

**Бионическое моделирование криволинейных  
объектов с применением технологии  
генеративного дизайна, использование  
вафельных структур**

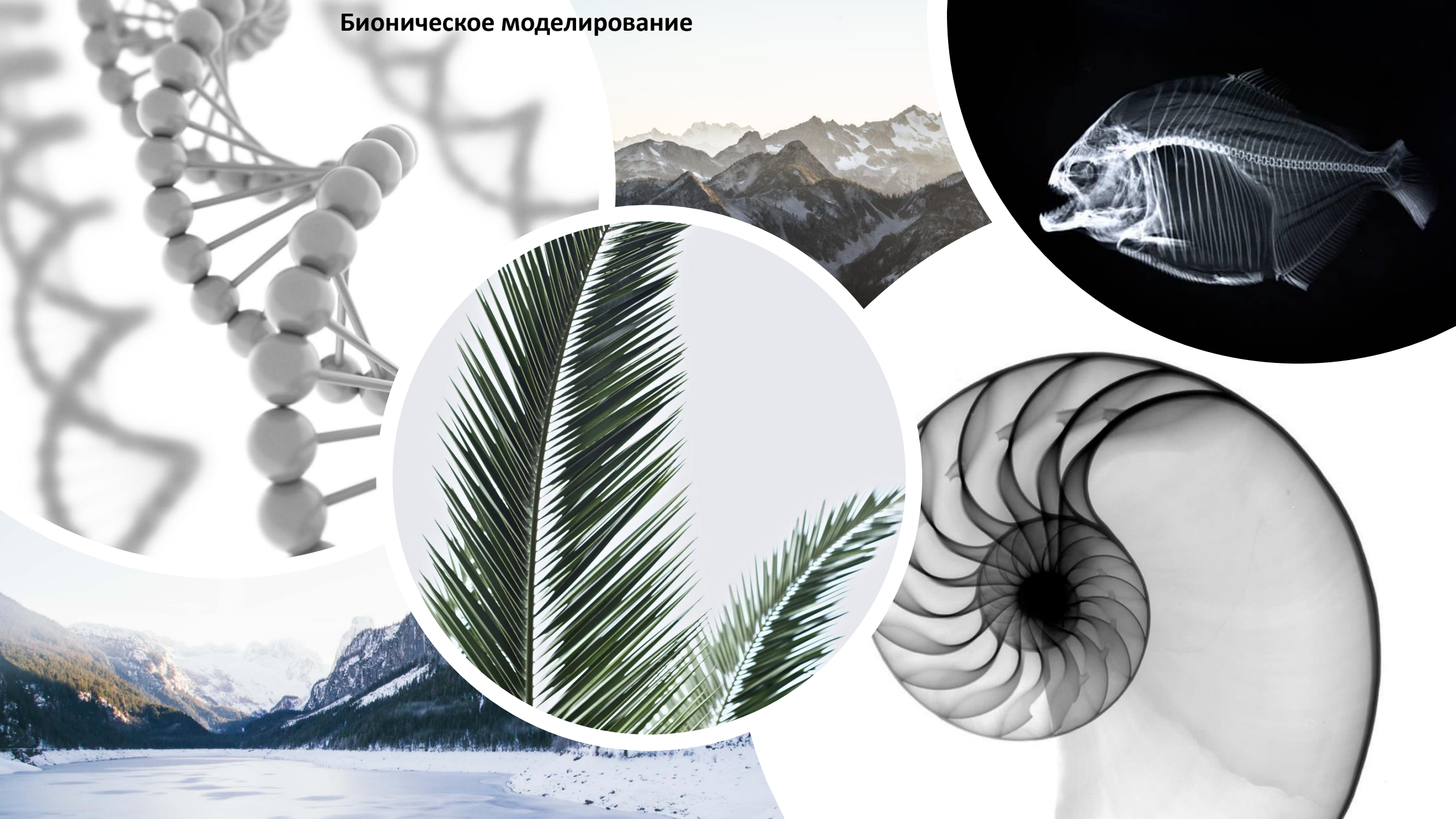
## Цели:

- *Построение и инженерный анализ бионической поверхности*

## Задачи:

- *изучение методов бионического моделирования*
- *построение и инженерный анализ сплошной бионической формы в среде Fusion 360*
- *изучение методов модификации: метод вафельных структур, метод генеративного дизайна*
- *построение и инженерный анализ модифицированных форм в среде Fusion 360*
- *сравнение результатов инженерного анализа полученных форм*

# Бионическое моделирование





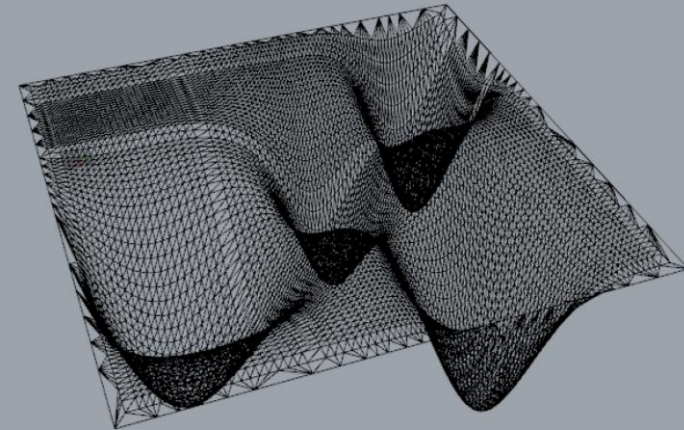
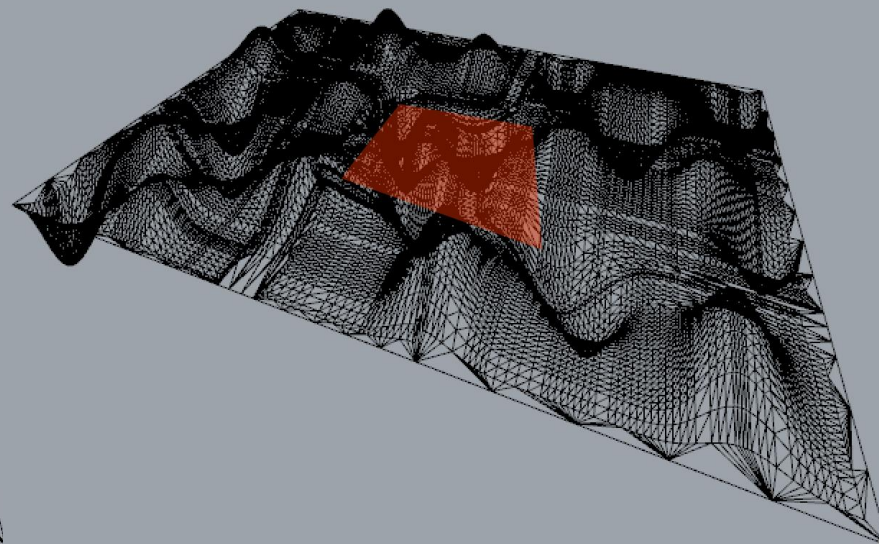
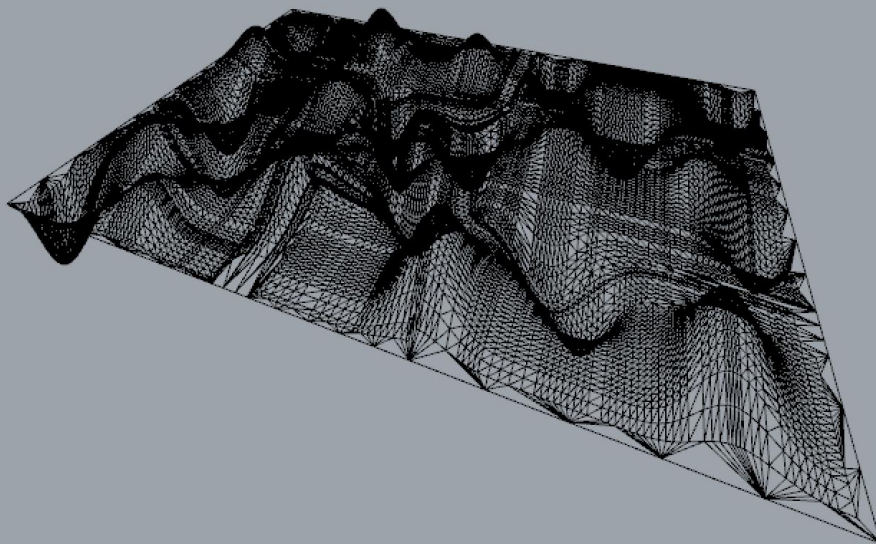
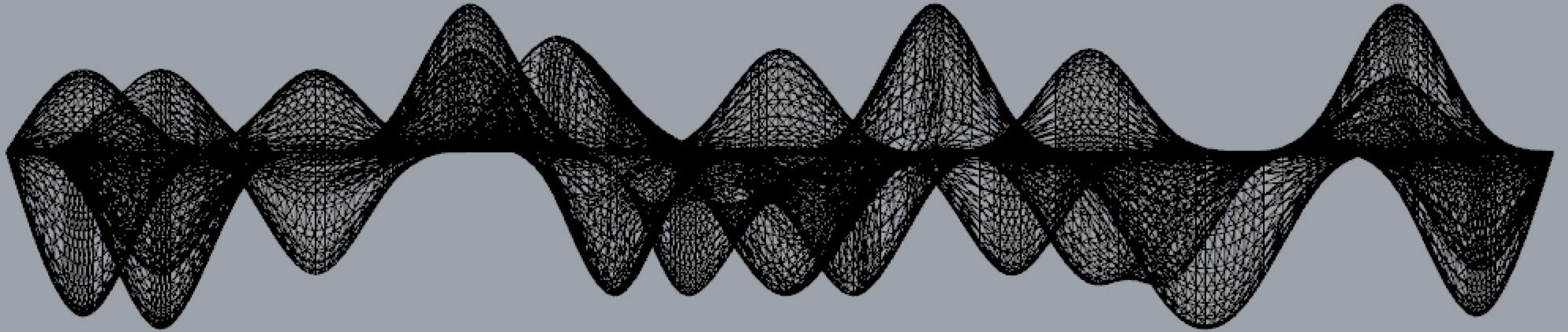
## **Изучение некоторых методов бионического моделирования**

- *«Ассоциативное» или свободной моделирование - по мотивам природных форм.*
- *Геометрическое структурирования природных форм - природный объект, подвергаются обработке и разбивается на простые геометрические формы.*
- *Алгоритмическое или параметрическое моделирование – бионическая модель создается в виде алгоритма, работающего на основе разработанных правил и вводных данных, полученных разными способами в том числе с использованием генеративных алгоритмов.*

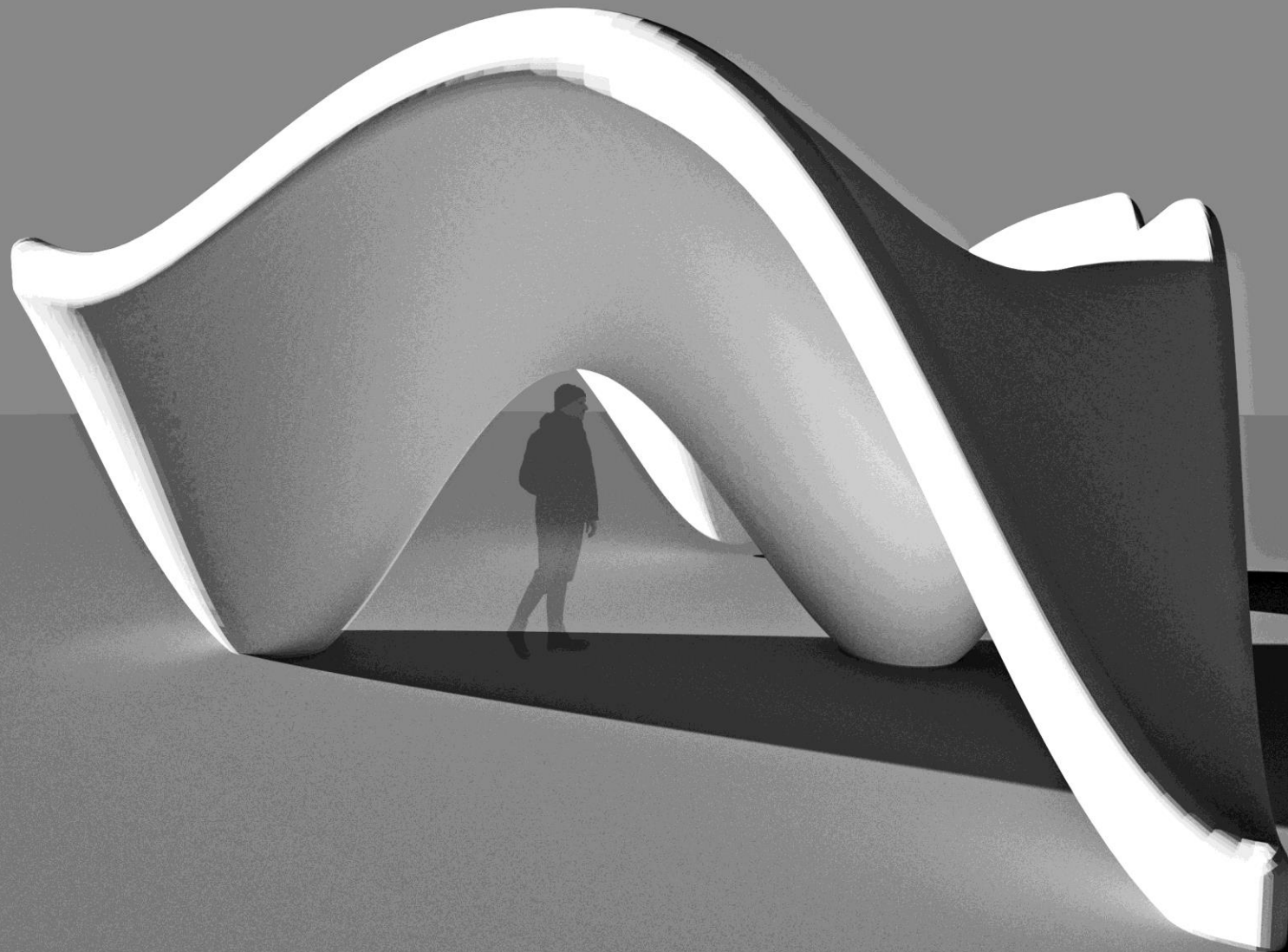




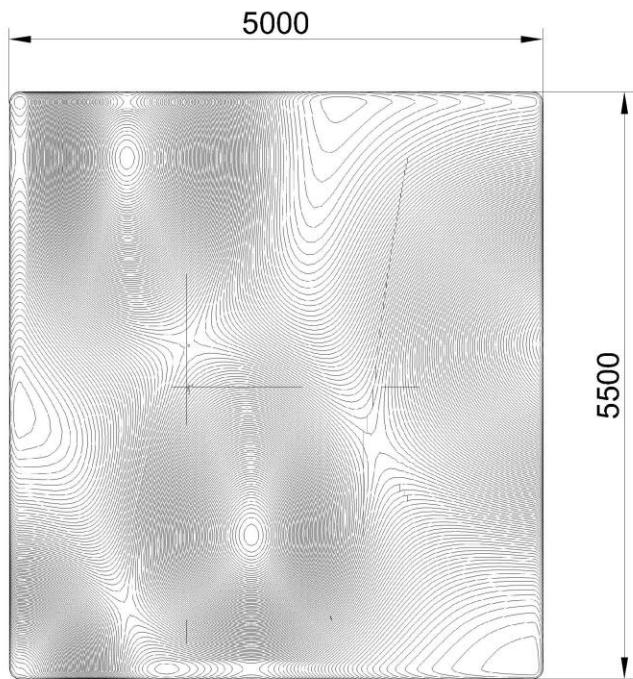
*Для создания поверхности был использован свободной метод моделирования- по мотивам бионических, природных форм в среде Fusion 360 mesh modelling*



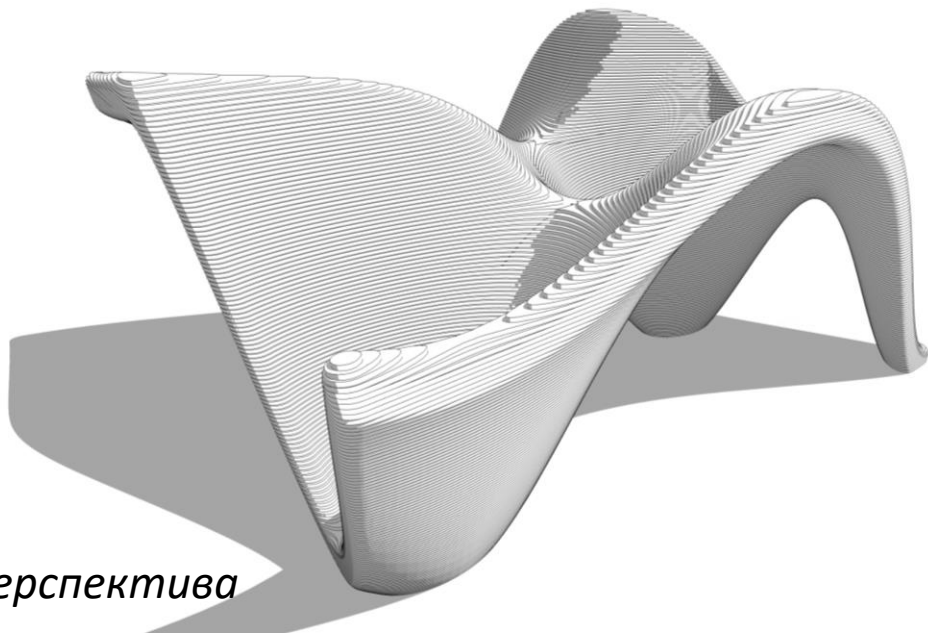
*Построение полнотелой модели из выбранного сегмента в среде Fusion360.*



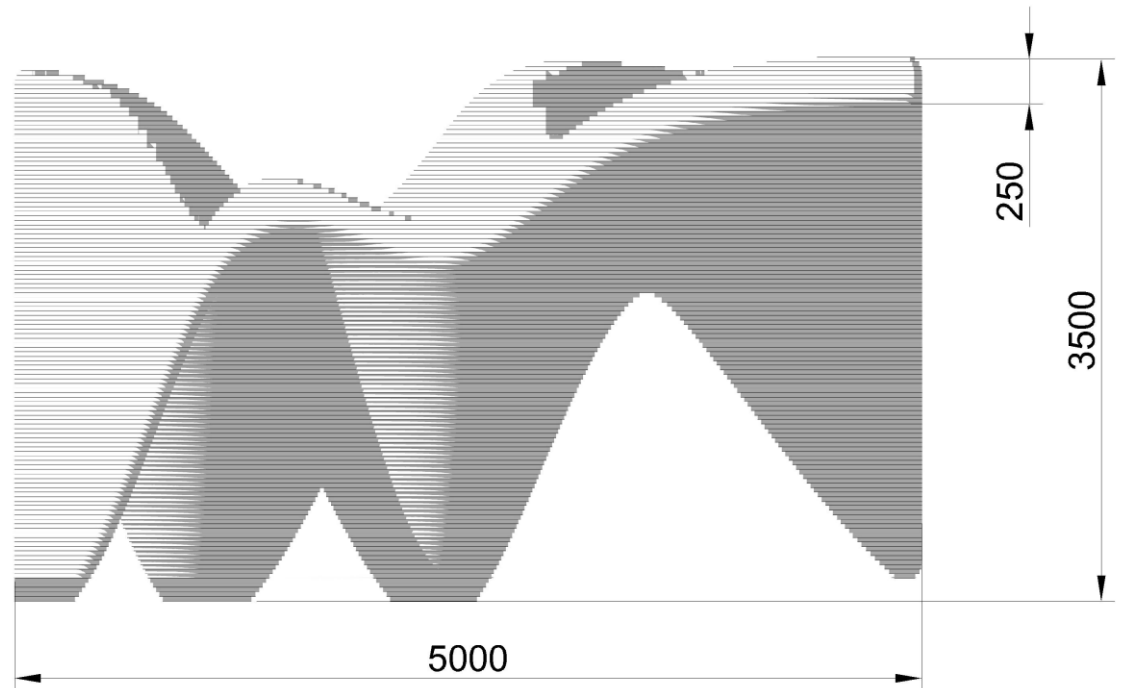




*Вид сверху*



*Вид 1*



*Вид 2*

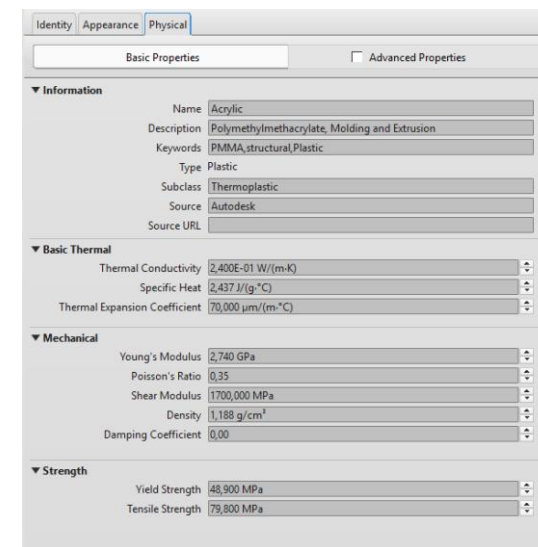
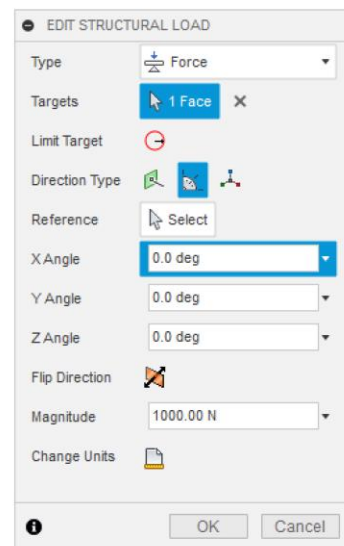
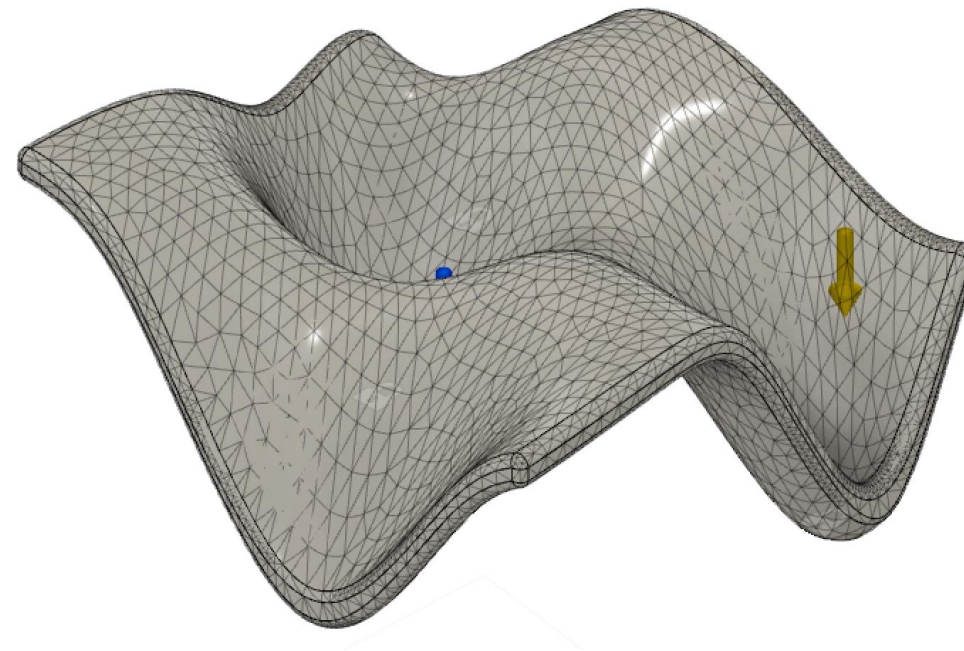


## Инженерный анализ сплошной бионической поверхности в среде Fusion 360

Fusion 360 использует Nastran для выполнения прочностных расчетов.

Nastran изначально был разработан для НАСА.

Расчеты осуществляются методом конечных элементов. Метод конечных элементов рассматривает структуру как совокупность структурных элементов, связанных определенным количеством узловых точек





## Для статического анализа результатом по умолчанию является напряжение по фон Мизесу

Критерий максимального напряжения по Мизесу основывается на теории, известной как теория энергии формоизменения. Это одна из гипотез прочности.

Для главных напряжений  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\sigma_3$  напряжение по Мизесу выражается как:

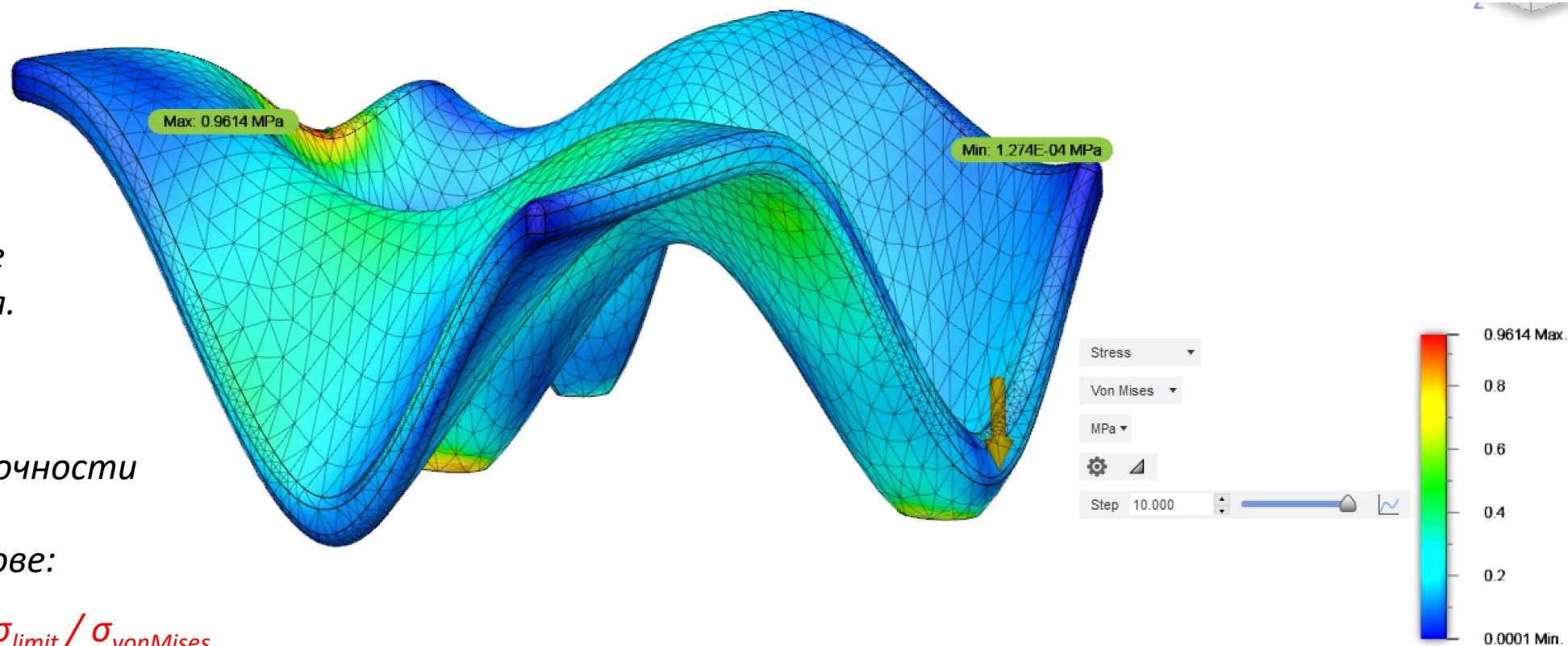
$$\sigma_{\text{vonMises}} = \{[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2] / 2\}^{1/2}$$

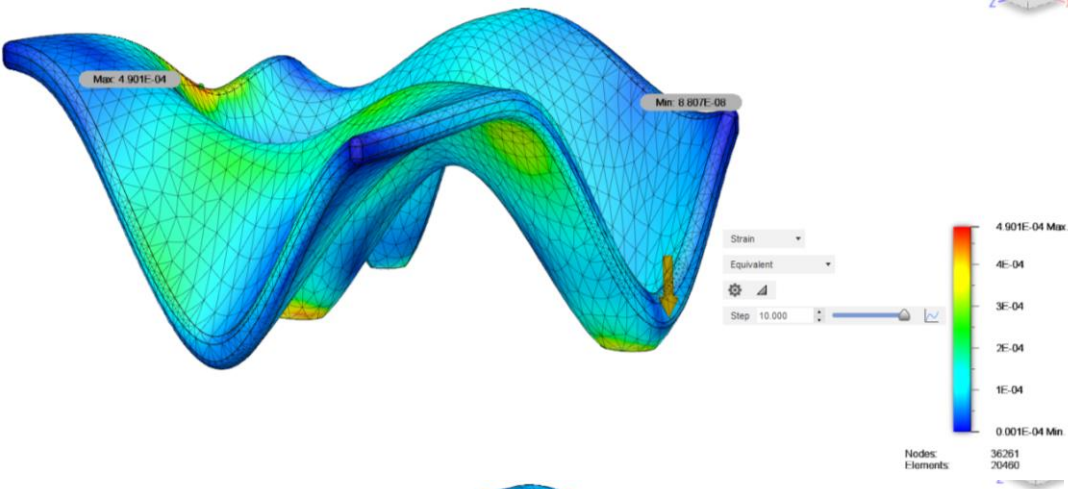
Теория утверждает, что пластичный материал начинает повреждаться в местах, где напряжение по Мизесу становится равным предельному напряжению. В большинстве случаев, предел текучести используется в качестве предельного напряжения.

$$\sigma_{\text{vonMises}} \geq \sigma_{\text{limit}}$$

Коэффициент запаса прочности в данном месте подсчитывается на основе:

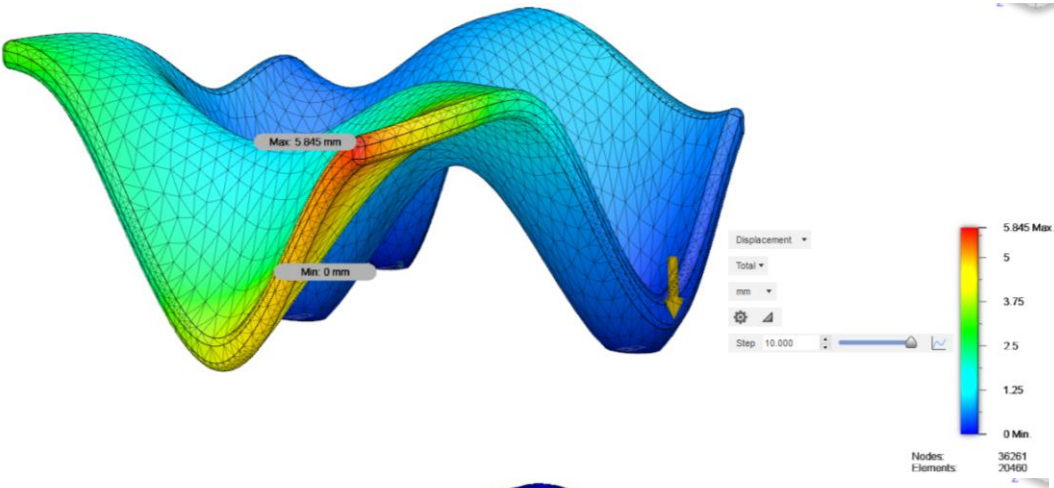
$$\text{Запас прочности (FOS)} = \sigma_{\text{limit}} / \sigma_{\text{vonMises}}$$





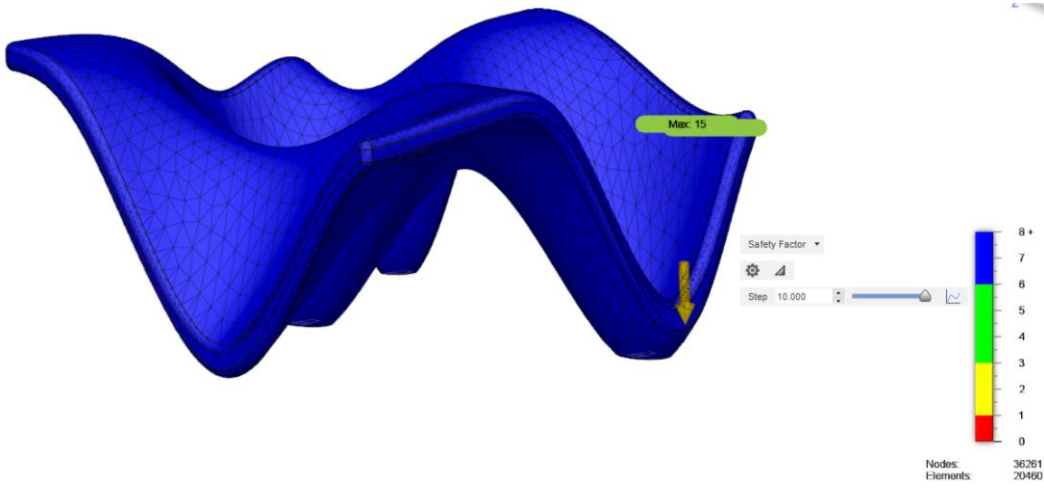
## Деформация материала

Результаты отображаются с использованием цветных контуров для наглядного показа деформаций полученных при выполнении расчетов для модели.



## Смещение

После получения результатов смещения. Отображается деформированная форма модели. Цветные контуры обозначают величину смещения исходной формы. Цветные контуры соответствуют значениям, определенным на панели настройки цвета.

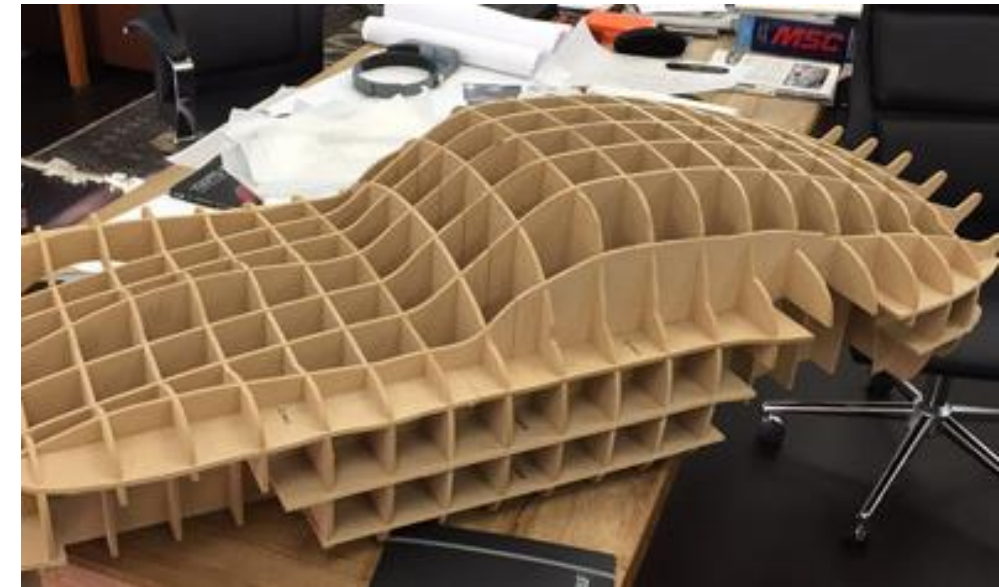


## Запас прочности

С помощью запаса прочности определяются области модели, наиболее подверженные повреждению при нагрузке.

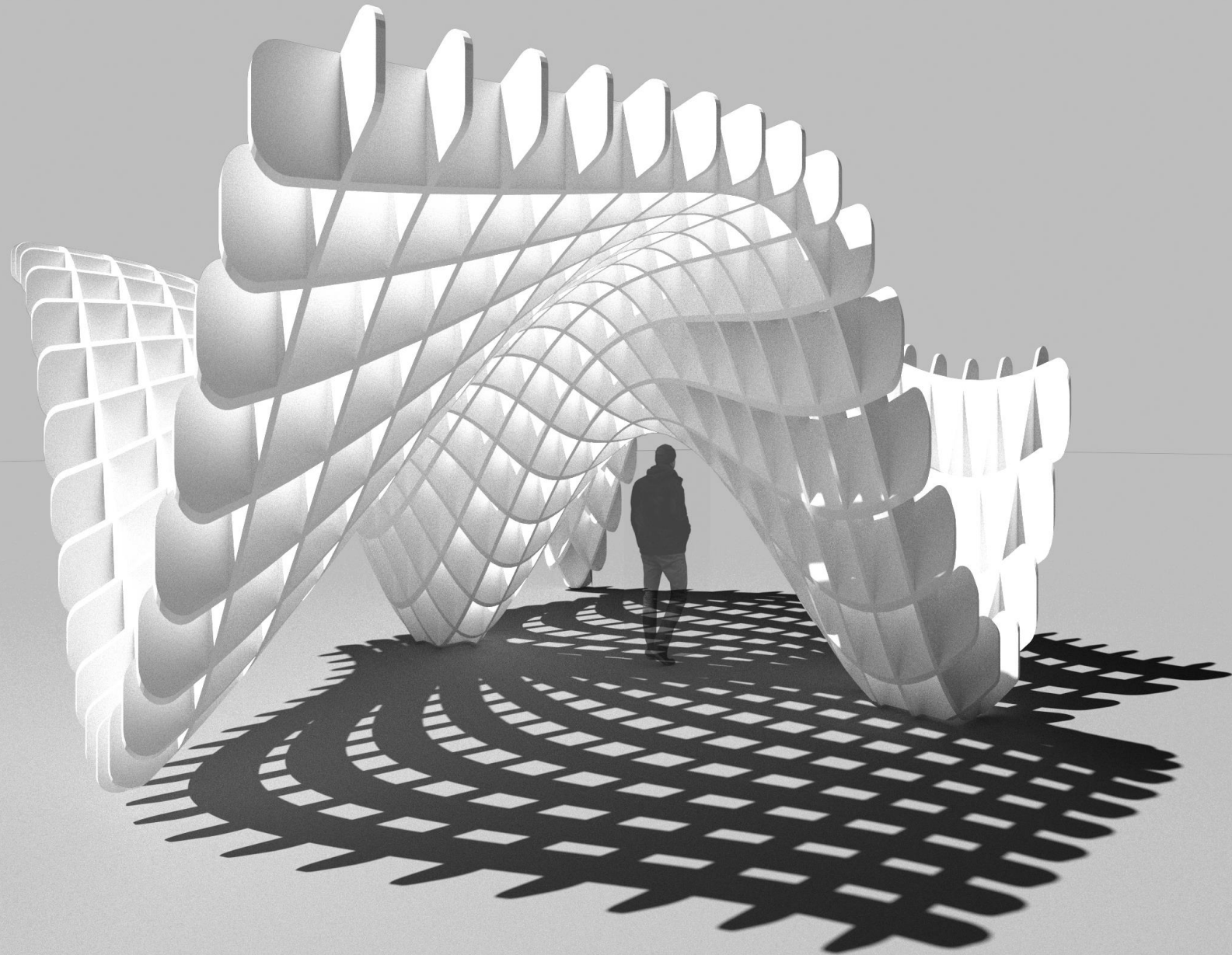


## Вафельная структура

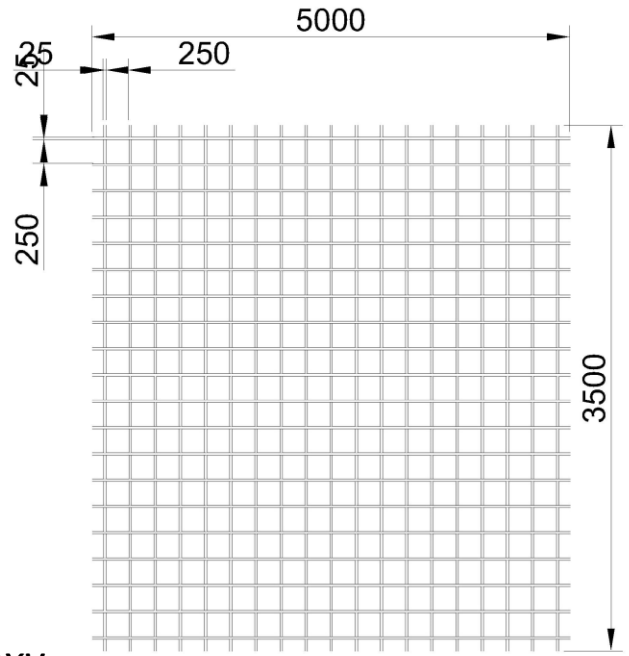




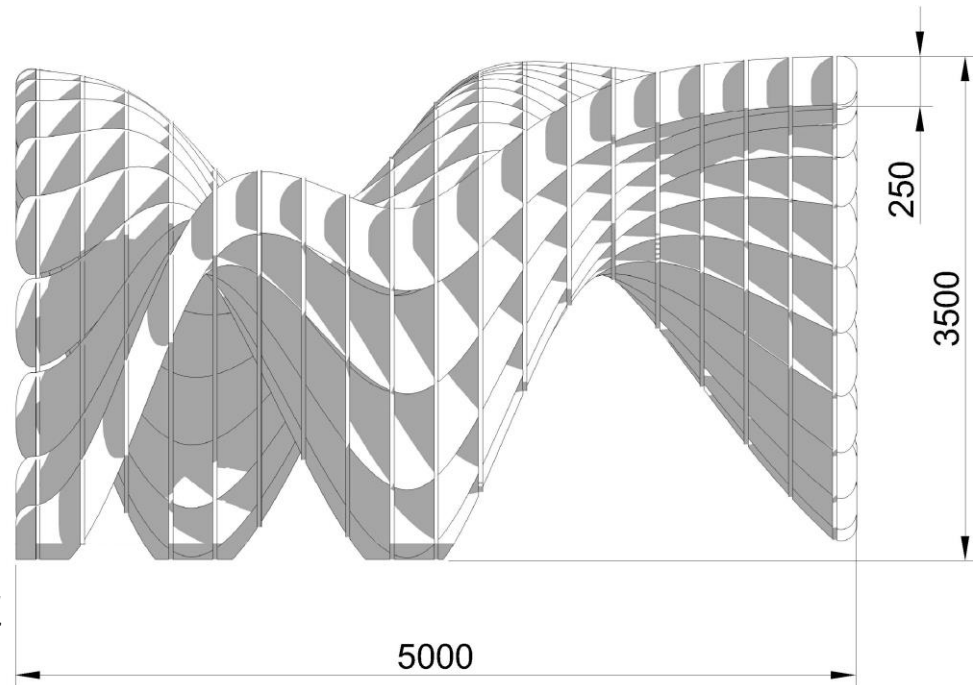
*Модификация полнотелого павильона в вафельную структуру*



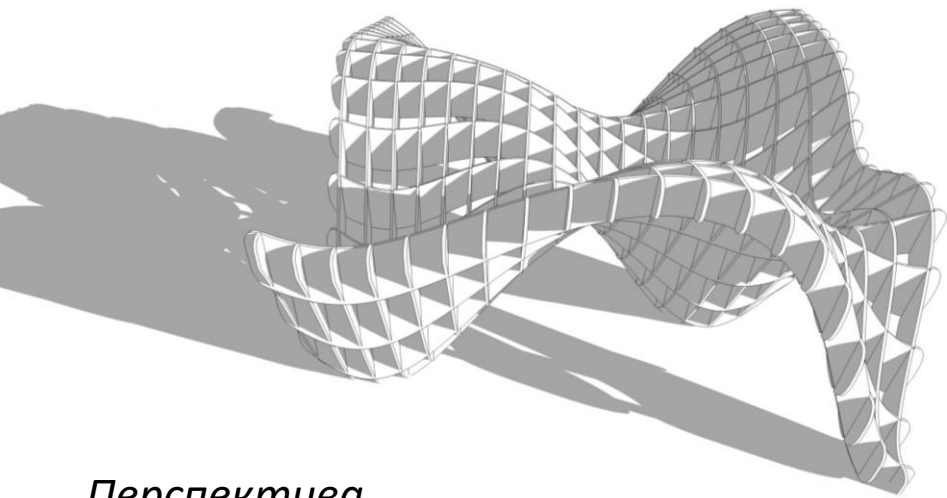




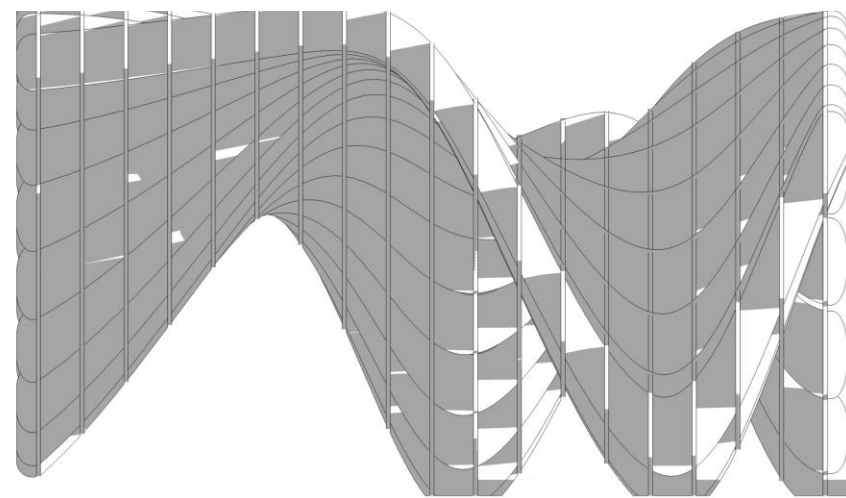
*Вид с верху*



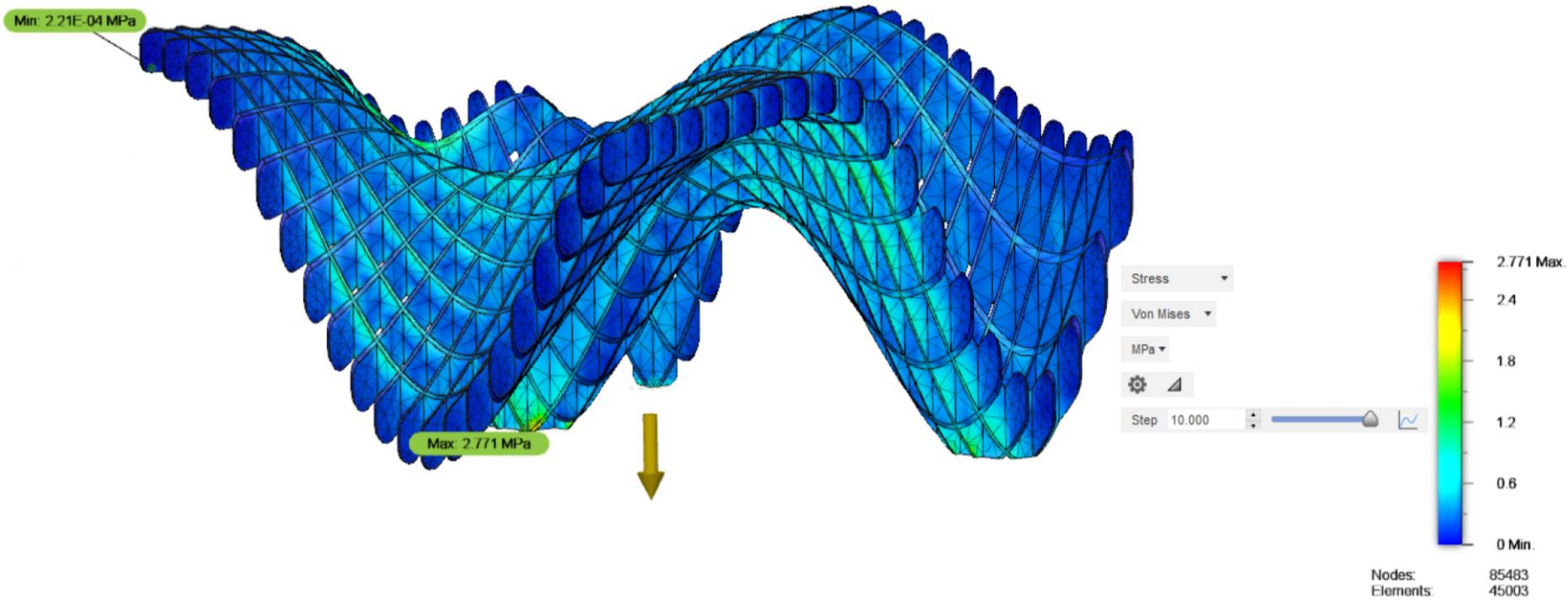
*Вид 1*



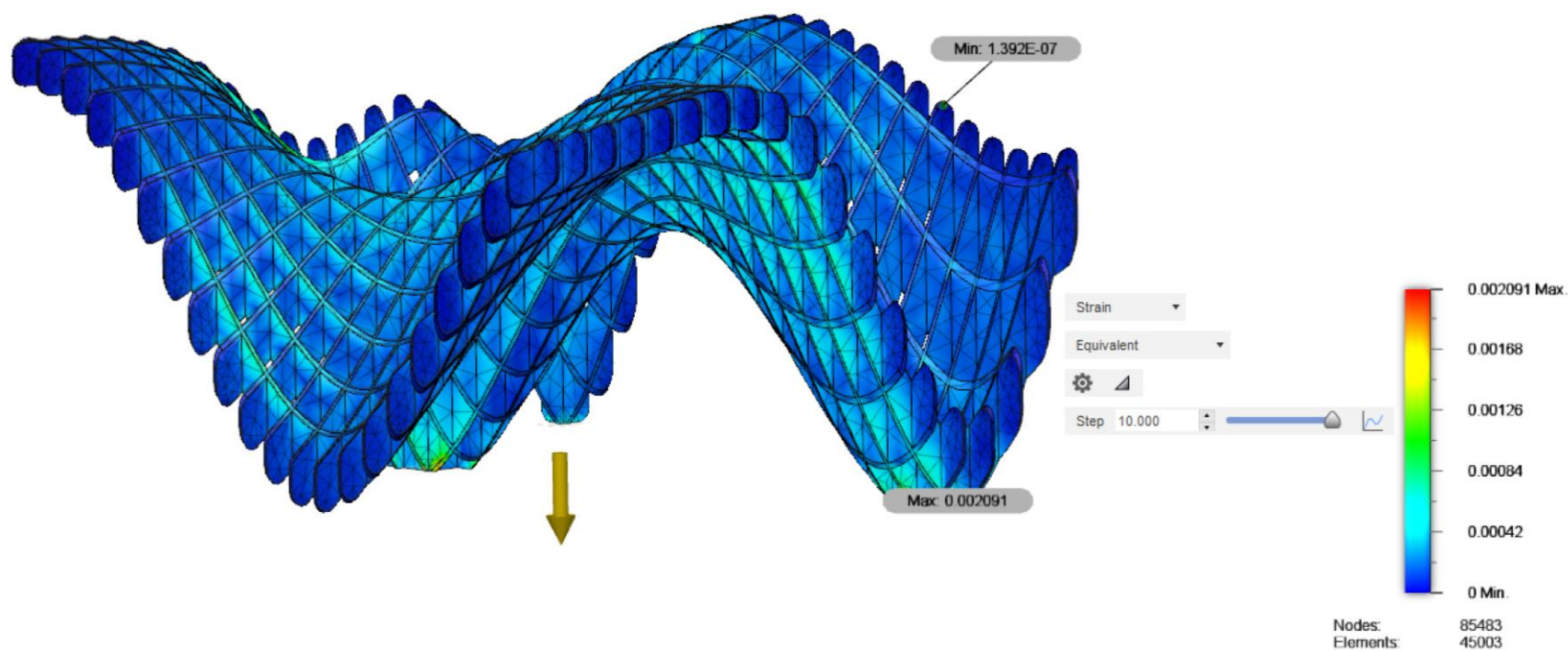
*Перспектива*



*Вид 2*

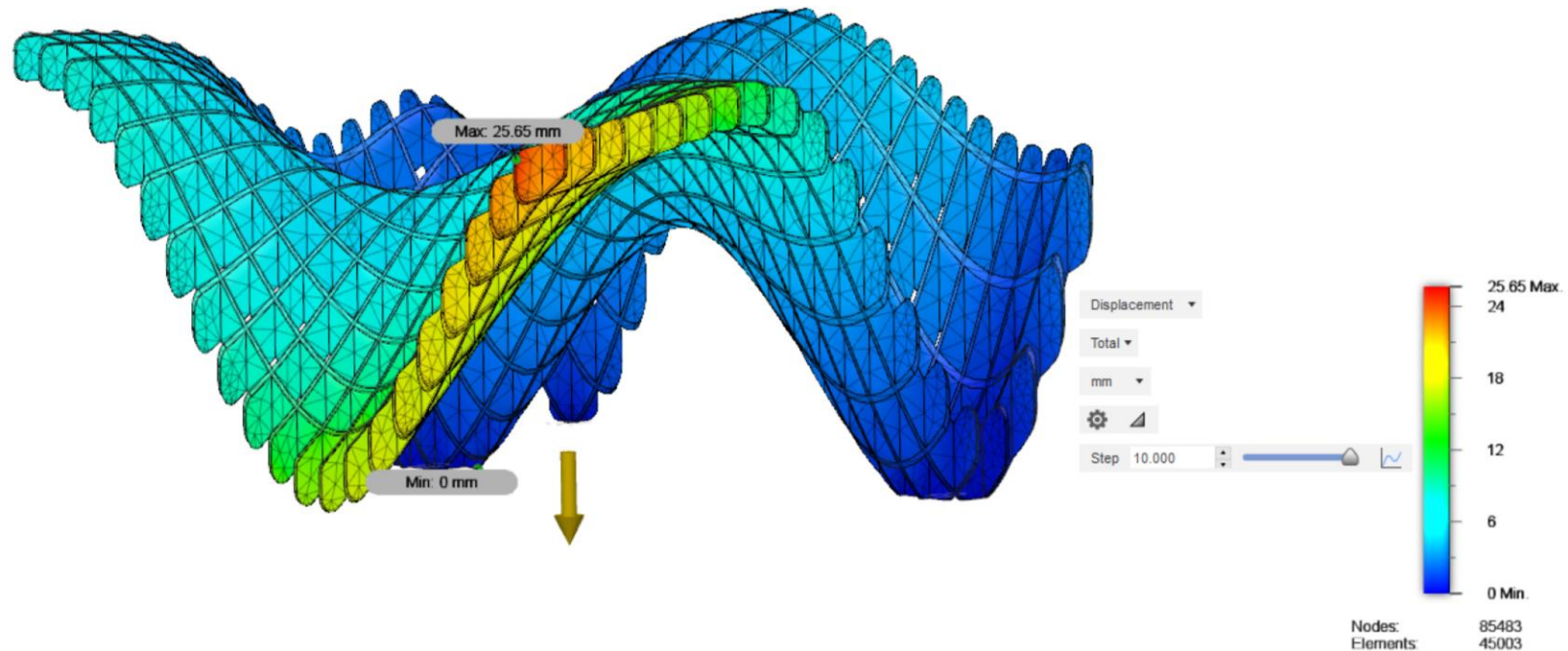


*Напряжение по фон Мизесу*

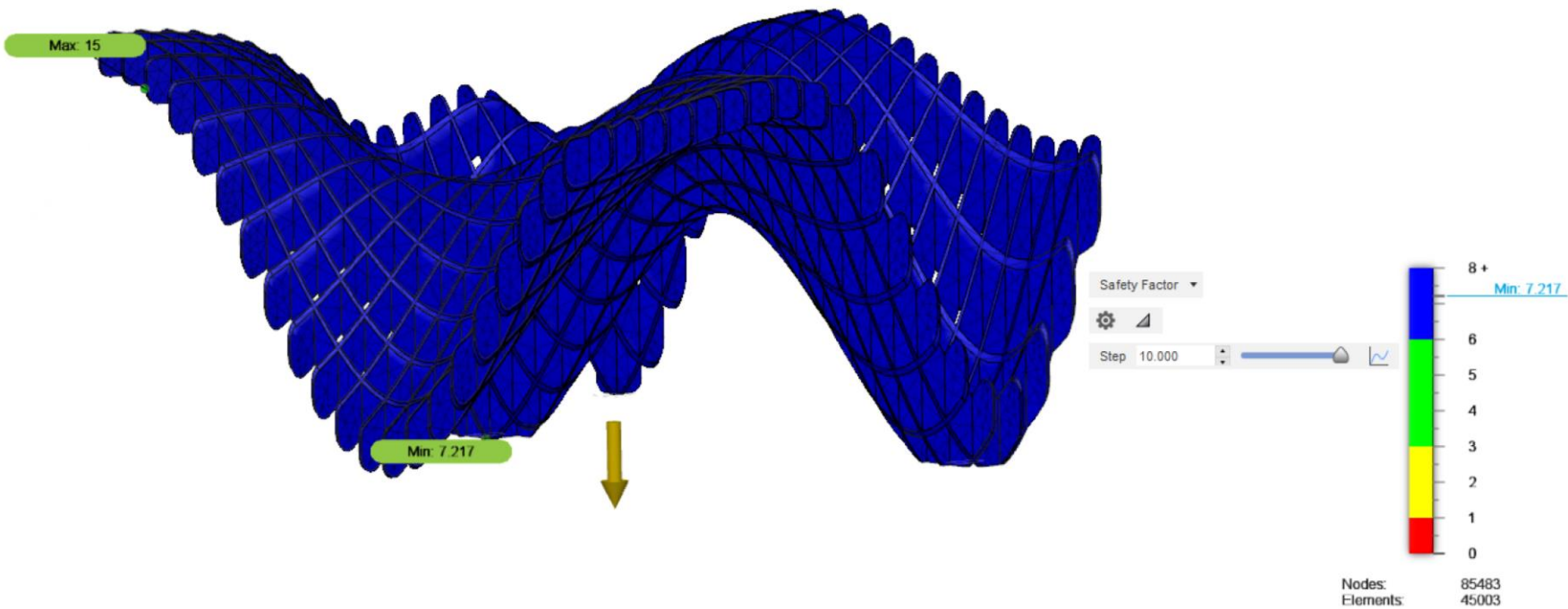


*Деформация материала*



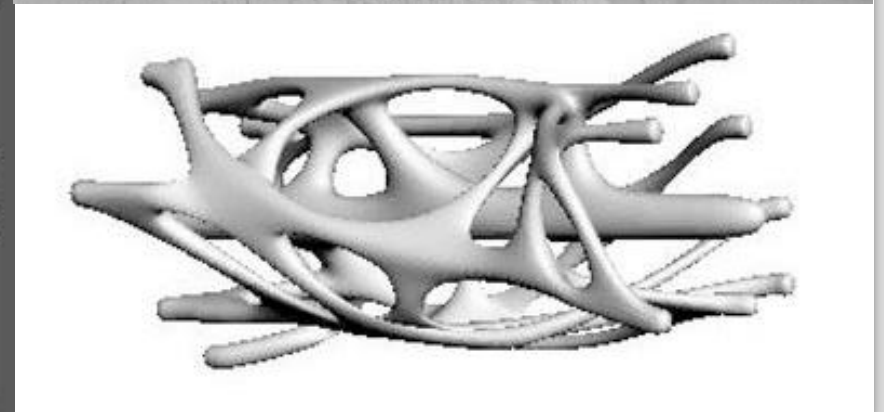
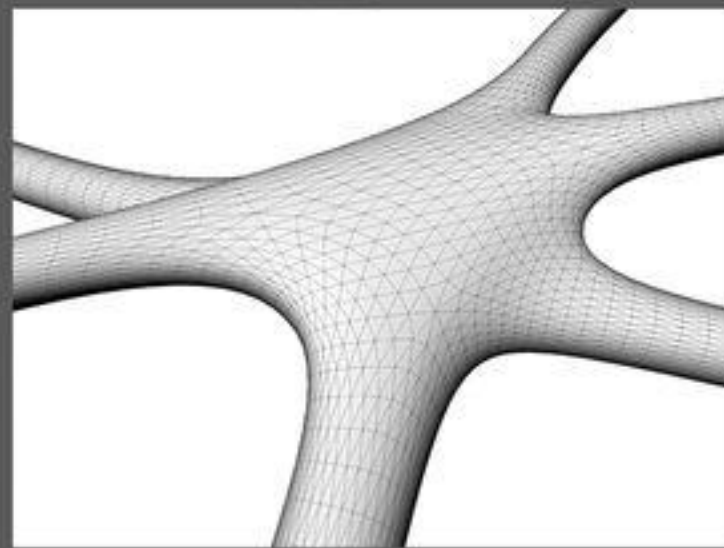
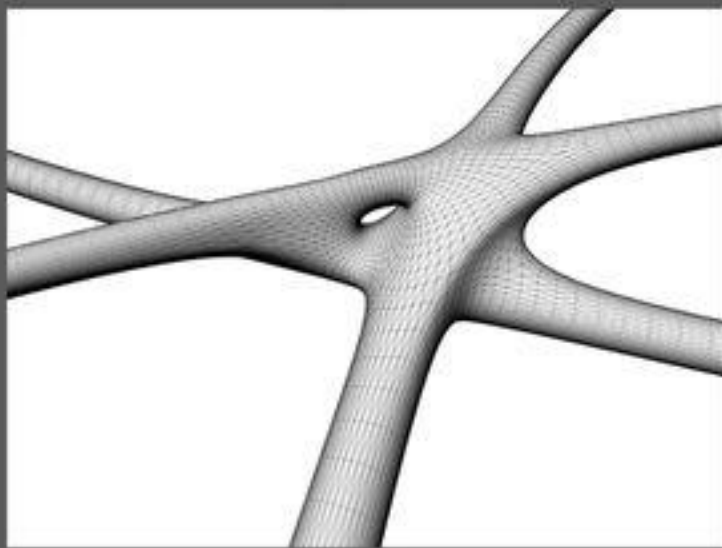
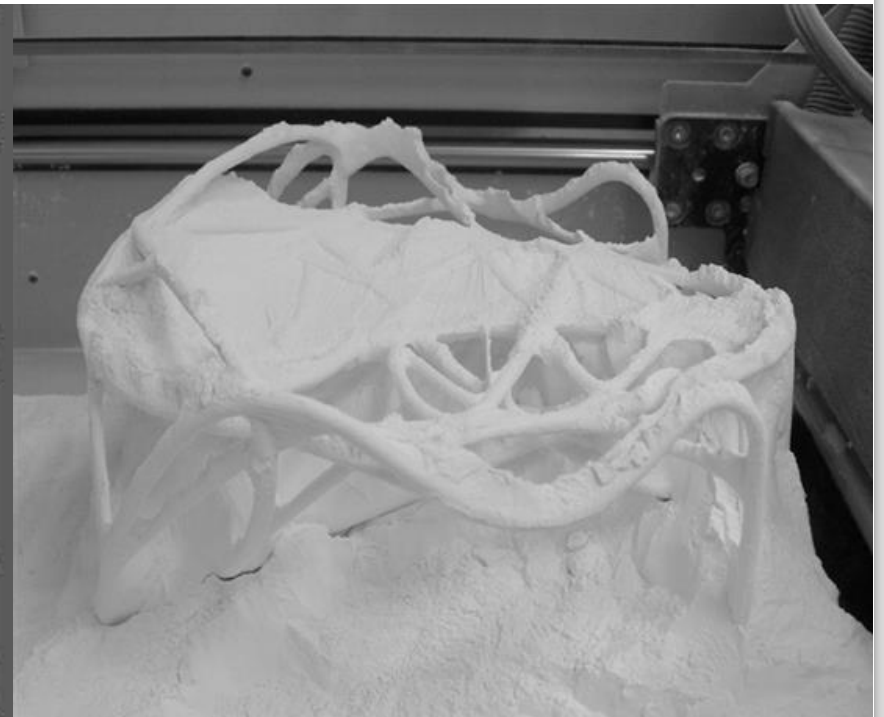
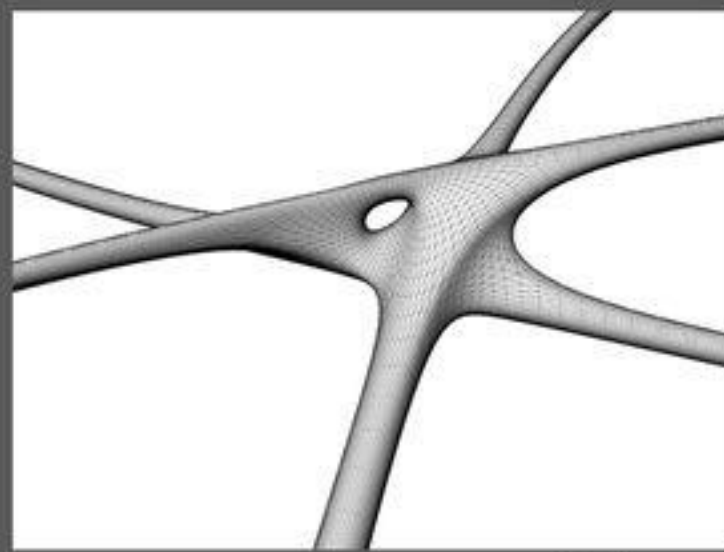
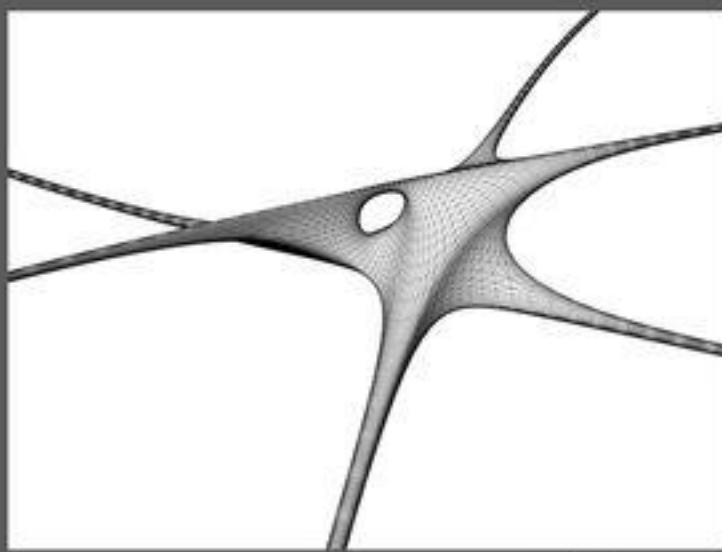


*Смещение*



*Запас прочности*

*Модификация полнотелого павильона методом генеративного дизайна во Fusion 360*





## Метод генеративного дизайна

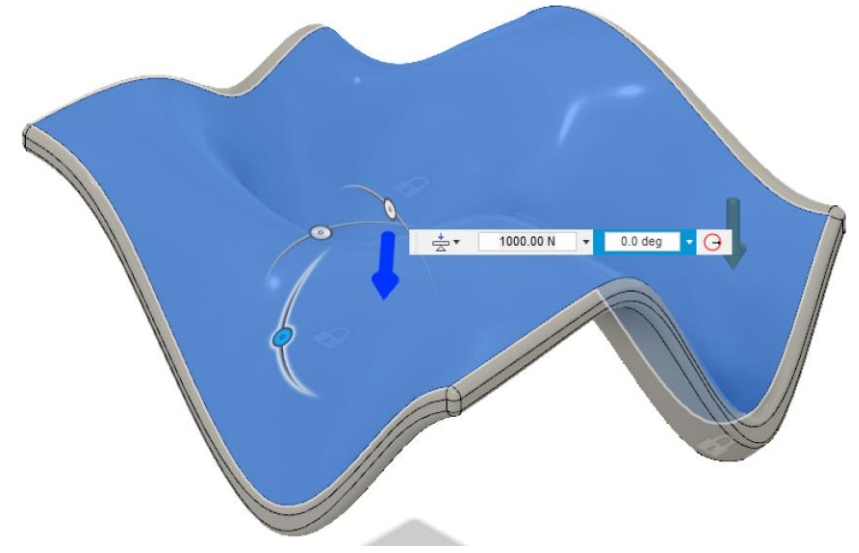
Технология генеративного дизайна во Fusion 360 использует машинное обучение, чтобы имитировать эволюционный подход природы к дизайну.

Для начала генерирования модели необходимо ввести параметры построения:

- ❖ материалы изготовления
- ❖ нагрузки
- ❖ точки опоры и крепления
  - необходимый вес
  - методы изготовления
  - ограничения по стоимости
  - начальная форма

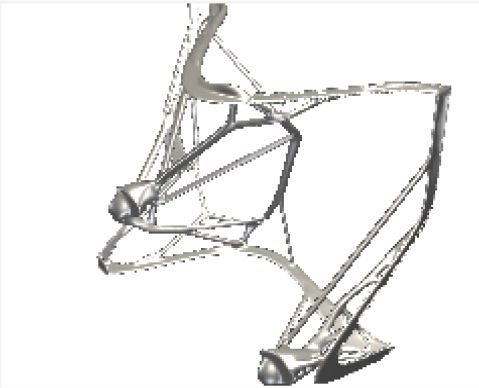
Имея эти данные (некоторые из них) программное обеспечение исследует все возможные комбинации решений, генерируя (выращивая) несколько вариантов.

Для построения данной модели методом генеративного дизайна были сохранены опоры, и граничные ребра. Также было задано три материала, акрил, нейлон, PLA пластик, определена нагрузка в 1000 Н.

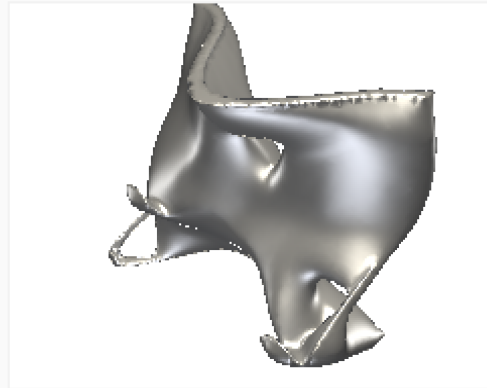


Sort by Processing status

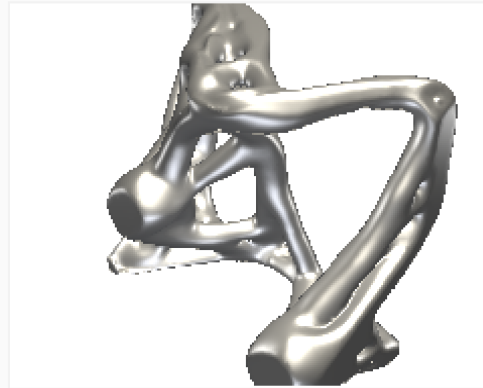
Completed



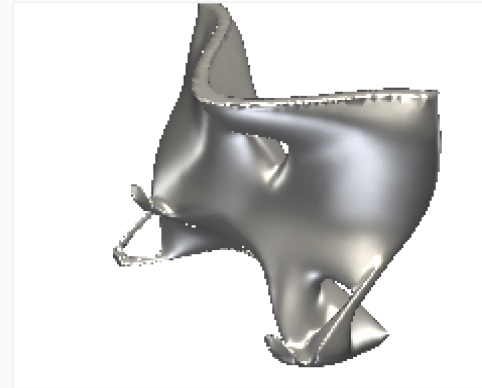
Study 3 - Generative - Outcome 1 Completed



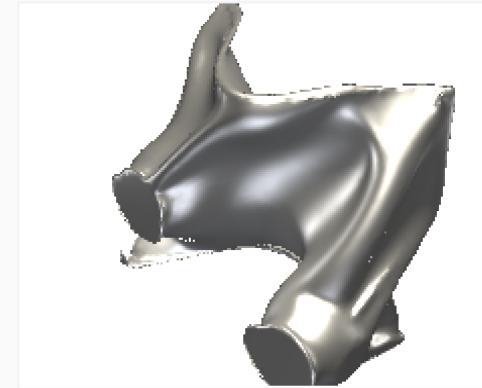
Study 3 - Generative - Outcome 5 Completed



Study 3 - Generative - Outcome 6 Completed



Study 3 - Generative - Outcome ... Completed

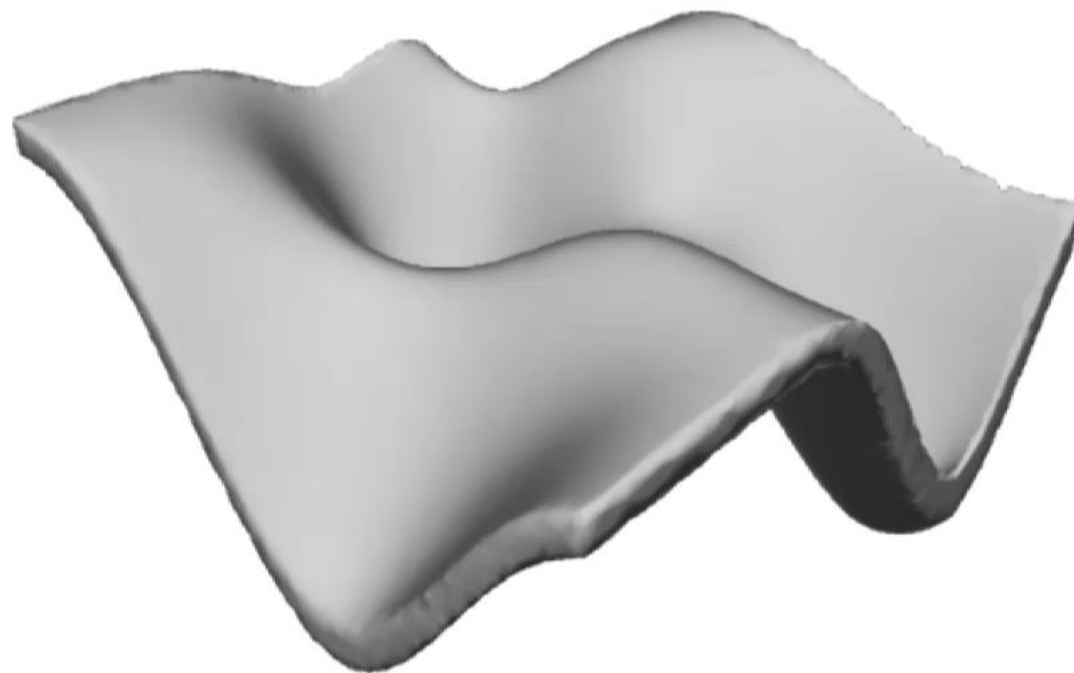


Study 3 - Generative - Outcome ... Completed

Properties		Properties		Properties		Properties		Properties	
Status	Completed	Status	Completed	Status	Completed	Status	Completed	Status	Completed
Material	ABS Plastic	Material	ABS Plastic	Material	Acrylic	Material	Acrylic	Material	Nylon 6
Orientation	Unrestricted	Orientation	Z-	Orientation	Unrestricted	Orientation	Z-	Orientation	Unrestricted
Manufacturing method	Unrestricted	Manufacturing method	3 axis milling	Manufacturing method	Unrestricted	Manufacturing method	3 axis milling	Manufacturing method	Unrestricted
Volume (mm <sup>3</sup> )	1.626e+9	Volume (mm <sup>3</sup> )	3.017e+1	Volume (mm <sup>3</sup> )	1.957e+1	Volume (mm <sup>3</sup> )	3.021e+1	Volume (mm <sup>3</sup> )	2.92e+10
Mass (kg)	1,723.87	Mass (kg)	3.198e+4	Mass (kg)	2.325e+4	Mass (kg)	3.589e+4	Mass (kg)	3.271e+4
Max displacement (mm)	0.16	Max displacement (mm)	0.04	Max displacement (mm)	0.01	Max displacement (mm)	0.03	Max displacement (mm)	0.01
Max von Mises stress (MPa)	0	Max von Mises stress (MPa)	0.1	Max von Mises stress (MPa)	0	Max von Mises stress (MPa)	0.1	Max von Mises stress (MPa)	0
Factor of safety limit	2	Factor of safety limit	2	Factor of safety limit	2	Factor of safety limit	2	Factor of safety limit	2

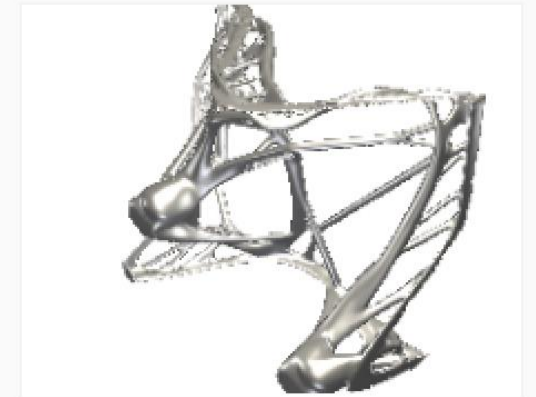
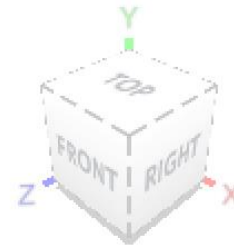
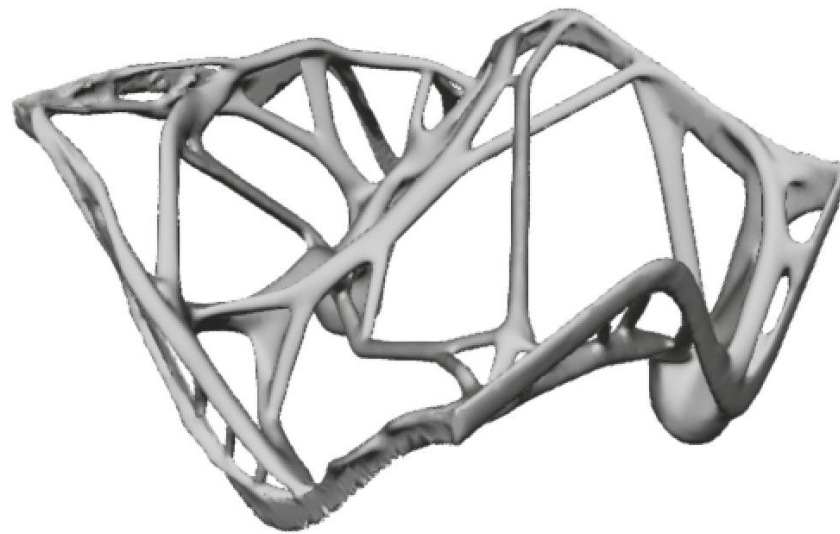
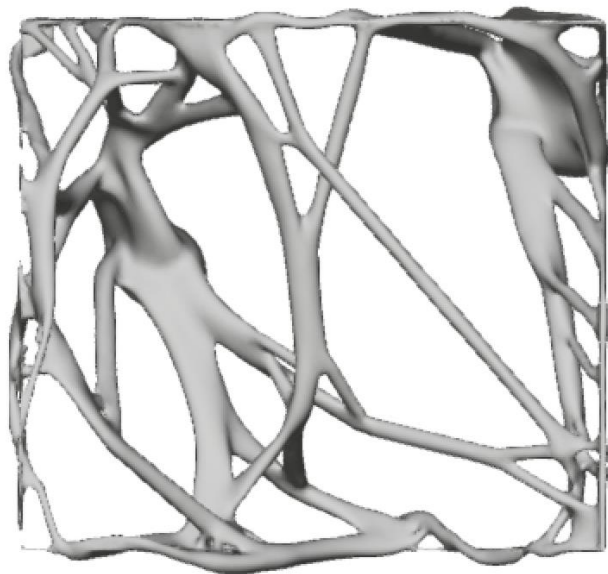


**Этапы расчета одного  
из вариантов**



# Один из вариантов предложенный генеративным дизайном среды Fusion 360

- Outcome 6



Study 3 - Generative - Outco...  
Iteration 40

## Properties

Status	Completed
Material	Acrylic
Orientation	Unrestricted
Manufacturing method	Unrestricted
Volume (mm <sup>3</sup> )	4.23e+9
Mass (kg)	5,025.779
Max displacement (mm)	0.05
Max von Mises stress (MPa)	0.1
Factor of safety limit	2



10

20

30

40

50

60

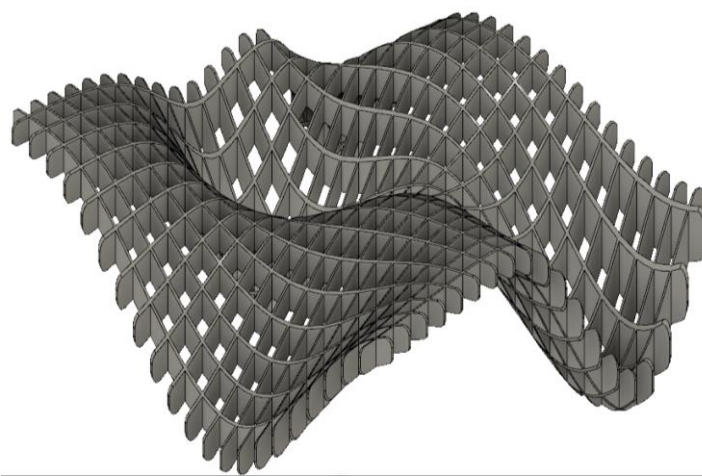
70



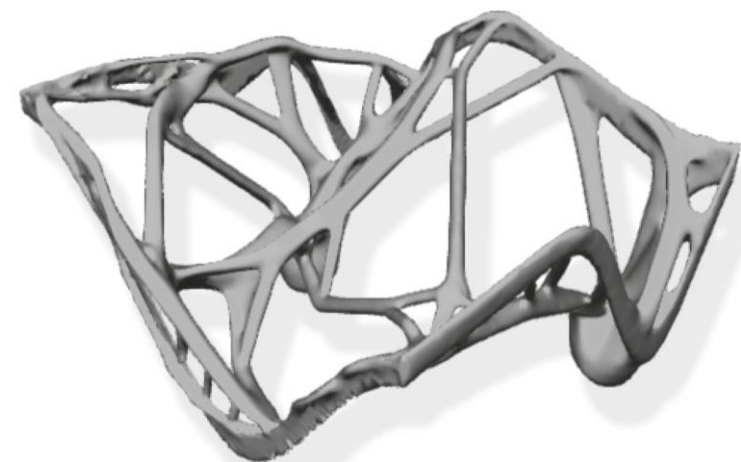
## *Результаты бионического моделирования и модификации формы*



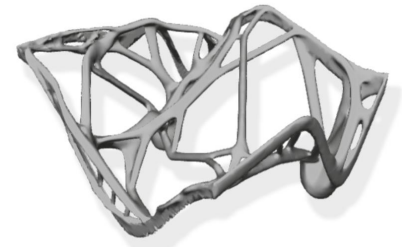
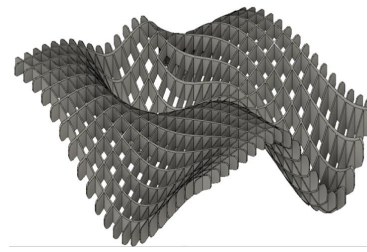
*сплошной*



*вафельный*



*генеративный*



- **вес изделия**

- **11 610 кг**

- **2 081 кг**

- **5 025кг**

- **запас прочности**

- **15**

- **7**

- **2**

- **напряжение по фон Мизесу**

- **Max 0.9 Мпа**  
**min 0Мпа**

- **Max 2.7 Мпа**  
**min 0Мпа**

- **Max 0.1 Мпа**  
**min 0Мпа**

- **изготовление**

- **Устройство опалубки**

- **Модульное**

- **Устройство опалубки**



## **Выводы:**

***Сравнение трех форм по основным показателям - вес, запас прочности, напряжение, способ изготовления, показал:***

- Вафельная структура имеет наименьший вес при наибольшем напряжении внутри формы, так же она может быть изготовлена из модульных балок.***
- Сплошная бионическая форма имеет наибольший вес, но сравнительно небольшой показатель напряжения 0.9 Мпа. Изготавливается по средствам устройства опалубки.***
- Генеративной формы – имеет средний вес, однако предельный запас прочности и для изготовления требует устройства сложной опалубки.***

***В ходе анализа вафельная форма была выявлена как наиболее пригодная для дальнейшей разработки.***

The background consists of a complex, overlapping network of thin black lines on a white background. These lines form a series of interconnected, three-dimensional wireframe structures that resemble architectural elements like domes or vaulted ceilings. The perspective is from an angle, looking down into the structures, which creates a sense of depth and complexity. The lines vary in thickness and orientation, creating a dynamic and intricate pattern.

***Спасибо за внимание!***