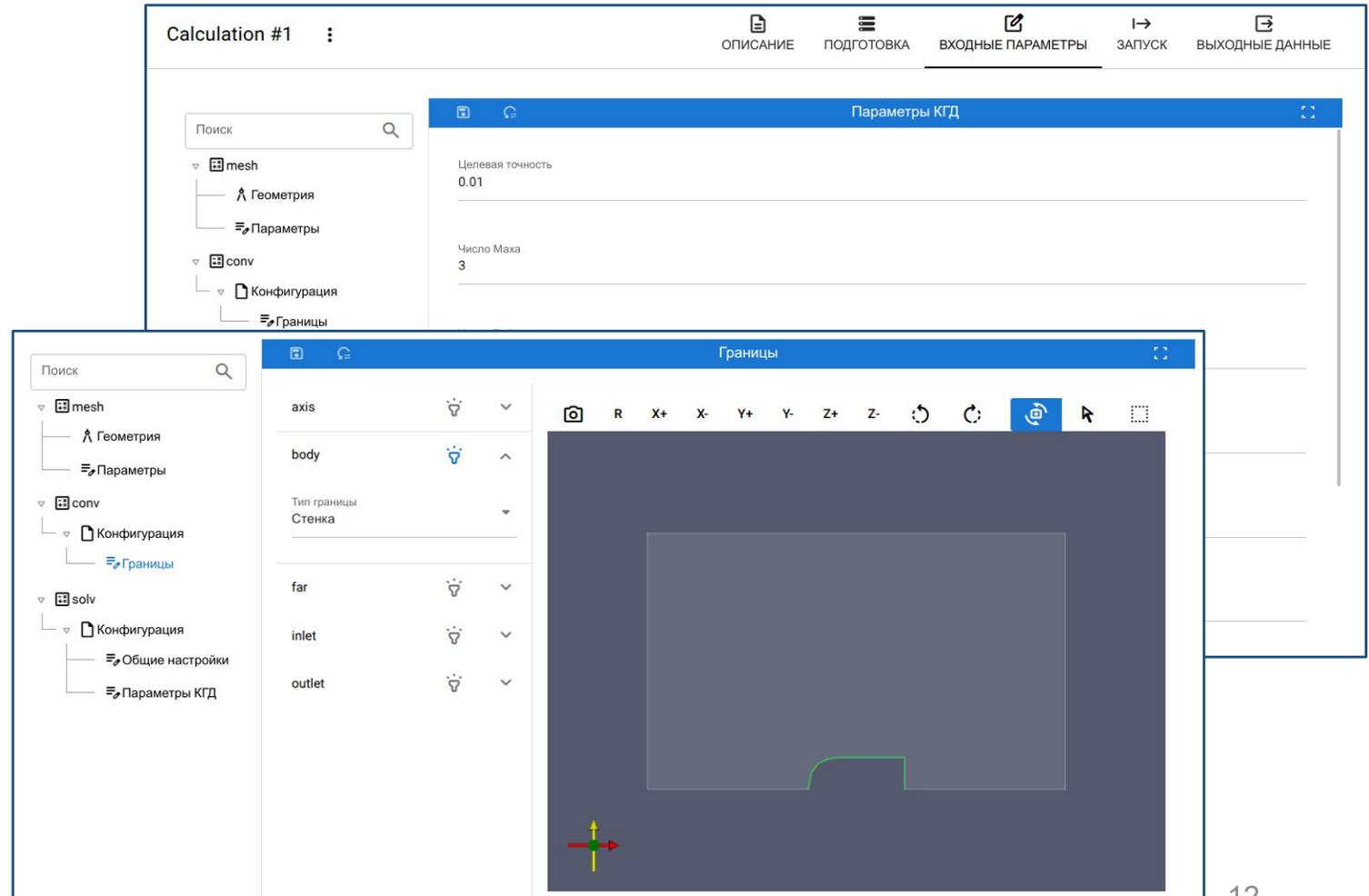
В рамках общего сценария:

- Экспорт модели области в требуемый формат (brep, step, iges) и отправка совместно с разметкой на удаленный вычислитель
- Генерация расчетной сетки на удаленном вычислителе (средствами gmsh)
- Конвертация сеточной модели в представление солвера
- Проведение расчета



# Пример вычислительного эксперимента. Подготовка данных

- Задание геометрии и разметки
- Задание параметров расчета и граничных условий
- Сохранение параметров расчета



# Пример вычислительного эксперимента. Запуск удаленных приложений

- Отправка конфигурационных и файлов данных
- Запуск приложения в пакетном режиме на удаленном вычислителе
- Слежение за выполнением задания
- При выполнении задания автоматический запуск последующего
- Синхронизация результатов предыдущего задания

Calculation #1

ОПИСАНИЕ ПОДГОТОВКА ВХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ **ЗАПУСК** ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Список псевдонимов

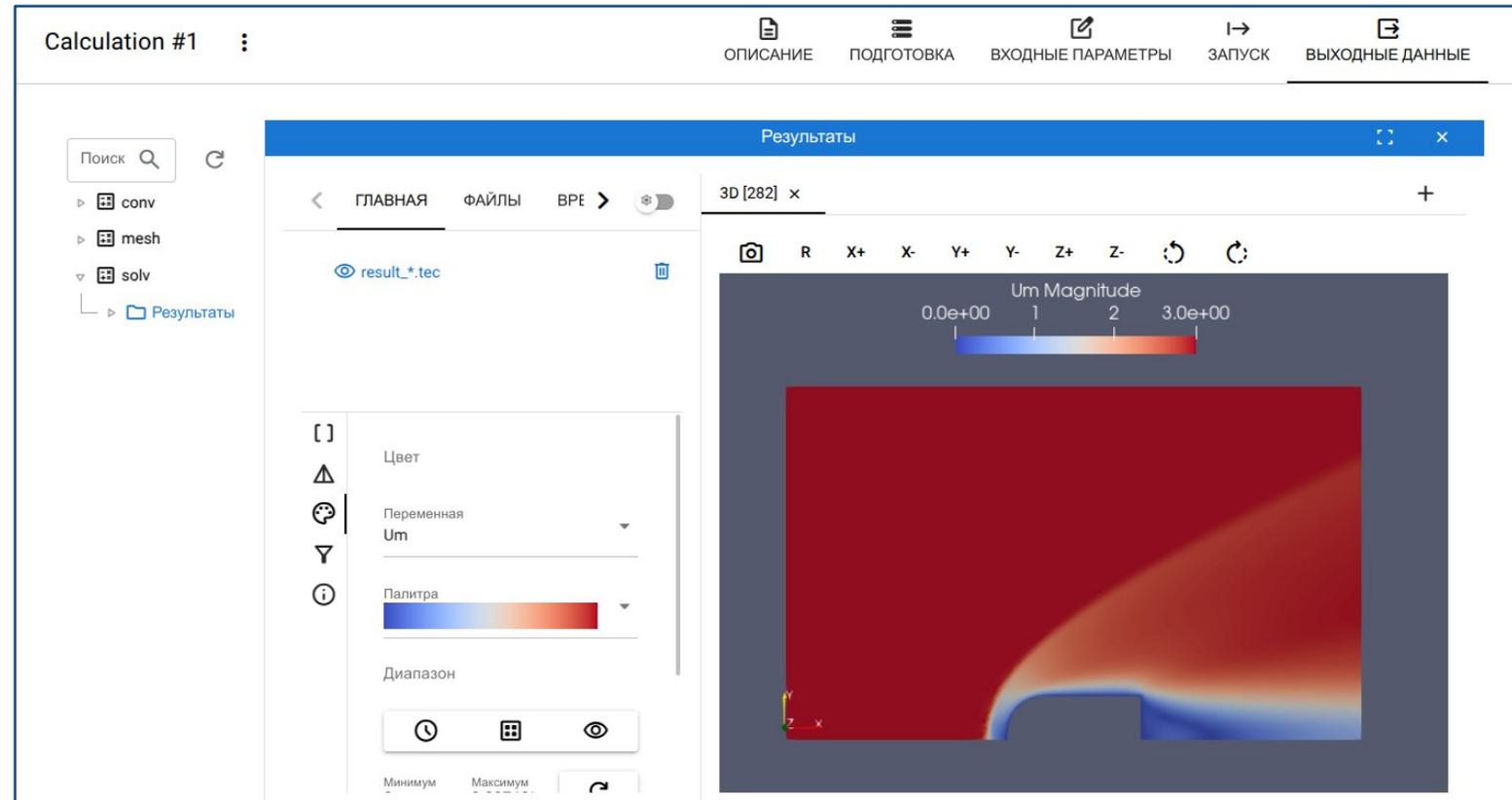
Псевдоним	Параметры запуска		<input checked="" type="checkbox"/> Потоки
mesh		ВЫВОДА	ОШИБКИ
conv		ВЫВОДА	ОШИБКИ
solv		ВЫВОДА	ОШИБКИ

Этап: 3, Статус: Готов

Этап	Статус		
run(mesh)	1266881: Готов	▶	□
run(conv)	1267195: Готов	▶	□
run(solv)	1267471: Готов	▶	□

# Пример вычислительного эксперимента. Анализ результатов расчета

- Программная платформа ParaViewWeb<sup>1</sup> позволяет применять удаленную серверную отрисовку данных
- Возможности обработки и отрисовки данных соответствуют ParaView
- Отсутствует необходимость загрузки большого объема данных
- Снижение требований к компьютеру пользователя, как в аппаратной, так и в программной частях



<sup>1</sup>ParaViewWeb | <https://kitware.github.io/paraviewweb/index.html>

# Заключение

- Рассмотрена проблема компьютерного моделирования течения около летательных аппаратов
- Представлена цифровая платформа для проведения суперкомпьютерных вычислительных экспериментов
- Предложена архитектура и реализация веб-компонента задания геометрии
- С помощью разработанного компонента проведено моделирование сверхзвукового обтекания составного осесимметричного тела

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 25-11-00099.

## Спасибо за внимание!