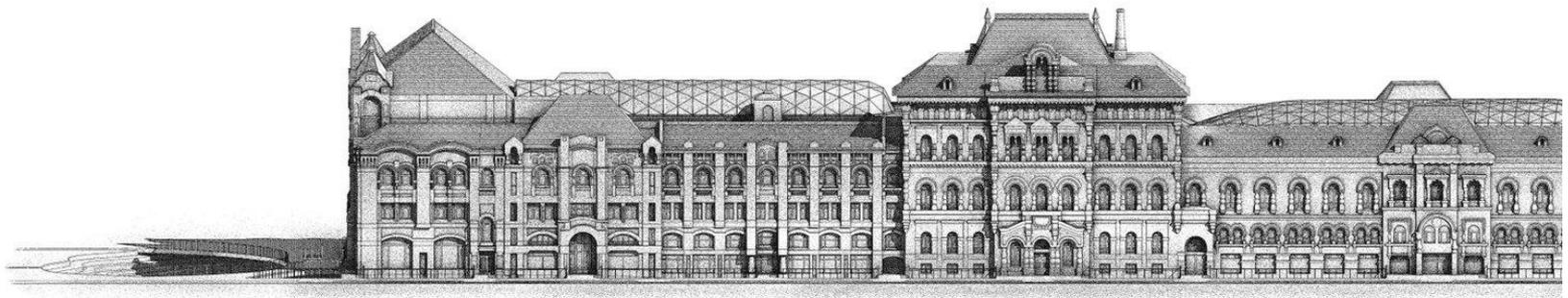


# Устройство криволинейных светопрозрачных куполов в рамках реконструкции ФГБУК «Политехнический музей»



## Содержание

- **Введение. Архитектурные решения**
  - Историческая справка
  - Концепция
  - Варианты решения куполов
  - Финальный вариант
- **Конструктивные решения**
  - Основание
  - Купольная конструкция
- **Построение расчетной схемы оболочки**
  - Статический расчет
  - Расчет узлов и стержней
  - Устойчивость к прогрессирующему обрушению
- **Параметрическое программирование**
- **Изготовление и монтаж конструкций**

# Введение. Архитектурные решения

## *Историческая справка*

- 1872 г. – основание музея;
- Строительство проходило в три очереди, срок – 30 лет:

1877 г. – центральная часть здания музея (архитектор И.А. Монигетти);

1883 - 1896 г. – правое (южное) крыло здания музея (архитектор Н.А. Шохин);

1903 -1907 г. – левое (северное) крыло здания музея (архитектор Г.И. Макаева);

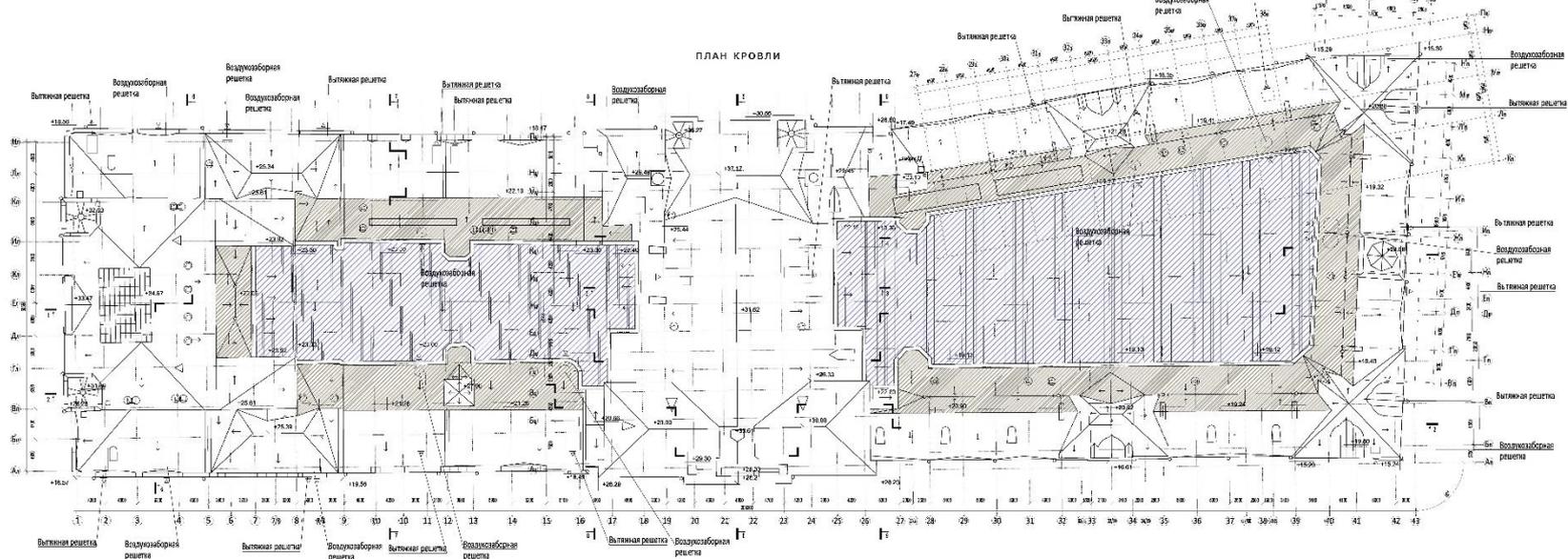
- Статус особо ценного объекта национального наследия;



# Введение. Архитектурные решения

## Концепция

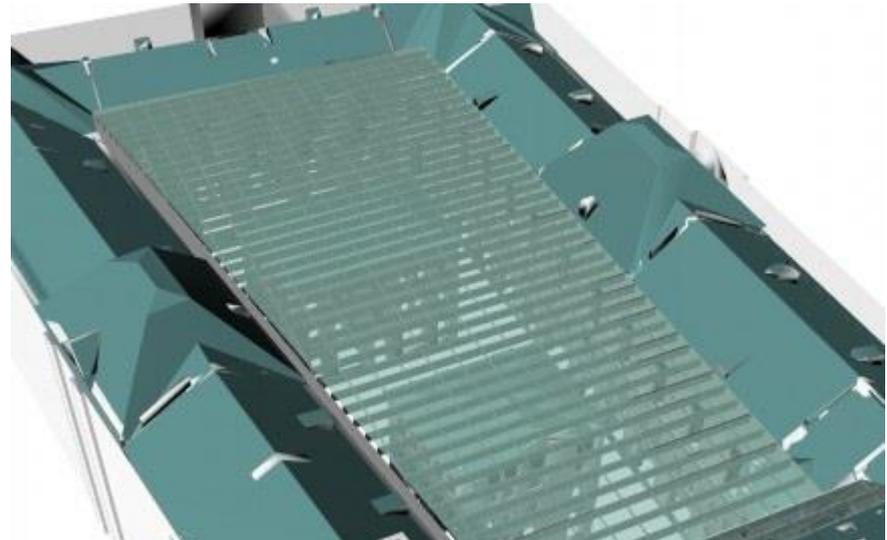
- 2011 г. – победитель конкурса на реконструкцию музея проект японского архитектора Junya Ishigami;
- Создание светопрозрачной крыши над внутренними дворами;



# Введение. Архитектурные решения

## *Варианты решения куполов*

- Плоская стеклянная кровля на системе перекрестных главных (сечением 800x150 мм) и второстепенных стальных балок
  - замена стальных на цельностеклянные балки (макс реализованный пролет 15,5 метров);
- Недостатки:
  - значительные снеговые нагрузки;
  - высокая металлоёмкость;
  - визуально «тяжелая» конструкция;
  - типовое решение;

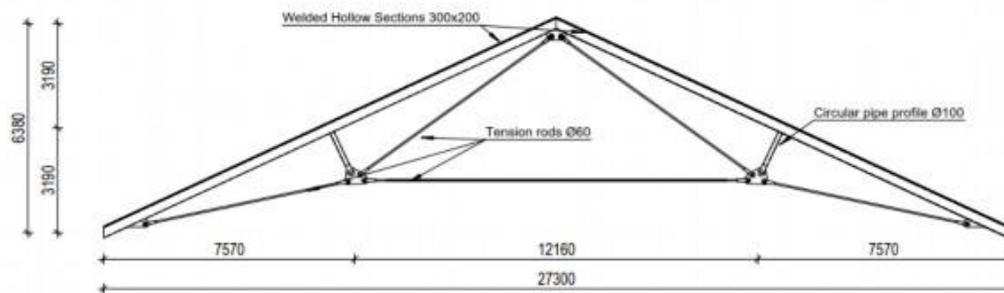


# Введение. Архитектурные решения

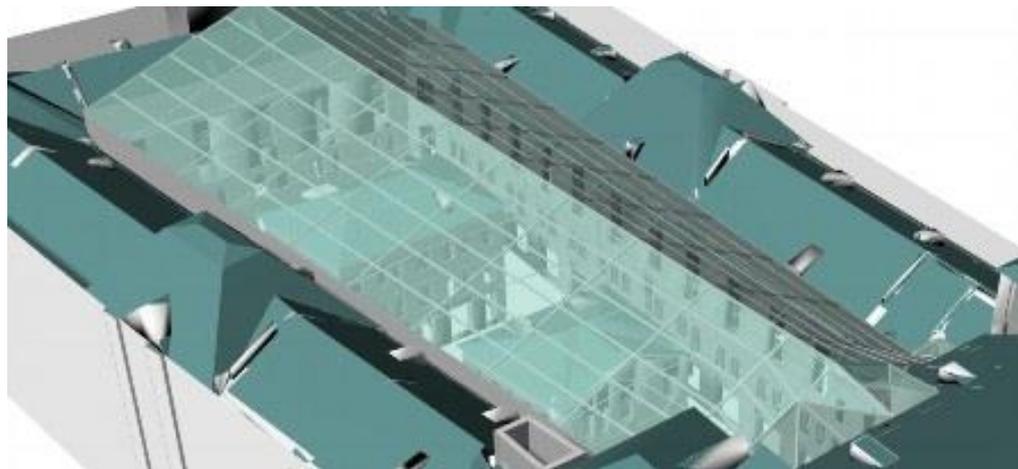
## Варианты решения куполов

- Двускатная кровля на растяжных стропилами 300x200 мм  
 стеклянная система из ферм со сечением

Polonceau Truss  
Distance 4.50 m



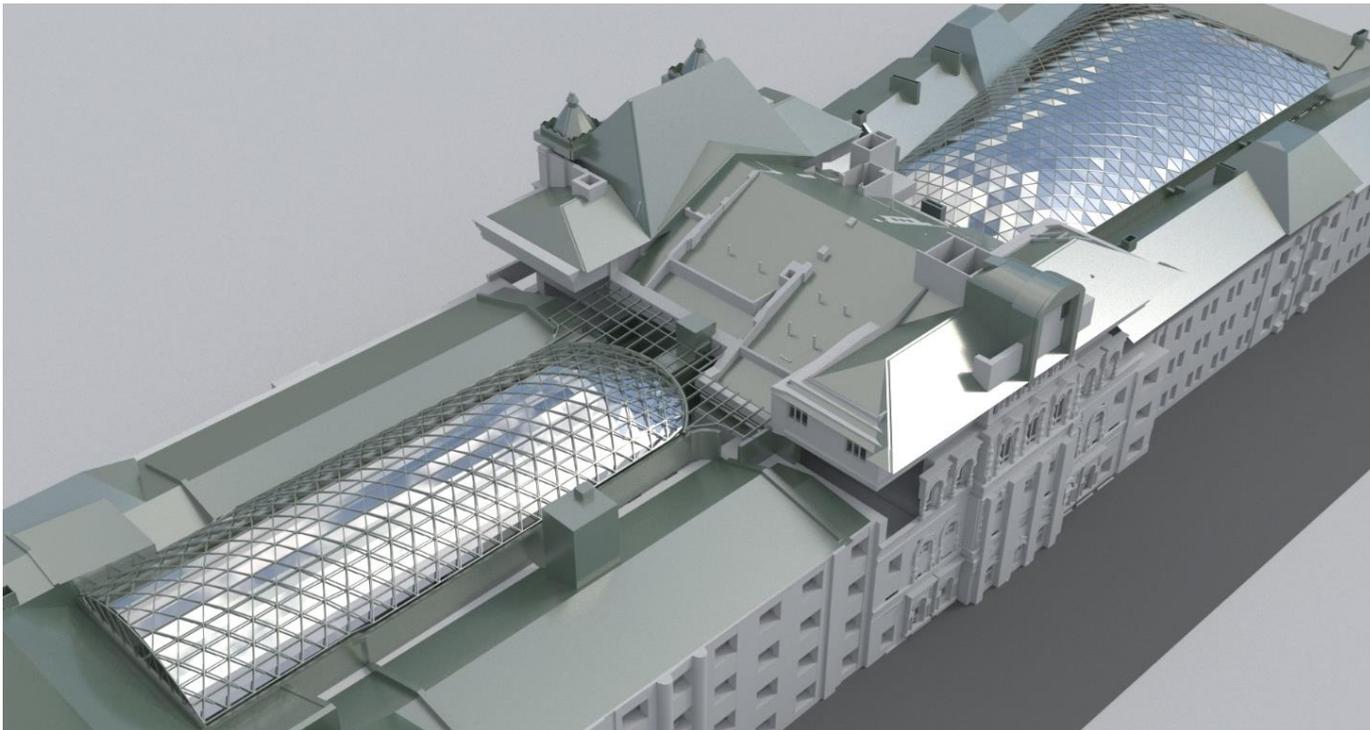
- Недостатки:
  - средняя металлоёмкость;
  - типовое решение;



# Введение. Архитектурные решения

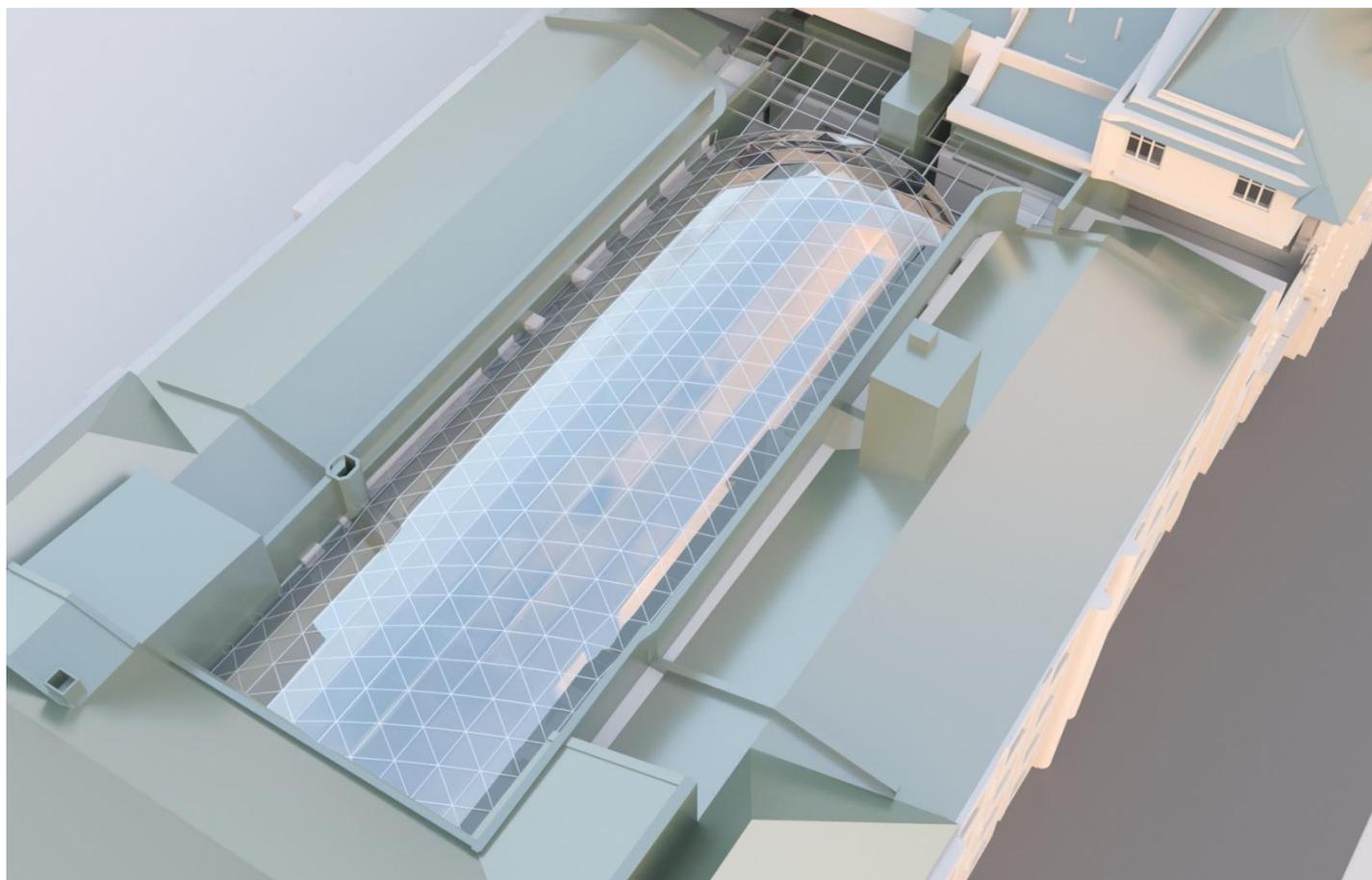
## *Финальный вариант*

- Оболочка свободной геометрии на базе сетки треугольного членения
- Недостатки:
  - высокие требования к контролю качества при производстве конструкции;
  - ограниченное количество подрядных компаний способных изготовить и смонтировать подобную структуру;



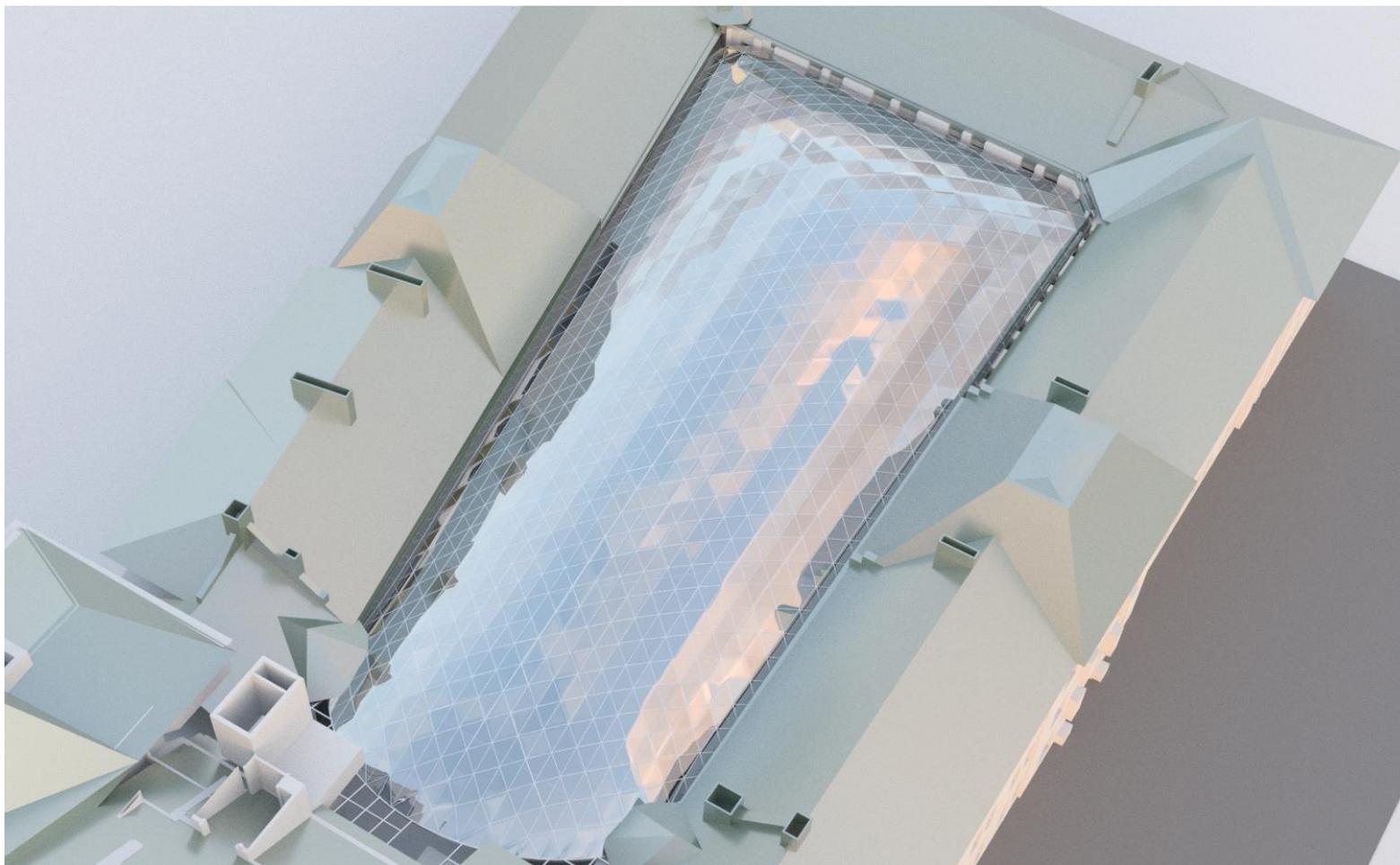
# Конструктивные решения

- Северный двор
  - в плане прямоугольник - 20 x 50 м;
  - площадь оболочки - 1000 кв.м;



# Конструктивные решения

- Южный двор
  - в плане трапеция - основания 20 и 35 м, боковые стороны 56 и 58 м;
  - площадь поверхности оболочки - 2000 кв.м;



# Конструктивные решения

## Основание

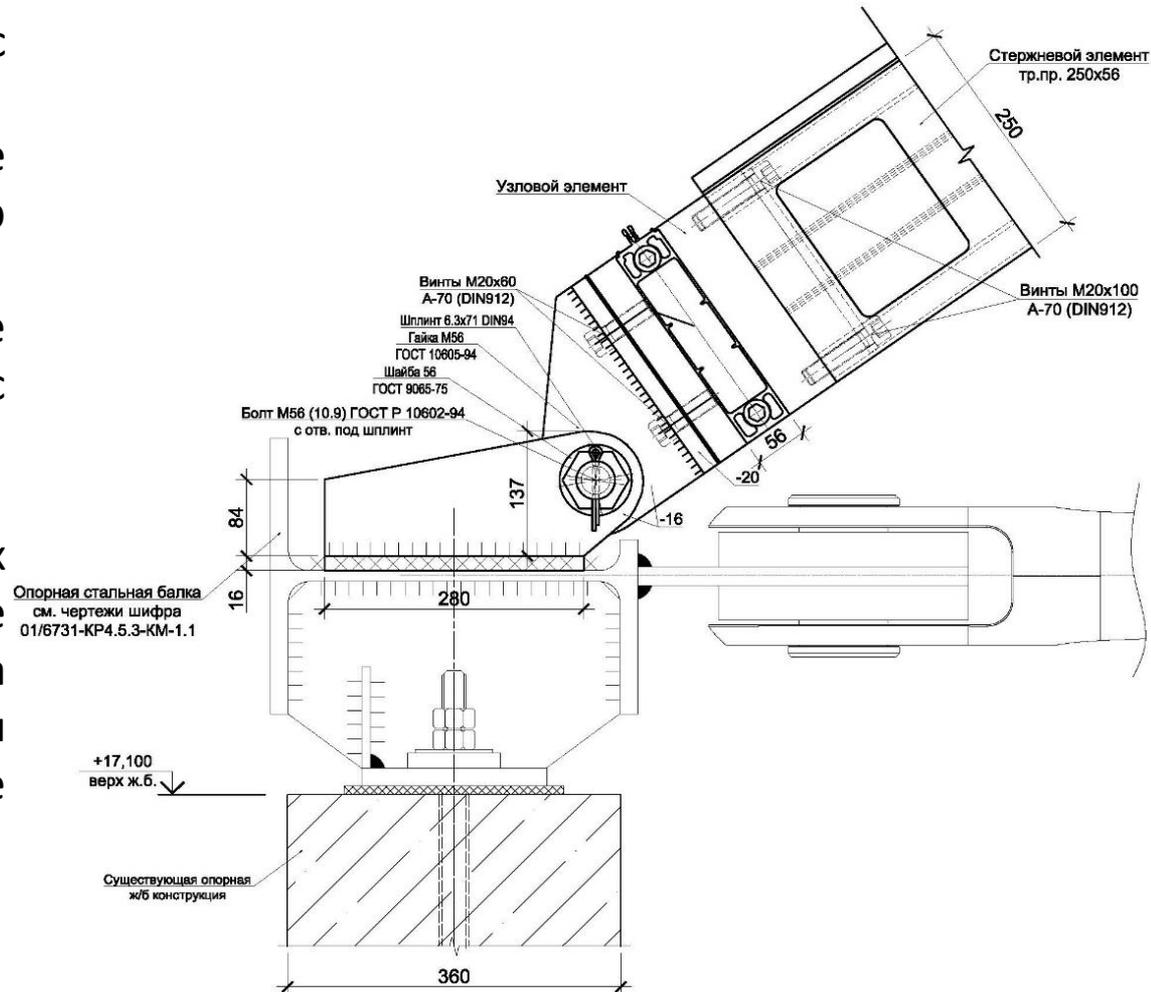
- Монолитный ж/б пояс:
  - передает вертикальных нагрузки на ж/б колонны, независимые от исторического здания;
  - не позволяет воспринимать значительные горизонтальные нагрузки в поперечном направлении (из плоскости конструкции);
  
- Стальной обвязочный пояс из двутавра
  - креплением анкерами в монолитный железобетонный пояс-основание;
  - основание для светопрозрачной оболочки;



# Конструктивные решения

## Основание

- опирание на ж/б пояс стальной балки:
  - использование скользящих опор (опорных частей);
  - фторопластовые пластины с пониженным трением;
- компенсации распорных усилий – стягивание стального пояса вантовыми элементами (стальные высокопрочные тросы)



# Конструктивные решения

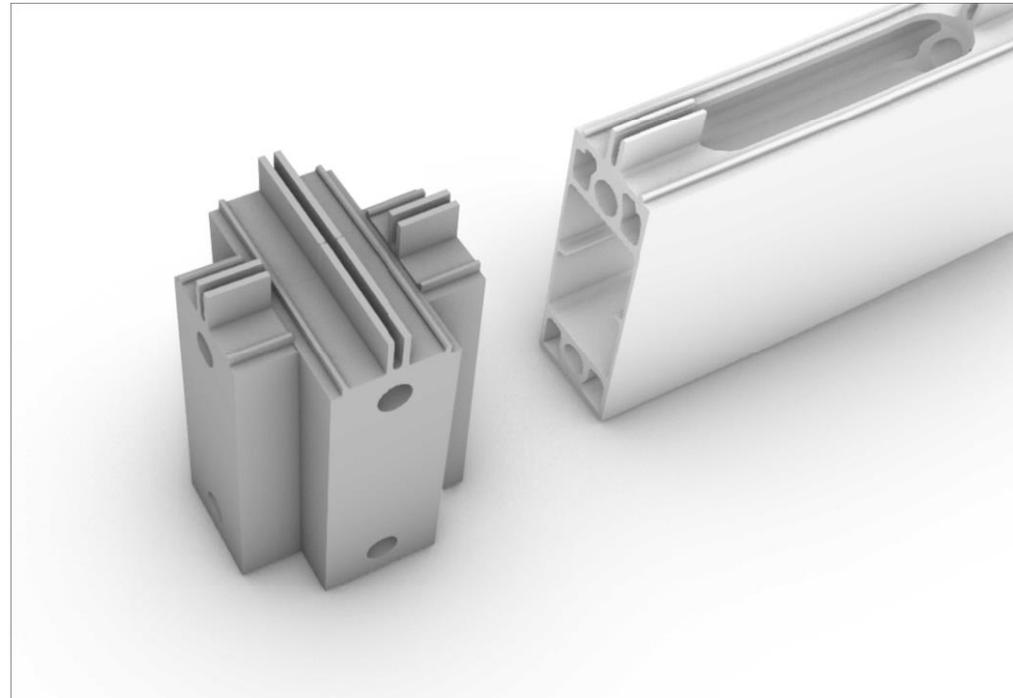
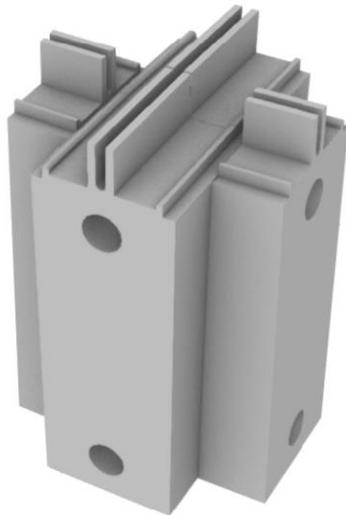
## *Основание*



# Конструктивные решения

## *Купольные конструкции*

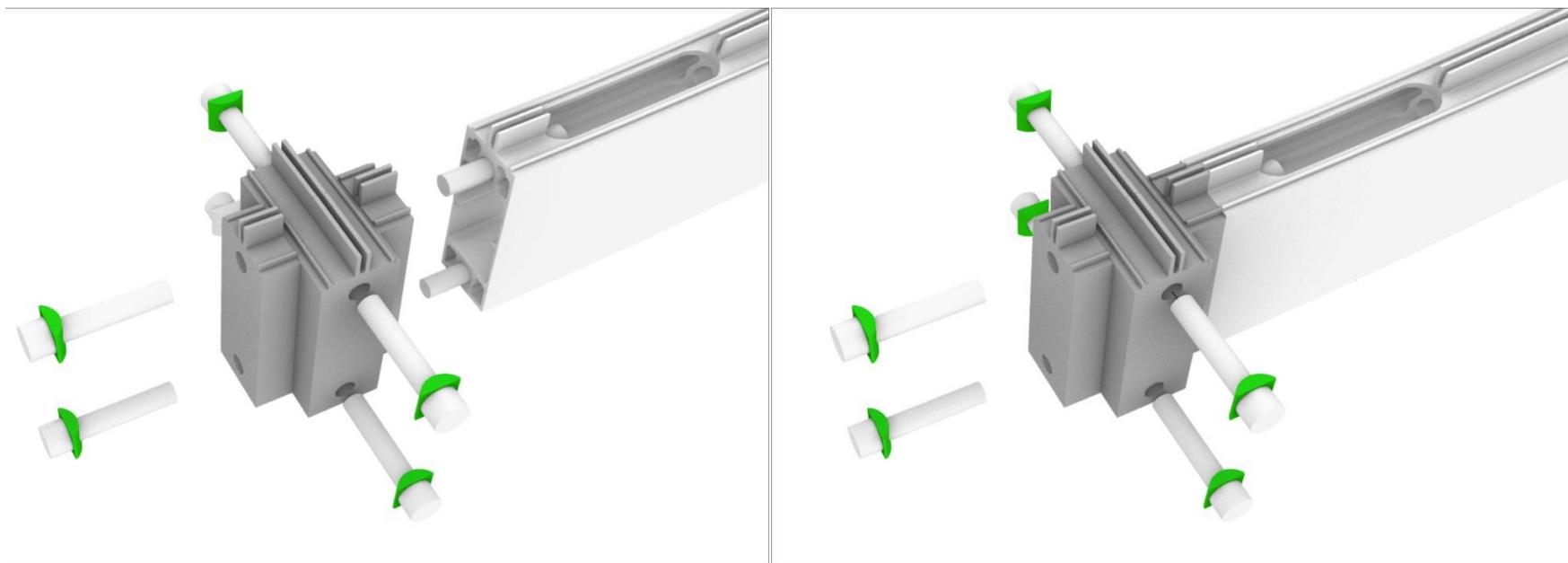
- самонесущая сетчатая структурная конструкция «SpaceStructure»;
- материал – высокопрочный алюминиевый сплав АД35Т1 (EN AW-6082);



# Конструктивные решения

## *Купольные конструкции*

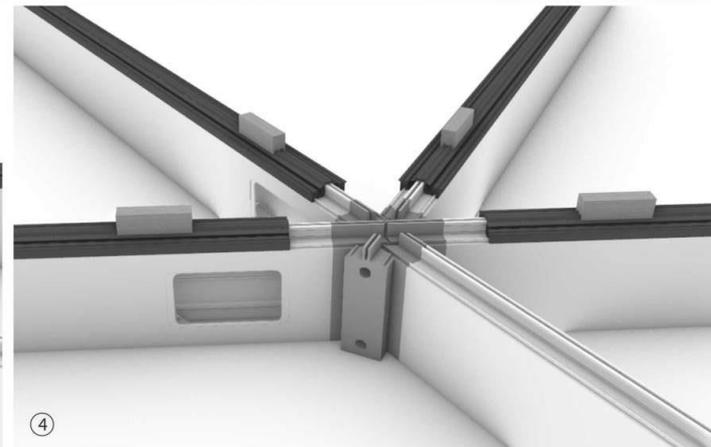
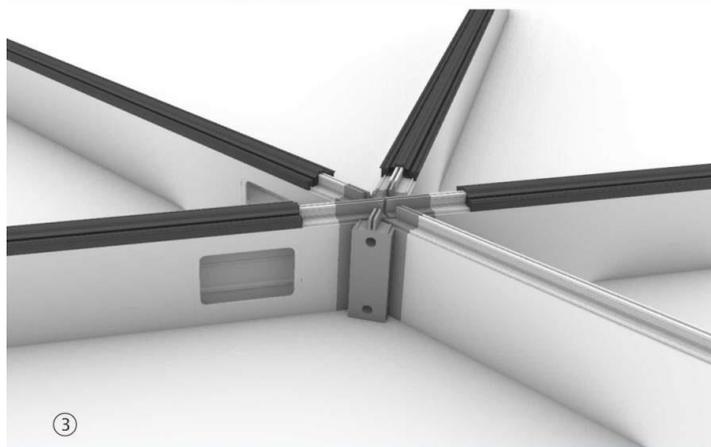
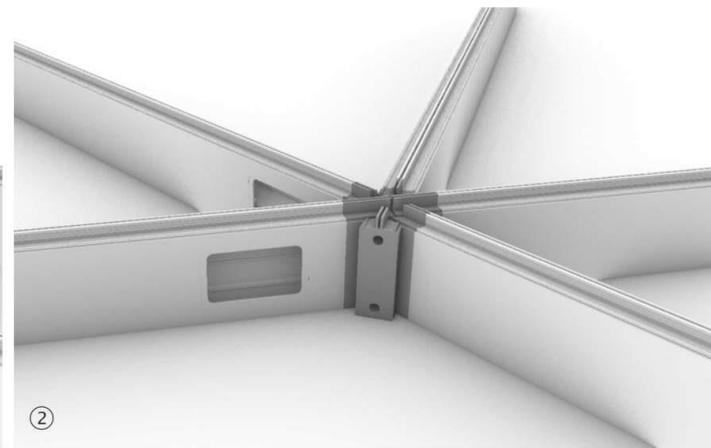
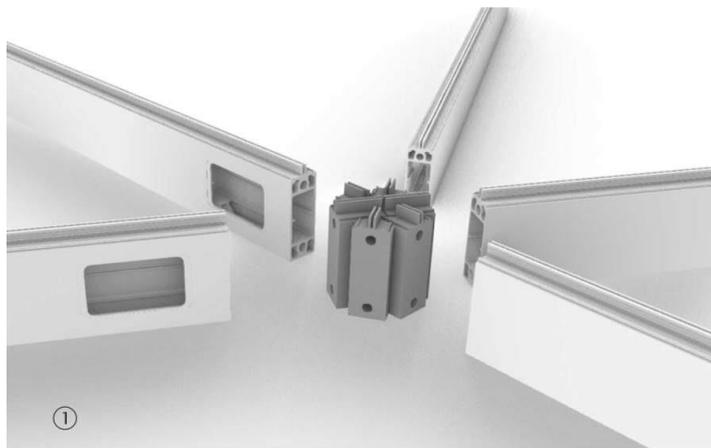
- самонесущая сетчатая структурная конструкция «SpaceStructure»;
- материал – высокопрочный алюминиевый сплав АД35Т1 (EN AW-6082);



# Конструктивные решения

## *Купольные конструкции*

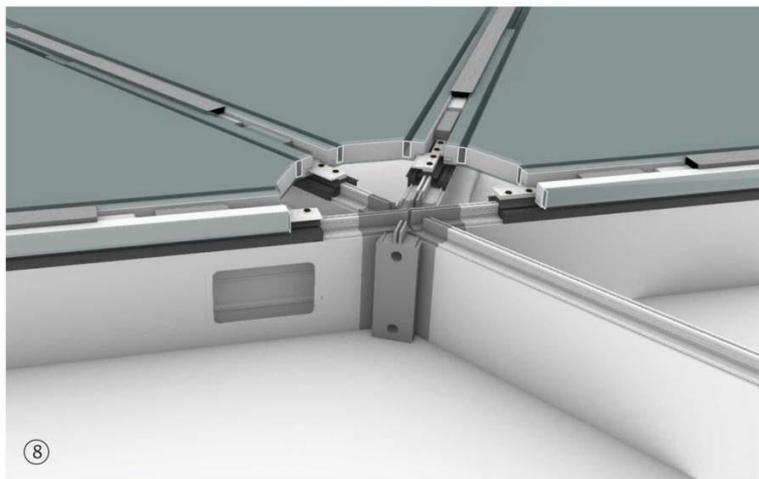
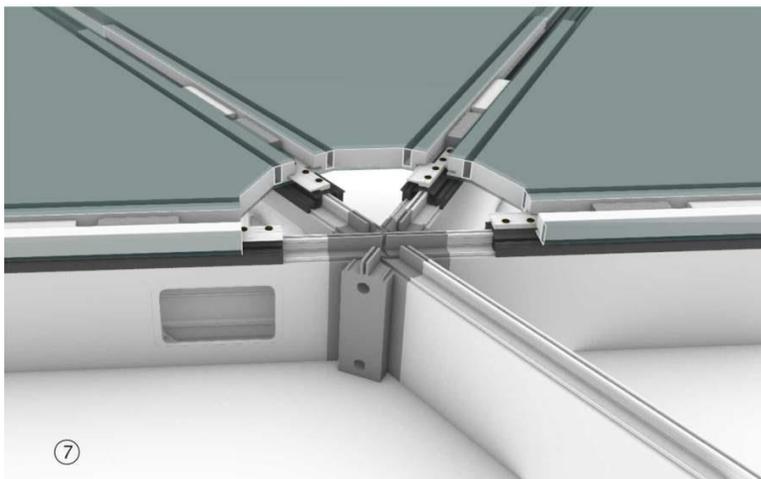
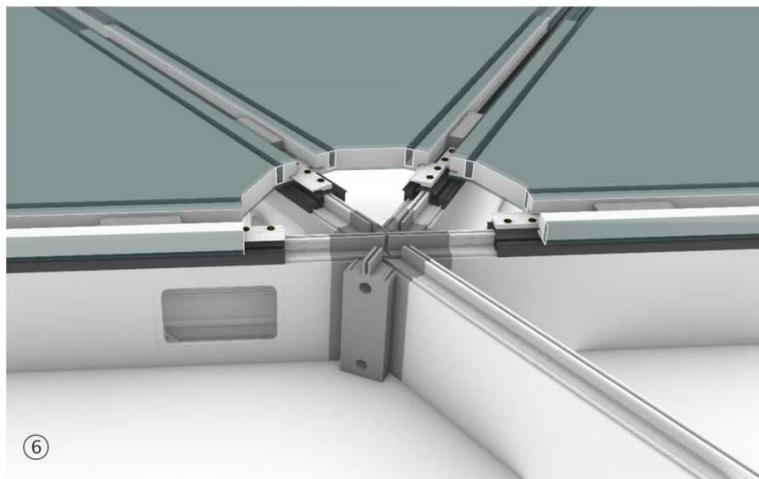
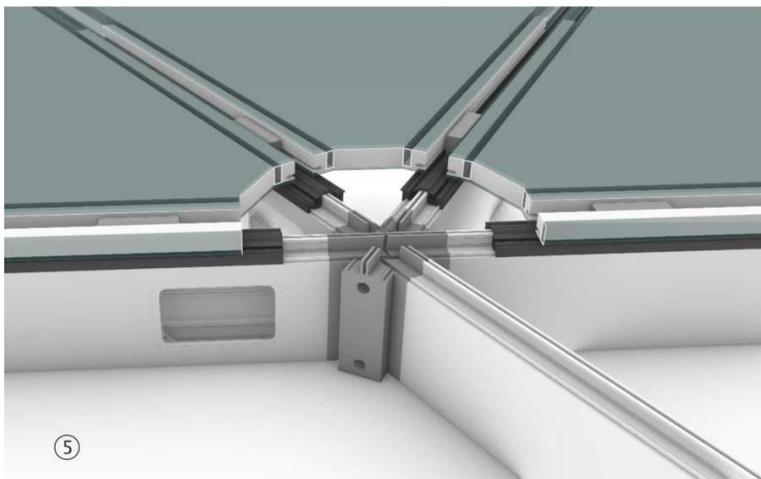
- самонесущая сетчатая структурная конструкция «SpaceStructure»;
- материал – высокопрочный алюминиевый сплав АД35Т1 (EN AW-6082);



# Конструктивные решения

## *Купольные конструкции*

- самонесущая сетчатая структурная конструкция «SpaceStructure»;
- материал – высокопрочный алюминиевый сплав АД35Т1 (EN AW-6082);



# Конструктивные решения

## Купольные конструкции

- самонесущая сетчатая структурная конструкция «SpaceStructure»;
- материал – высокопрочный алюминиевый сплав АД35Т1 (EN AW-6082);

### EN AW-6082 | DATA SHEET

The alloy EN AW-6082 is a high strength alloy for highly loaded structural applications. Typical applications are scaffolding elements, rail coach parts, offshore constructions, containers, machine building and mobile cranes. Due to the fine grained structure this alloy exhibits a good resistance to dynamic loading conditions. EN AW-6082 is certified for use in marine applications.

#### Chemical composition according to EN573-3 (weight %, remainder Al)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	remarks	others	
0.70 – 1.30	max. 0.50	max. 0.10	0.40 – 1.00	0.60 – 1.20	max. 0.25	max. 0.20	max. 0.10		each max. 0.05	total max. 0.15

#### Mechanical properties according to EN755-2

Temper*	Wall thickness e***	Yield stress Rp <sub>0.2</sub> [MPa]	Tensile strength Rm [MPa]	Elongation		Hardness** HB
				A [%]	A <sub>50mm</sub> [%]	
T4	e ≤ 25	110	205	14	12	65
T5	e ≤ 5	230	270	8	6	80
T6	e ≤ 5	250	290	8	6	95
	5 < e ≤ 25	260	310	10	8	95

\* Temper designation according to EN515: T4-Naturally aged to a stable condition, T5-cooled from an elevated temperature forming operation and artificially aged, T6-Solution heat treated, quenched and artificially aged [T6 properties can be achieved by press quenching]

\*\* Hardness values are for indication only

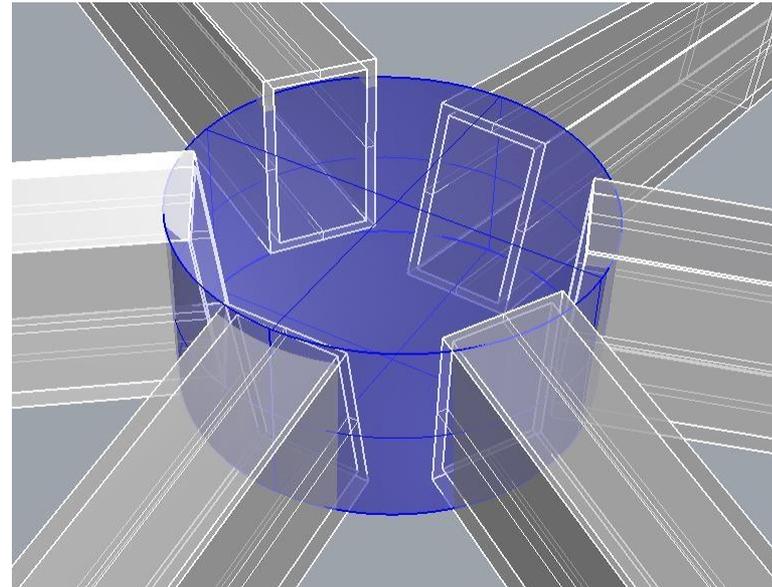
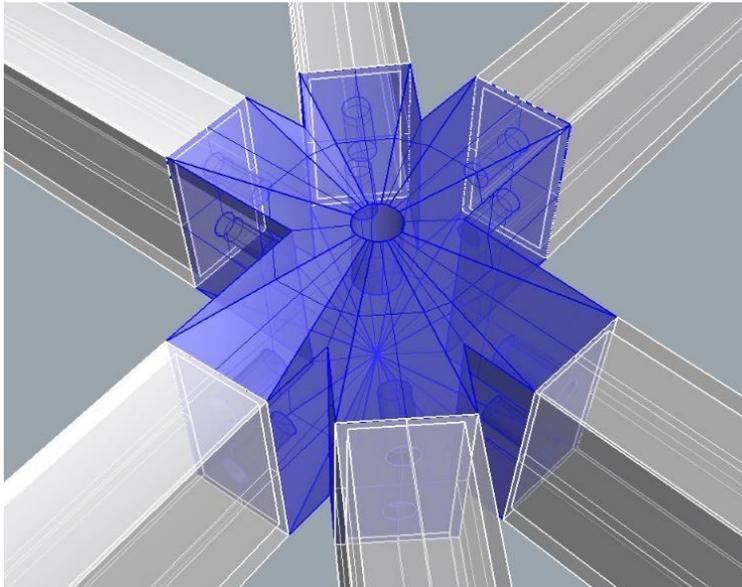
\*\*\* For different wall thicknesses within one profile, the lowest specified properties shall be considered as valid for the whole profile cross section

# Конструктивные решения

## *Купольные конструкции*

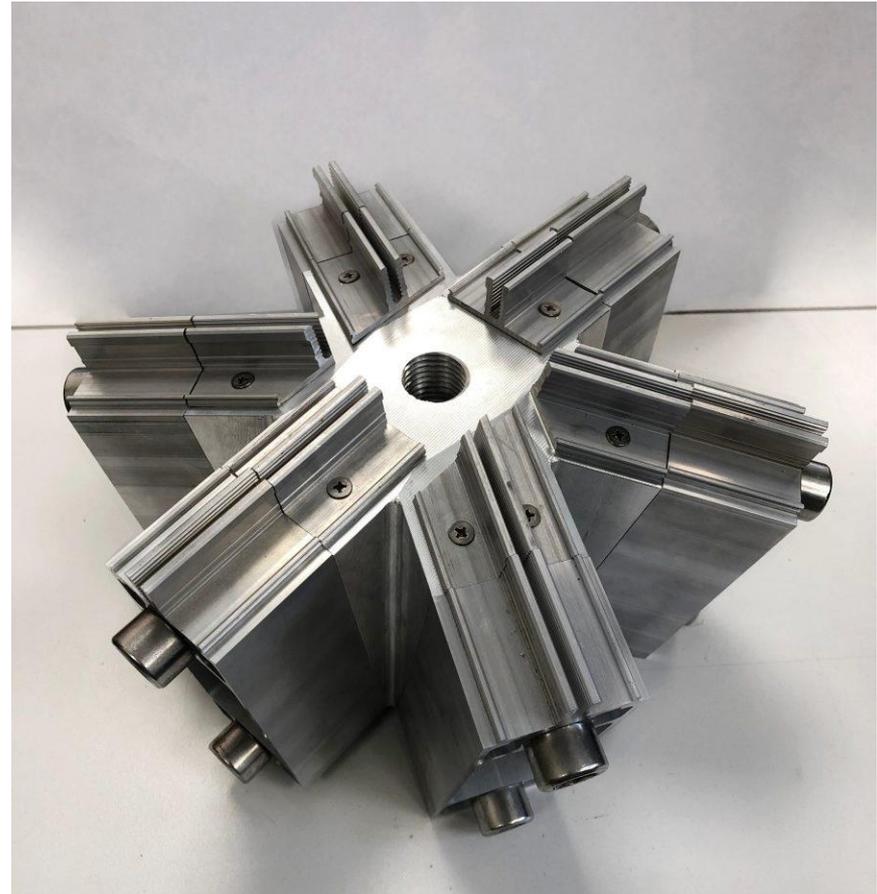
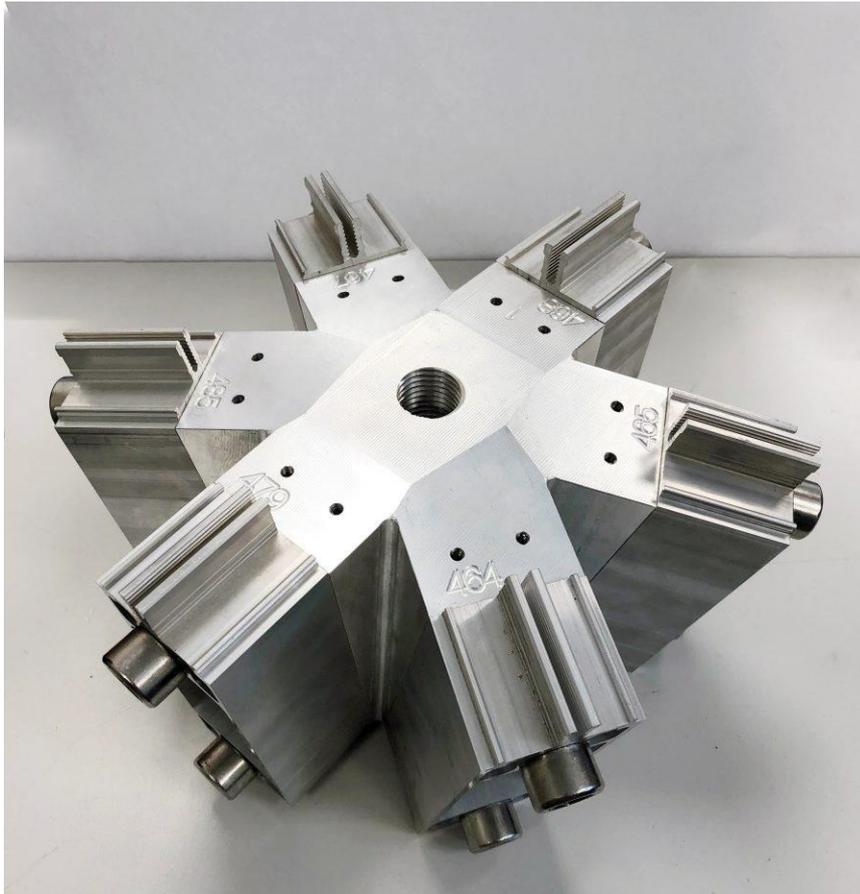
Преимущества перед сталью:

- Высокие антикоррозийные свойства материала;
- Минимальная нагрузка на несущий каркас здания (низкий собственный вес конструкций);
- Высокие архитектурно-эстетические характеристики;
  - Анодирование или полимерно-порошковое покрытие по RAL;
  - Соединение в форме «звезды»: узловой элемент является продолжением стержневых элементов;
  - Не имеет зазоров в местах стыка, более плотная посадка EPDM уплотнителей;



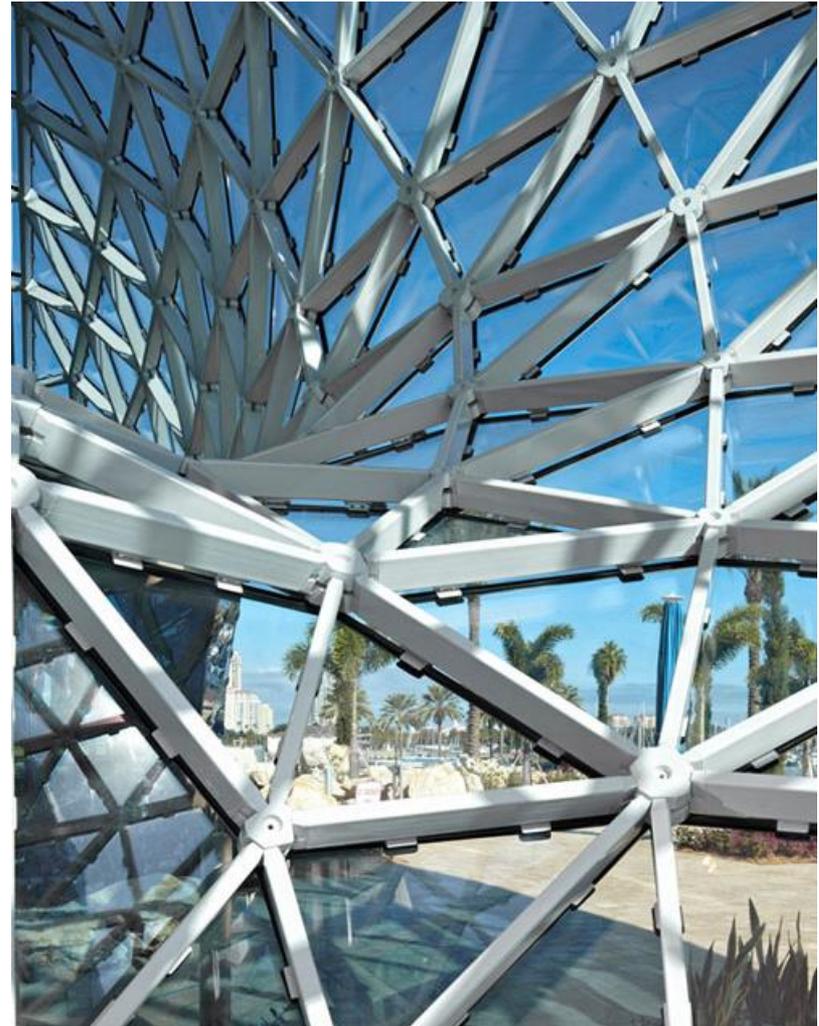
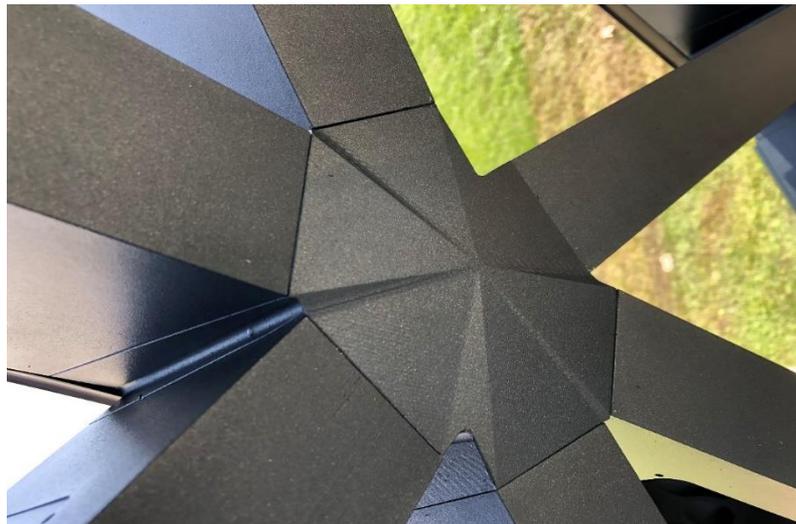
# Конструктивные решения

## *Купольные конструкции*



# Конструктивные решения

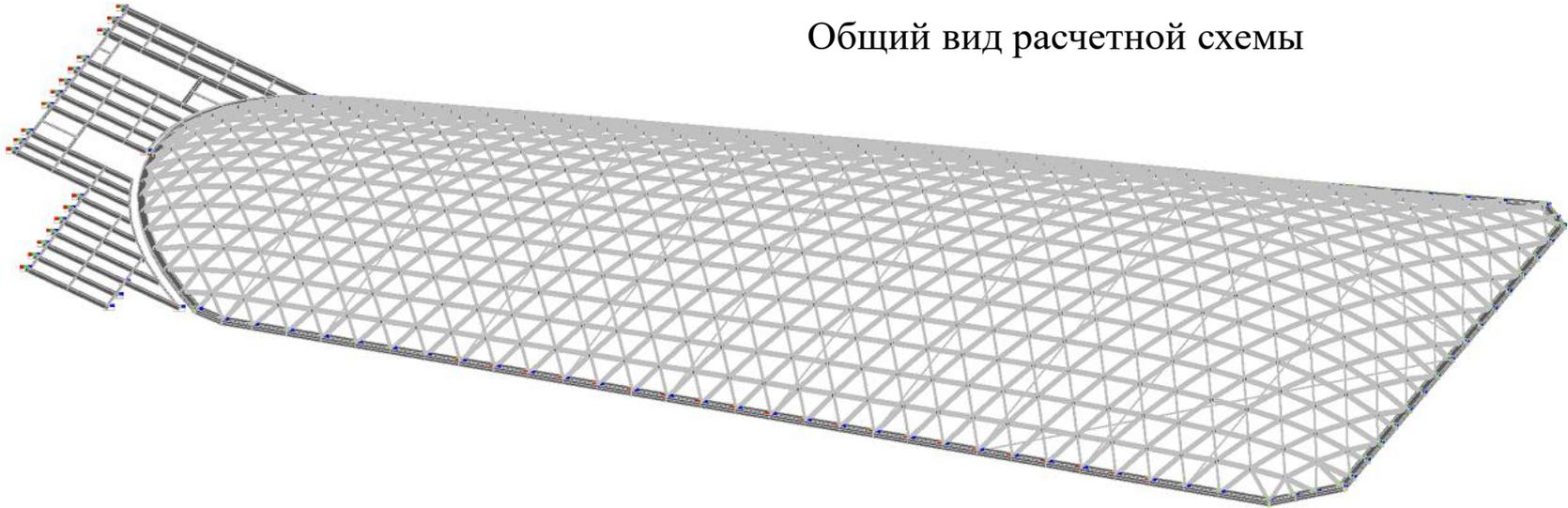
## *Купольные конструкции*



# Построение расчетной схемы оболочки

## *Статический расчет*

Общий вид расчетной схемы



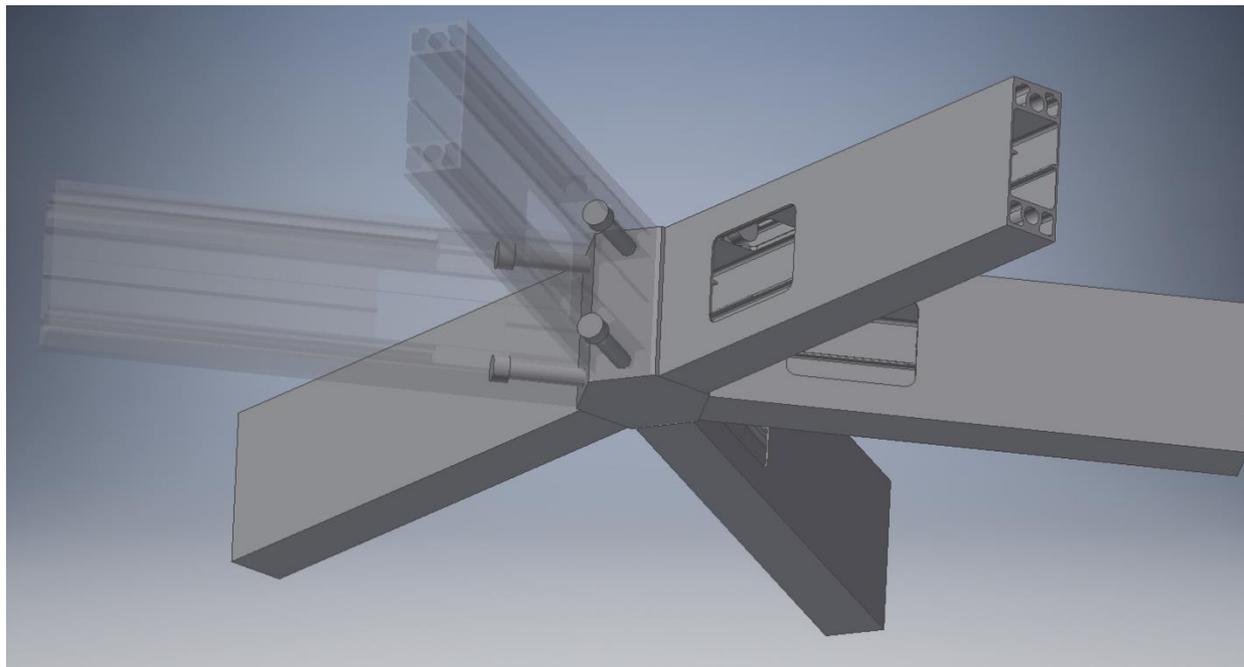
- Построение трехмерной конечно-элементной модели по архитектурным чертежам с максимальным приближением к реальным размерам с учетом всех нагрузок, жесткостей элементов и требований нормативных документов;
- Определение климатических нагрузок – согласно рекомендациям ЦНИИСК им. Кучеренко;
- Купол отвечает требованиям как к первой группе предельных состояний (по прочности и устойчивости), так и ко второй группе предельных состояний (вертикальные и горизонтальные перемещения);

# Построение расчетной схемы оболочки

## *Расчет узлового элемента*

Узловой элемент – шестигранник (коннектор) к которому подходят 6 стержневых элементов (стержней). Крепление стержня к коннектору происходит с помощью двух винтов из трубы в узел. Болты сечением М20

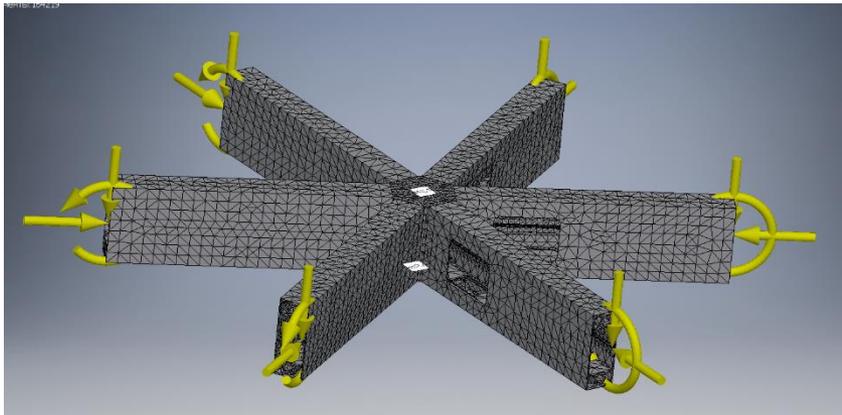
Расчет произведен на наиболее невыгодное сочетание усилий по результатам нелинейного расчета для трубы из сплава АД35Т1 в ПК SCAD Office 21.1;



# Построение расчетной схемы оболочки

## *Расчет узлового элемента*

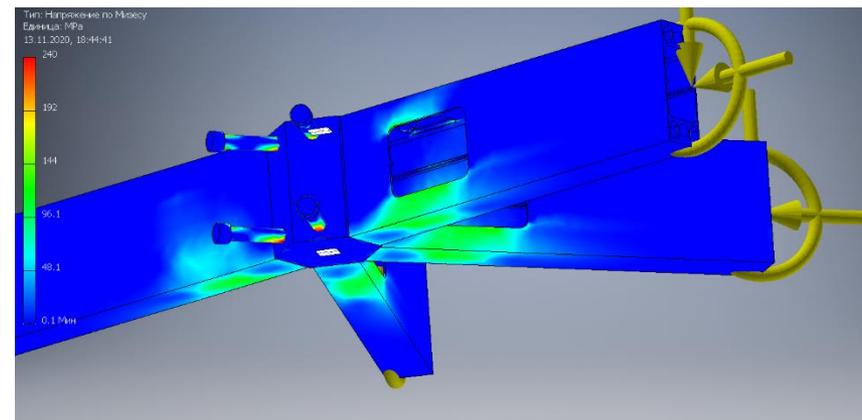
Далее после расчета в любой программе трехмерного моделирования получаем усилия, которые должен воспринимать узел и профиль.



Расчетная модель узлового соединения (нагрузки получены ранее из общей программы)

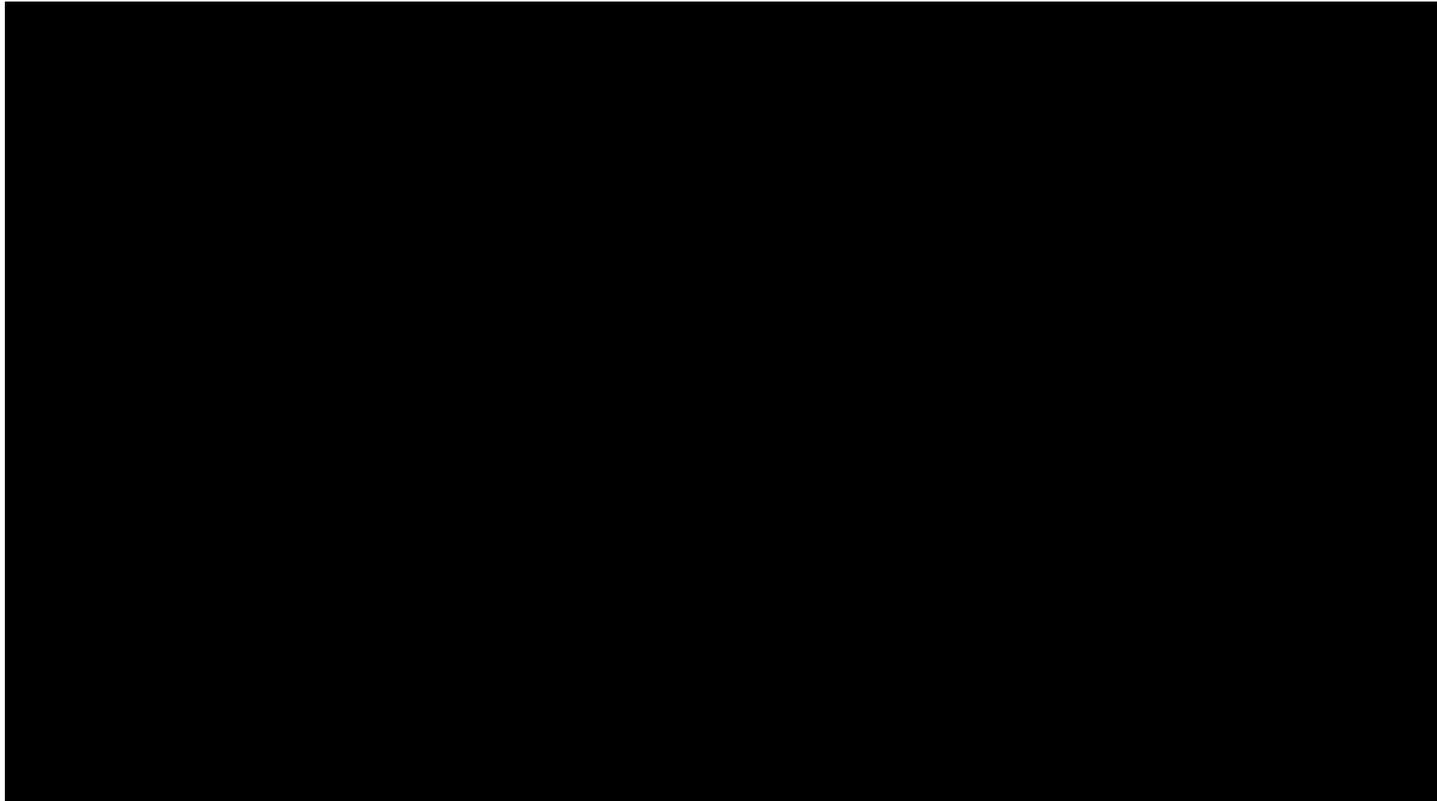
Оценка напряжений в узловом элементе, в винтовых соединениях, в стержнях.

Если напряжения не превышают предела текучести с некоторыми коэффициентами по надежности то задача решена верно.



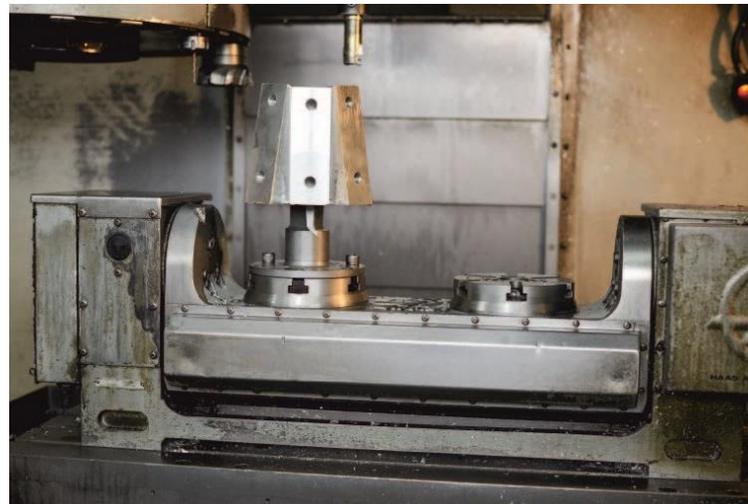
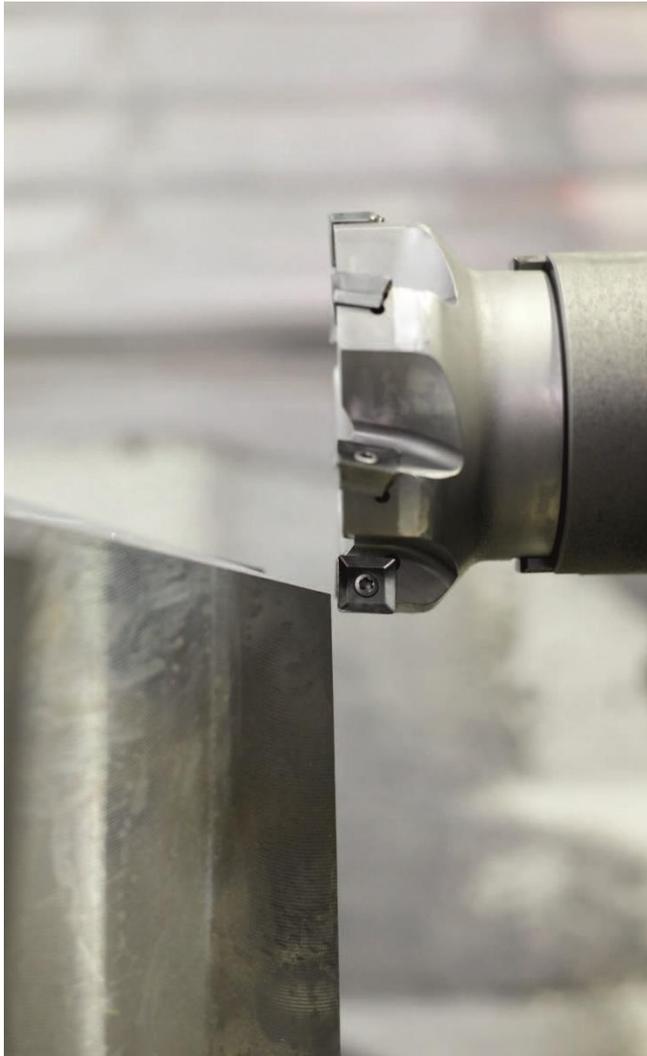


# Параметрическое программирование

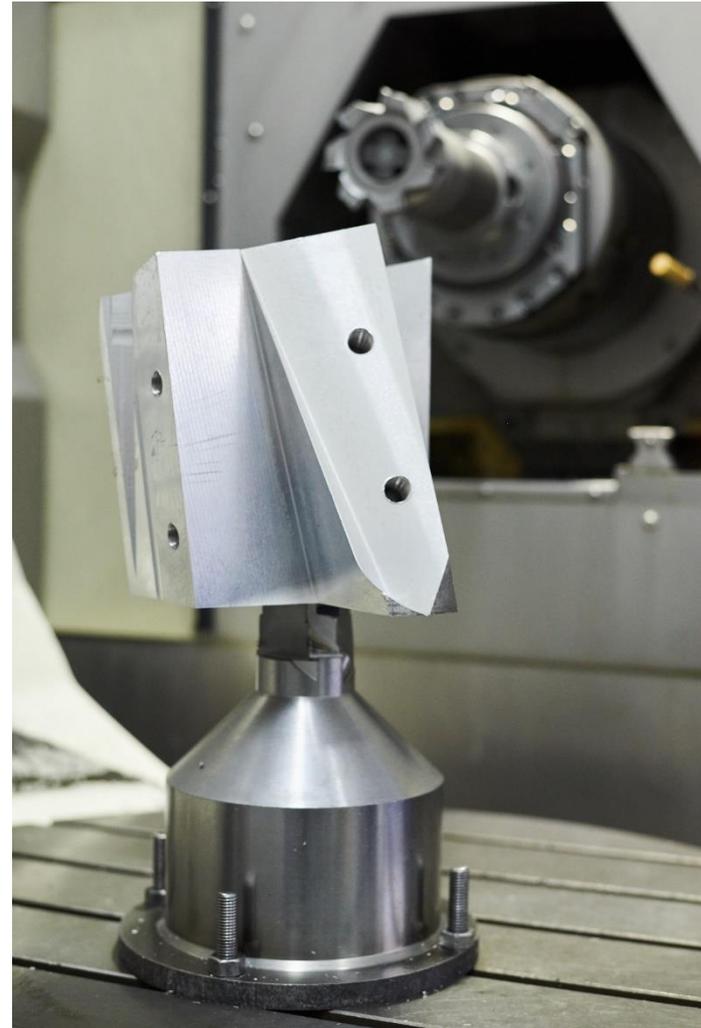
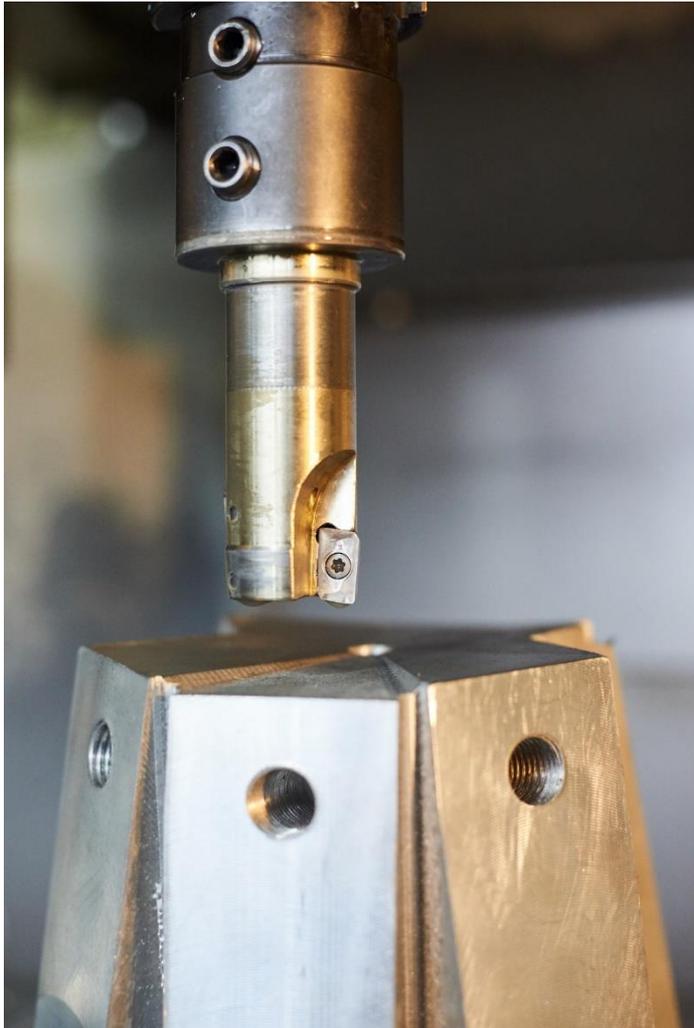


- Параметрическая модель в программном комплексе Rhinoceros/Grasshopper;
- Построение цепочки блоков, редактируемых на любом этапе кода;
- Конечная модель выстраивается по цепочке с новыми данными;

# Изготовление и монтаж конструкций



## Изготовление и монтаж конструкций



# Изготовление и монтаж конструкций

- Контроль качества продукции;
- Полная контрольная сборка конструкций перед поставкой на объект;



# Изготовление и монтаж конструкций

- Этап 1 Монтаж контурной балки;



## Изготовление и монтаж конструкций

- Этап 2 Монтаж временных тросов с установкой домкратов-натяжителей;



# Изготовление и монтаж конструкций

- Этап 3 Монтаж элементов пространственной оболочки;
- Этап 4 Установка проектных тросов;



# Изготовление и монтаж конструкций

- Этап 3 Монтаж элементов пространственной оболочки;
- Этап 4 Установка проектных тросов;



# Изготовление и монтаж конструкций

- Этап 5 Остекление и герметизация;

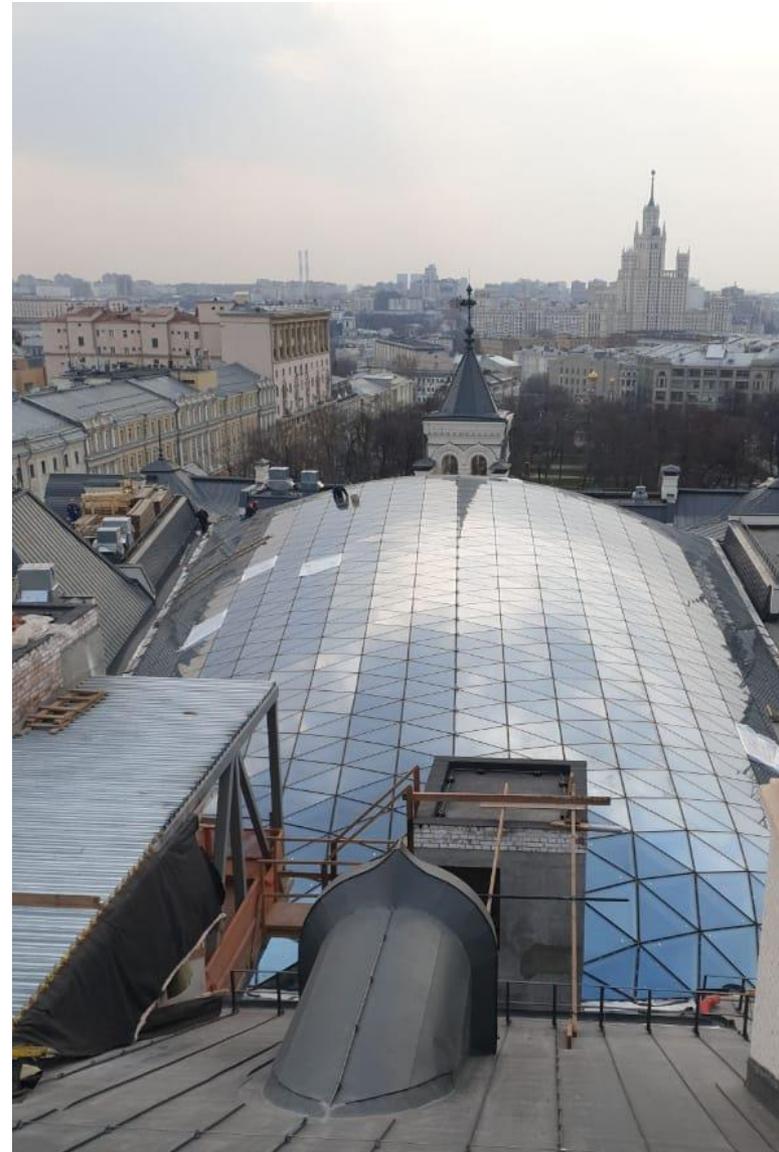


# Изготовление и монтаж конструкций

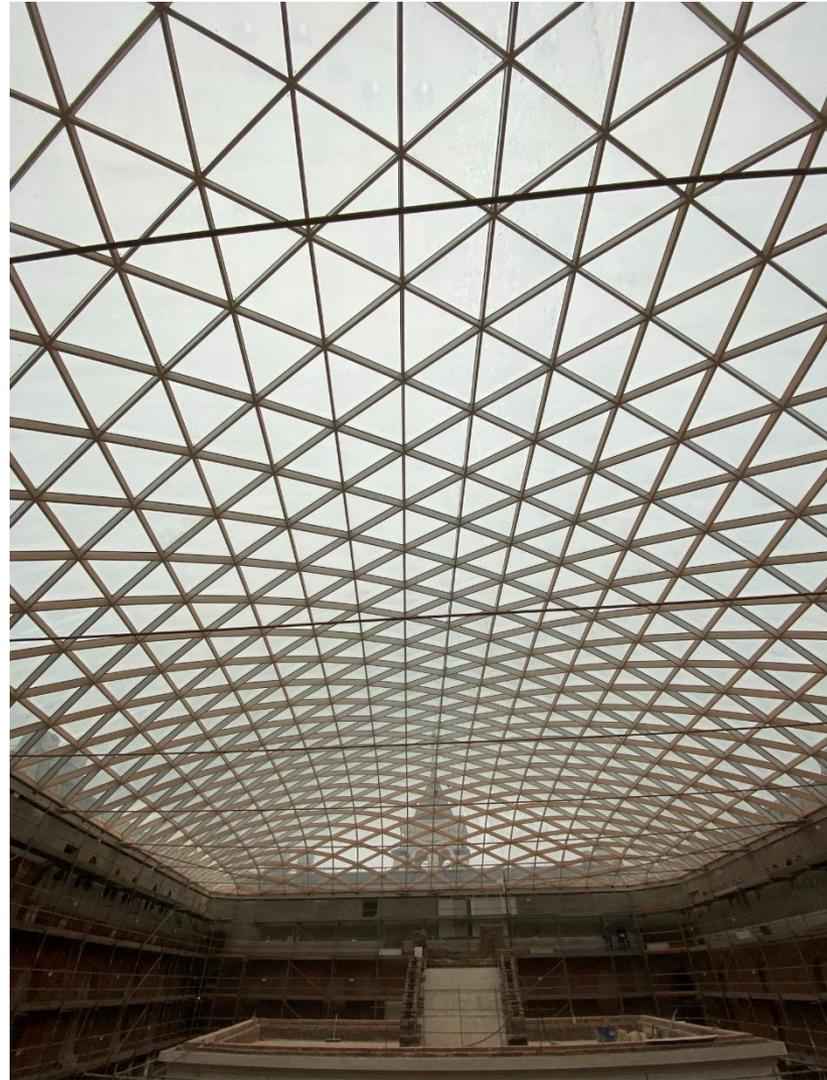
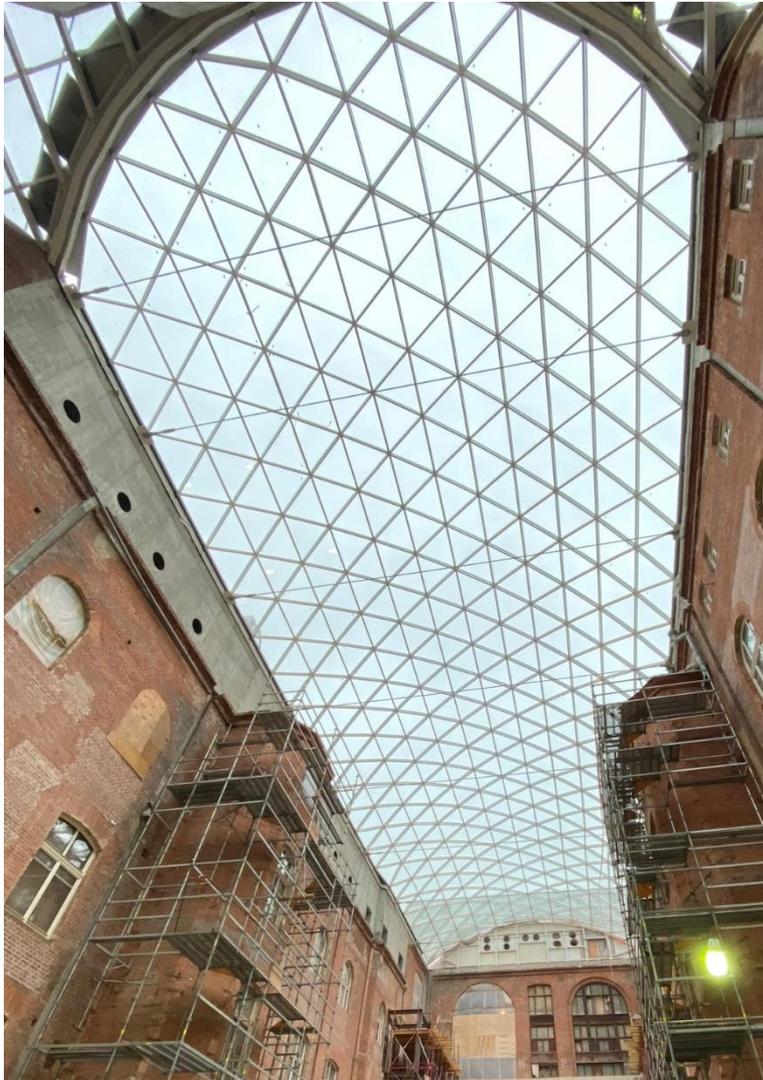
- Этап 5 Остекление и герметизация;



# Изготовление и монтаж конструкций



# Изготовление и монтаж конструкций



**Спасибо за внимание!**

