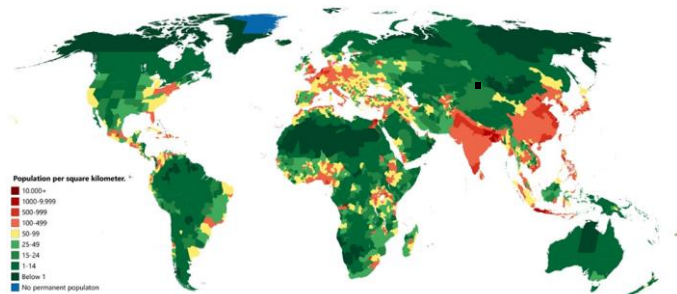
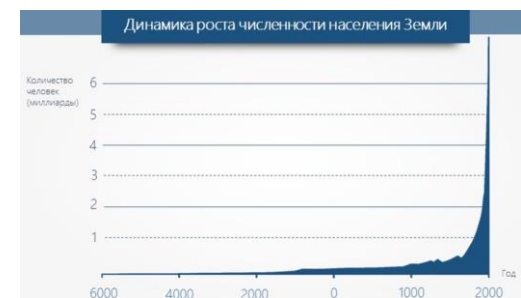
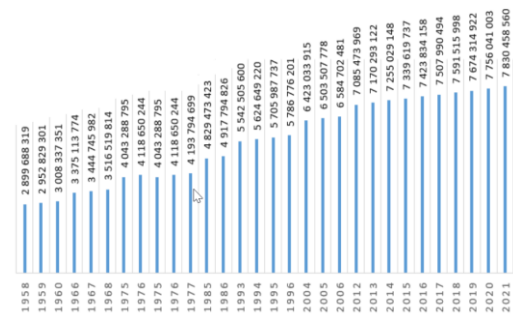


# Модель стального пространственного каркаса

2021 г.

Главная задача архитектурно-конструктивного проектирования зданий и сооружений была и остается - формирование безопасной и комфортной среды для жизнедеятельности человека.

Существенные особенности настоящего времени – это экспоненциальный рост численности населения и устойчивая тенденция к глобализации



Карта плотности населения



ГЭС «Три ущелья», КНР



Токио, Япония



Промышленный город Джубайль, население 200 тыс чел, Саудовская Аравия



Комплекс по обработке РЗМ - рудник Баян-Обо, КНР, снимок NASA

*«Идеал органической архитектуры ... состоит в целостности и единении с природой...» Ф. Л. Райт*

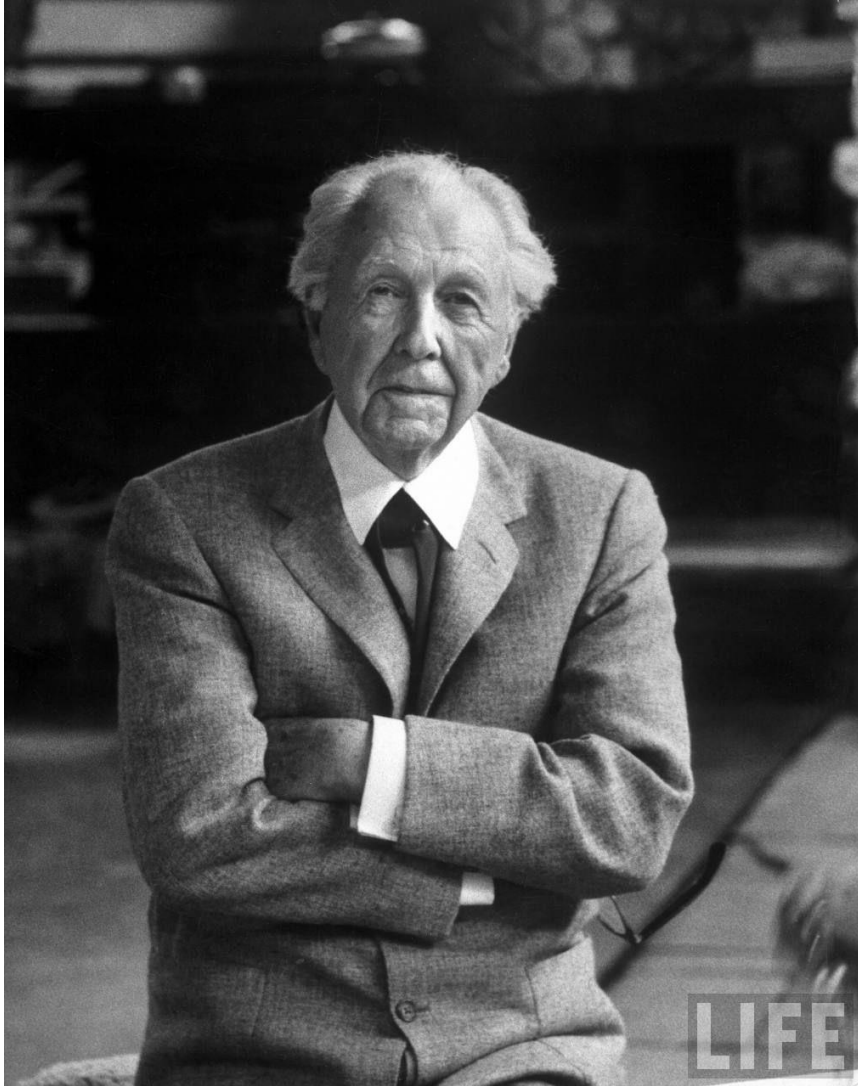


Рис. Ф.Л. Райт (1867-1959)

Способ решения современников:  
стремление к гармонизации объектов  
строительства, как искусственной среды,  
с природным окружением  
- средой естественной.

Фрэнк Ллойд Райт - один из создателей  
органической архитектуры.

Современная концепция

архитектурно-строительного проектирования декларирует:

- увеличение функционального пространства объекта,
- нелинейную парадигму расчета.

Как следствие, применительно к конструктивной системе объекта:

- усложнение системы и характера взаимодействия конструкций в системе,
- повышение чувствительности системы к стихийным и техногенным воздействиям,
- возрастание **актуальности и значимости** технических решений по обеспечению прочности, устойчивости и долговечности системы (и объекта в целом),
- выполнение «чуткого» адаптивного расчета конструкций по ряду расчетных ситуаций.



Рис. Станция Канадзавы, Япония



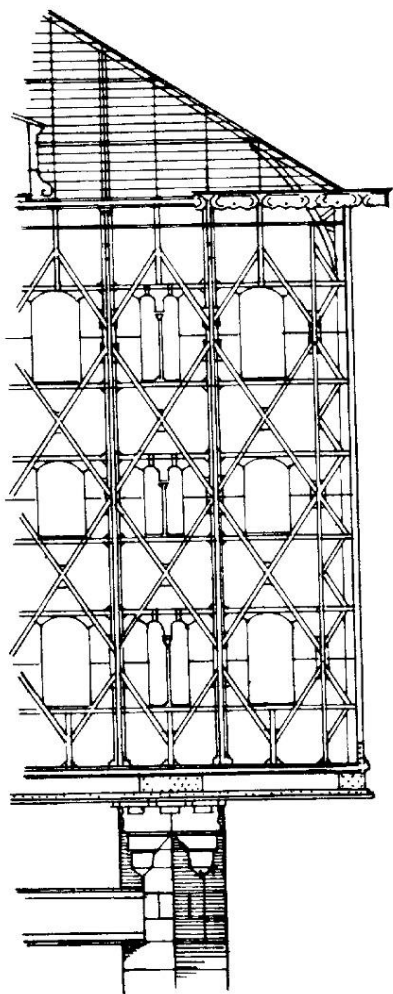


Рис. Здание фабрики  
Солонье (1871-1872)

150 лет стальные каркасы служат в качестве несущих  
для зданий и сооружений

2021 год – юбилейный для стальных каркасов

Первым стальным каркасным строением

принято считать фабричное здание фирмы «Солонье»,

близ Парижа в 1871-72 годах.

Многоэтажное здание шоколадной фабрики (рис.) покоится  
на четырех мощных контрфорсах речной (р. Марна) плотины.

# ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель: модель стального пространственного каркаса, *применение которого позволит формировать объёмы зданий и сооружений.*

## Задачи:

- проанализировать эволюцию стальных каркасов с учетом развития технологий и архитектурно-строительного проектирования зданий и сооружений;
- обосновать пространственное решение стального каркаса здания и сформировать конструктивную схему;
- выявить, по результатам оптимизационных расчетов конструкции, универсальный конструктивный модуль;
- предложить применение пространственного каркаса в качестве вариативной конструктивной модели;
- наметить перспективные направления исследования по адаптации конструкции.

# Эволюция технологии производства

## строительной стали



Рис. Абархам  
Дерби (1678-1717)

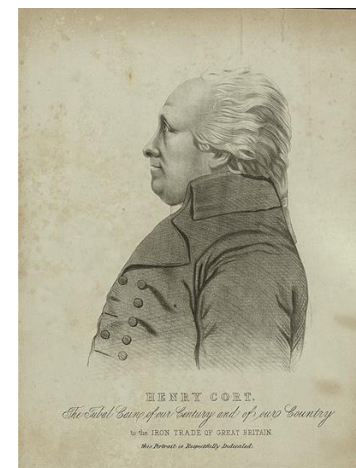


Рис. Генри Корт  
(1740-1800)



Рис. Генри Бессемер  
(1813-1898)

Конструктивные возможности и несущая способность каркасов может быть реализована, благодаря применению металла, как строительного материала.

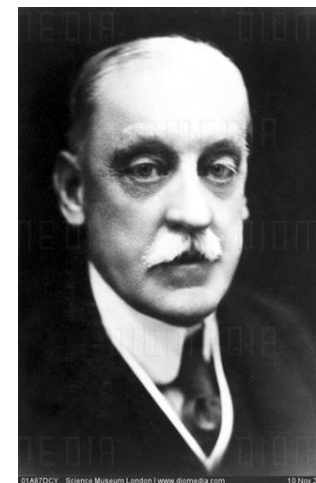


Рис. Роберт Аббот  
Гадфильд (1858-1940)



Рис. Юхан Гадолин  
(1760-1852)



Рис. Г. Земпер  
(1803-1879)



Рис. Э. Виолле-ле-Дюк  
(1814-1879)

*«Чего недостает в наши дни - это, прежде всего, идеи ... хотя бы даже плохой» Э. Виолле-ле-Дюк*

Родоначальники органического движения архитекторов Г. Земпер, Э. Виолле-ле-Дюк призывают изучать возможности новых материалов, выявляя их специфические, значимые для формообразования качества



Рис. Джеймс Эдвард Гордон  
(1913 — 1980)

Джеймс Эдвард Гордон - один из основателей науки о материалах и биомеханики, занимался проблемами конструирования и исследованием физических основ теории прочности традиционных и нетрадиционных материалов



## Эволюция конструкции каркаса. Индустриальная эра

На старте применения из чугунных и стальных конструкций были возведены промышленные объекты, мосты и системы покрытий для нужд стремительно развивающегося железнодорожного транспорта.

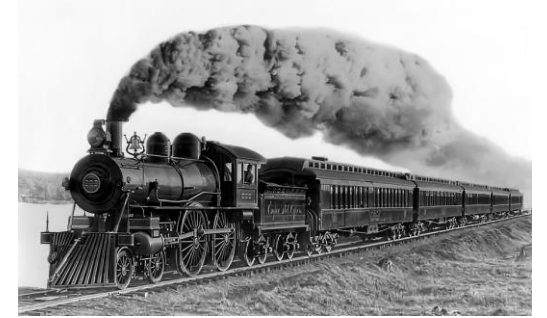


Рис. Перрон станции «Панкрас», Лондон, 1886г.



Перрон и здание Пенсильванского вокзала, Нью-Йорк, 1910 – 1963г.



— MR W. L. B. JENNEY. —

Уильям Ле Барон Дженни  
(1832–1907)

## Конструктивное решение каркаса

Становление конструкции каркаса относят к 1880-м годам в Чикаго (США) при строительстве многоэтажных зданий магазинов.

Сформировал и обосновал каркасную систему руководитель архитектурной школы У. Дженни. Система позволила увеличивать этажность здания, применяя однотипные конструкции.

Классификация каркасов (на несущий и неполный) выполнена Дж.К Фрейтагом в работе «Архитектурная инженерия» в 1901г.

Для каркаса введен термин — «клетка»



Чикаго «Лайтер-билдинг», 1879г.



Начало 20-го века открывает эру исследования  
пространственной взаимосвязи конструкций каркаса.

Огромные успехи в проектировании  
пространственных стальных систем  
были достигнуты благодаря переходу  
от заклепочных узловых соединений  
к сварным и соединениям на  
высокопрочных болтах.

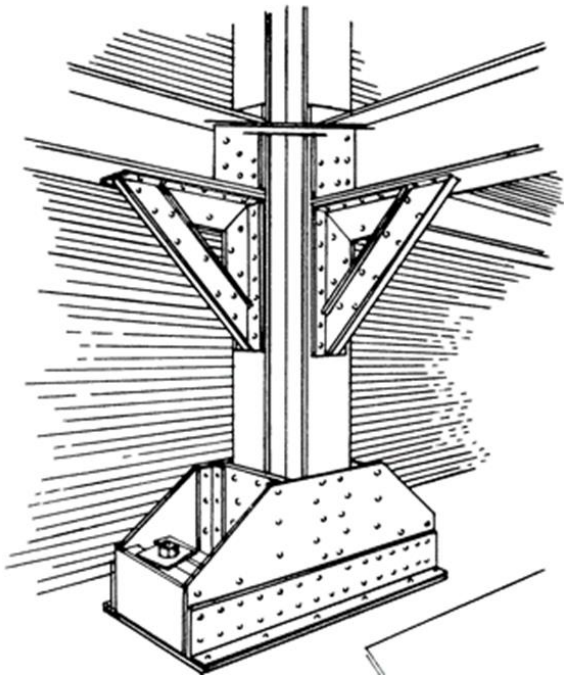


Рис. Узел стального каркаса здания  
«Торренгебау», Антверпен, 1931г.

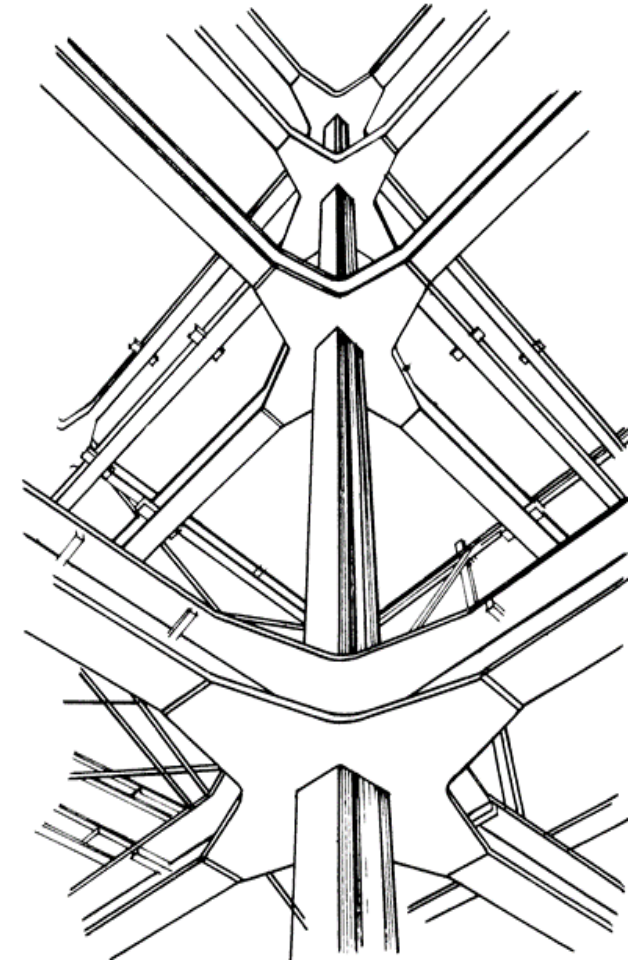


Рис. Узел стального каркаса здания  
магазина «Эрликен», Цюрих, 1955г.

## Особенности проектирования современных стальных каркасов

Принцип взаимодействия конструктивных элементов пространственных каркасов является идеальным для выполнения «гуманных» условий проектных задач: архитектурной - по созданию гармоничной среды обитания, конструкторской - по созданию безопасной для человека несущей системы здания.

*«Квинтэссенцией здания теперь являются не стены и крыша, а пространство...» Ф. Л. Райт*



Рис. Вокзал, Берлин, Германия





Рис. Железнодорожный вокзал «Ориенте»,  
Лиссабон (Архитектор С.Калатрава)



Рис. Ладожский вокзал Санкт-Петербурга,  
(Архитектор Н.И. Явейн)



Проектирование пространственных стальных каркасов  
– процесс сложный и во многом интуитивный.  
По мере увеличения сложности технических систем  
возрастает актуальность и значимость  
экспериментально-теоретических исследований

## Модель 12-ти лучевой пространственной рамы

Замысел – создать конструктивную систему, сохраняя эффект стабильной и, в то же время, динамичной транспортной среды.

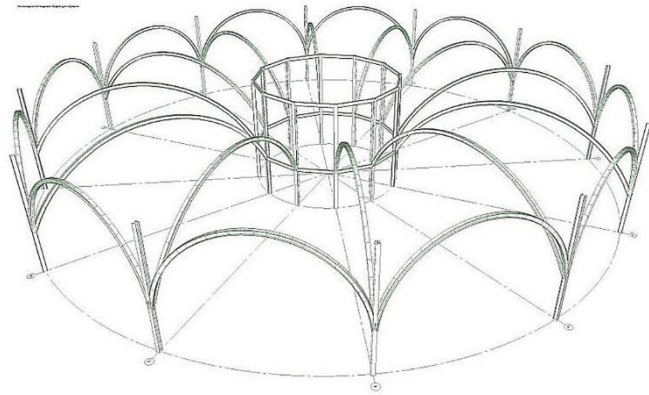


Рис. Модель конструкции рамы

Арочные элементы сориентированы в радиальном и круговом направлениях, имитируют «крону» древовидных колонн.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ



Рис. 3D-модель внутреннего пространства здания вокзала



# Результаты исследований 12-ти лучевой пространственной рамы

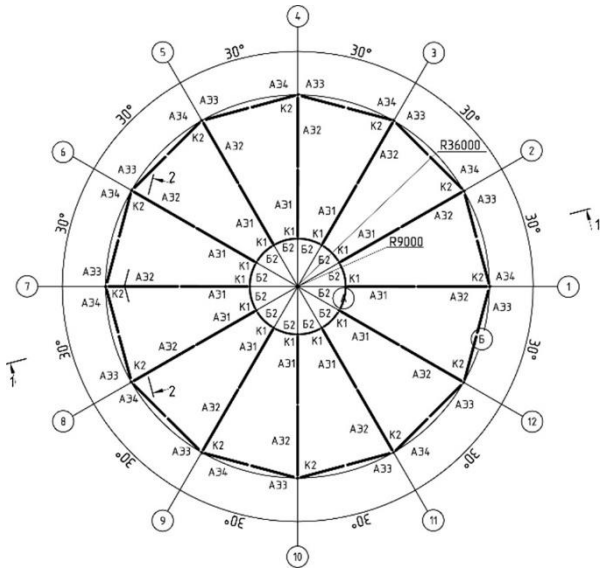


Рис. План центральной части здания

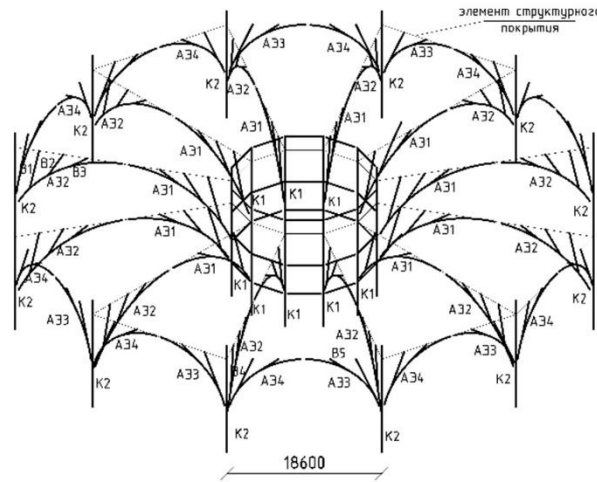


Рис. Схема отправочных марок пространственной рамы

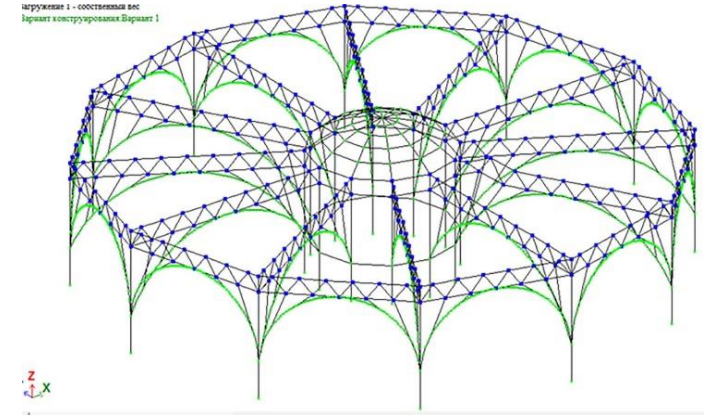


Рис. Расчетная схема пространственной рамы

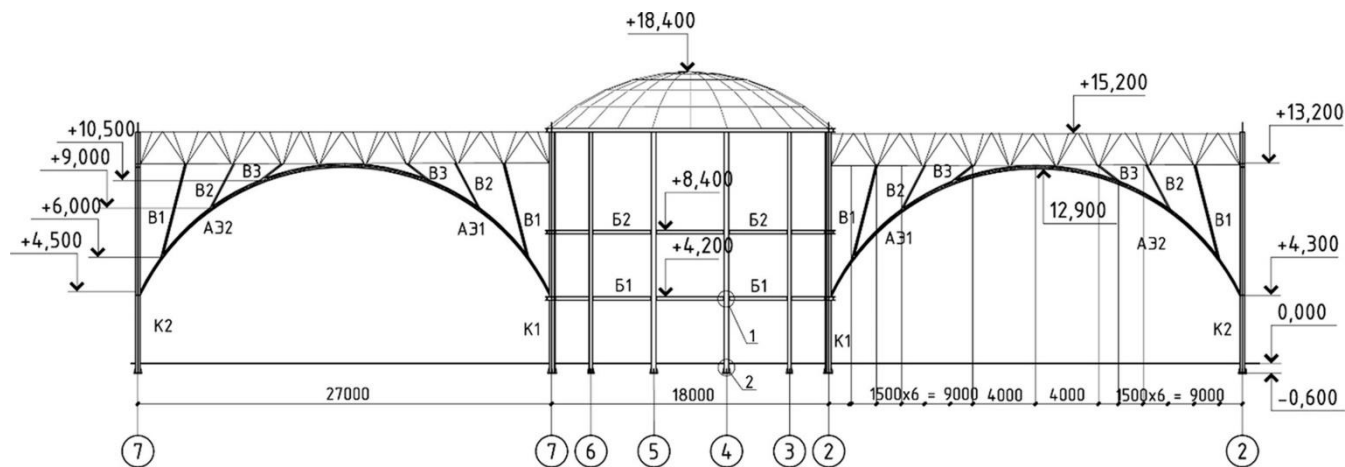


Рис. Чертеж центральной части здания вокзала

Особенностью предложенного каркаса с несущей рамой служит вариативность применения модуля для объектов транспортной инфраструктуры, например, для здания вокзала, перрона и пр.

## Особенности формообразования

Замощение трехмерного пространства 12-ти угольными призмами предполагает включение дополнительных треугольных призм, что приводит к усложнению конструктивной системы объекта.

Рис. Модель конструкции 12-лучевой рамы

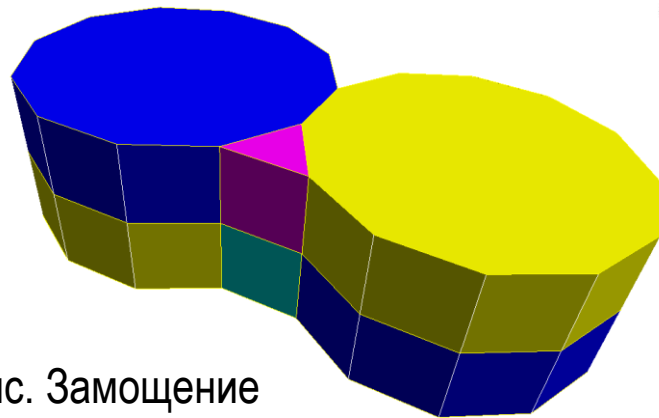
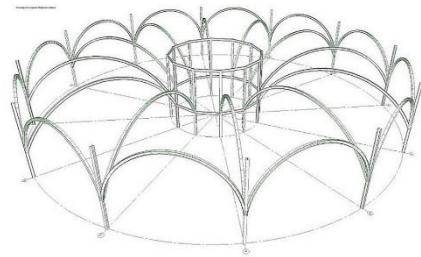


Рис. Замощение 12-ти угольными усеченными призматическими сотами

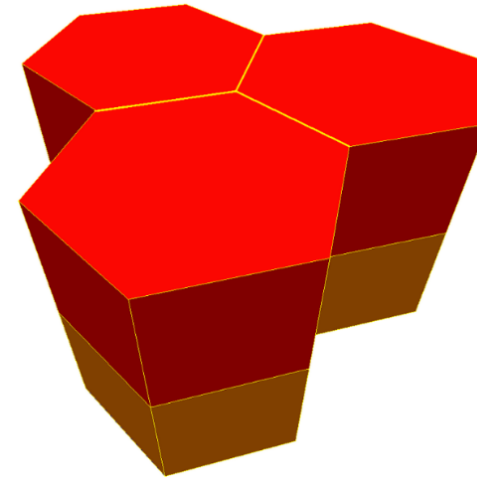


Рис. Замощение 6-ти угольными призматическими сотами

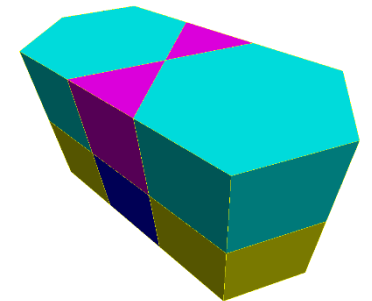


Рис. Линейное замощение пространства

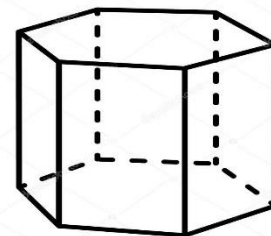
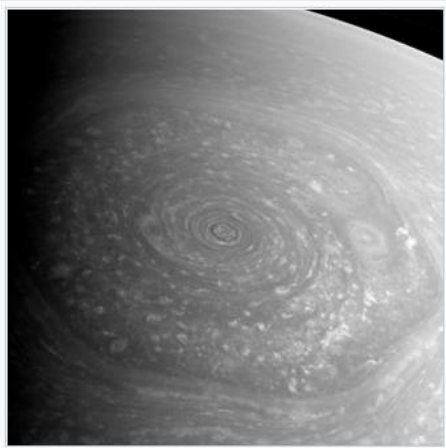


Рис. Гексагональная призма

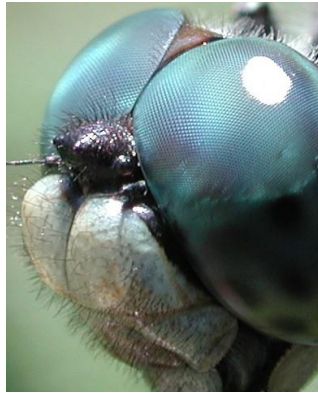
Рациональное замощение трехмерного пространства выполняется 6-ти угольными призмами



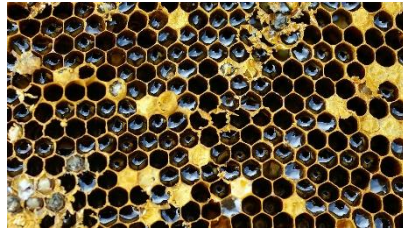
# Природное подтверждение формообразования на основе правильного шестиугольника



Шестиугольное устойчивое атмосферное образование, северный полюс Сатурна. Снимок NASA, август 2014г



Фасеточные глаза насекомых, ракообразных и пр., состоят из групп шестиугольных ячеек



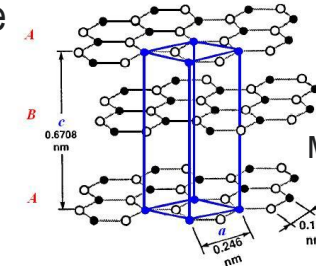
Соты пчел и гнезда ос, состоят из групп шестиугольных ячеек



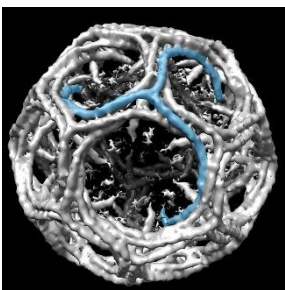
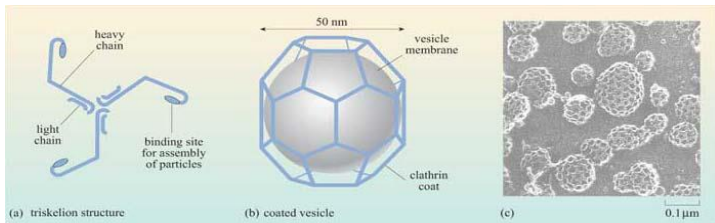
Различные конфигурации снежинок с кристаллографической точки зрения основываются на единственной базовой форме - гексагональной призме



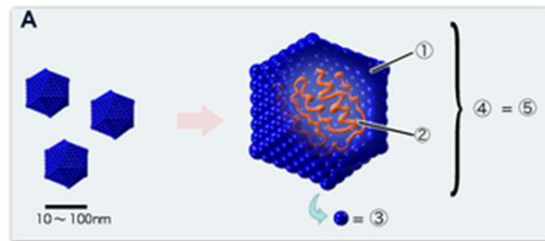
«Мостовая гигантов», Северная Ирландия  
Шестигранные скалы Ущелье Гарни, Армения



Графит – минерал, одна из аллотропных модификаций углерода. Слои кристаллической решетки состоят из шестиугольных слоёв атомов углерода.



Внутриклеточный белок-оболочка клатрин формирует замкнутую трёхмерную сеть, образованную пяти и шестиугольниками



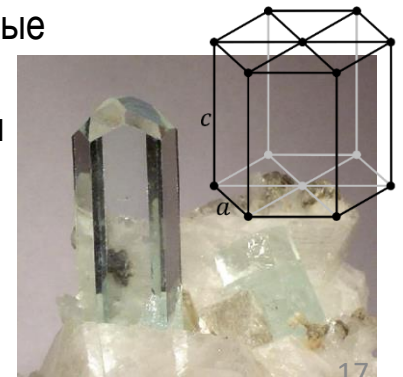
Вирусы, образованные шестиугольными (икосаэдрическими) формами:

А – пикорнавирус, к которому относятся возбудители гепатита; В – герпесвирус,



ротавирус

Бериллы (драгоценные камни), кристаллы образованы призмой с основанием правильного центрированного шестиугольника.



## Модель 6-ти лучевой пространственной рамы

Замысел – создать модуль конструктивной системы, способный «объединяться с себе подобными», формируя неразрывное пространство, обеспечивающий рациональное взаимодействие смежных элементов и конструкций.

Основные параметры пространственной рамы:  
форма – гексагональная призма,  
по внутреннему и внешнему периметру  
пространственной рамы расположено по 6 стоек.  
Расстояние между стойками в радиальном  
направлении (пролет) составляет 6 м;  
расстояние между стойками  
по малому диаметру - 18 м,  
по внешнему диаметру - 24 м.  
Высота стоек 9,9 м

Центральное пространство шестиугольное в плане,  
диаметральное расстояние между крайними стойками 48м.

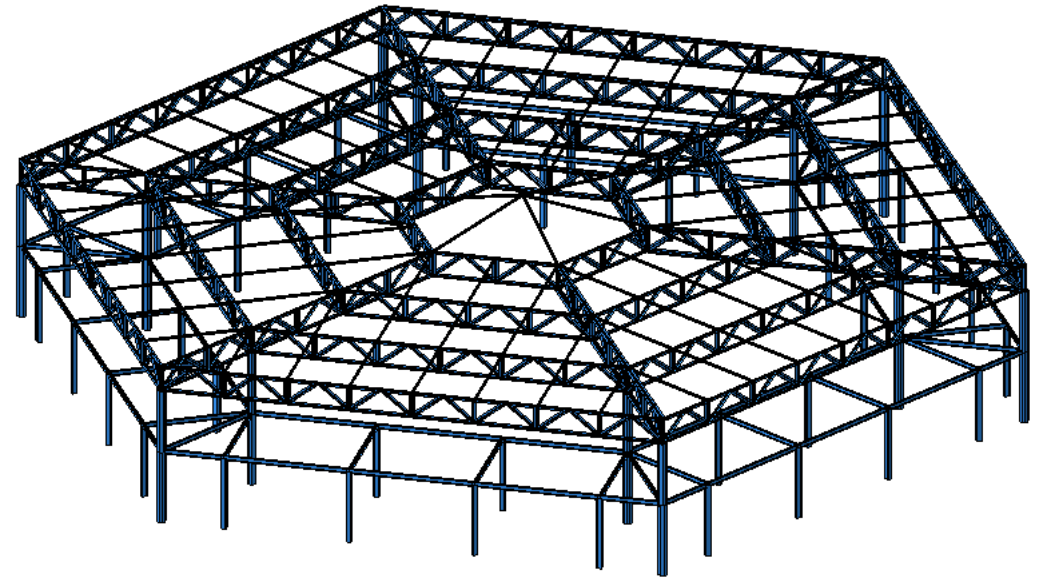


Рис. Модель конструкции рамы с галереей по внешнему периметру



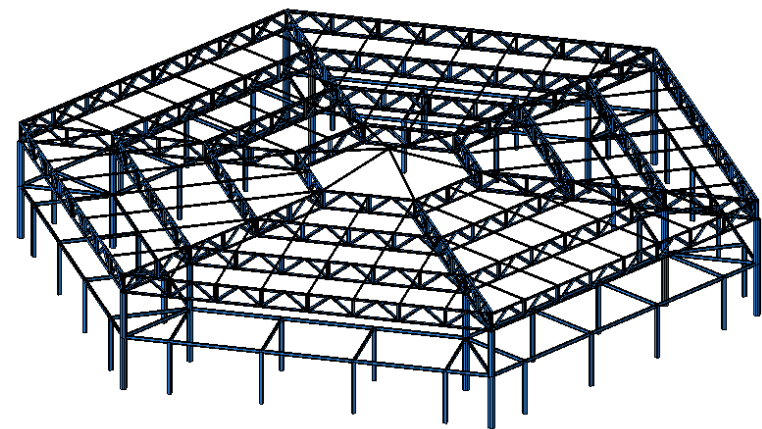
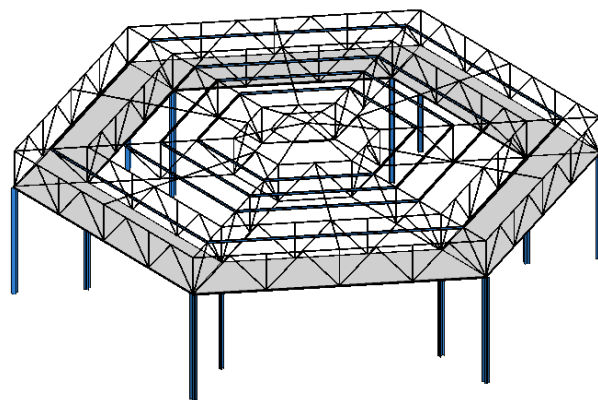
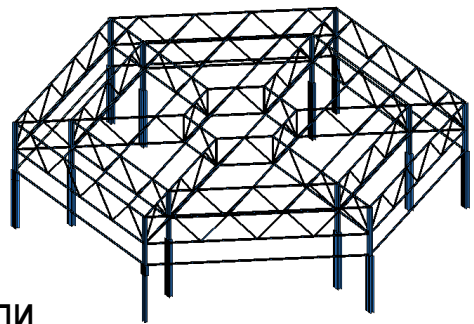
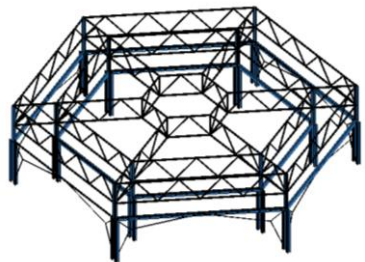


Рис. Варианты модели пространственной рамы

В процессе исследования схемы проанализированы конструктивные решения ряда рам

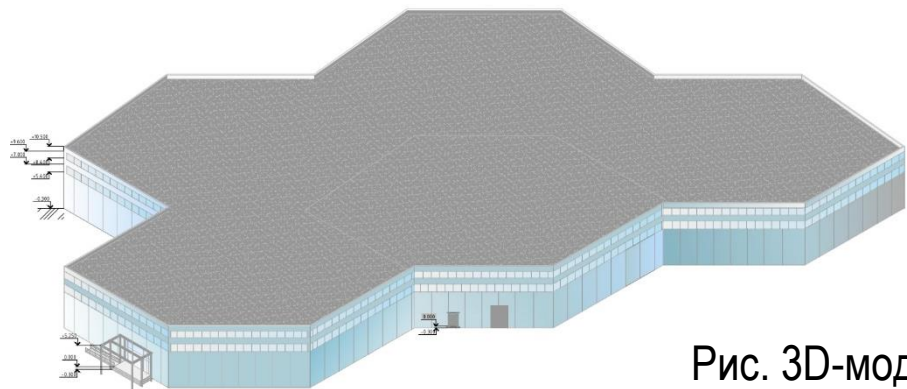


Рис. 3D-модель мусороперерабатывающего завода

Опираясь на предварительные расчёты предложено конструктивное решение модульного здания мусороперерабатывающего завода и адаптирована 3D-модель из смежных модулей.

## Результаты исследований 6-ти лучевой пространственной рамы

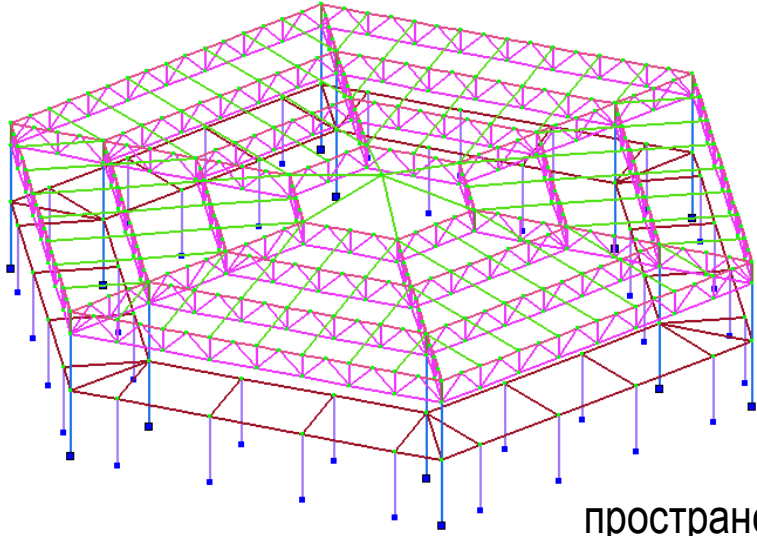


Рис. Итоговая схема пространственной рамы с галереей

Последовательные пересчёты позволили оптимизировать сечения основных элементов при обеспеченной несущей способности. Показания величин деформаций элементов и конструкции в целом не вызывают сомнений в пространственной жёсткости и геометрической неизменяемости исследуемой конструктивной системы объемного модуля.

Уточнение статической схемы пространственной рамы произведено с учетом целесообразности и возможностей изготовления узловых сопряжений элементов, технологий монтажа и пр. факторов.

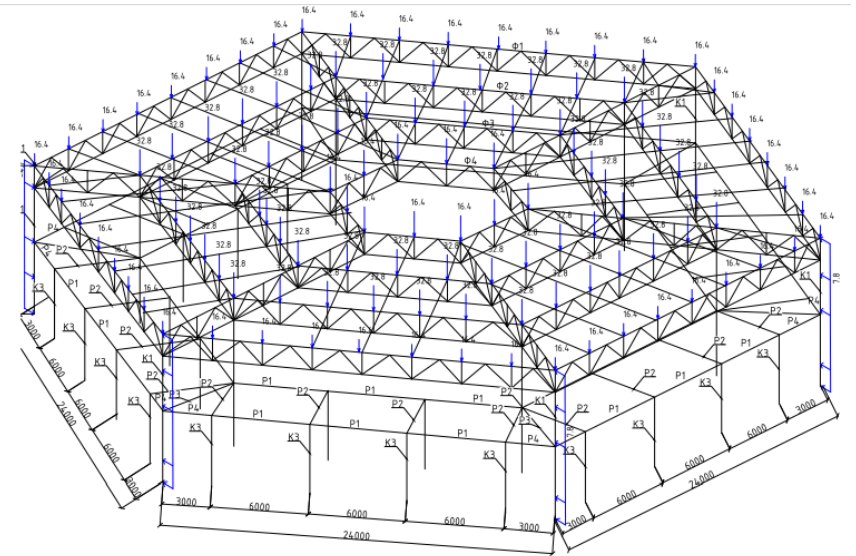


Рис. Расчетная схема рамы



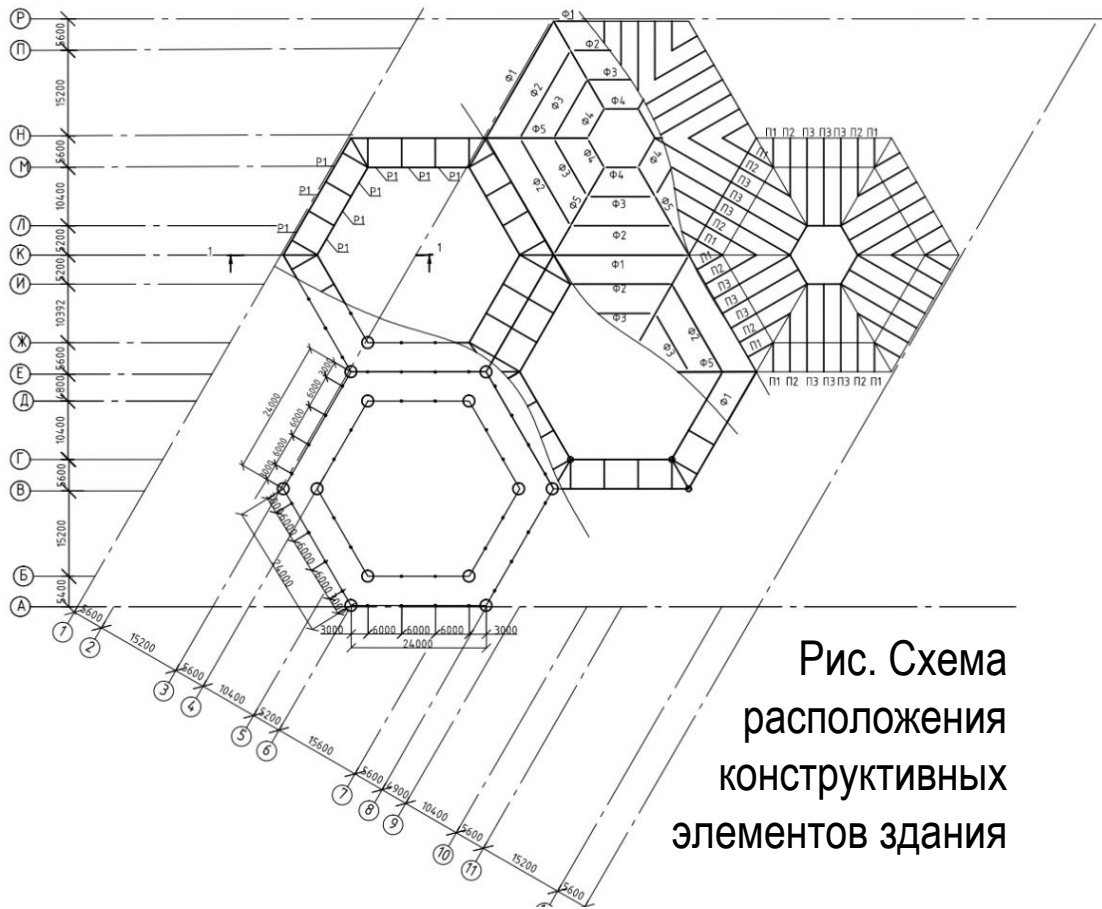


Рис. Схема расположения конструктивных элементов здания

Разрез 1-1

Особенностью предложенного 6-ти лучевого модульного каркаса является неразрывность формируемого пространства, конструктивная направленность модуля на трансформацию объекта в режиме модернизации, расширения и реконструкции производства.

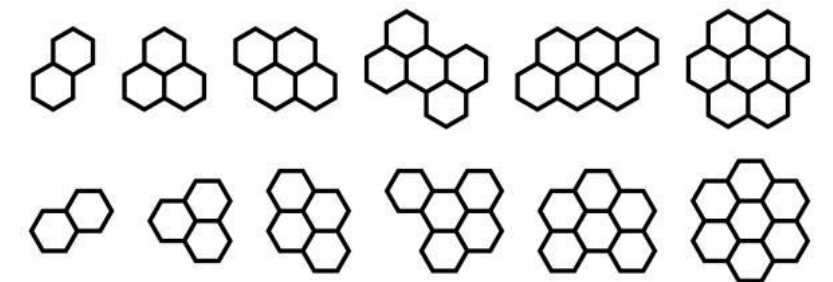


Рис. Варианты трансформации на плане

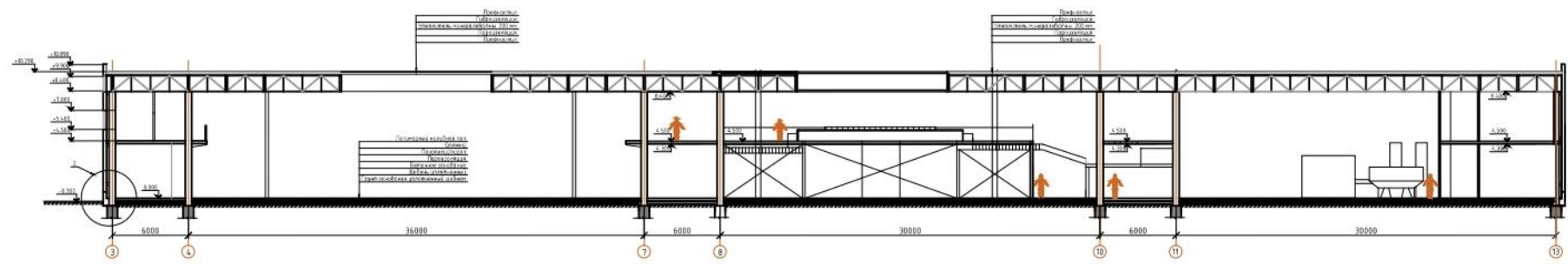


Рис. Разрез здания

С внедрением инновационных строительных материалов, по мере развития строительных технологий и совершенствования методов расчёта возникают технические возможности увеличения объёмно-планировочных параметров объекта



Рис. Мусоросжигающий завод, Копенгаген

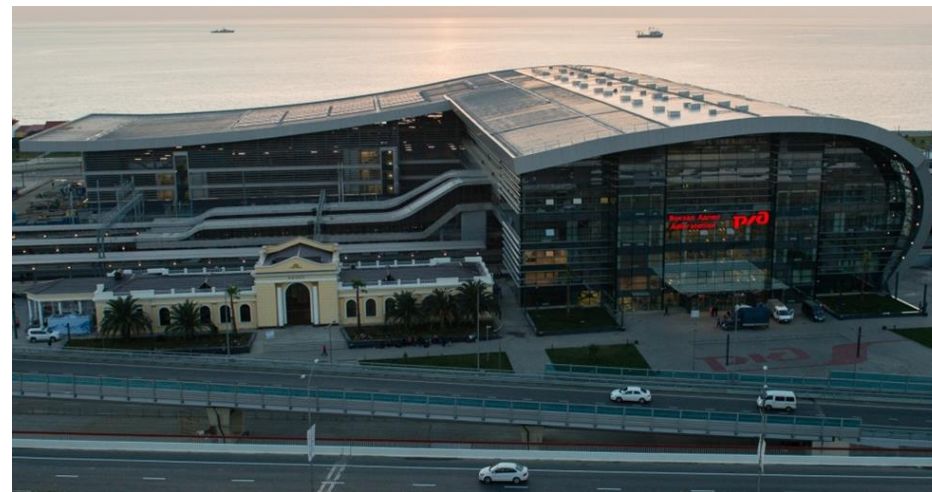


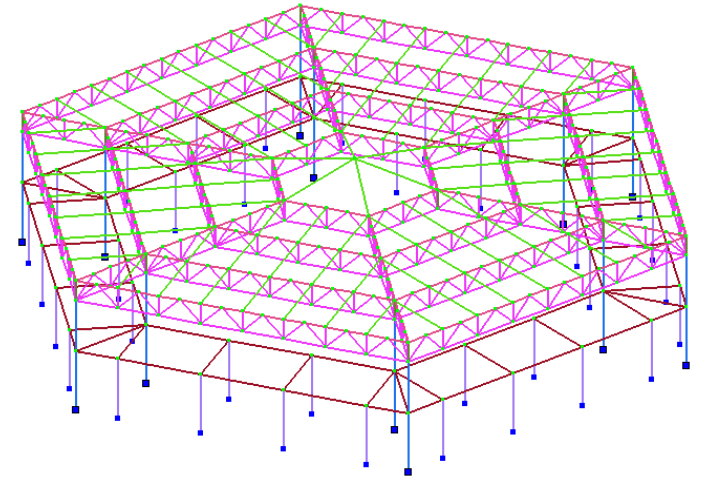
Рис. Вокзал, Адлер

Процесс прогнозирования работы конструкций во времени, с учётом возможных внезапных воздействий аварийного характера, становится всё более актуальным условием проектирования зданий и сооружений.

Руководствуясь нелинейной парадигмой проектного мышления,  
содержание дальнейших исследований:

- оптимизация расчётной схемы и сечений основных элементов рамы с учётом конструктивной нелинейности,
- выявление целесообразной сборочной схемы,
- выявление универсальных элементов,
- оптимальное конструирование монтажных и заводских сопряжений, в том числе с учётом примыкания конструкций смежных объектов,
- анализ работы конструкции каркаса на расчетные ситуации, с учётом прогрессирующих нагрузок,
- оценка живучести системы при локальных повреждениях.

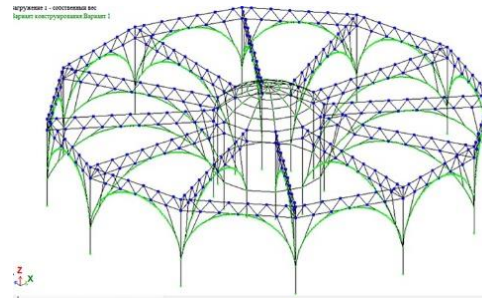
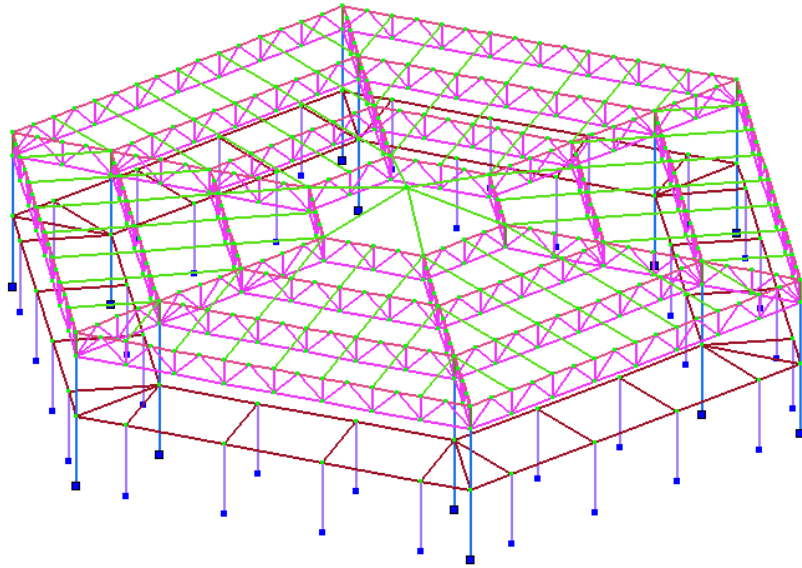
## ПЕРСПЕКТИВА





# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

*«Видимое осуществление идеала на основе единого принципа есть стиль»  
Э. Виолле-ле-Дюк*



Проведенные и намеченные исследования не только способствуют реализации идей органической архитектуры при разработке конструктивных решений зданий и сооружений, но и имеют практическую ценность.

Применение модуля позволит формировать в едином стиле протяженные объёмы зданий и сооружений со свободными внутренними пространствами, адаптированными под различные цели, с обеспеченной возможностью расширения и трансформации объекта.