



# Российские САЕ-системы на службе промышленности<sup>2020</sup>

## Трудовые будни расчетного отдела

Дмитрий Александров



НТЦ «АПМ» - ведущий разработчик ПО для инженерных расчетов



## Расчеты по заказу предприятий

более 10 лет  
на рынке  
данных услуг

более 500  
выполненных  
расчетов

собственное  
развивающееся  
расчетное ПО

## Основные типы расчетов

статический  
расчет

расчет  
устойчивости

расчет  
собственных  
частот и  
вынужденных  
колебаний

усталостный  
расчет

расчет  
с учетом  
геометрической  
и физической  
нелинейности

расчет  
контактного  
взаимодействия



**Складское  
оборудование**



**Энергетика**



**Нефтегазовая  
промышленность**



**Военно-  
промышленный  
комплекс**



**Подъемно-  
транспортное  
оборудование**

**Сельскохозяйственное  
оборудование**



**Индустрия  
развлечений**



**Приборостроение**



**Транспорт**

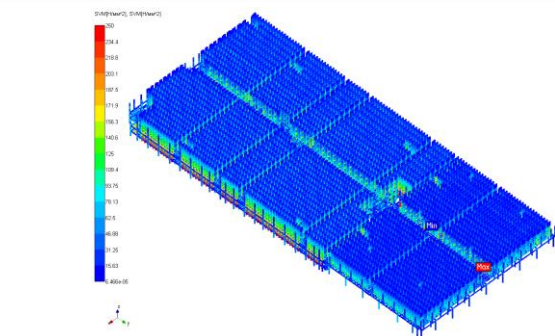


**Станкостроение**

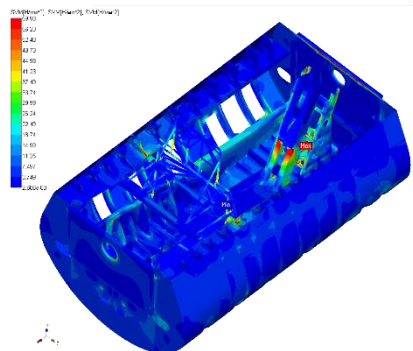


**Наши  
заказчики**



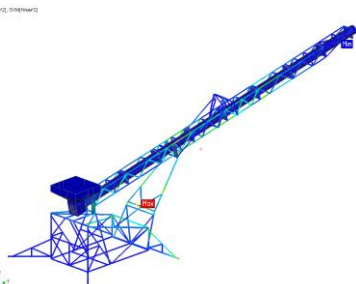


**Складское  
оборудование**

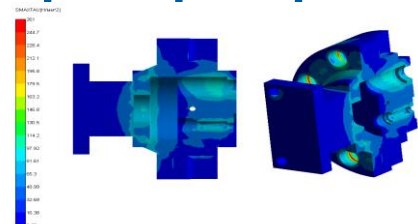


**Военно-  
промышленный  
комплекс**

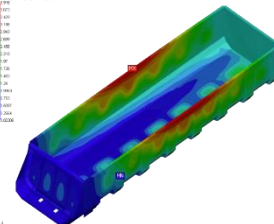
**Сельскохозяйственное  
оборудование**



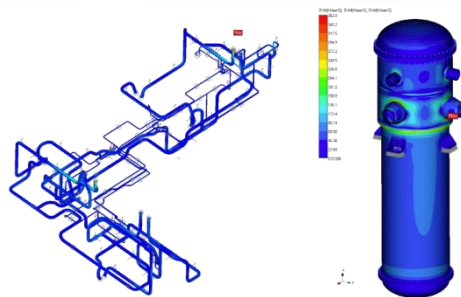
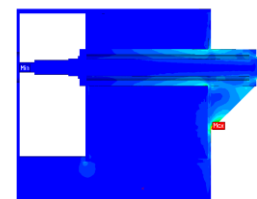
**Приборостроение**



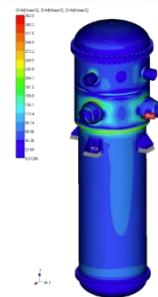
**Транспорт**



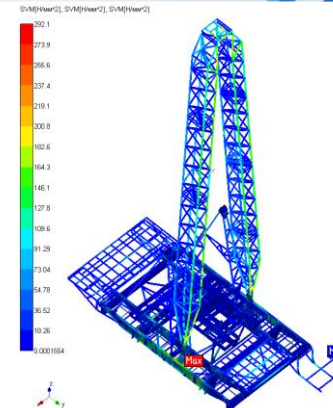
**Станкостроение**



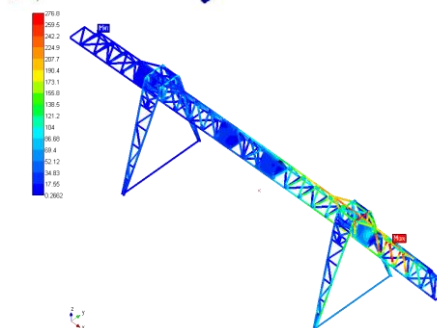
**Энергетика**



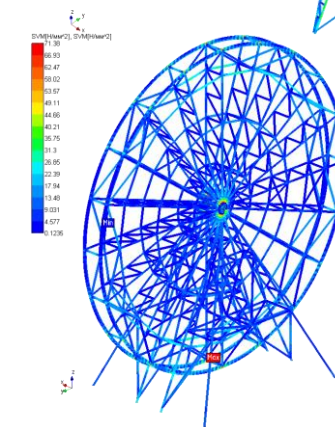
**Нефтегазовая  
промышленность**



**Подъемно-  
транспортное  
оборудование**



**Индустрия  
развлечений**



**Наши  
заказчики**



## Буровая установка

### Нормативная база

1. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция
2. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция
3. ГОСТ Р ИСО 13626-2013 Сооружения для бурения и обслуживания скважин
4. Спецификация API 4F Конструкции для бурения, ремонта и обслуживания скважин.





## Буровая установка

### Методика расчета

1. Расчеты по предельным состояниям первой группы, включая:

- расчет на прочность с учетом возможных неблагоприятных условий эксплуатации;
- расчет на потерю устойчивости формы конструкции;
- расчет на устойчивость положения (расчет на опрокидывание и скольжение);
- расчет на усталостное разрушение (расчет на выносливость конструкций, находящихся под воздействием многократно повторяющейся нагрузки);
- расчет конструктивных элементов по СП 16.13330.2017.

2. Расчеты по предельным состояниям второй группы, включая:

- расчет перемещений элементов конструкции (прогибы, углы поворота, углы перекоса и т.п.).

3. Определение давления на грунт и расчет соединений (болтовых, пальцевых) на статическую прочность и выносливость.



## Буровая установка

### Исходные данные

Для построения КЭ модели и выполнения расчета, были использованы:

1. Данные по конструкторской части изделия – 3d модель изделия.

2. Данные по нагрузкам и условиям эксплуатации буровой установки, включая:

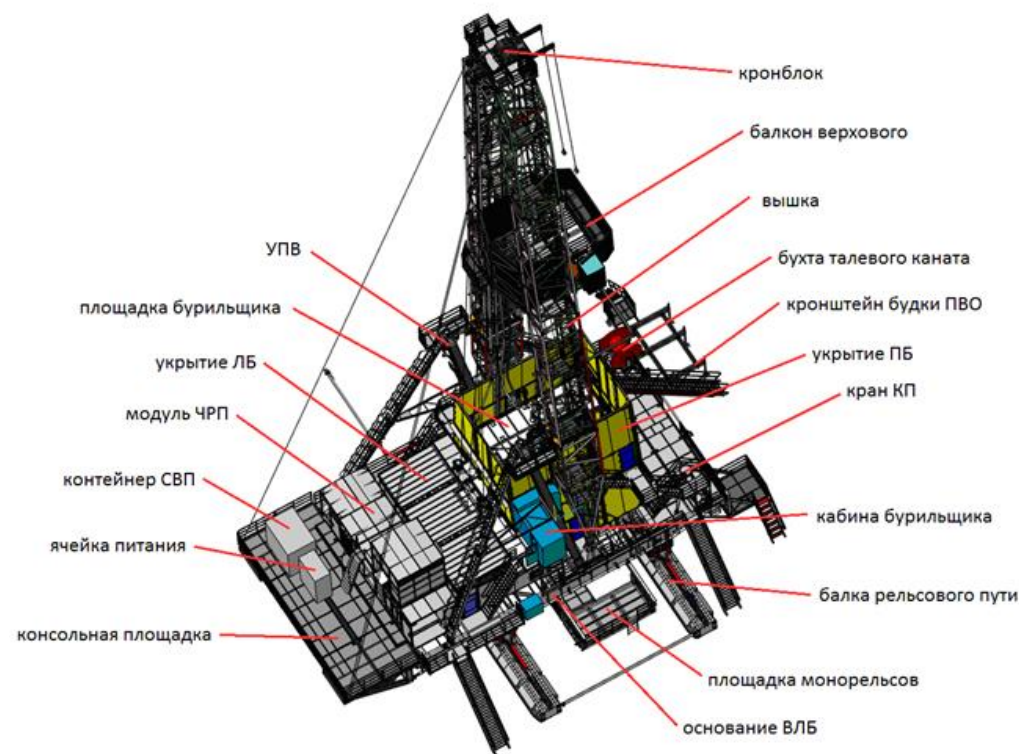
- значение постоянных нагрузок (массы оборудования и прочих элементов не включенных в 3d модель);

- значение полезных нагрузок (нагрузка на кронблок; вес пакета свечей; статические нагрузки на ротор; нагрузки, вызванные работой технологического оборудования);

- место эксплуатации буровой установки (ветровой, гололедный и сейсмический районы);

- значения инерционных нагрузок (ускорение разгона и торможения основания БУ при перемещении по рельсовому пути);

3. Расчетные характеристики используемых в конструкции материалов.





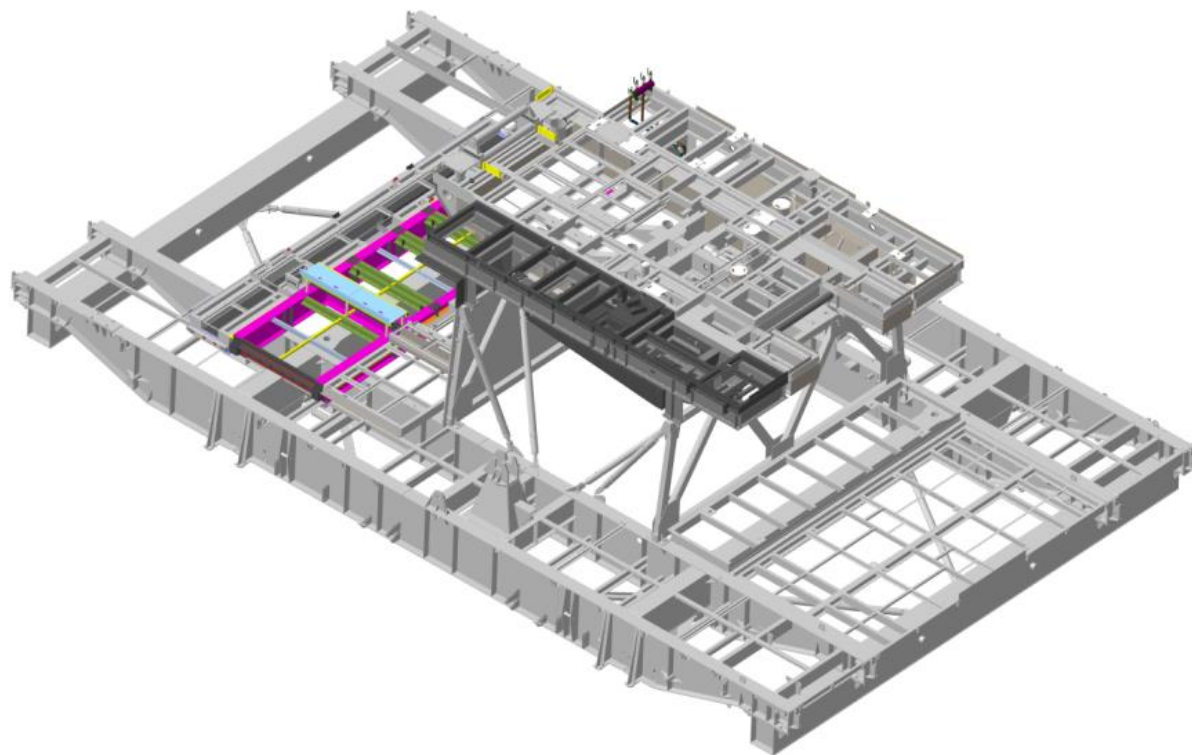


## Буровая установка

3d модель



Буровая установка в сборе

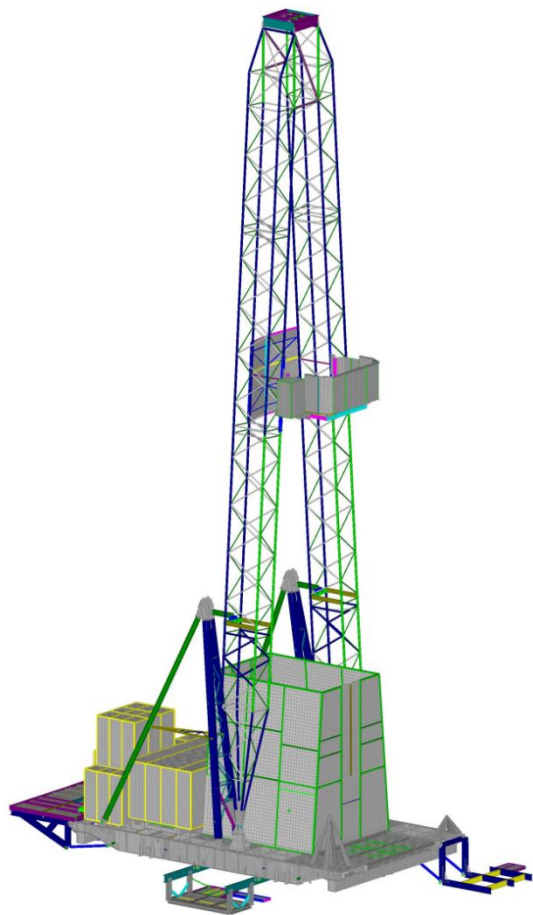


Основание вышечно-лебедочного блока

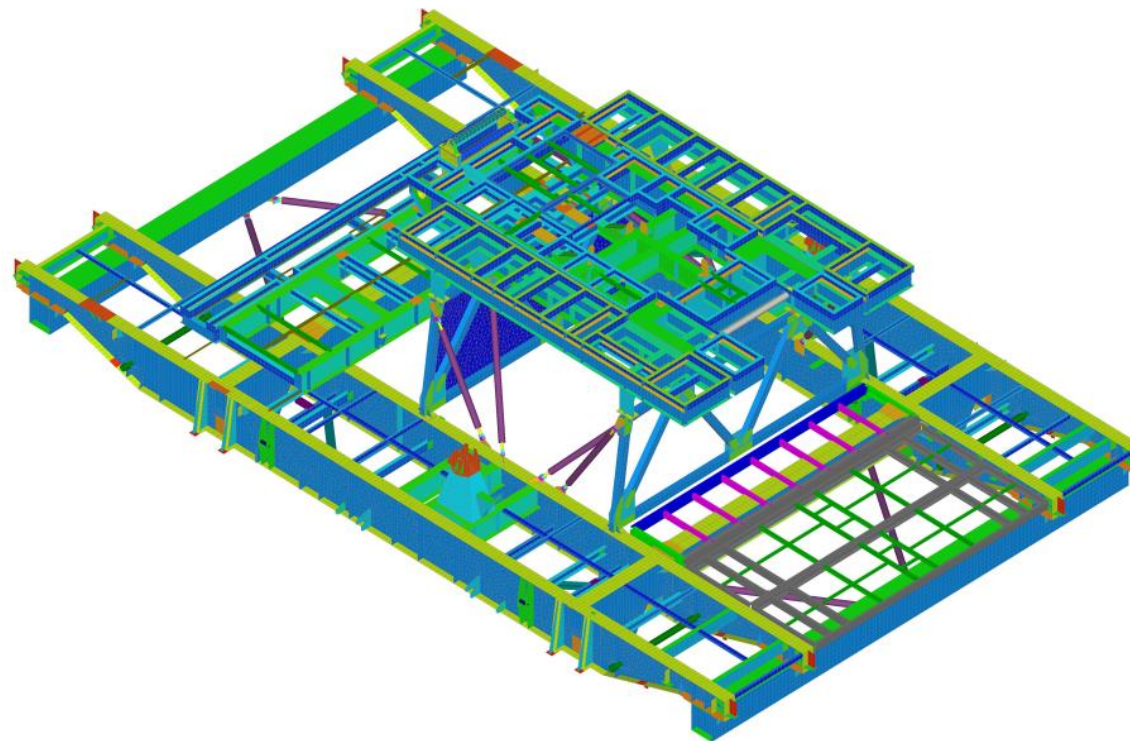


## Буровая установка

КЭ модель



Буровая установка в сборе

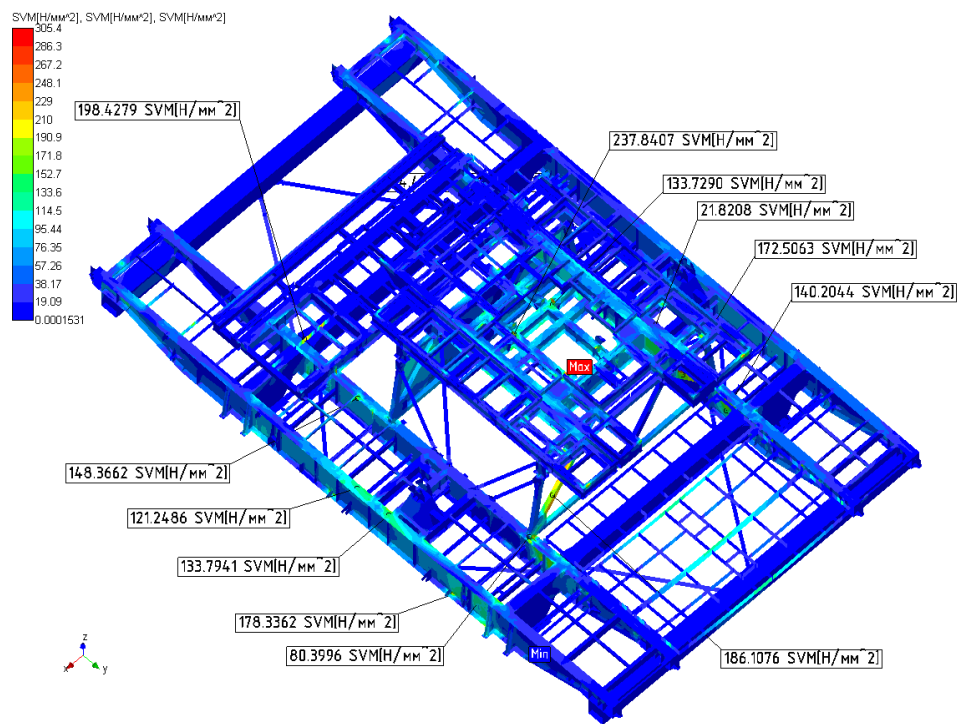


Основание вышечно-лебедочного блока

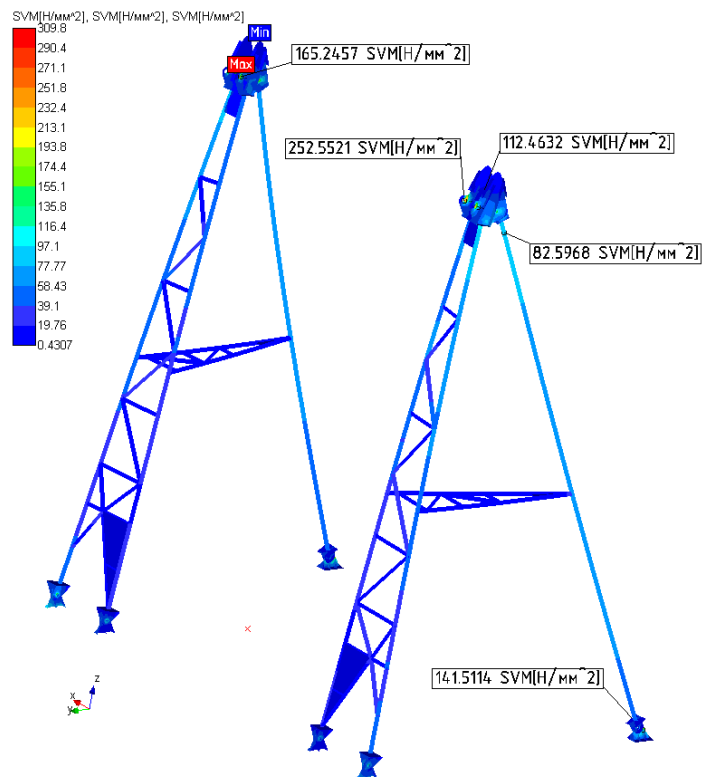


## Буровая установка

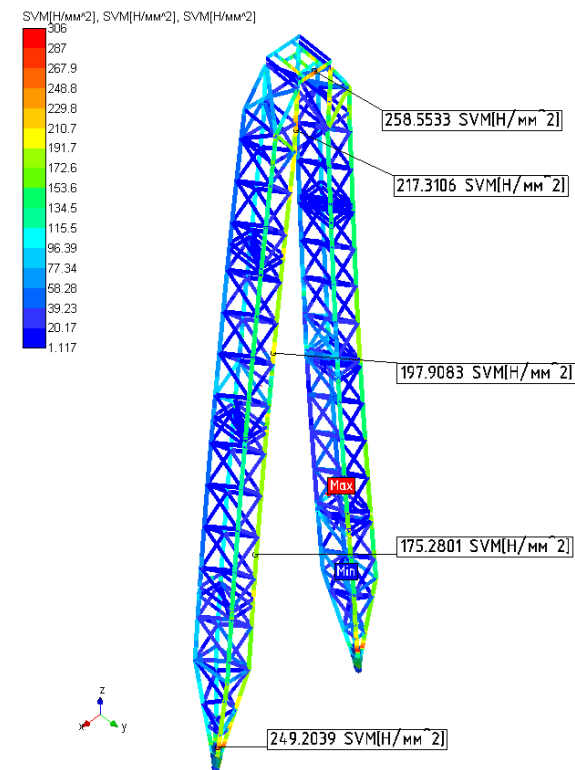
### Результаты расчета



Основа ВЛБ



Устройство поднятия вышки



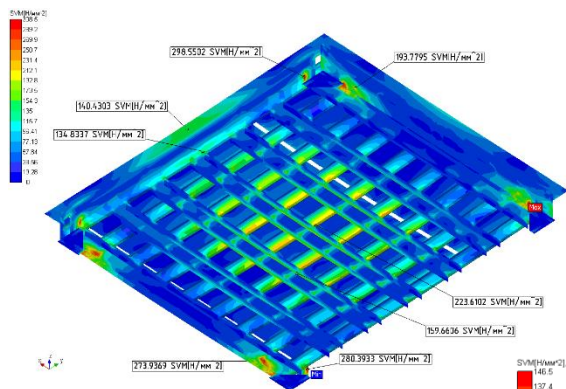
Вышка

Карты распределения эквивалентных напряжений в конструкции буровой установки

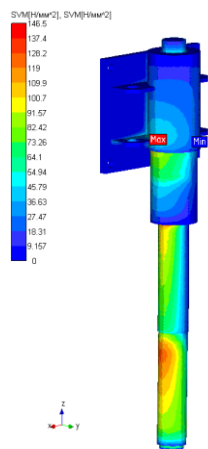


# Буровая установка

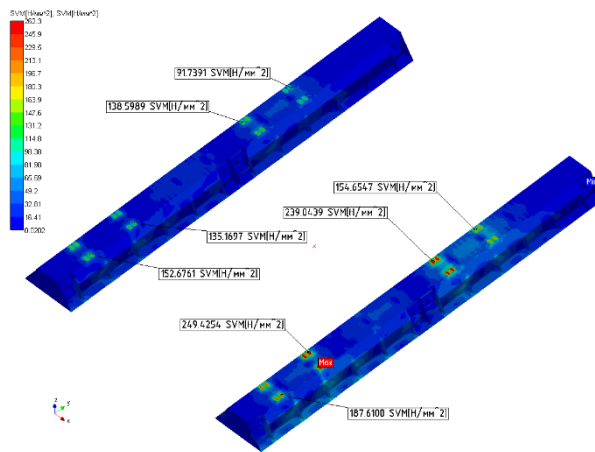
## Результаты расчета



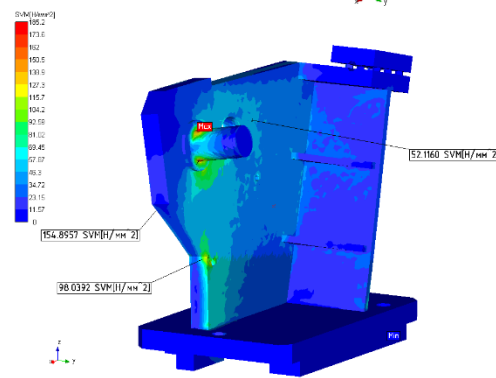
Подсвечник



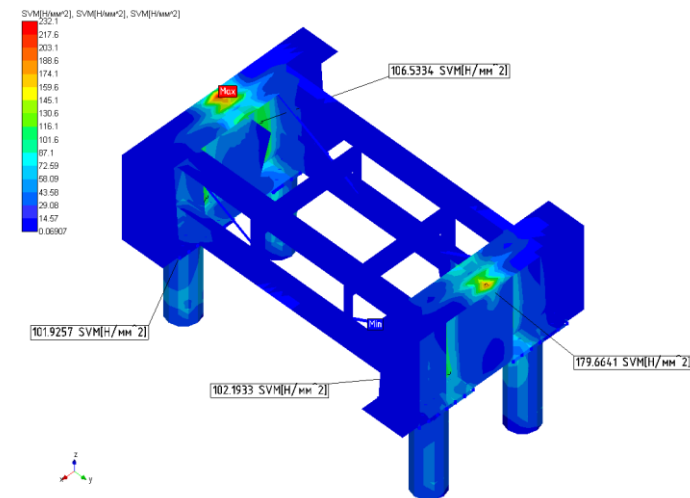
Гидродомкрат



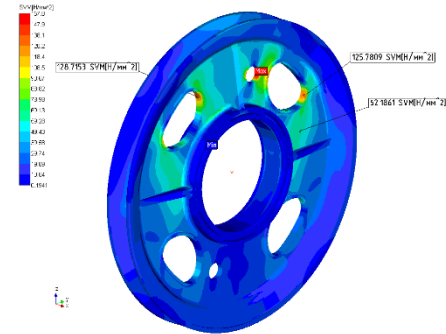
Балки рельсового пути



Узел закрепления неподвижной ветви



Винтовая опора



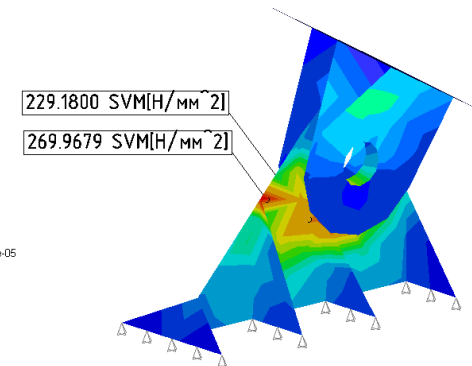
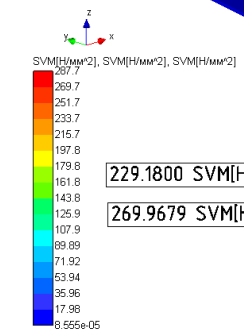
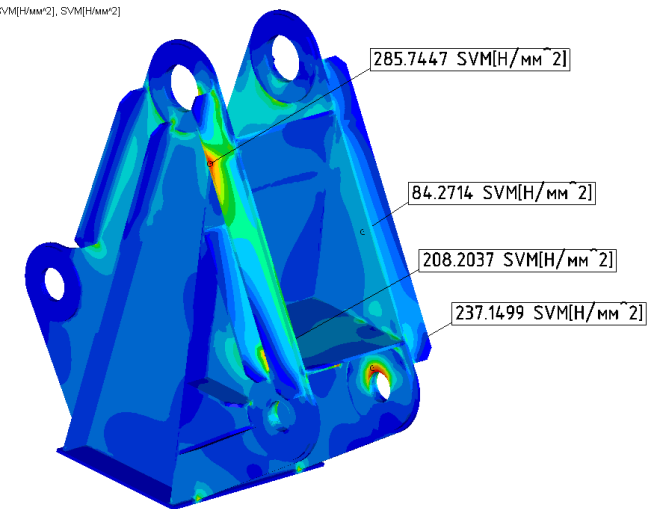
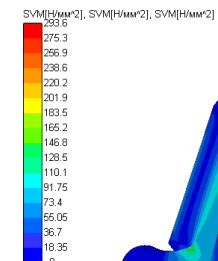
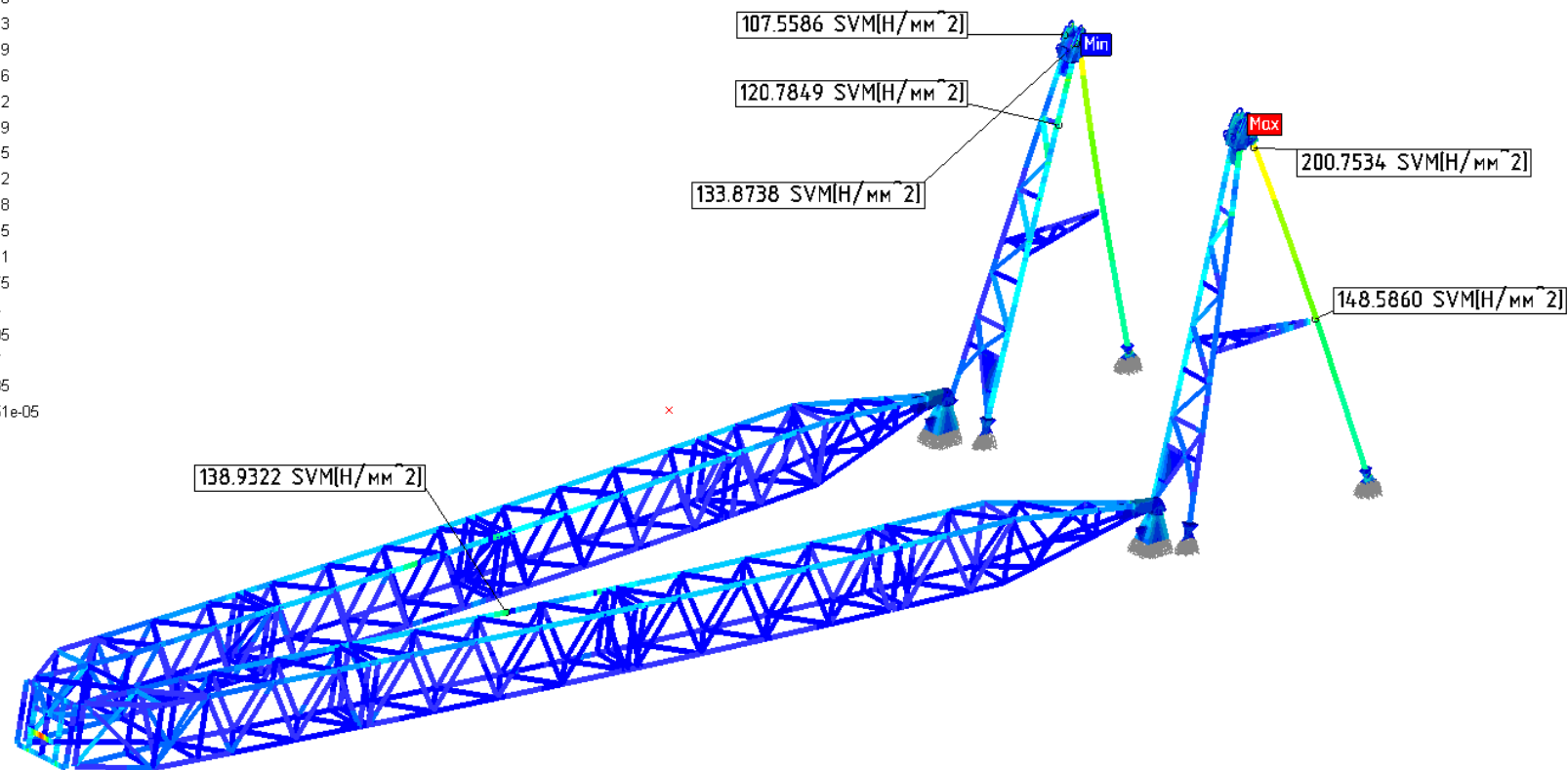
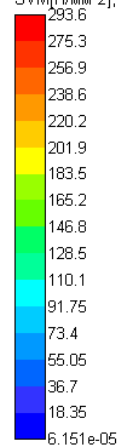
Шкив кронблока

Карты распределения эквивалентных напряжений в элементах буровой установки

## Буровая установка

### Результаты расчета

SVM[H/mm<sup>2</sup>], SVM[H/mm<sup>2</sup>], SVM[H/mm<sup>2</sup>]



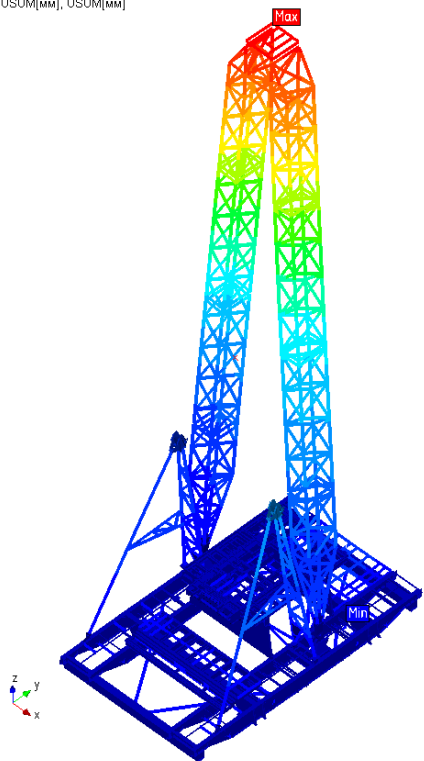
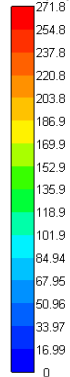
Карты распределения эквивалентных напряжений в конструкции вышки при подъеме



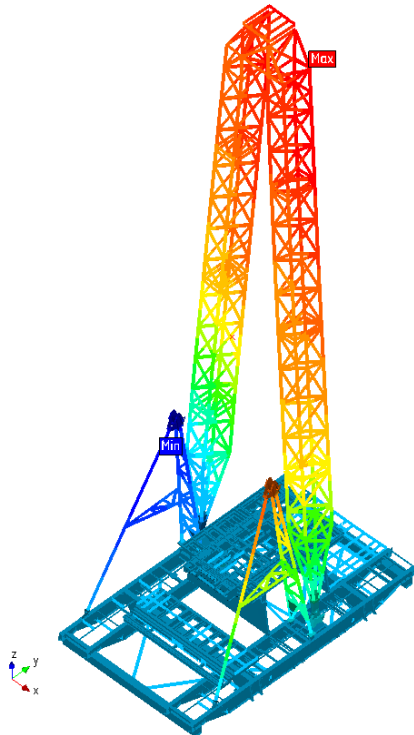
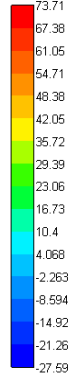
## Буровая установка

### Результаты расчета

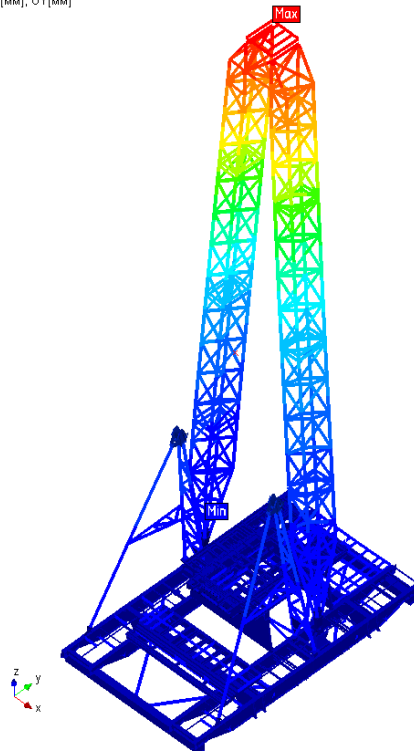
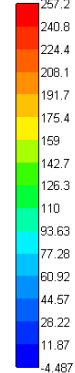
USUM[mm], USUM[mm], USUM[mm]



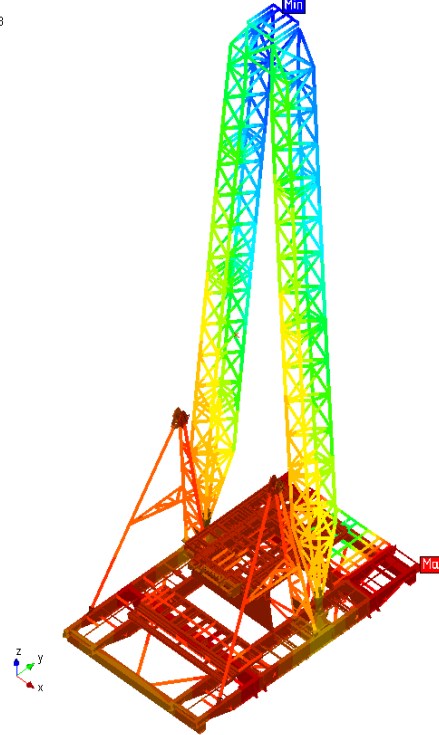
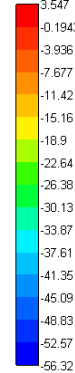
UX[mm], UX[mm], UX[mm]



UY[mm], UY[mm], UY[mm]



UZ[mm], UZ[mm], UZ[mm]



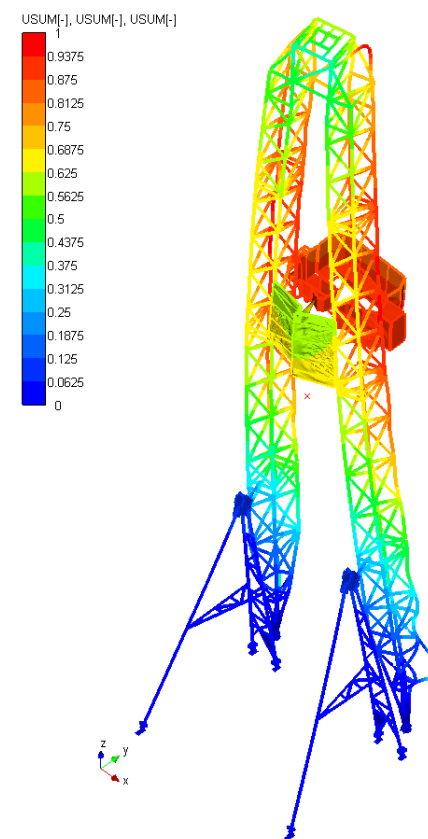
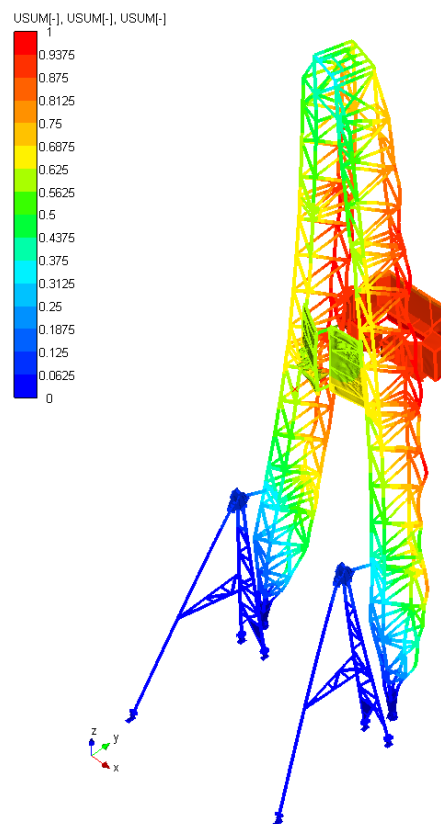
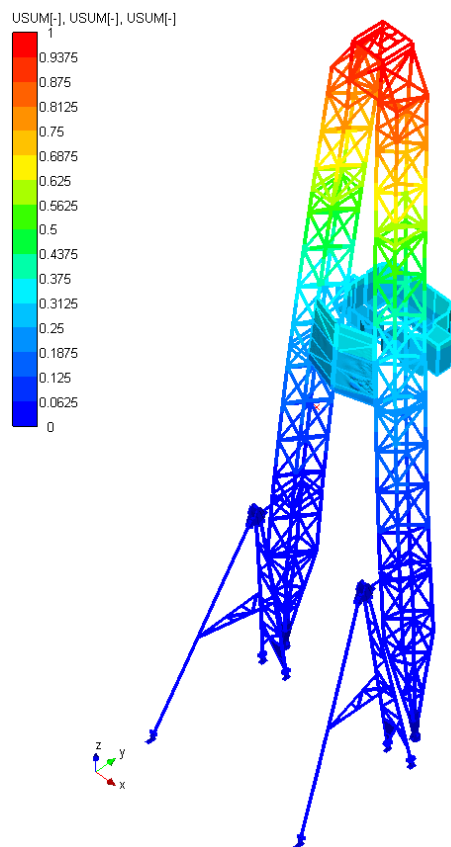
Карты перемещений конструкции буровой установки при испытательной нагрузке





## Буровая установка

### Результаты расчета



Формы потери устойчивости вышки БУ



## Стеллажная система

### Нормативная база

1. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция
2. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция
3. ГОСТ Р 55525-2017 Складское оборудование. Стеллажи сборно-разборные. Общие технические условия
4. ГОСТ Р 56567–2015 (ЕН 15512:2019) «Стеллажи сборно-разборные. Нормы расчёта.



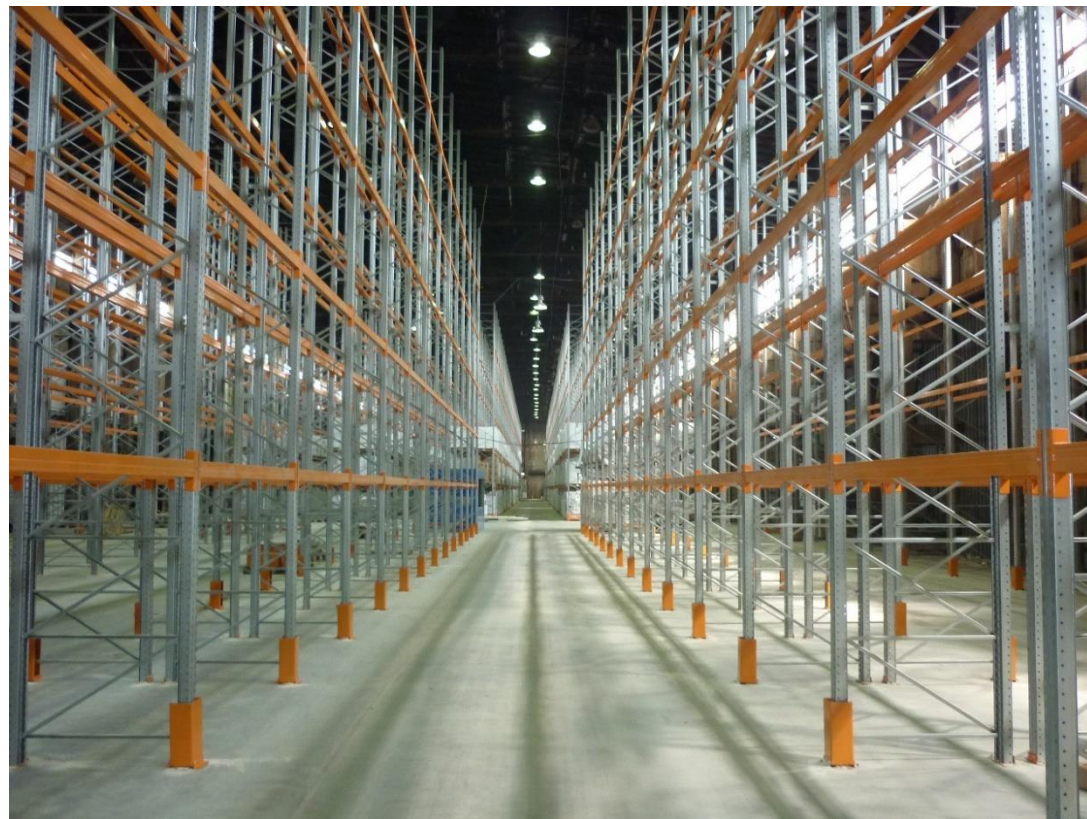




## Стеллажная система

### Методика расчета

1. Расчеты по предельным состояниям первой группы, включая:
  - расчет на прочность с учетом возможных неблагоприятных условий эксплуатации;
  - расчет на потерю общей устойчивости формы конструкции при сжатии и изгибе элементов;
  - расчет на потерю местной устойчивости формы конструкции.
2. Расчеты по предельным состояниям второй группы, включая:
  - расчет перемещений элементов конструкции (прогибы, углы поворота, углы перекоса и т.п.).
3. Определение нагрузок на пол склада и расчет соединений на статическую прочность и выносливость.





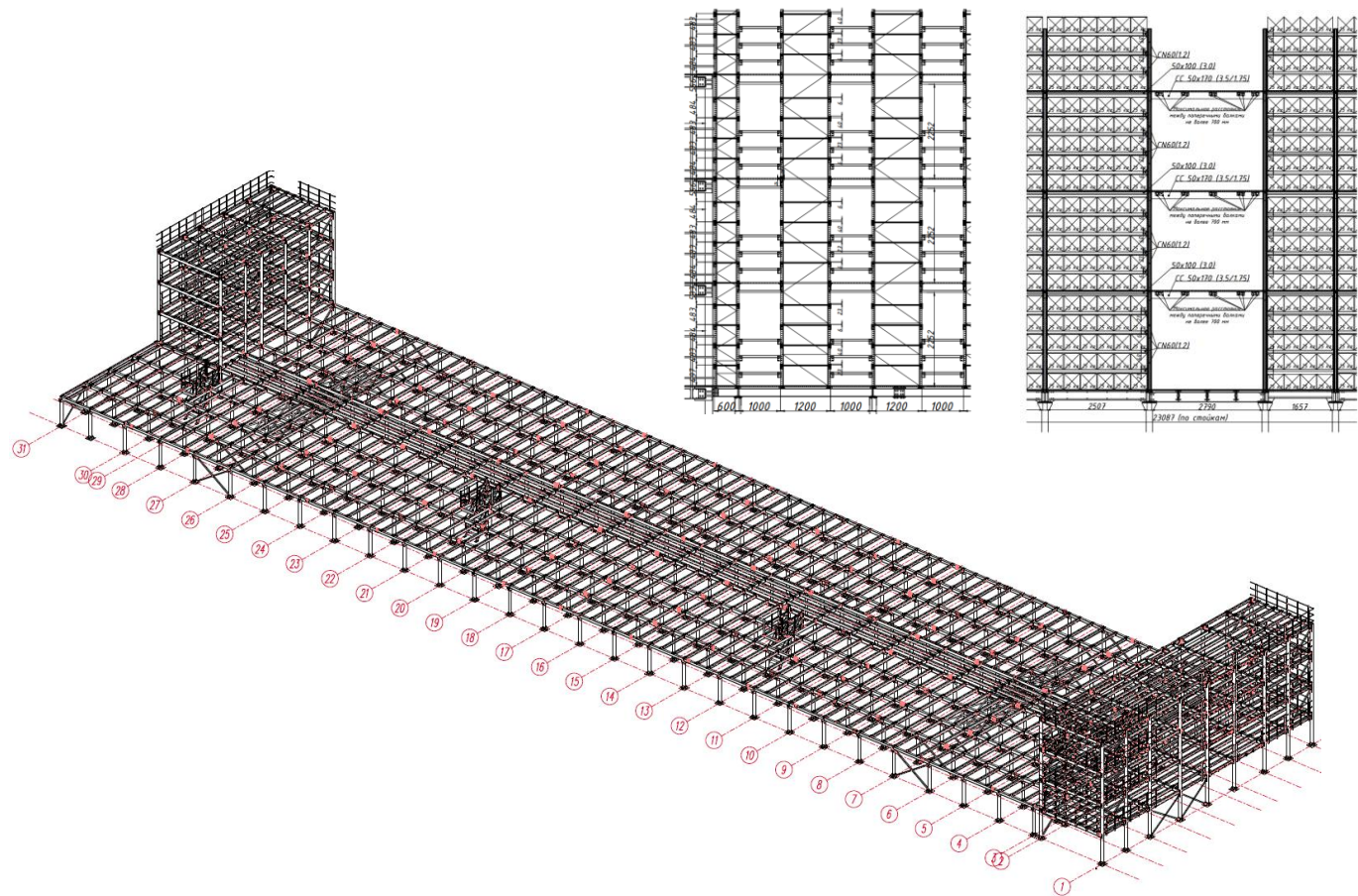
## Стеллажная система

### Исходные данные

Для построения КЭ модели и выполнения расчета, были использованы:

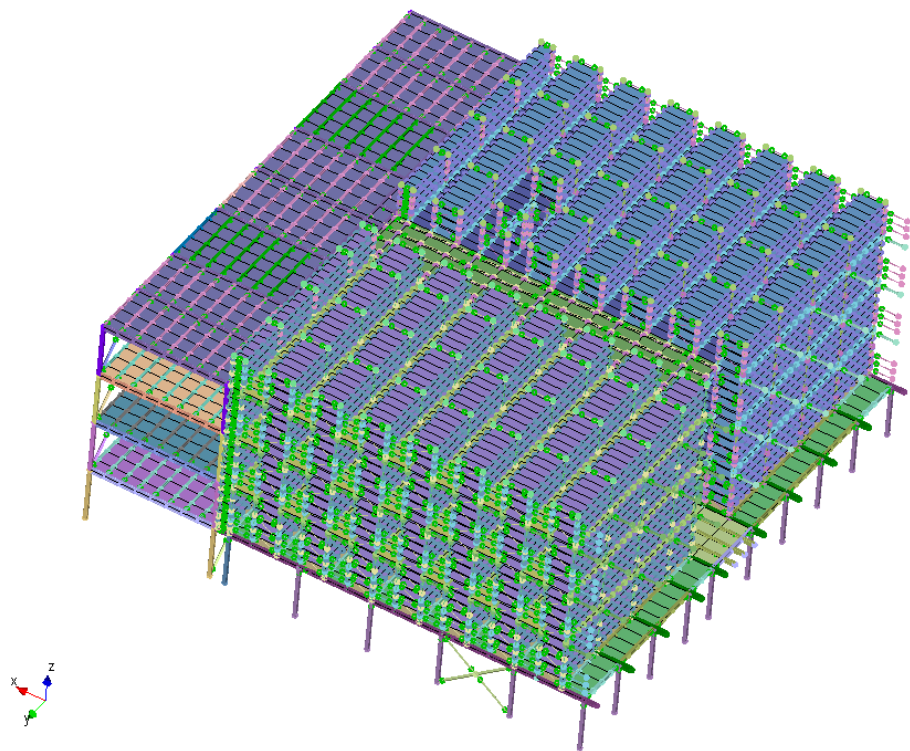
1. Данные по конструкторской части изделия – чертежи изделия.
2. Данные по нагрузкам и условиям эксплуатации складского оборудования, включая:
  - значение полезных нагрузок на пол мезонина в зонах загрузки и комплектации;
  - значение полезных нагрузок на ячейки хранения фронтальных стеллажей;
3. Расчетные характеристики используемых в конструкции материалов.

### Чертежи

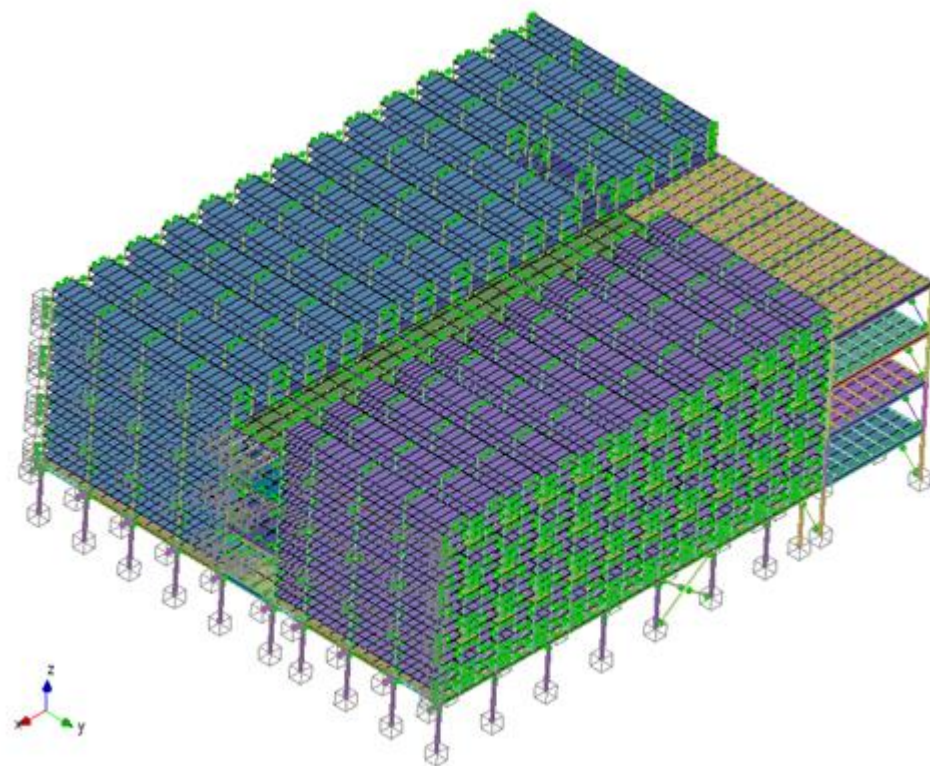


## Стеллажная система

КЭ модель



Часть 1



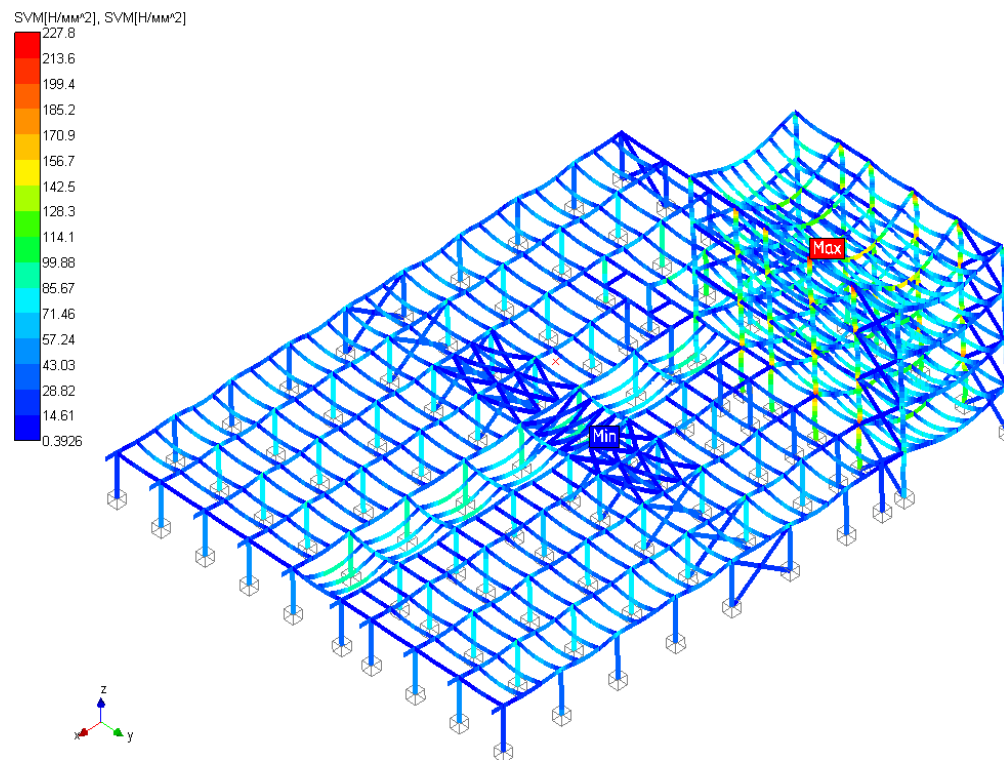
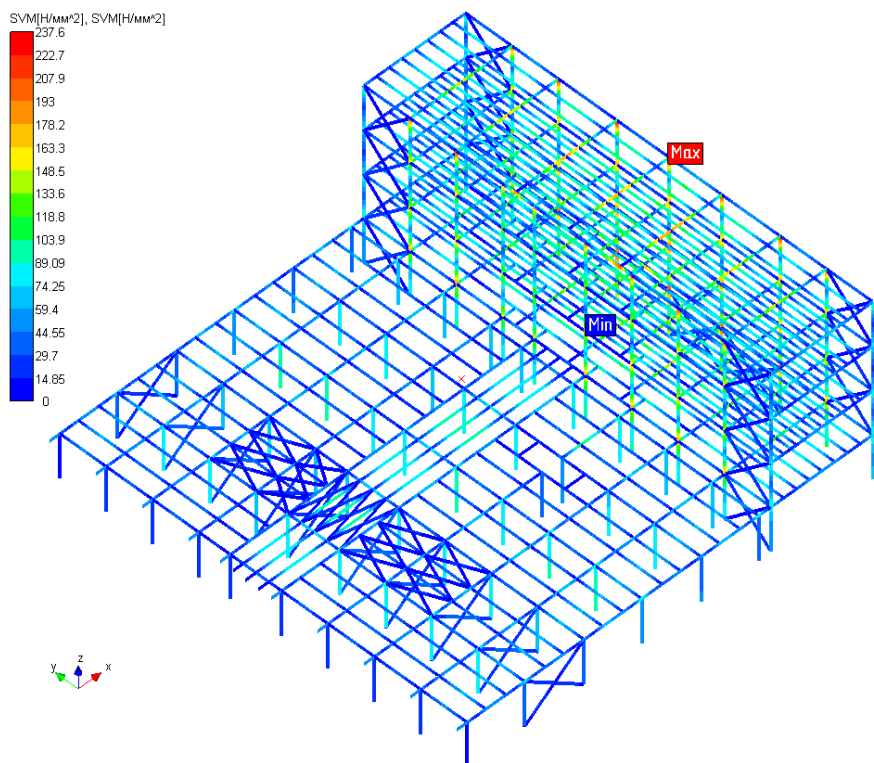
Часть 2





## Стеллажная система

### Результаты расчета



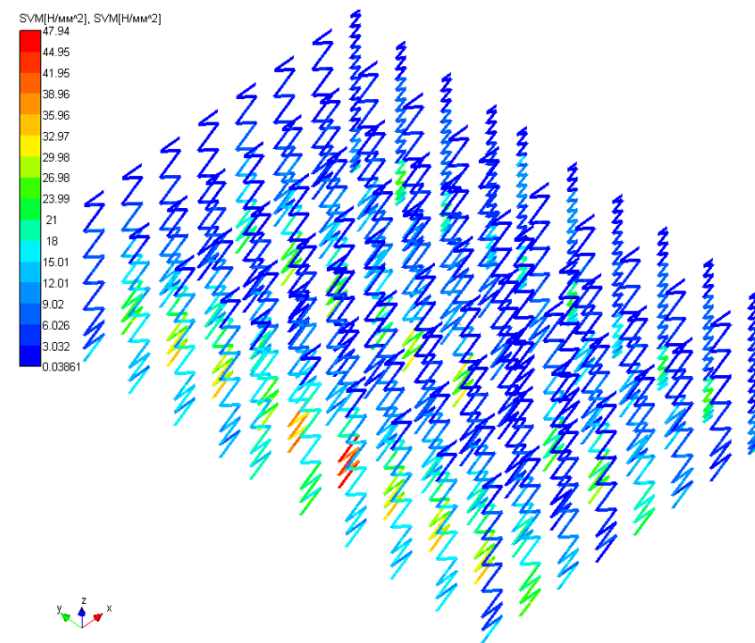
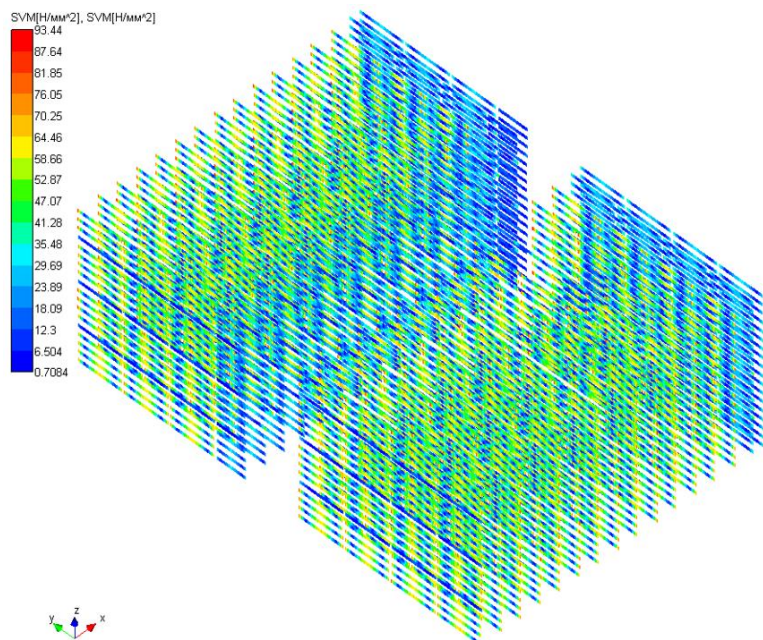
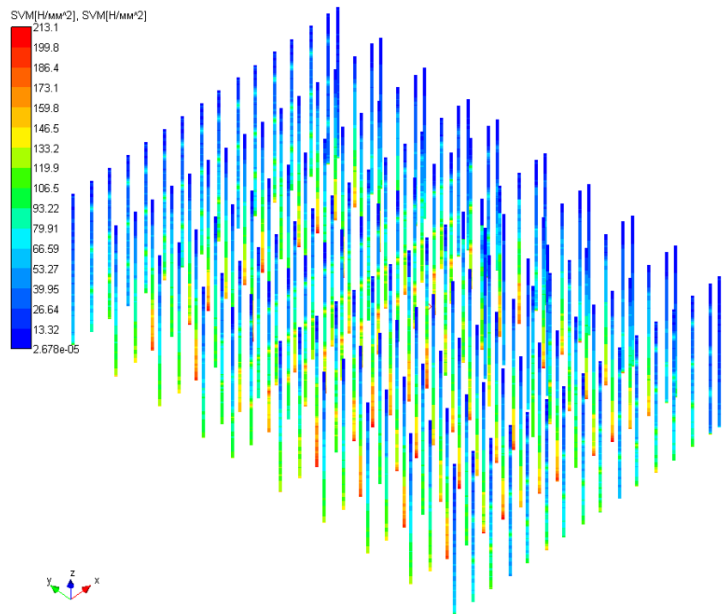
Карты распределения эквивалентных напряжений в конструкции мезонина





## Стеллажная система

### Результаты расчета

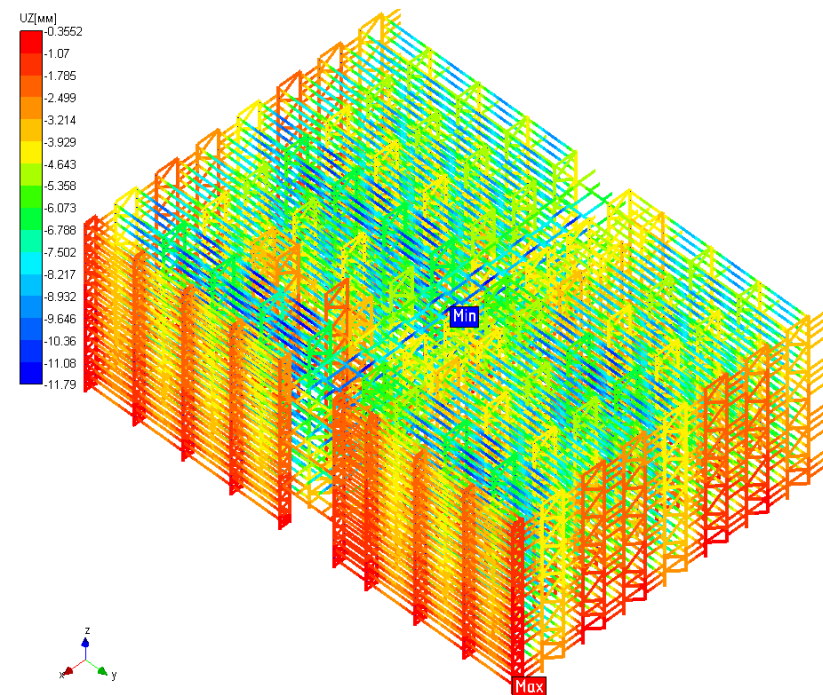
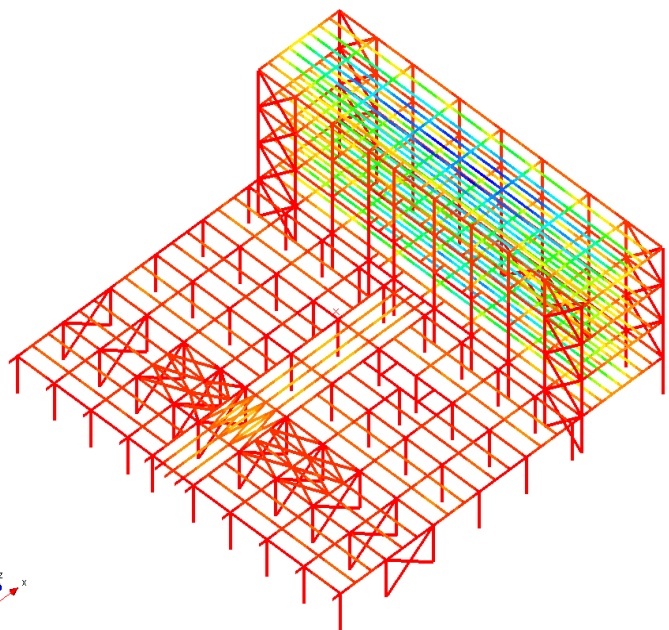
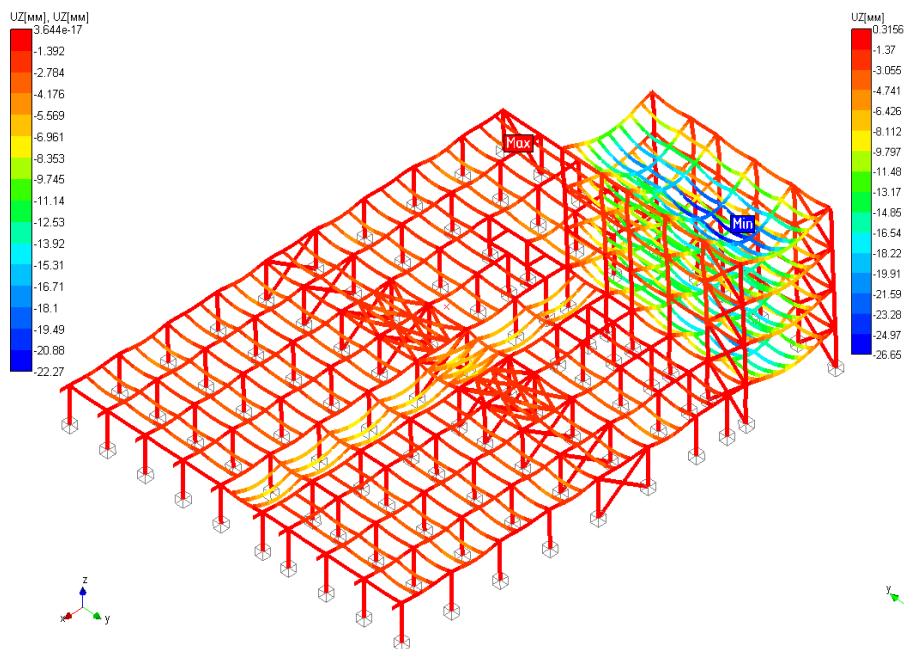


Карты распределения эквивалентных напряжений в элементах фронтальных стеллажей



## Стеллажная система

### Результаты расчета



Карты вертикальных перемещений конструкции мезонина

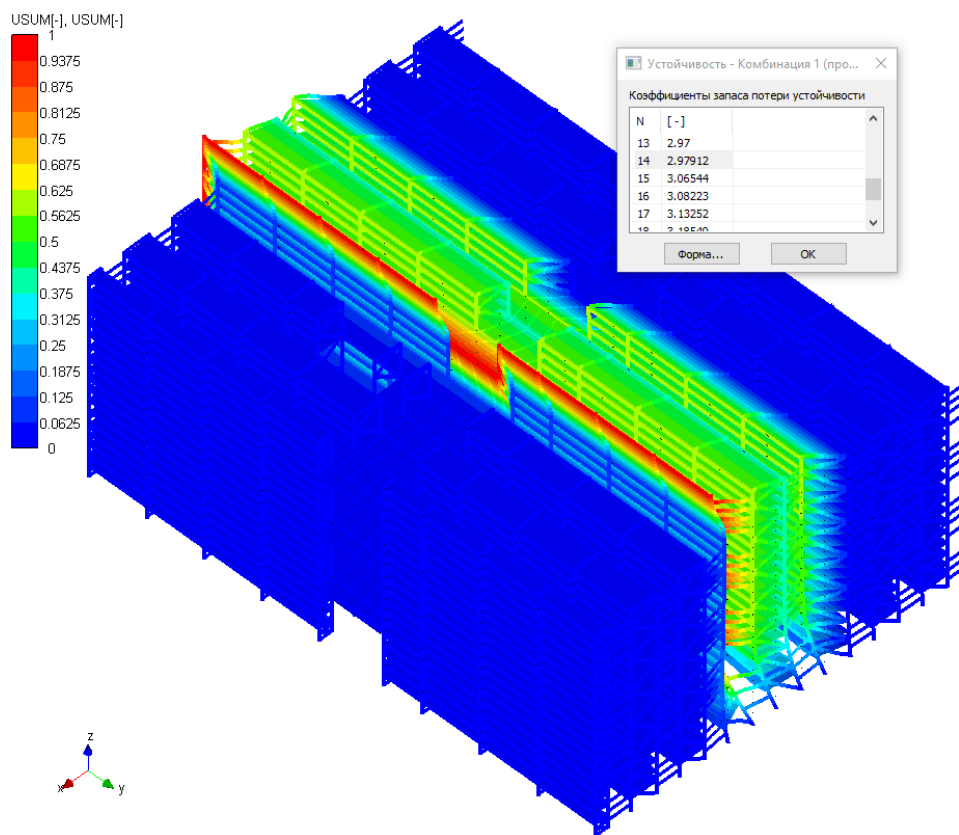
Карта вертикальных перемещений стеллажей



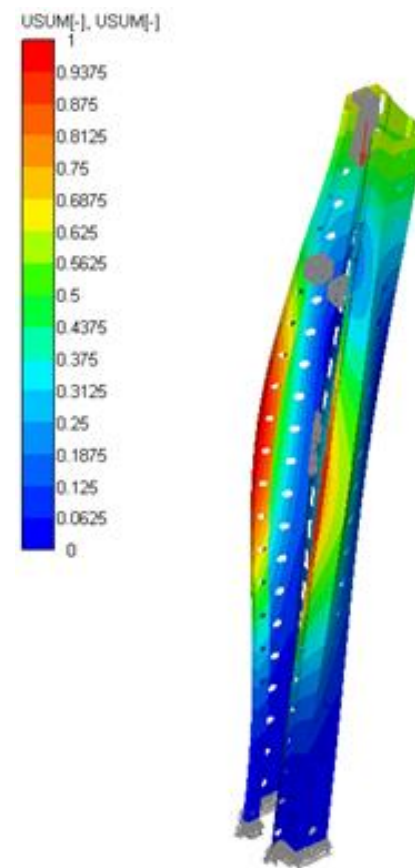


## Стеллажная система

### Результаты расчета



Форма общей потери устойчивости стеллажей



Форма местной потери устойчивости стойки стеллажа





## Кресло оператора

### Методика расчета

1. Расчеты по предельным состояниям первой группы, включая:
  - расчет на прочность с учетом возможных неблагоприятных условий эксплуатации;
  - расчет на усталостное разрушение (расчет на выносливость конструкций, находящихся под воздействием многократно повторяющейся нагрузки).
2. Расчеты по предельным состояниям второй группы, включая:
  - расчет перемещений элементов конструкции (прогибы, углы поворота, углы перекоса и т.п.).
3. Определение опорных реакций и расчет соединений (болтовых) на статическую прочность и выносливость.





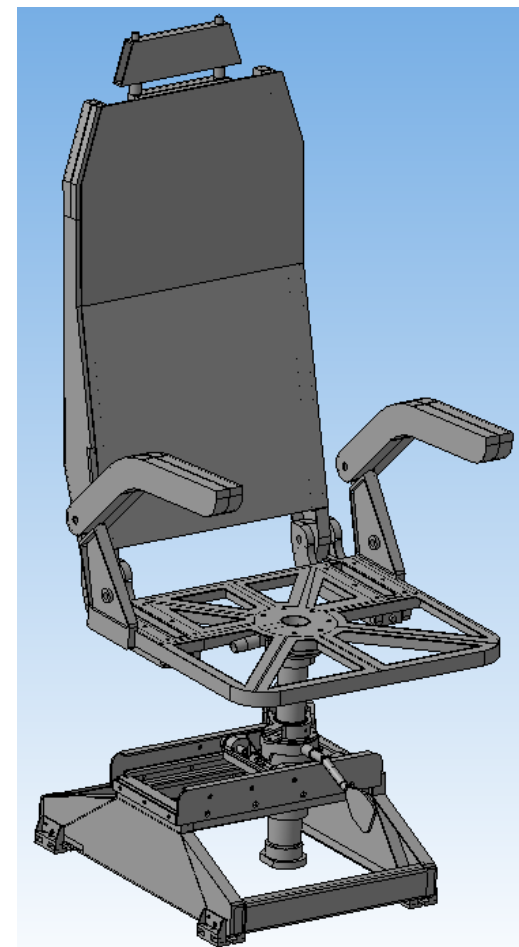
## Кресло оператора

### Исходные данные

Для построения КЭ модели и выполнения расчета, были использованы:

1. Данные по конструкторской части изделия – 3d модель изделия.
2. Данные по нагрузкам и условиям эксплуатации кресла, включая:
  - значение постоянных нагрузок (массы элементов кресла не включенных в 3d модель);
  - значение полезных нагрузок (масса человека);
  - значения инерционных нагрузок (ускорения перегрузки по трем направлениям и их комбинации);
3. Расчетные характеристики используемых в конструкции материалов.

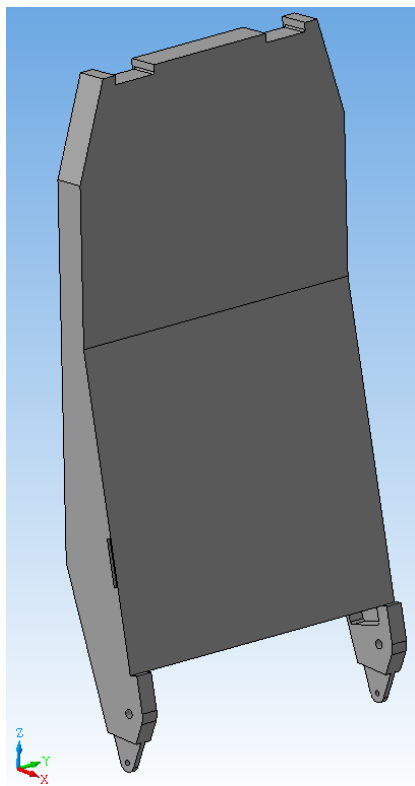
### 3d модель



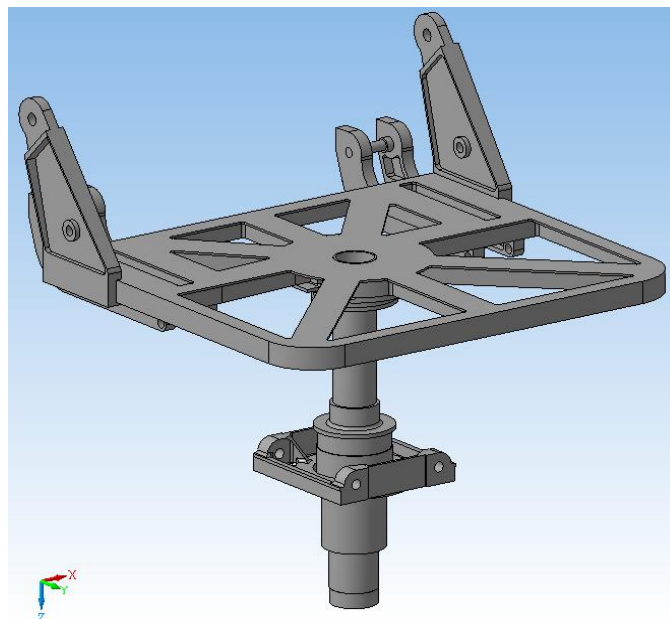
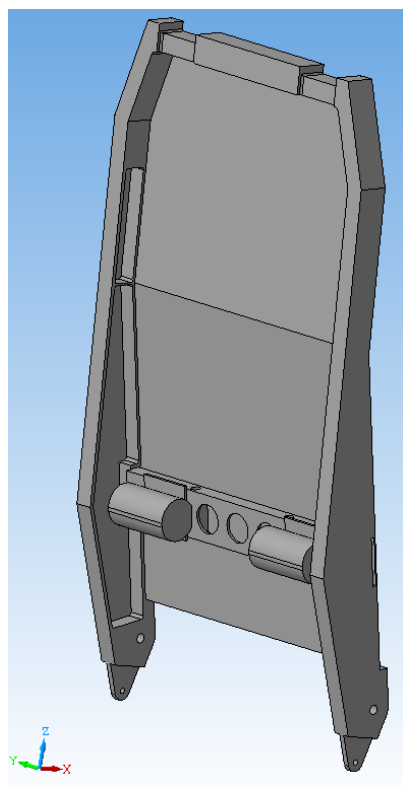


## Кресло оператора

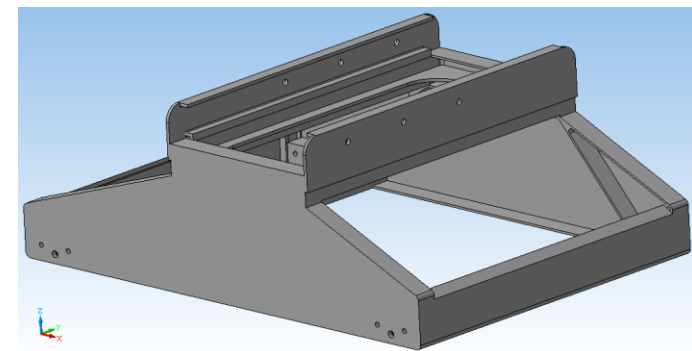
### 3d модель



Сборка спинки кресла



Сборки сиденья, механизма  
вертикального перемещения  
и каретки кресла



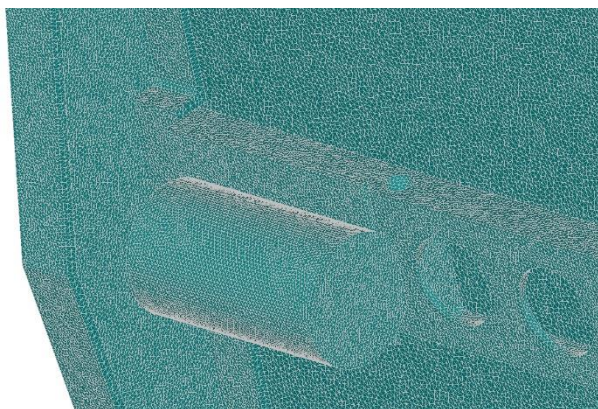
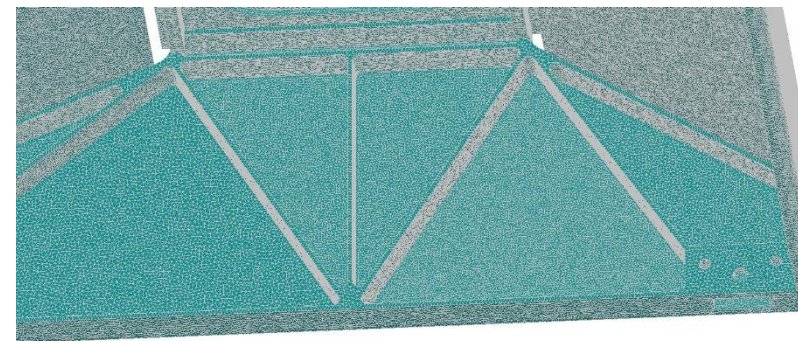
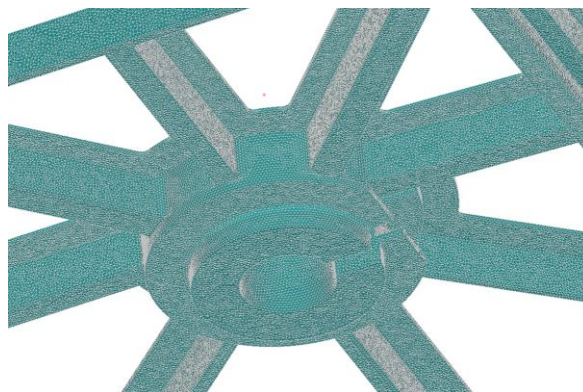
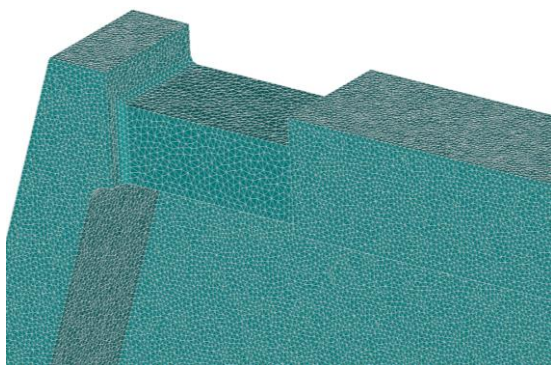
Сборка основания кресла



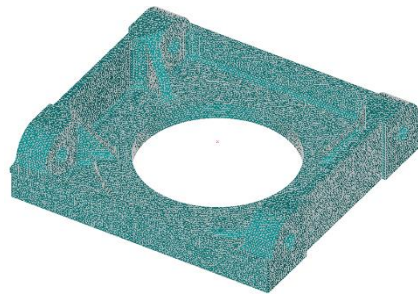


## Кресло оператора

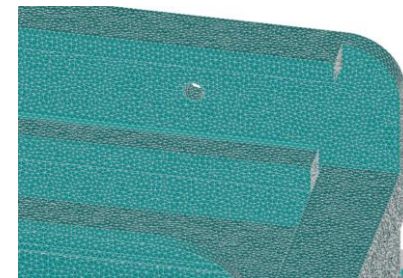
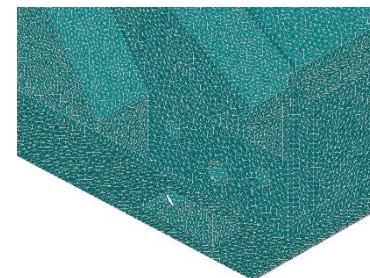
### КЭ модель



Фрагменты спинки кресла



Фрагменты сиденья, механизма  
вертикального перемещения  
и каретки кресла



Фрагменты основания кресла

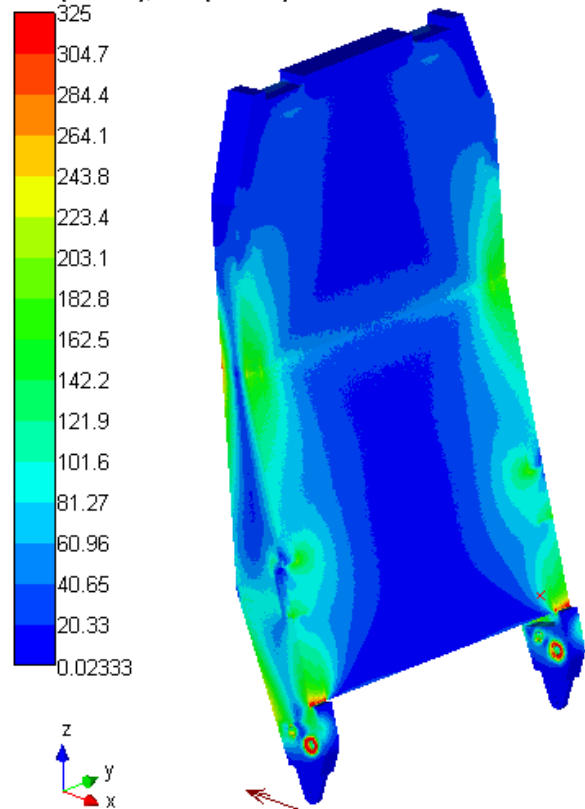




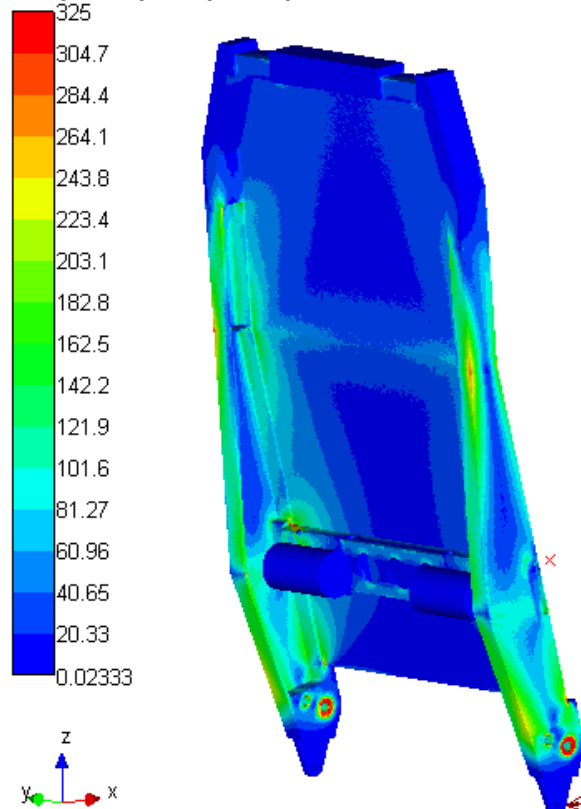
## Кресло оператора

### Результаты расчета

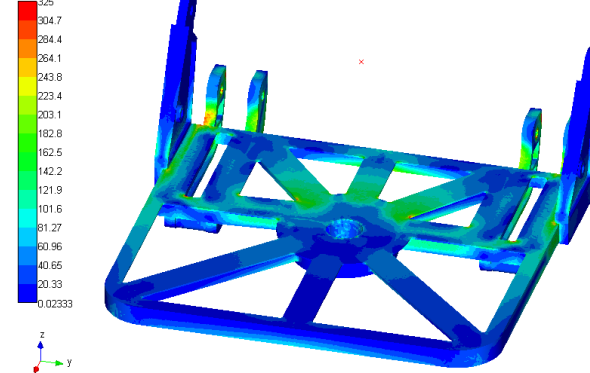
SVM[H/MM^2], SVM[H/MM^2]



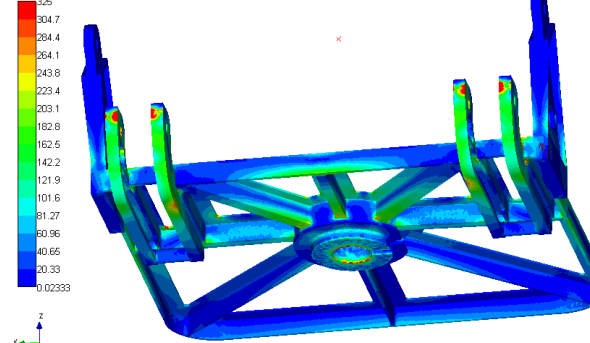
SVM[H/MM^2], SVM[H/MM^2]



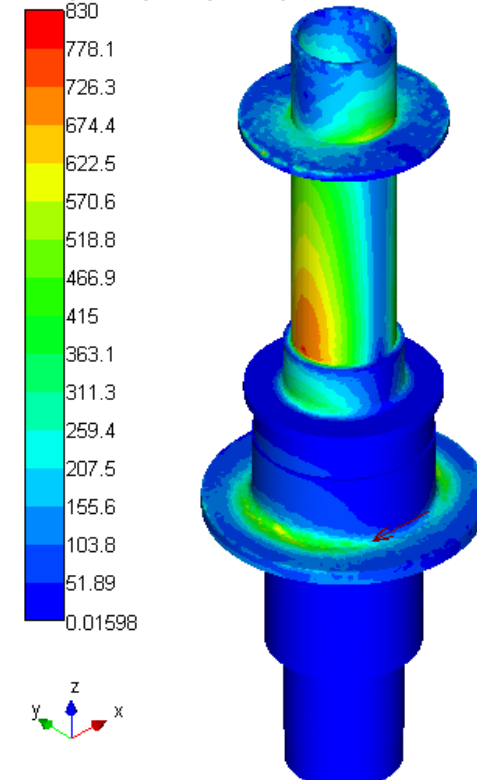
SVM[H/MM^2], SVM[H/MM^2]



SVM[H/MM^2], SVM[H/MM^2]



SVM[H/MM^2], SVM[H/MM^2]

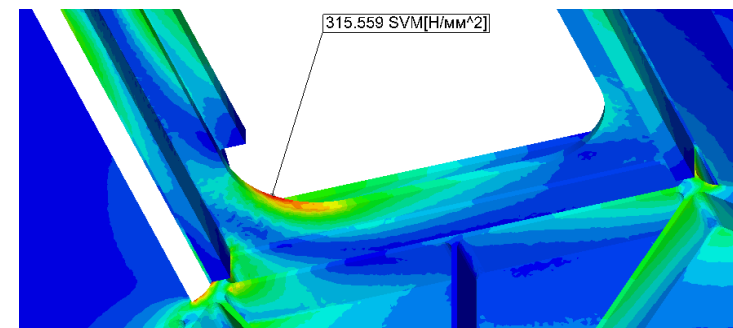
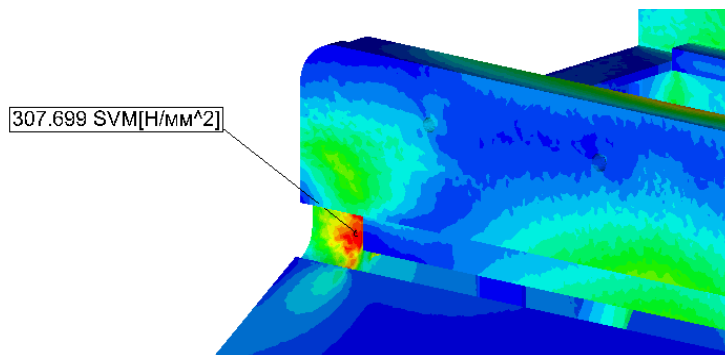
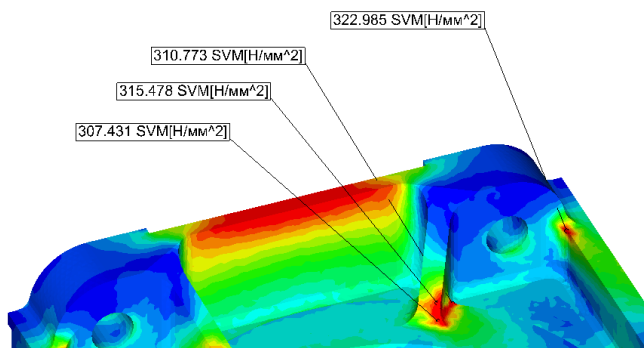
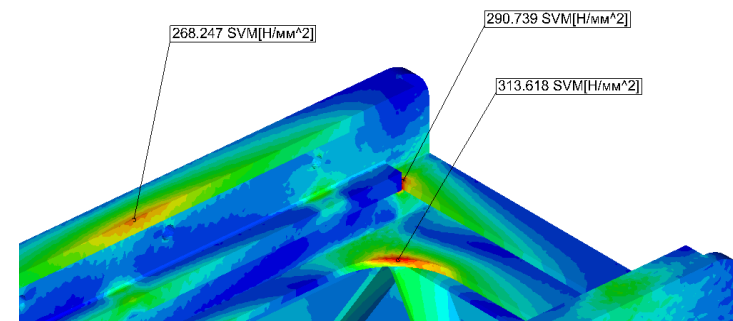
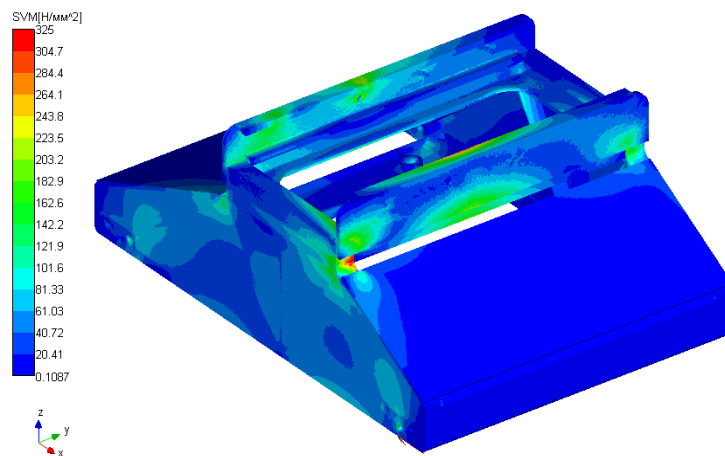
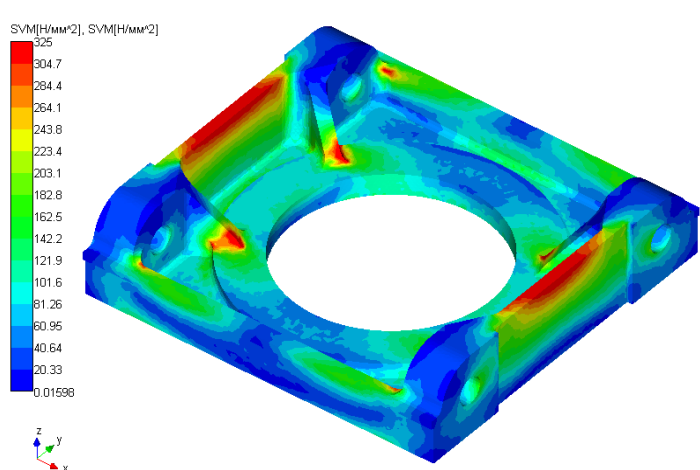


Карты распределения эквивалентных напряжений в элементах кресла



## Кресло оператора

### Результаты расчета



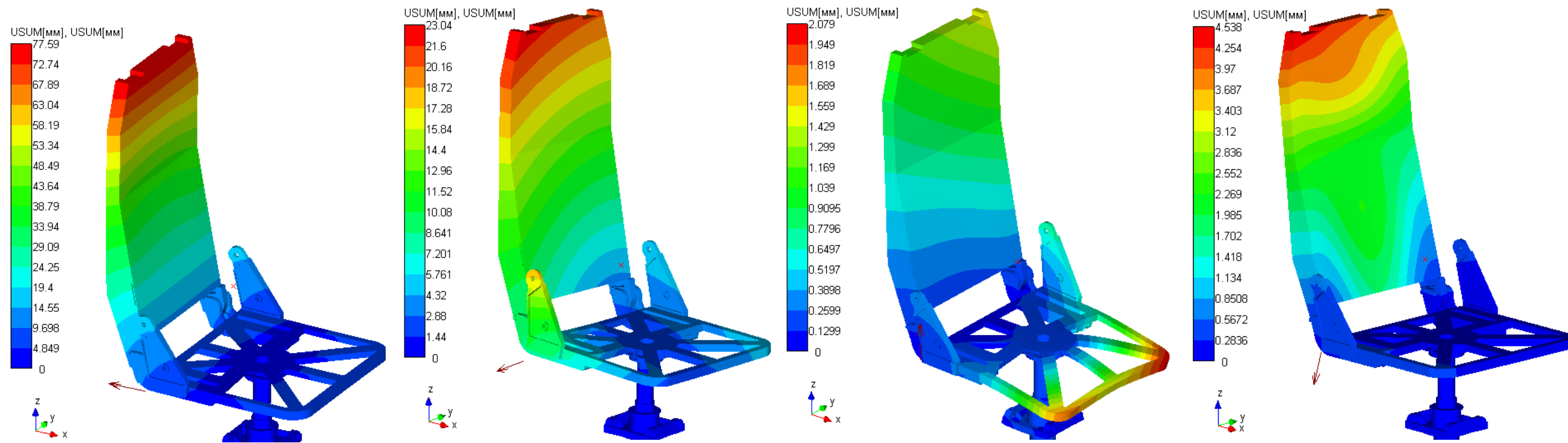
Карты распределения эквивалентных напряжений в элементах кресла





## Кресло оператора

### Результаты расчета



Карты суммарных перемещений конструкции кресла для различных комбинаций нагрузок



## Механизм управления рулями

### Методика расчета

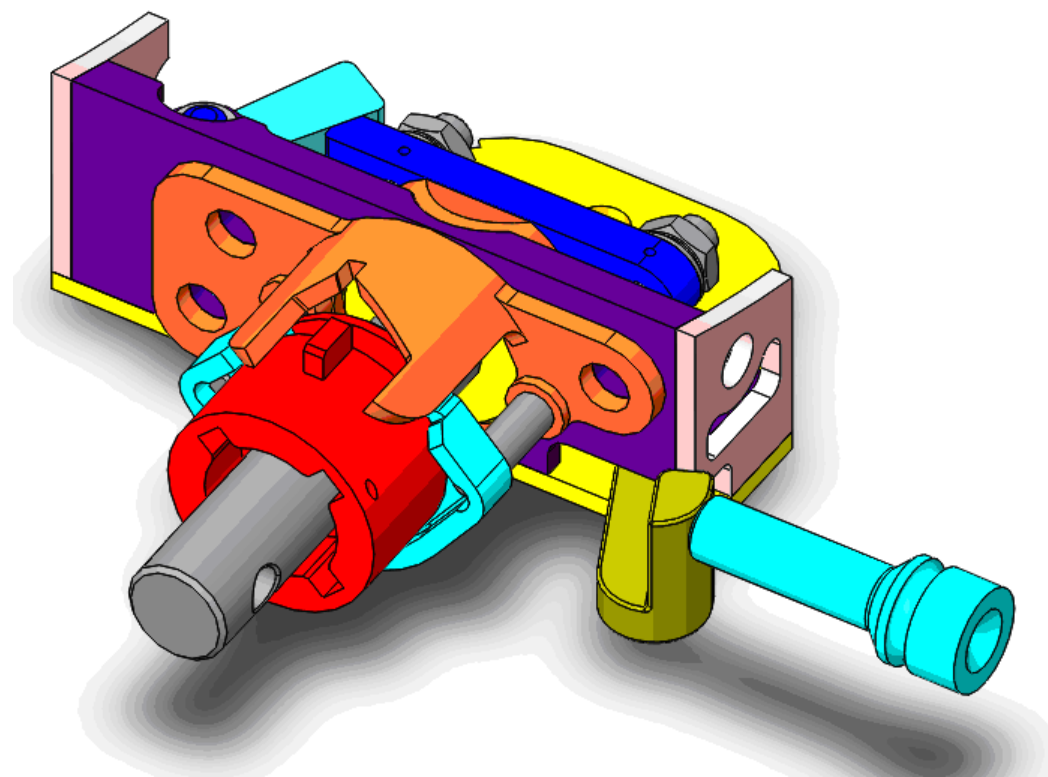
1. Определение напряженно-деформированного состояния.

### Исходные данные

Для построения КЭ модели и выполнения расчета, были использованы:

1. Данные по конструкторской части изделия – 3d модель изделия.
2. Данные о нагрузке – силы, приложенные к изделию.
3. Расчетные характеристики, используемых в конструкции материалов.

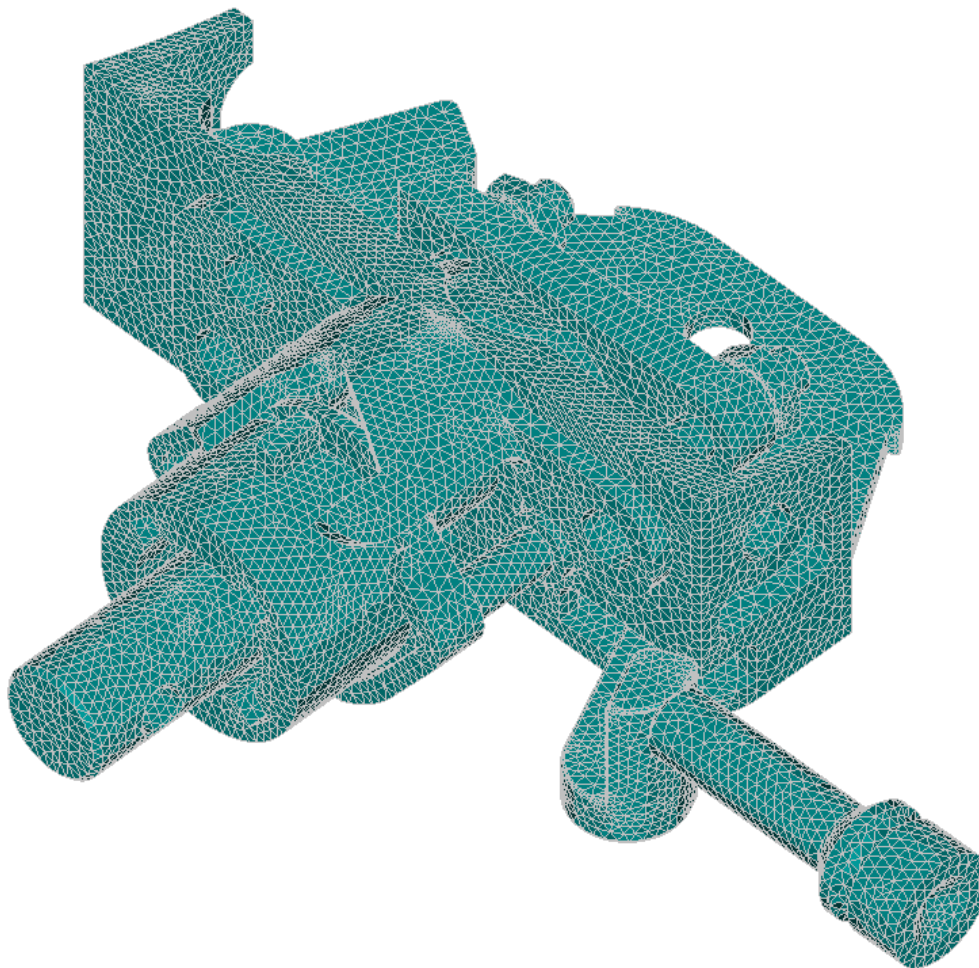
### 3d модель





## Механизм управления рулями

КЭ модель



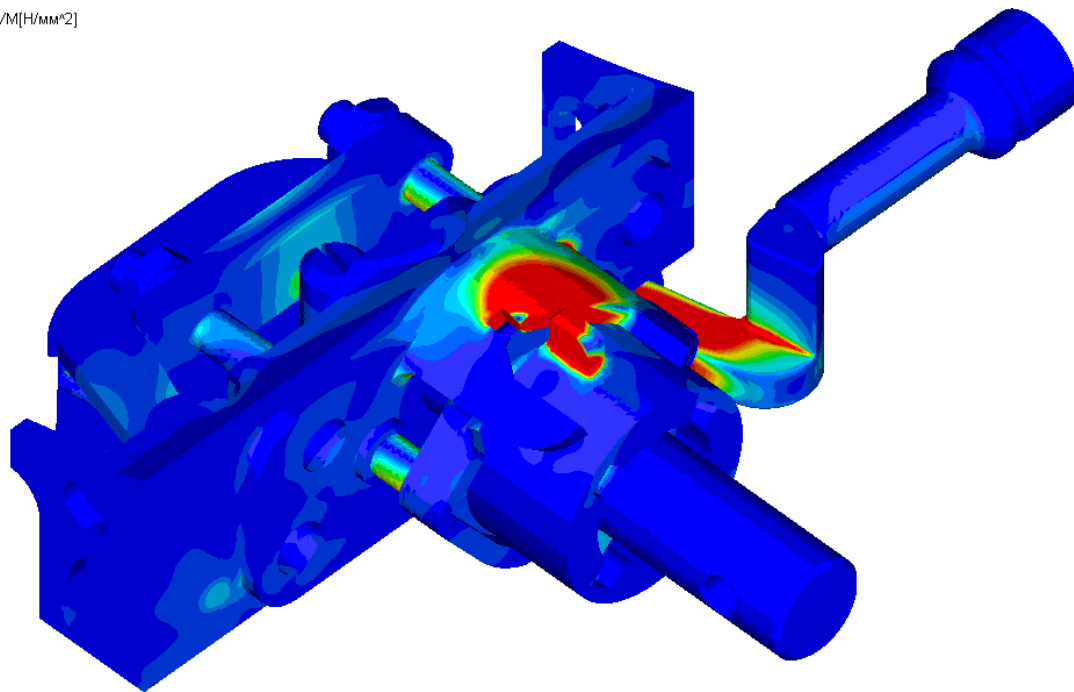
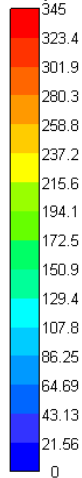




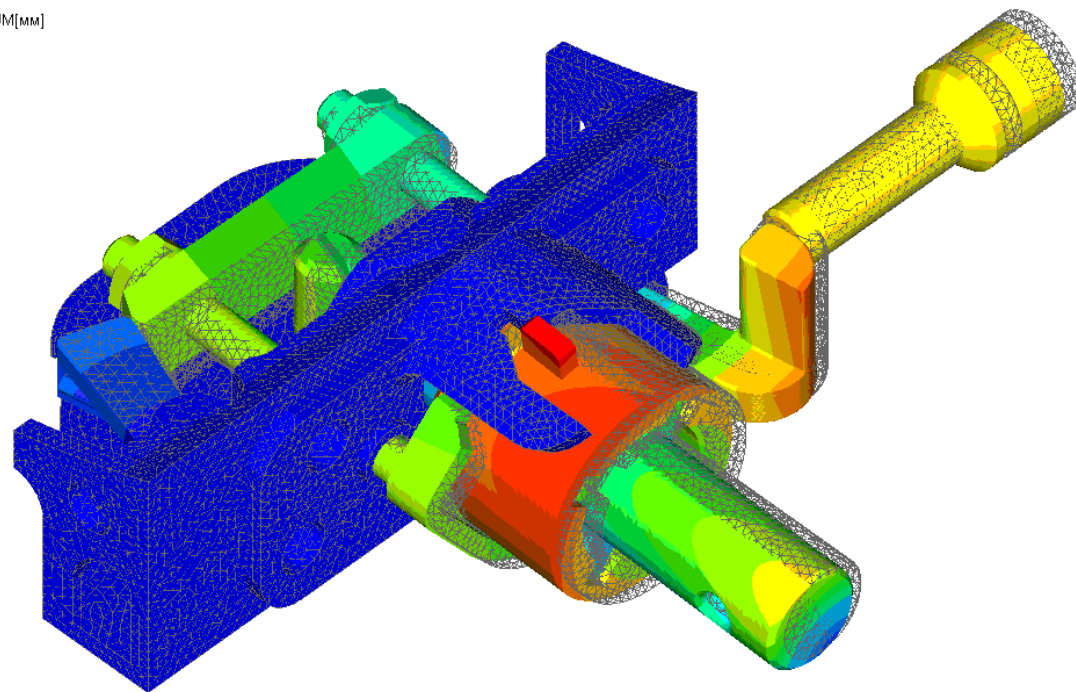
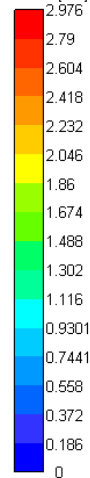
## Механизм управления рулями

### Результаты расчета

SVM[H/mm<sup>2</sup>], SVM[H/mm<sup>2</sup>]



USUM[mm], USUM[mm]



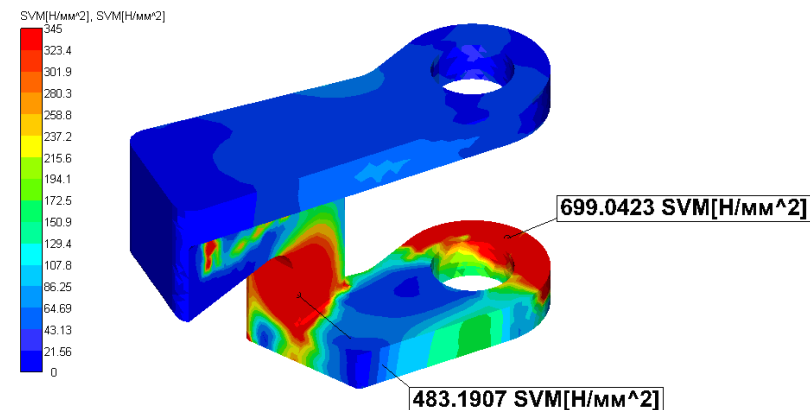
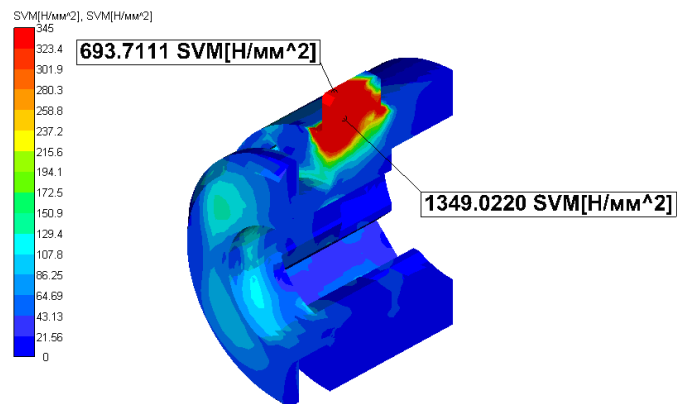
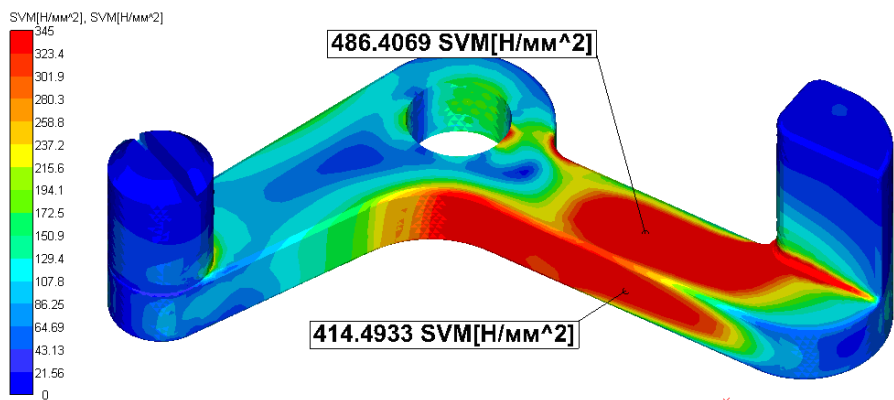
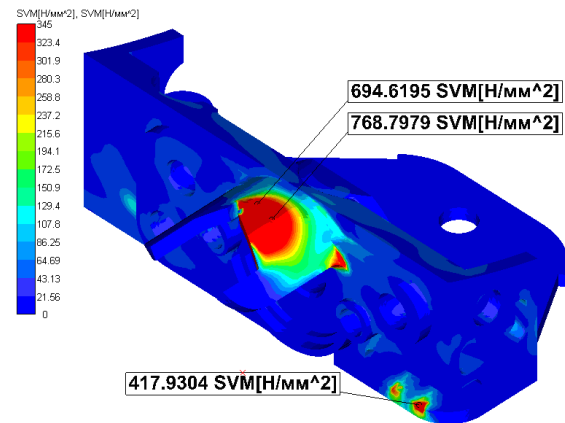
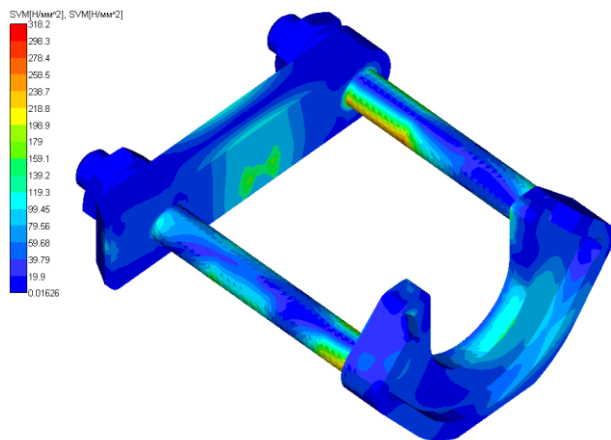
Карта распределения  
эквивалентных напряжений в изделии

Карта суммарных перемещений изделия



## Механизм управления рулями

### Результаты расчета



Карты распределения эквивалентных напряжений в элементах изделия



## Аттракционы

### Нормативная база

1. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция
2. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция
3. ГОСТ Р 52170-2003 Безопасность аттракционов механизированных. Основные положения по проектированию стальных конструкций
4. ТР ЕАЭС 038/2016 Технический регламент Евразийского экономического союза "О безопасности аттракционов"
5. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция







## Аттракционы

### Методика расчета

1. Расчеты по предельным состояниям первой группы, включая:

- расчет на прочность с учетом возможных неблагоприятных условий эксплуатации или вариантов установки аттракциона;
- расчет на потерю устойчивости формы конструкции;
- расчет на устойчивость положения (расчет на опрокидывание и скольжение);
- расчет на усталостное разрушение (расчет на выносливость конструкций, находящихся под воздействием многократно повторяющейся нагрузки, подвижной или пульсирующей);
- расчет на разрушение от совместного воздействия силовых факторов и неблагоприятных влияний внешней среды (действия попеременного замораживания и оттаивания и т. п.);
- расчет конструктивных элементов по СП 16.13330.2017.

2. Расчеты по предельным состояниям второй группы, включая:

- расчет перемещений элементов конструкции (прогибы, углы поворота, углы перекоса и т.п.).

3. Определение нагрузок на фундаменты и расчет соединений (болтовых, сварных, фланцевых и т.п.) на статическую прочность и выносливость.

В некоторых случаях проводится оценка сейсмической устойчивости конструкций аттракционов по СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция





## Аттракционы

### Исходные данные

Для построения КЭ модели и выполнения расчета, требуются:

1. Данные по конструкторской части изделия (3d модель или наборы чертежей).
2. Данные по нагрузкам и условиям эксплуатации аттракциона, включая:
  - значение технологических нагрузок (массы различного оборудования, коммуникаций, иллюминации и прочих элементов не включенных в 3d модель / чертежи конструкции);
  - значение полезных нагрузок (количество пассажиров, масса и количество кабинок и т.п.);
  - место эксплуатации/установки аттракциона (ветровой, снеговой, гололедный и климатические районы);
  - значения инерционных нагрузок (скорости и ускорения отдельных элементов аттракционов);
  - при необходимости – данные по сейсмическим нагрузкам (район эксплуатации, спектр ответа).
3. Расчетные характеристики используемых в конструкции аттракциона материалов.

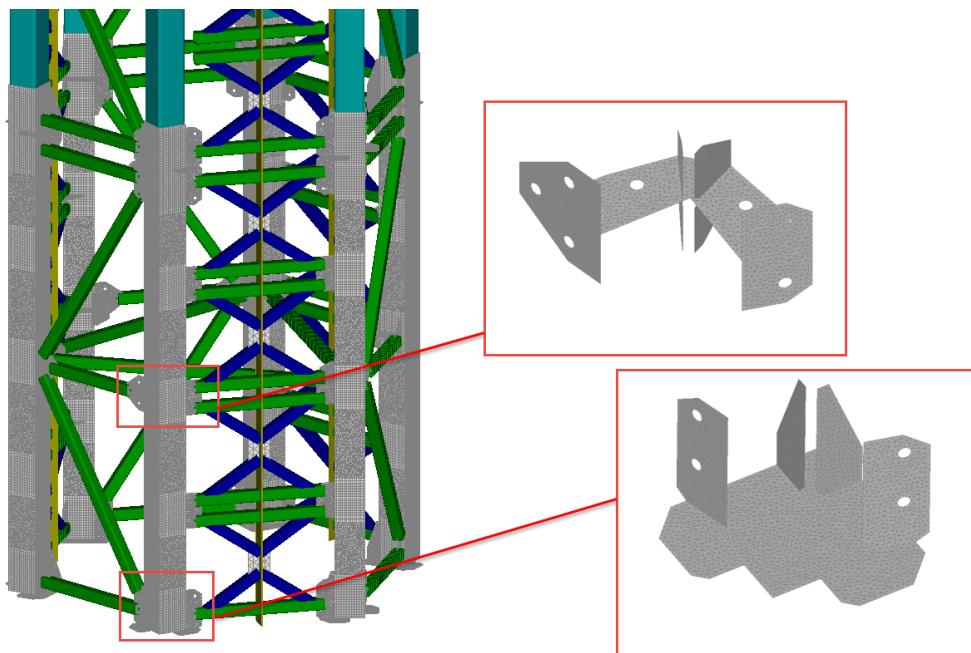




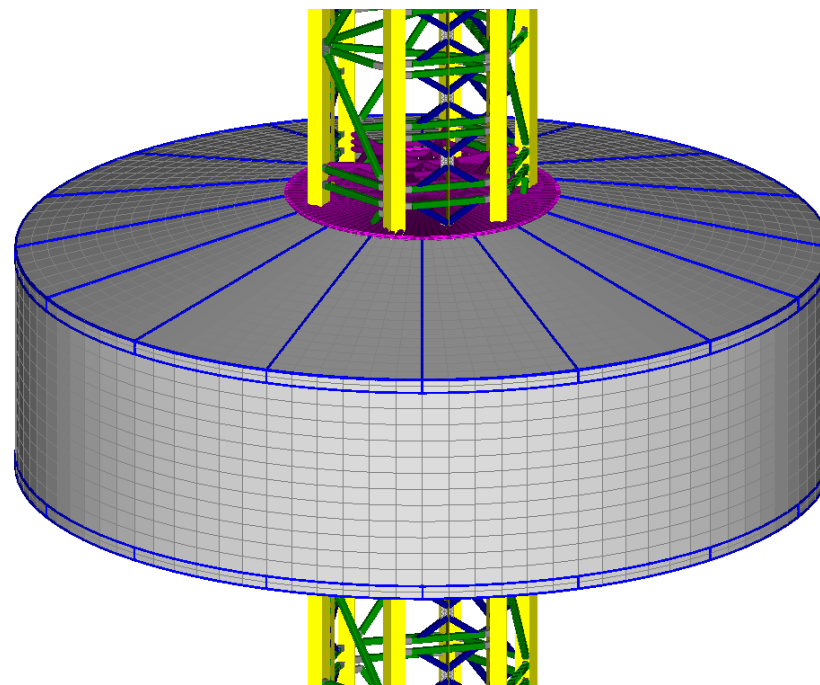


## Аттракционы

### КЭ модель



Основание башни кругового обзора



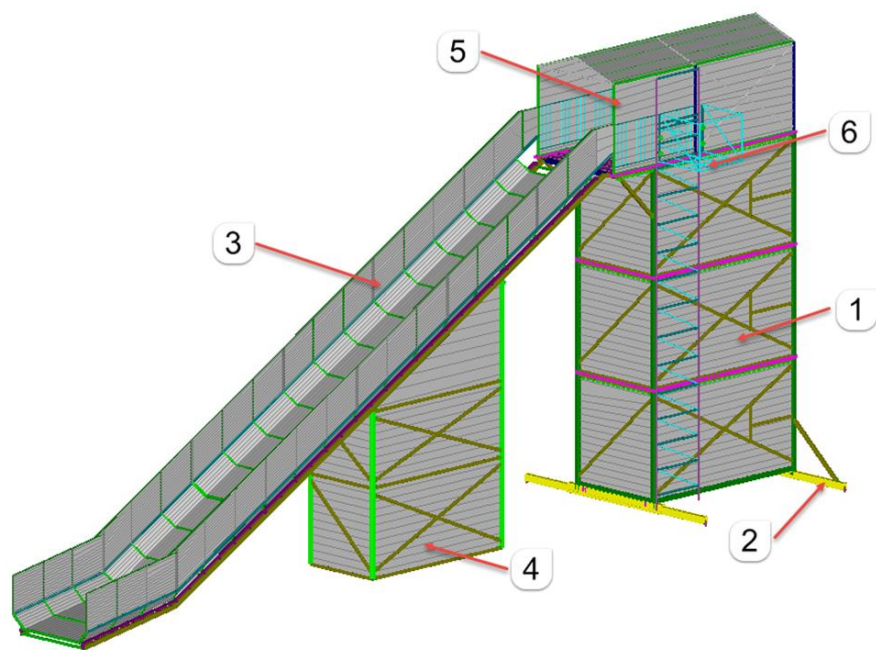
Капсула башни кругового обзора





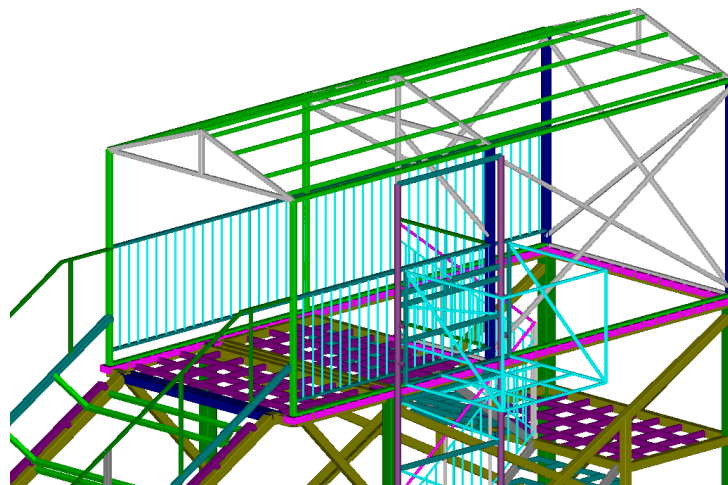
## Аттракционы

### КЭ модель

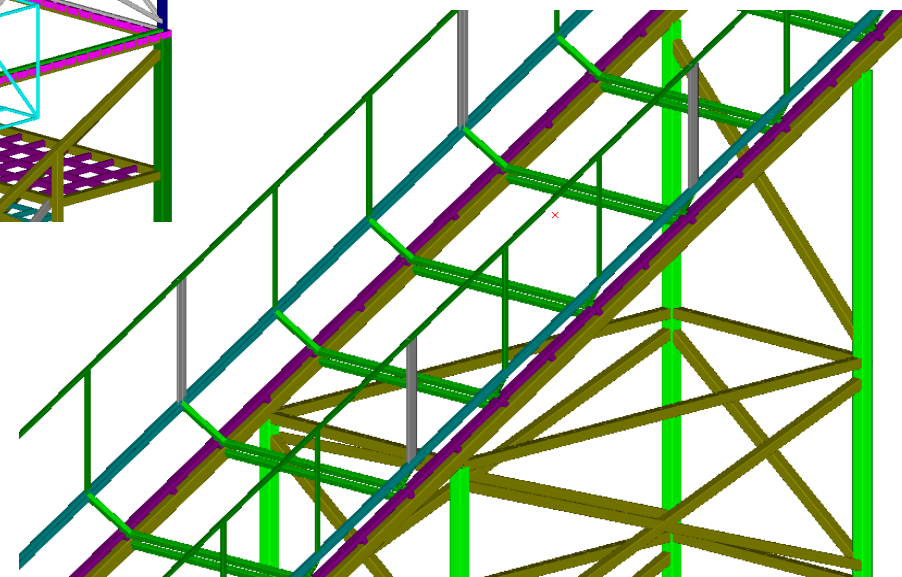


Конечно-элементная модель  
катальной горки

1 – башня, 2 – опора, 3 – спуск, 4 – ангар,  
5 – ограждение и крыша, 6 – подъемник



Трамплин и крыша  
катальной горки

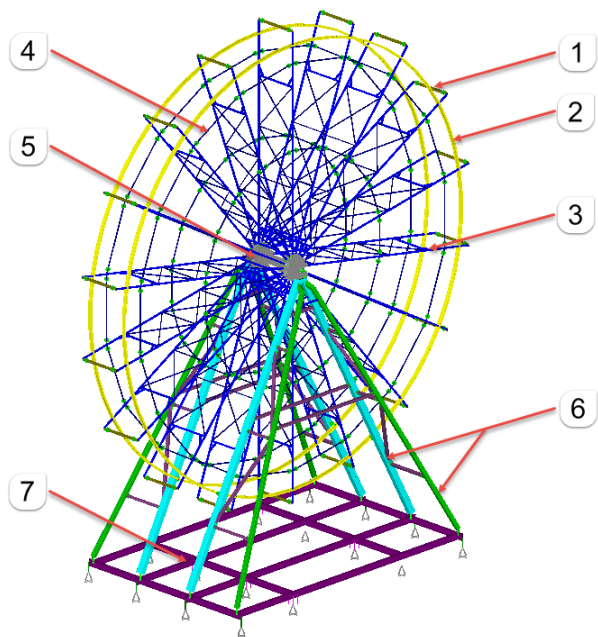


Фрагмент спуска и ангара аттракциона



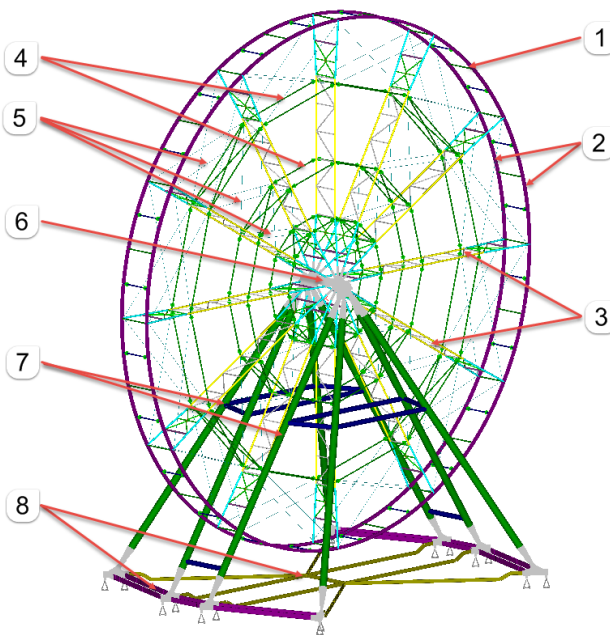
## Аттракционы

### КЭ модель



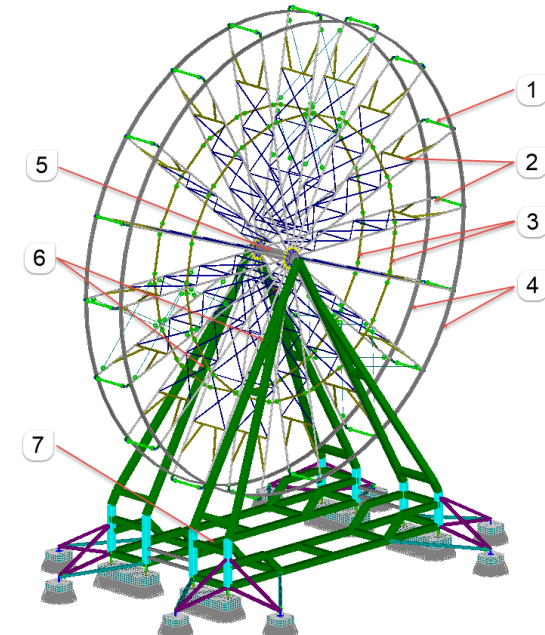
Колесо обозрения 27 м

1 – балка вала кабинки, 2 – дорожки (рельсы),  
3 – радиальная ферма, 4 – кольцевые пояса,  
5 – барабан, 6 – опорные стойки, 7 –  
основание



Колесо обозрения 50 м

1 – вал кабинки, 2 – дорожки (рельсы),  
3 – радиальная ферма, 4 – кольцевые пояса,  
5 – противосейсмические растяжки,  
6 – центральный вал, 7 – опорные стойки,  
8 – основание



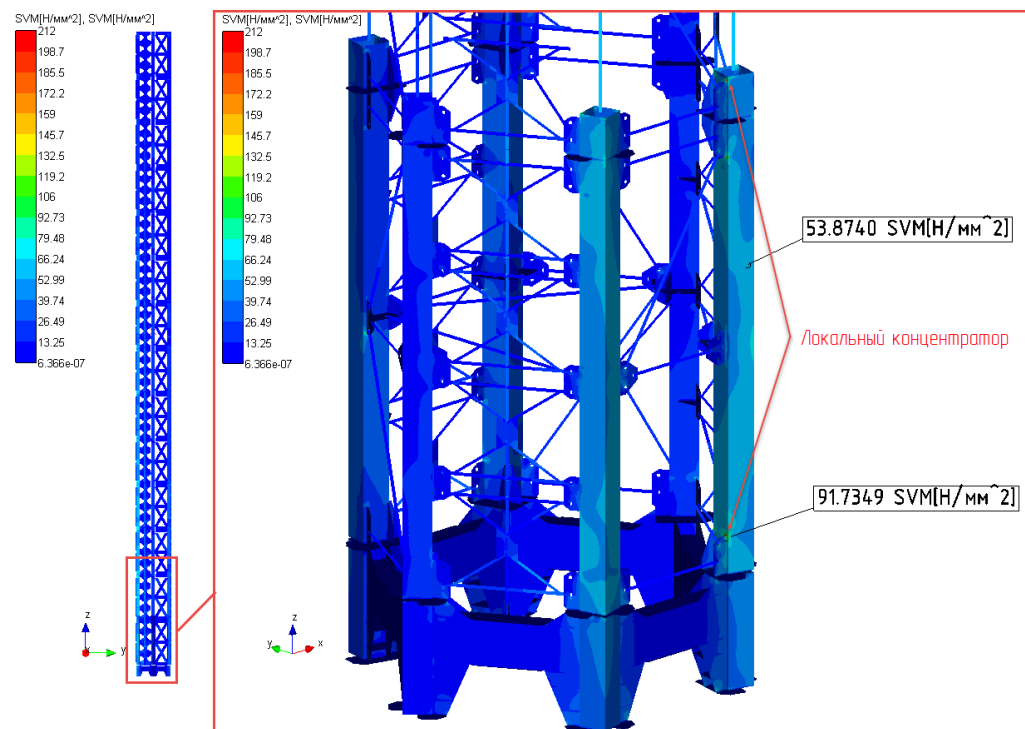
Мобильное колесо обозрения 26 м

1 – балка оси кабинки, 2 – радиальная ферма,  
3 – кольцевой пояс, 4 – дорожки,  
5 – центральный вал, 6 – опорные стойки,  
7 – основание

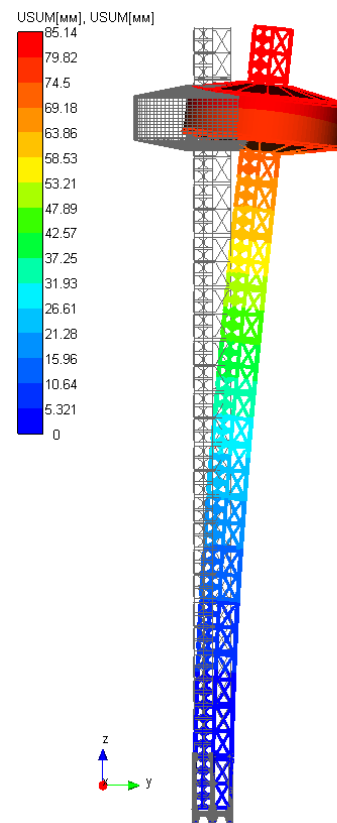


# Аттракционы

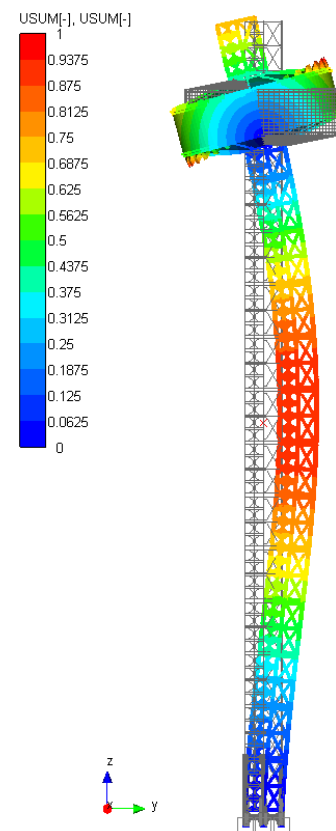
## Результаты расчета



Карта распределения эквивалентных напряжений в металлоконструкции БКО



Карта суммарных перемещений конструкции аттракциона



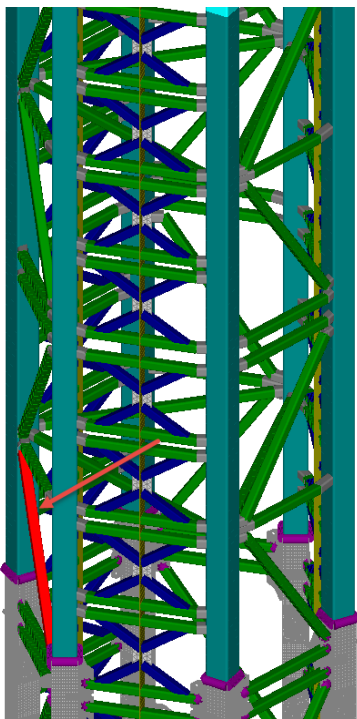
Форма собственных колебаний модели





## Аттракционы

### Результаты расчета



Стальные конструктивные элементы (СП 16.13330.2017)

Название	Материал	Кол...	Тип
Ст 30	Сталь	20	Балк
Ст 31	Сталь	20	Балк
Ст 32	Сталь	20	Балк
Ст 33	Сталь	20	Балк
Ст 34	Сталь	20	Балк
Ст 35	Сталь	10	Балк

Коэффициент расчетной длины

в плоскости XY: 1 в плоскости XZ: 1

Коэф. условий работы: 1.00

Предельная гибкость

Сжатые: 160 Растянутые: 160

Проверка прочности и устойчивости классическими методами

Сечение

Тип сечения: Труба

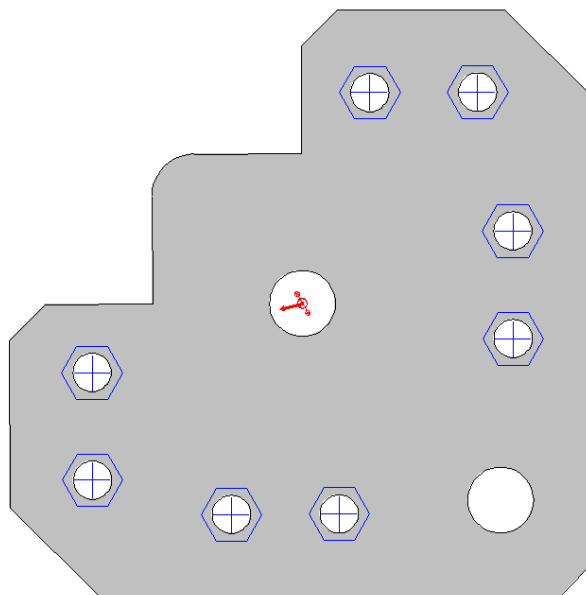
Путь к библиотеке:

Нагрузки

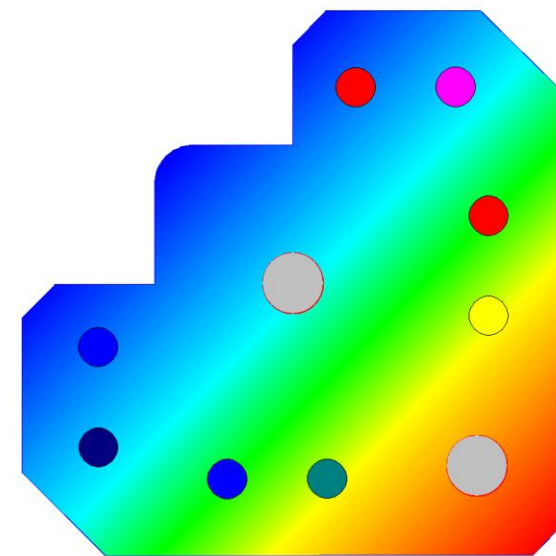
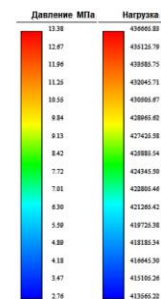
РСУ Загрузка Комбинация загружений 9

Результаты

Коэффициент	Исходное	Подобранное
Название сечения	Кв. труба 100x8 ГОСТ 3024	Кв. труба 100x8 ГОСТ 30245-2003
Прочность при растяжении/сжатии (п.7.1.1)	0.0826	0.0826
Устойчивость при сжатии в пл.XOY (п.7.1.3)	0.0000	0.0000
Устойчивость при сжатии в пл.XOZ (п.7.1.3)	0.0000	0.0000
Предельная гибкость в пл. XOY	0.3355	0.3355
Предельная гибкость в пл. XOZ	0.3355	0.3355
Прочность при изгибе в пл.XOY (п.8.2.1)	0.0048	0.0048
Прочность при изгибе в пл.XOZ (п.8.2.1)	0.0258	0.0258
Прочность под действием поперечной силы Qy (п.8.2.1)	0.0009	0.0009
Прочность под действием поперечной силы Qz (п.8.2.1)	0.0013	0.0013
Прочность при сжатии и изгибе (п.9.1)	0.1115	0.1115
Прочность стенок по напряжениям	0.0969	0.0969
Устойчивость при эксцентрисон сжатии в пл-сти момента и о	0.0000	0.0000
Устойчивость при эксцентрисон сжатии из пл-сти момента и о	0.0000	0.0000



Модель фланцевого соединения в APM Joint



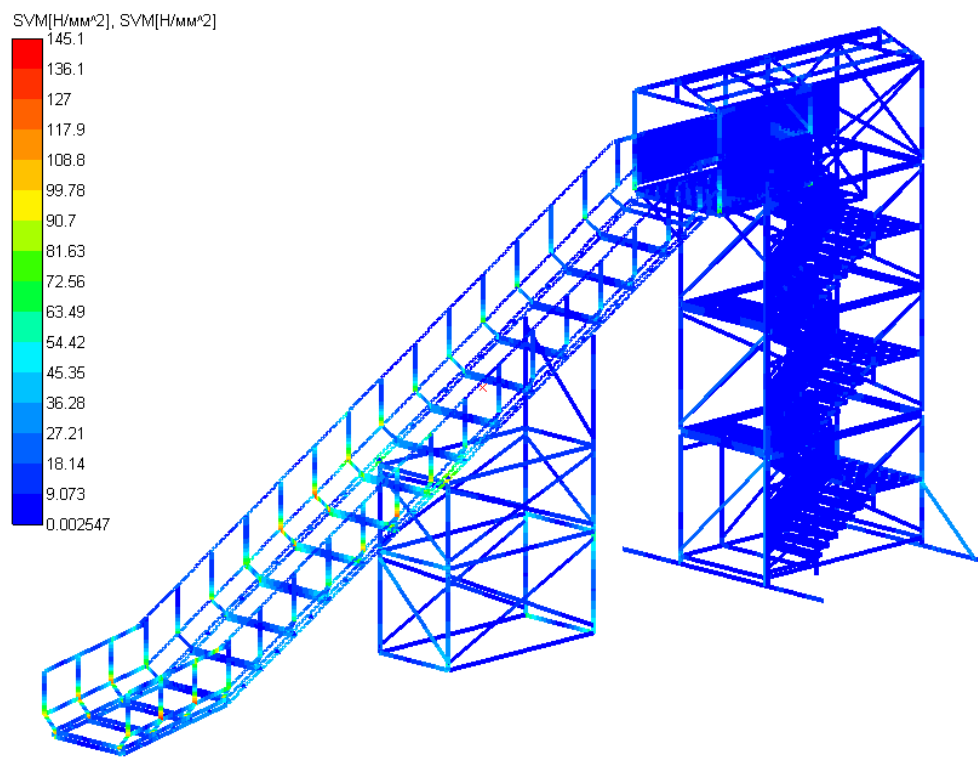
Карта давлений во фланцевом соединении

### Результаты расчета раскоса мачты БКО по СП 16.13330.2017

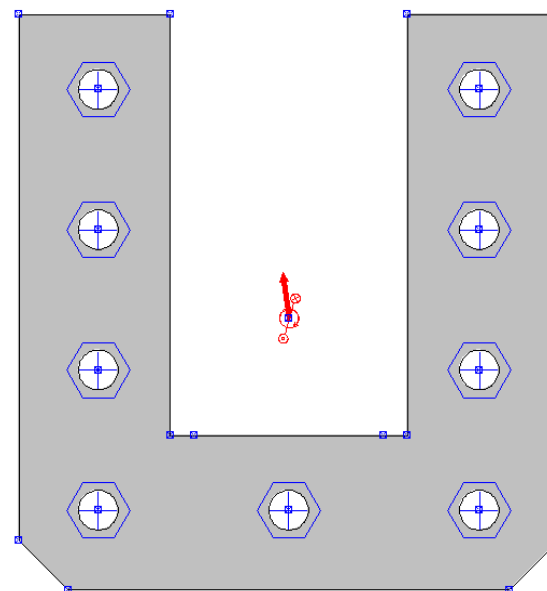


## Аттракционы

### Результаты расчета



Карта распределения эквивалентных напряжений  
в металлоконструкции катальной горки



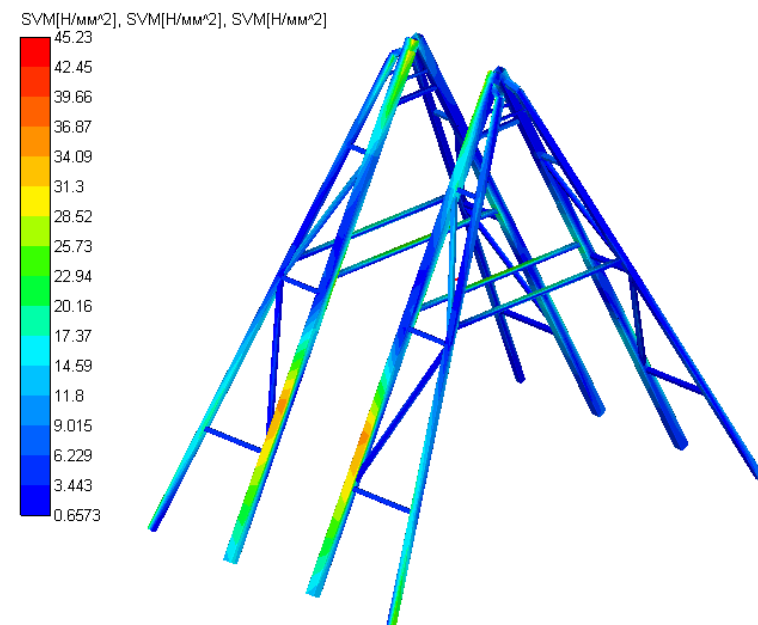
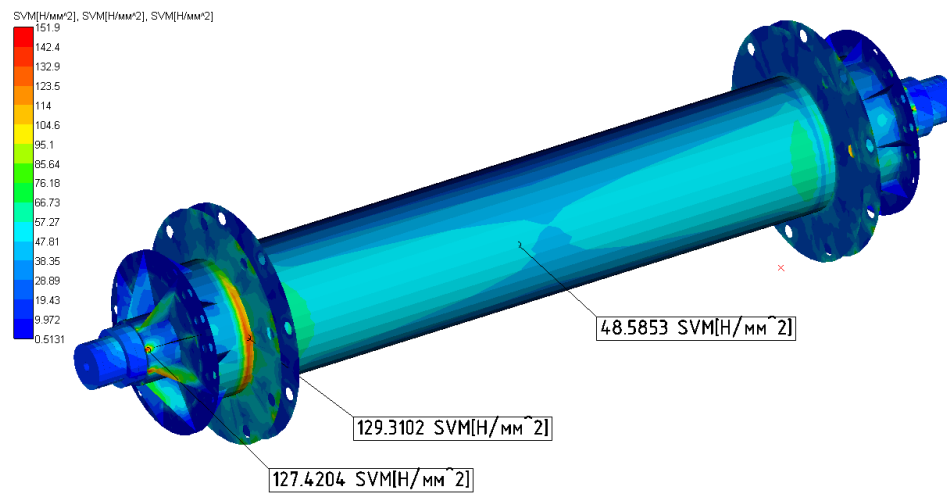
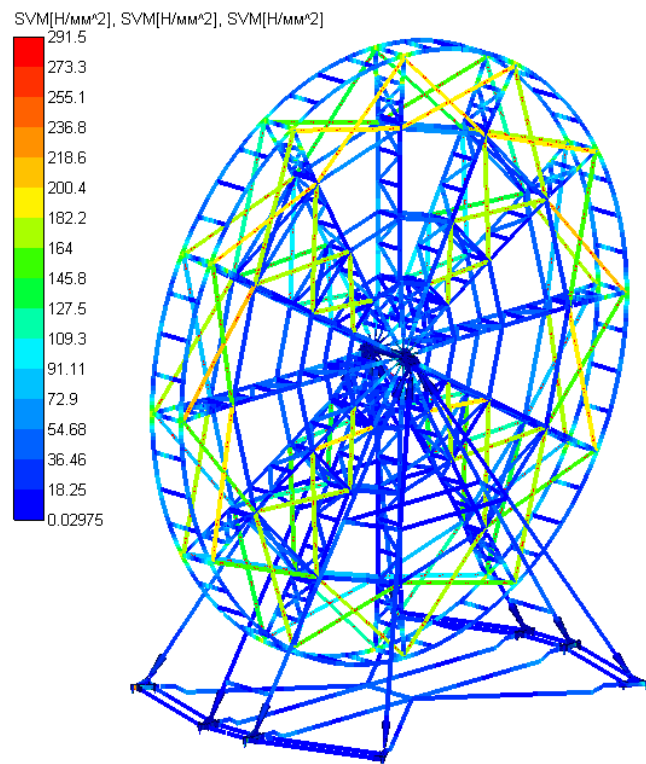
Результаты расчёта	
Соединение (слой)	0
Геометрия	
Площадь стыка [кв.мм]	36001.8
X координата центра стыка [мм]	3386.63
Y координата центра стыка [мм]	1526.39
Момент инерции стыка относит. центральных осей	
относит. горизонтальной оси	1.93637e+008
относит. вертикальной оси	2.20912e+008
Угол наклона главных центральных осей [Град]	-0.4
X координата центра масс болтов [мм]	3386.88
Y координата центра масс болтов [мм]	1532.25
Нагрузка	
Сила затяжки [Н]	8615.87
Максимальная нагрузка на болт [Н]	12568.3
Максимальное давление [МПа]	2.21314
Диаметр болта [мм]	16
Момент заворачивания [Нм]	46.6887
Момент трения в резьбе [Нм]	22.9047
Момент трения на торце гайки [Нм]	23.7841
Коэффициент запаса выносливости	undef
Коэффициент запаса по расчетному сопротивлению	6.98059

Модель и результаты расчета фланцевого соединения



## Аттракционы

### Результаты расчета



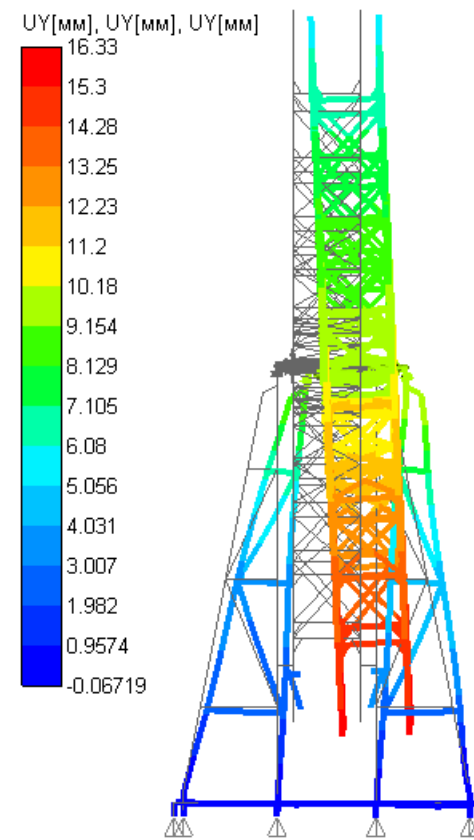
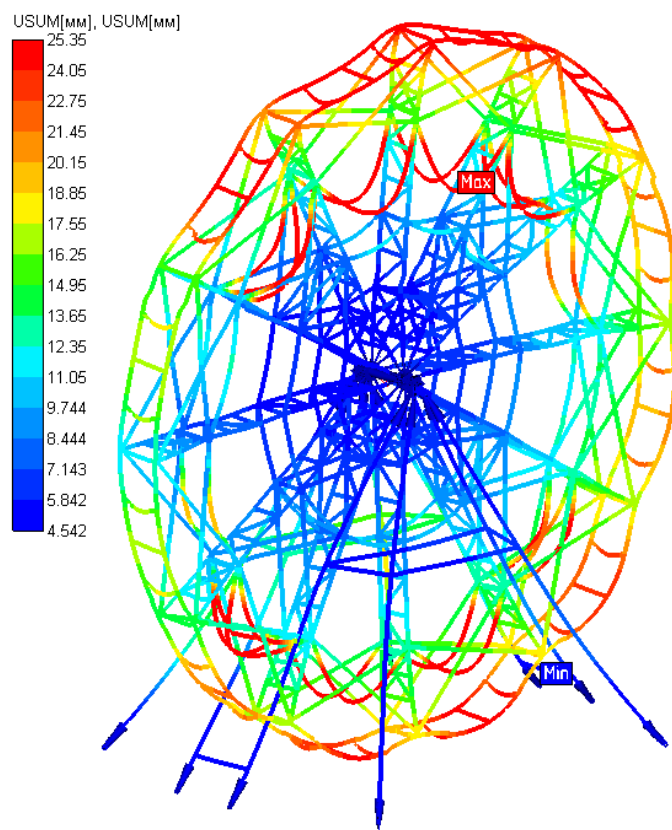
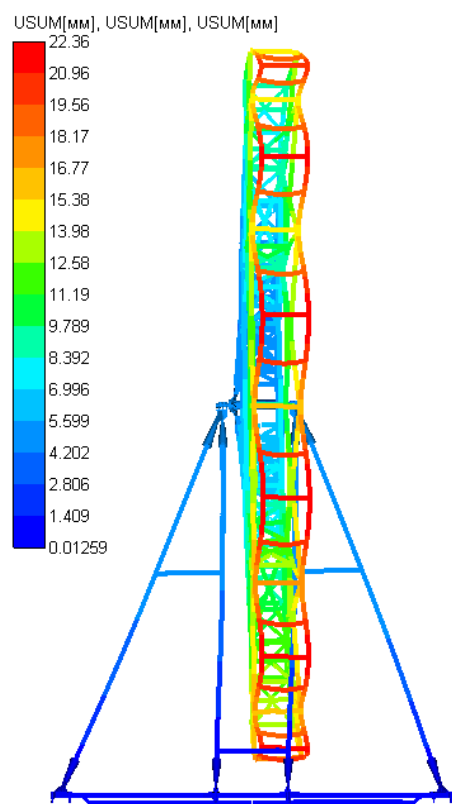
Карты распределения эквивалентных напряжений в металлоконструкции колеса обозрения





## Аттракционы

### Результаты расчета



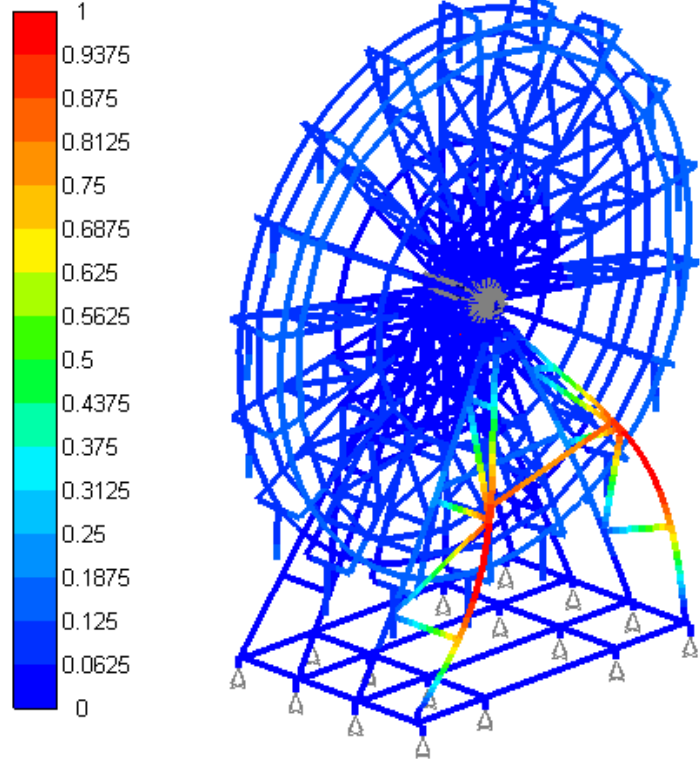
Карты суммарных перемещений конструкций колес обозрения



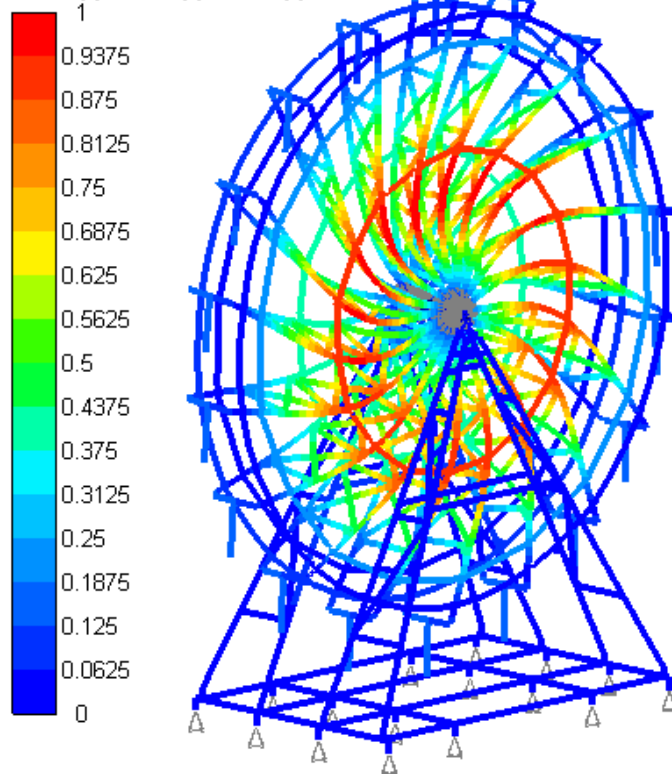
## Аттракционы

### Результаты расчета

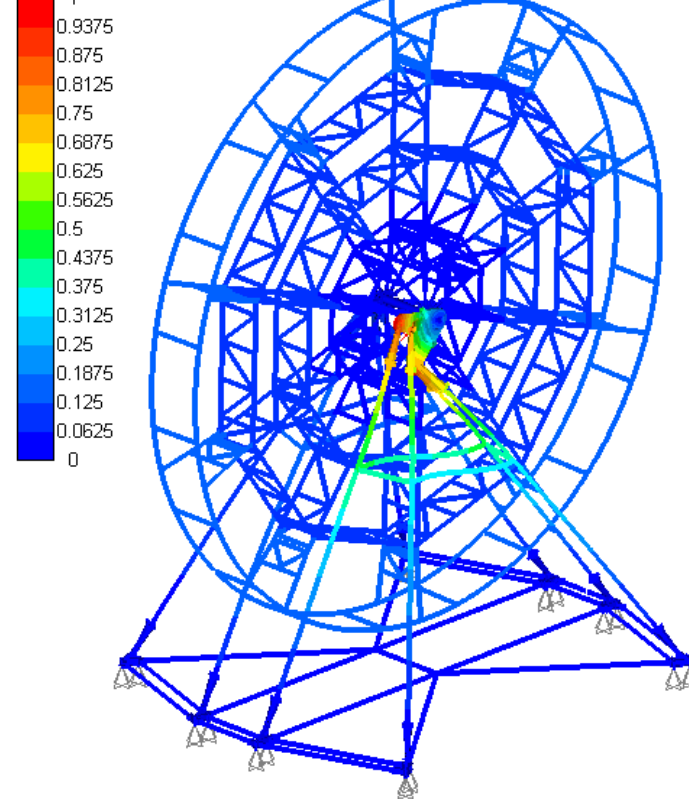
USUM[-], USUM[-], USUM[-]



USUM[-], USUM[-], USUM[-]



USUM[-], USUM[-]



Формы потери устойчивости конструкций колес обозрения

## Кабина канатной дороги

### Нормативная база

1. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция
2. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция
3. ТР ЕАЭС 038/2016 Технический регламент Евразийского экономического союза "О безопасности аттракционов"
4. ФНП "Правила безопасности пассажирских канатных дорог и фуникулеров", утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 6 февраля 2014 г. № 42(в ред. Приказа Ростехнадзора от 28.04.2016г.).





## Кабина канатной дороги

### Методика расчета

1. Расчеты по предельным состояниям первой группы, включая:

- расчет на прочность с учетом возможных неблагоприятных условий эксплуатации;
- расчет на потерю устойчивости формы конструкции;
- расчет на усталостное разрушение (расчет на выносливость конструкций, находящихся под воздействием многократно повторяющейся нагрузки, подвижной или пульсирующей);
- расчет конструктивных элементов по СП 16.13330.2017.

2. Расчеты по предельным состояниям второй группы, включая:

- расчет перемещений элементов конструкции (прогибы, углы поворота, углы перекоса и т.п.).

3. Определение нагрузок на подвес и расчет соединений (болтовых, заклепочных, фланцевых) на статическую прочность и выносливость.

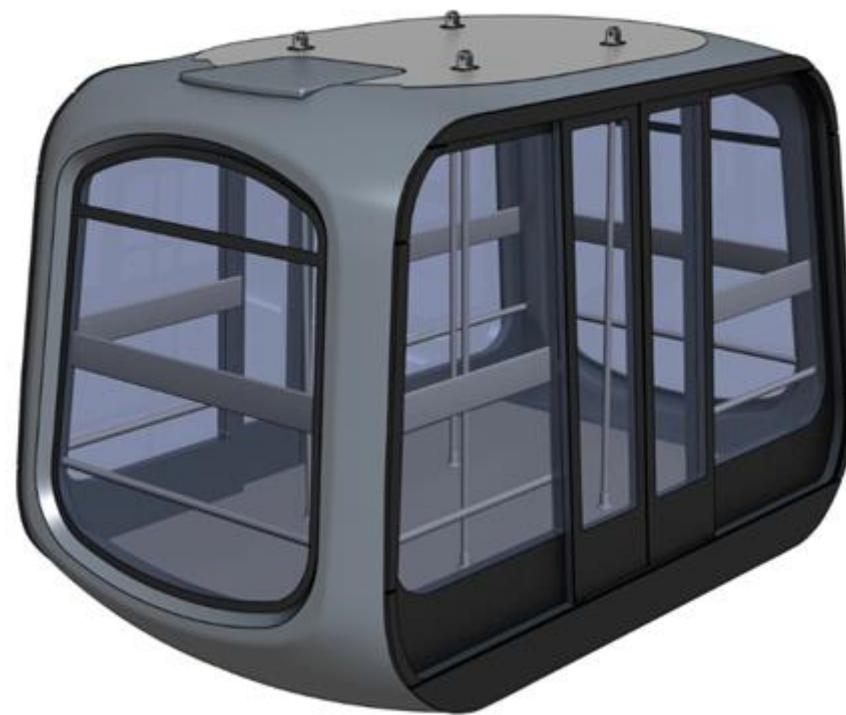


## Кабина канатной дороги

### Исходные данные

Для построения КЭ модели и выполнения расчета, были использованы:

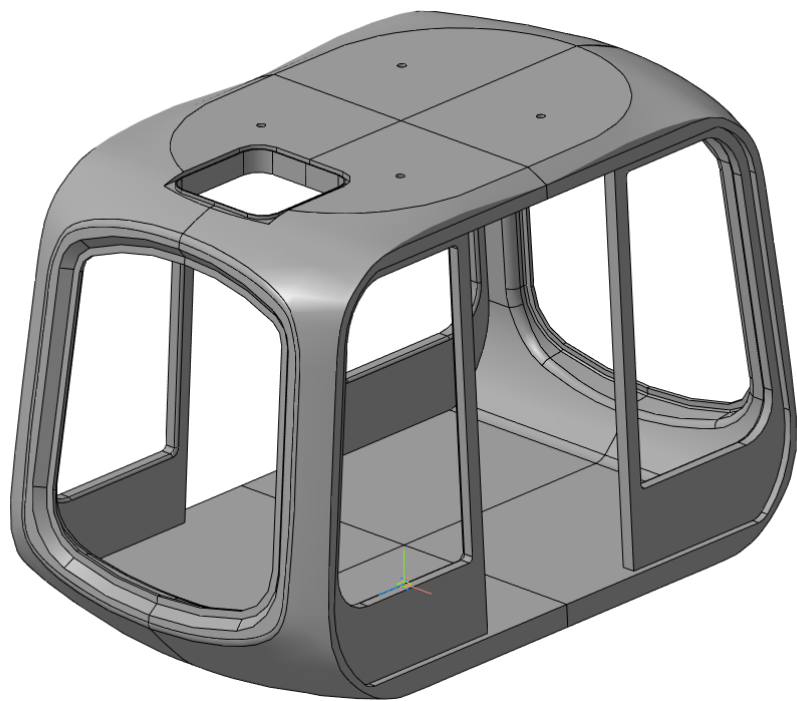
1. Данные по конструкторской части изделия – 3d модель изделия.
2. Данные по нагрузкам и условиям эксплуатации кабинки, включая:
  - значение технологических нагрузок (массы оборудования, коммуникаций и прочих элементов не включенных в 3d модель);
  - значение полезных нагрузок (количество пассажиров);
  - место эксплуатации/установки аттракциона (ветровой, снеговой, гололедный и климатические районы);
  - значения инерционных нагрузок (скорости и ускорения кабинки при разгоне, движении и торможении);
3. Расчетные характеристики используемых в конструкции материалов.



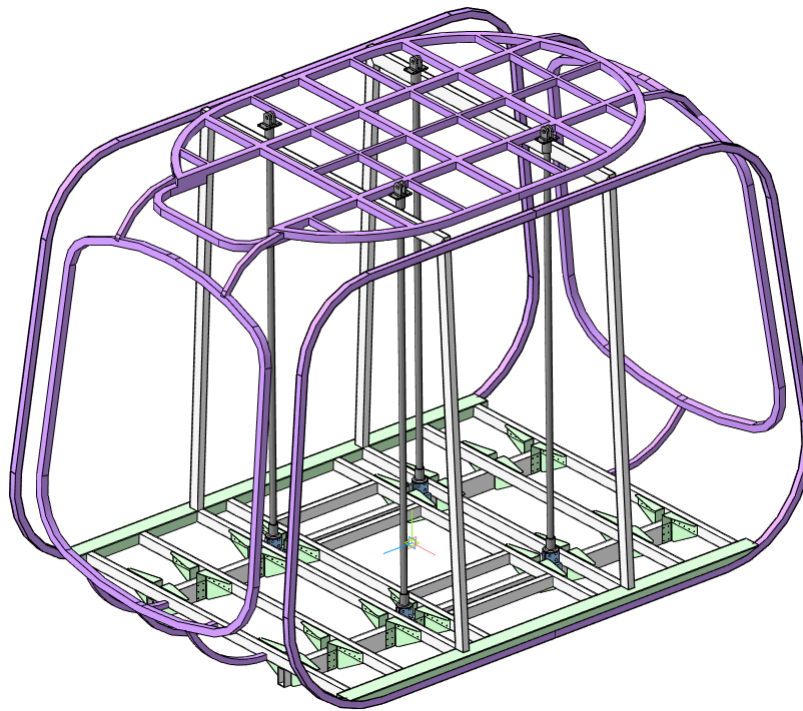


## Кабина канатной дороги

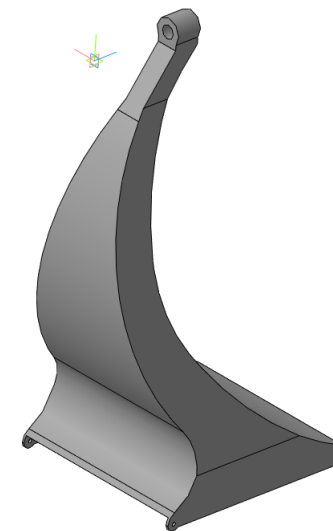
3d модель



Обшивка кабины



Каркас кабины



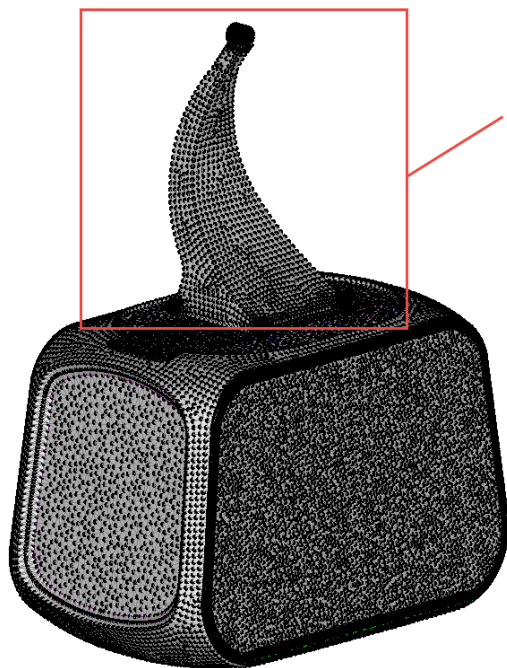
Подвес кабины





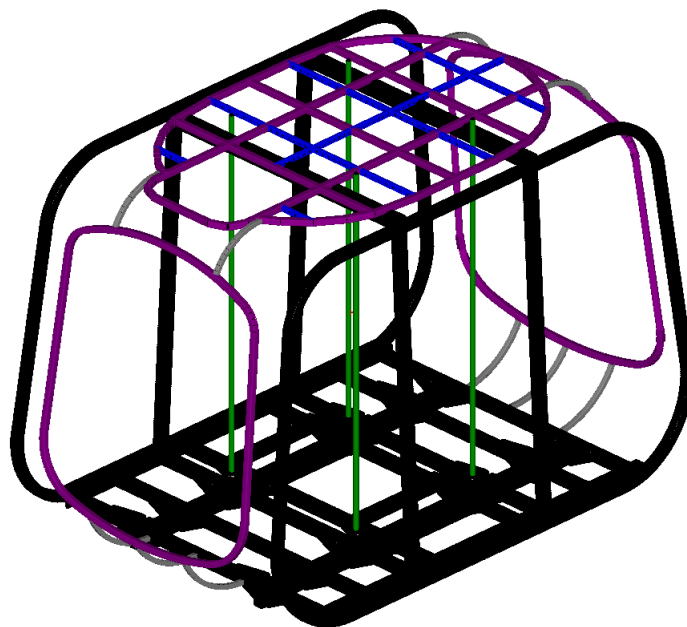
## Кабина канатной дороги

### КЭ модель

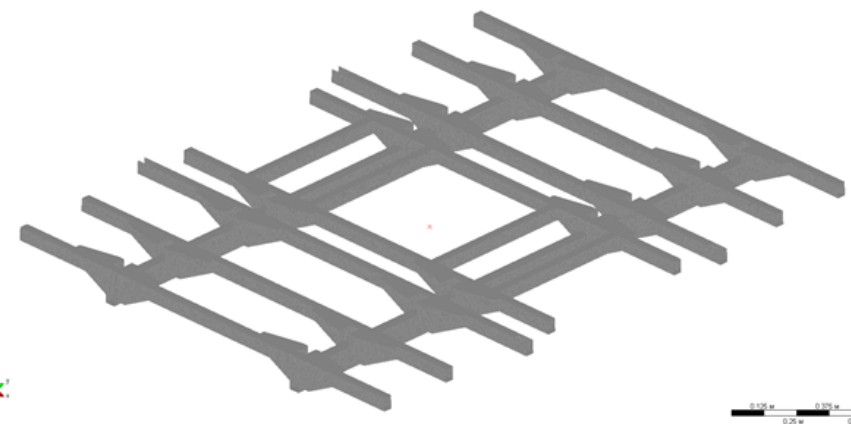


Модель подвеса выполнена условно, для корректной передачи усилий с кабины на канатную дорогу

Модель кабины с подвесом



Модель каркаса кабины

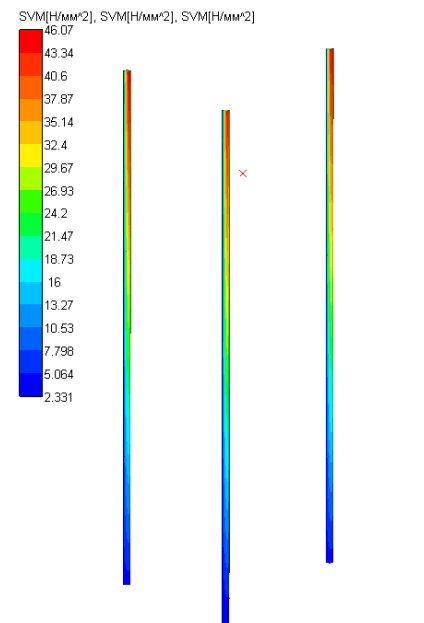
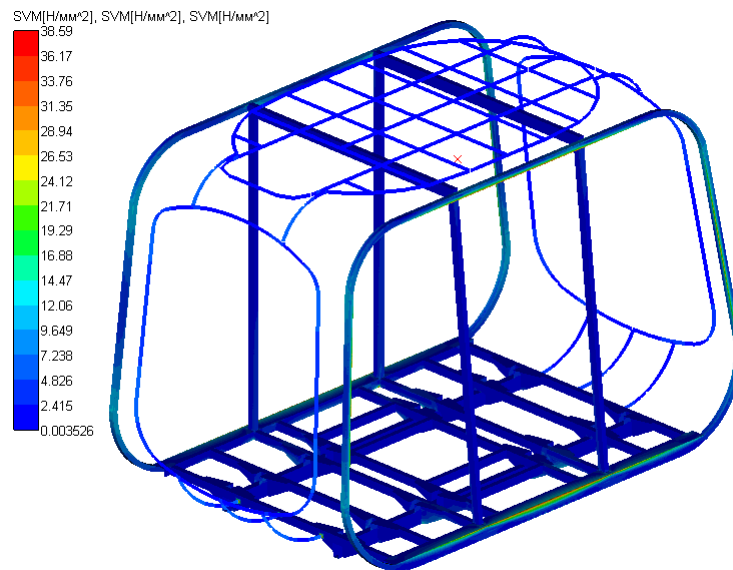
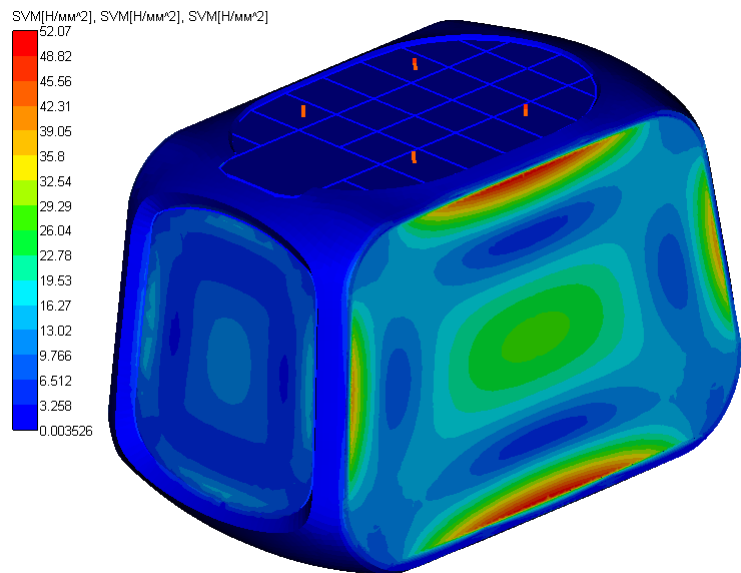


Фрагмент модели основания кабины



## Кабина канатной дороги

### Результаты расчета

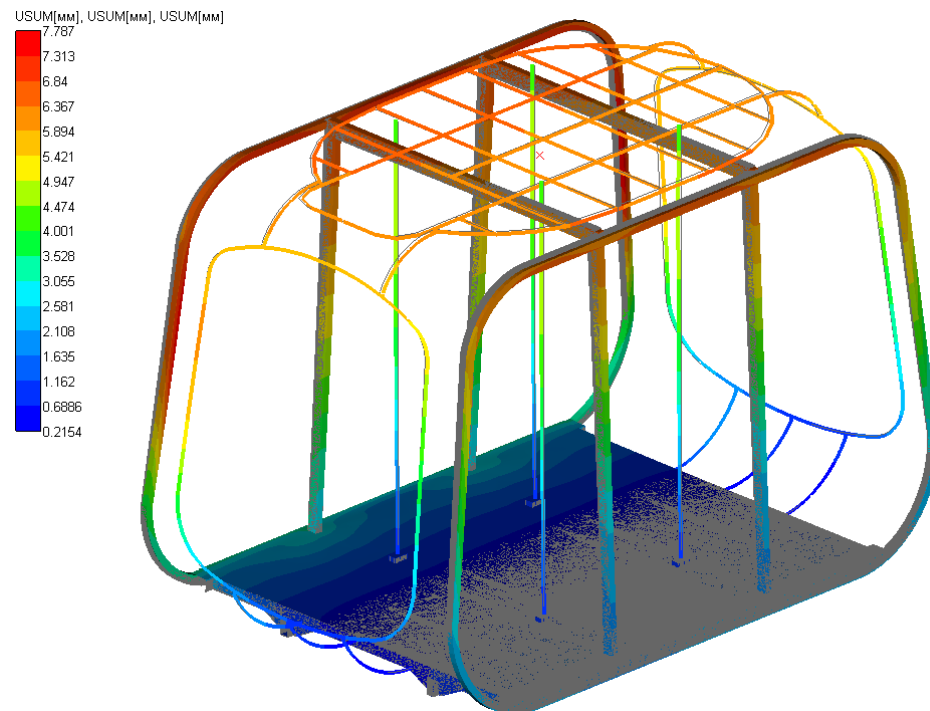
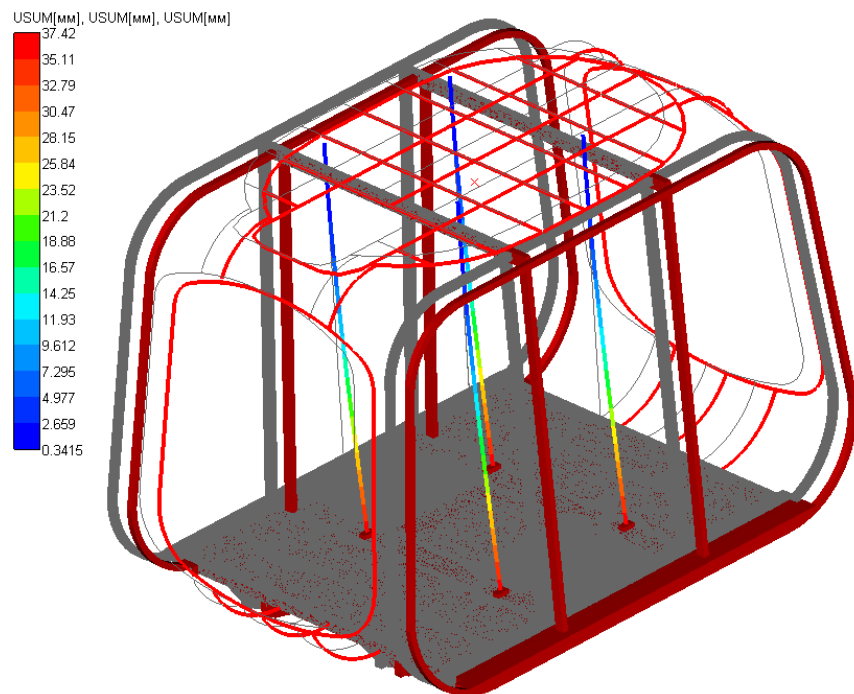


Карты распределения эквивалентных напряжений в конструкции кабины



## Кабина канатной дороги

### Результаты расчета



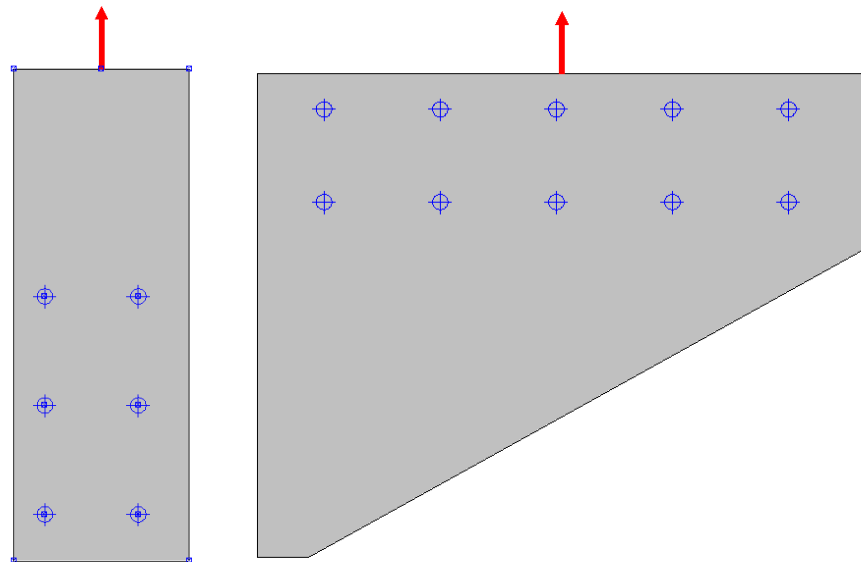
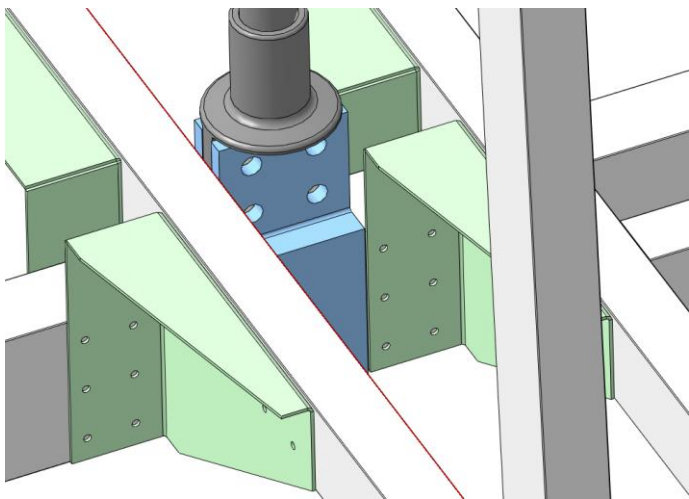
Карты суммарных перемещений конструкции кабины





## Кабина канатной дороги

### Результаты расчета



Результаты расчёта	
Соединение (слой)	0
Геометрия	
Площадь стыка [кв.мм]	8897.67
X координата центра масс стыка [мм]	45.1693
Y координата центра масс стыка [мм]	-3.34055
Момент инерции стыка относит. центральных осей	
относит. горизонтальной оси [мм <sup>4</sup> ]	1.84724e+07
относит. вертикальной оси [мм <sup>4</sup> ]	2.35597e+06
Угол наклона главных центральных осей [Град]	0.0
Нагрузка	
Диаметр заклёпки [мм]	5
Максимальная сдвигающая нагрузка на заклёпку [Н]	1209.33
Минимальная толщина пластины [мм]	1.01411
Коэффициент запаса прочности на срез	1.72104

Расчет заклепочного соединения в APM Joint



## Модули закрепления и поглощения

### Нормативная база

1. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия.  
Актуализированная редакция
2. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции.  
Актуализированная редакция
3. ГОСТ4835-2013 Колесные пары железнодорожных вагонов
4. ГОСТ 10791-2011 Колеса цельнокатанные.  
Технические условия
5. ГОСТ Р 51685-2013 Рельсы железнодорожные.  
Общие технические условия





## Модули закрепления и поглощения

### Методика расчета

1. Расчет на прочность с учетом контактного взаимодействия колес с модулями
2. Расчет перемещений элементов конструкций
3. Определение величины максимально допустимых нагрузок на модуль закрепления и модуль поглощения

### Исходные данные

Для построения КЭ модели и выполнения расчета, были использованы:

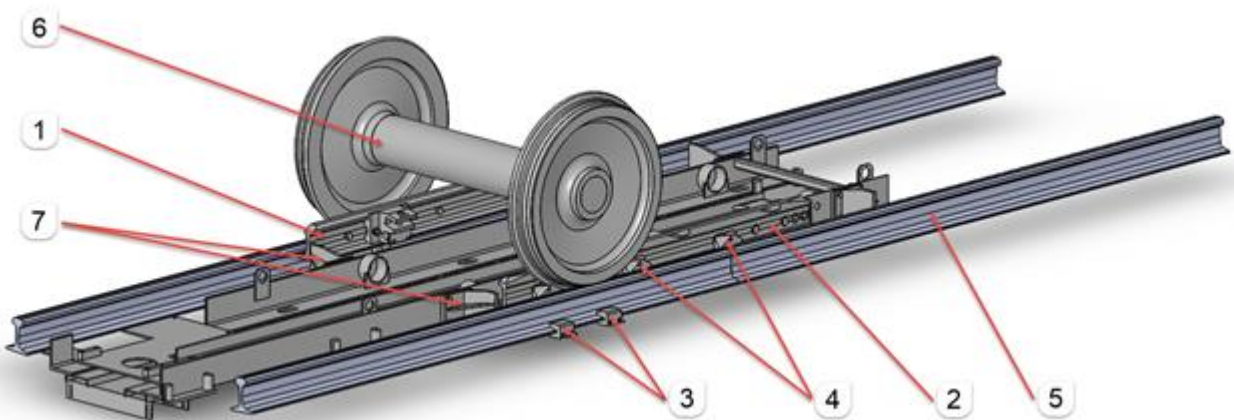
1. Данные по конструкторской части изделий – 3d модели изделий.
2. Данные по нагрузкам на модули, включая:
  - продольная нагрузка от веса поезда в эксплуатационном режиме (усилие, прикладываемое вдоль оси пути закрепляющей шины (ЗШ) каждого модуля);
  - вертикальная нагрузка от веса брутто вагона на модуль;
  - усилие прижатия шин к колесной паре.
3. Расчетные характеристики используемых в конструкции материалов.





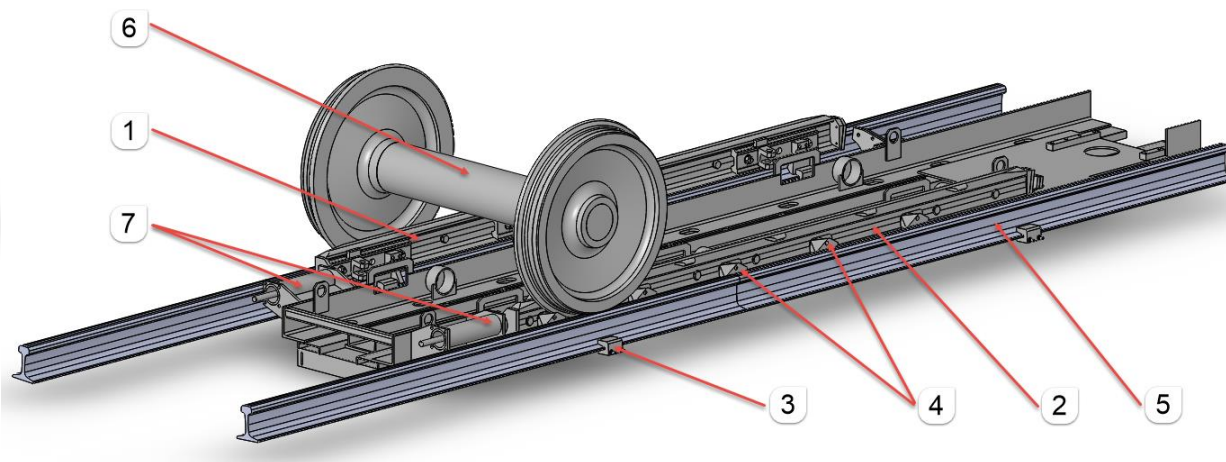
## Модули закрепления и поглощения

### 3d модель



Модуль закрепления (1 положение):

1 – шина закрепляющая левая, 2 – шина закрепляющая правая, 3 – опоры,  
4 – упор закрепляющей шины, 5 – рельс,  
6 – колесная пара, 7 – упор модуля



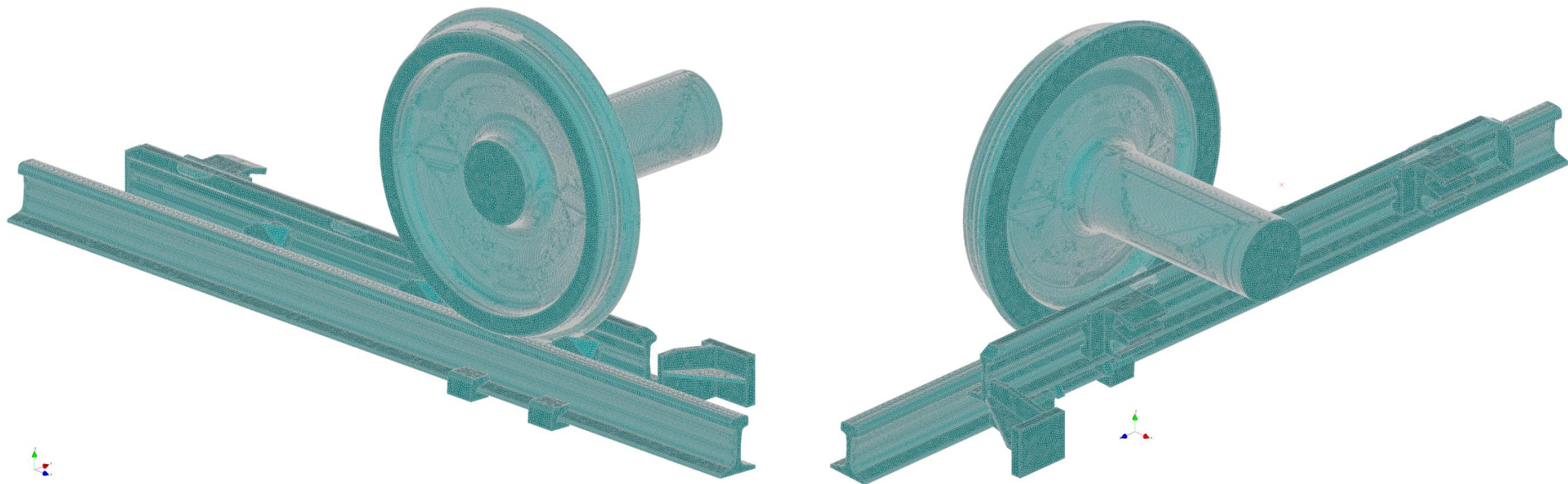
Модуль поглощения (1 положение):

1 – шина закрепляющая левая, 2 – шина закрепляющая правая, 3 – опоры,  
4 – упор закрепляющей шины, 5 – рельс,  
6 – колесная пара, 7 – упор модуля



## Модули закрепления и поглощения

КЭ модель



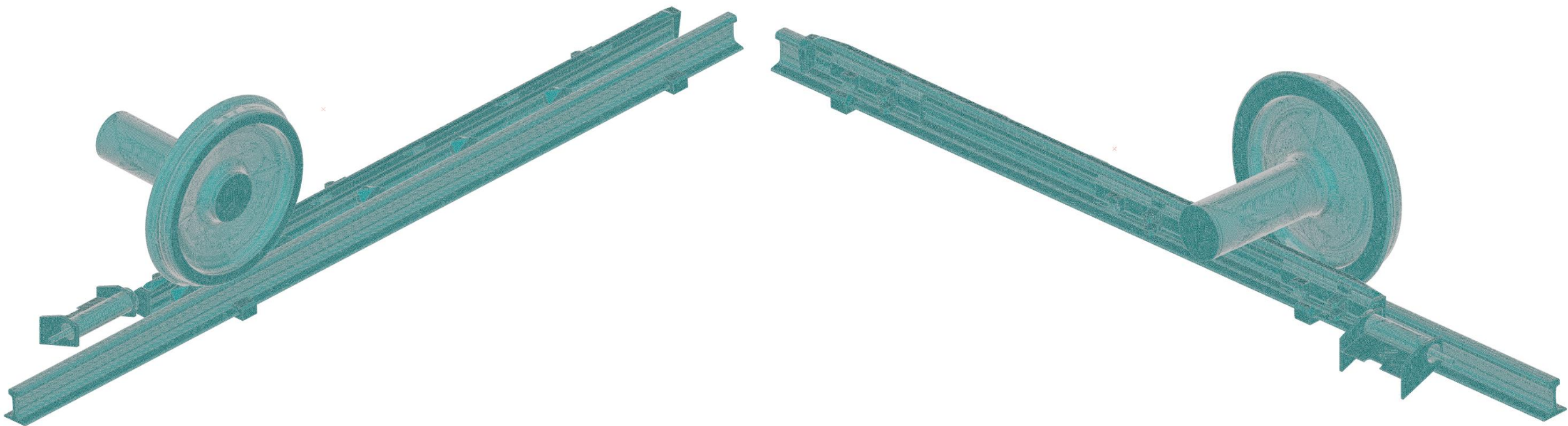
Модуль закрепления (1 положение)





## Модули закрепления и поглощения

КЭ модель



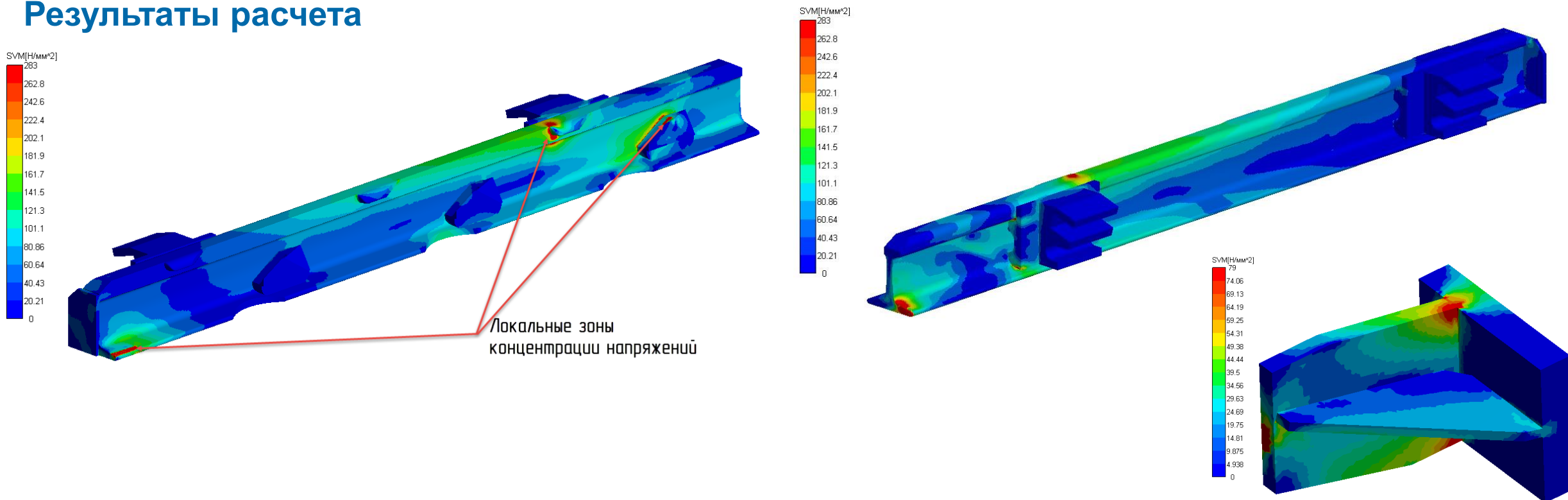
Модуль поглощения (1 положение)





## Модули закрепления и поглощения

### Результаты расчета

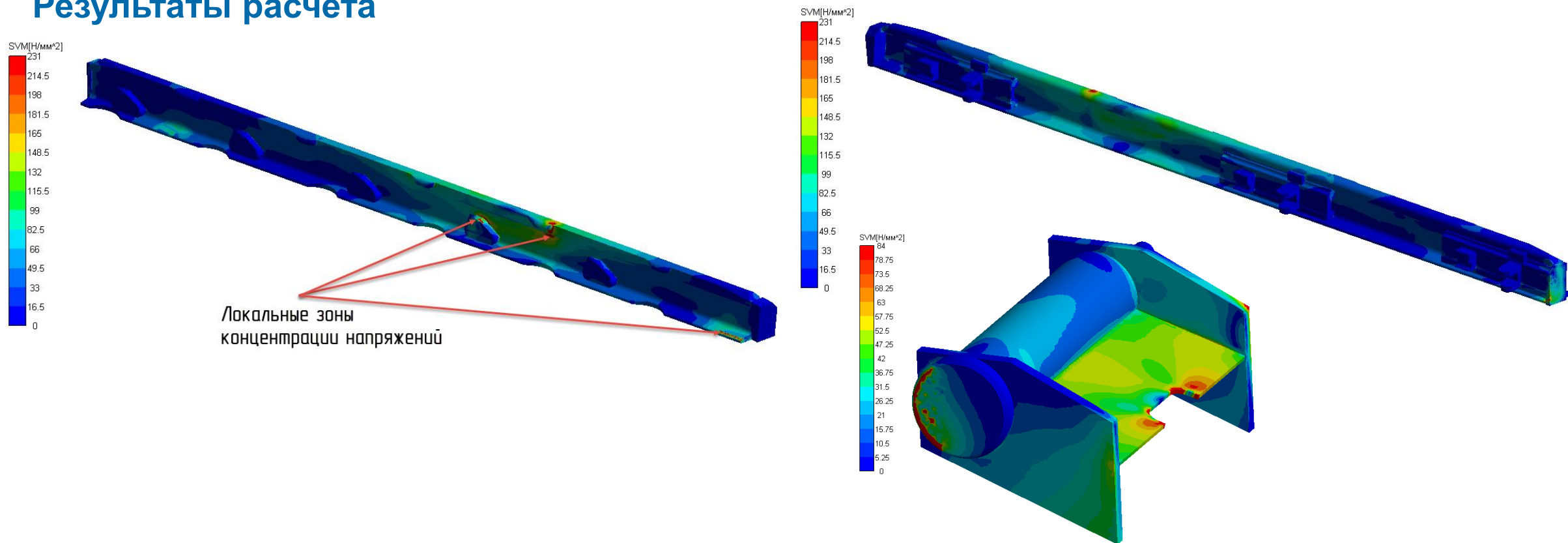


Карты распределения эквивалентных напряжений в модуле закрепления (положение 1)



## Модули закрепления и поглощения

### Результаты расчета

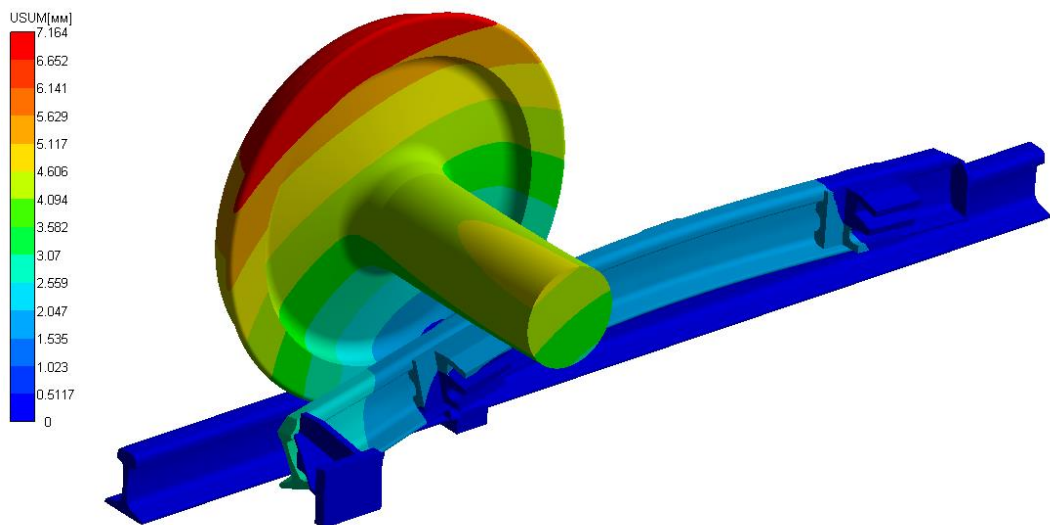


Карты распределения эквивалентных напряжений в модуле поглощения (положение 4)

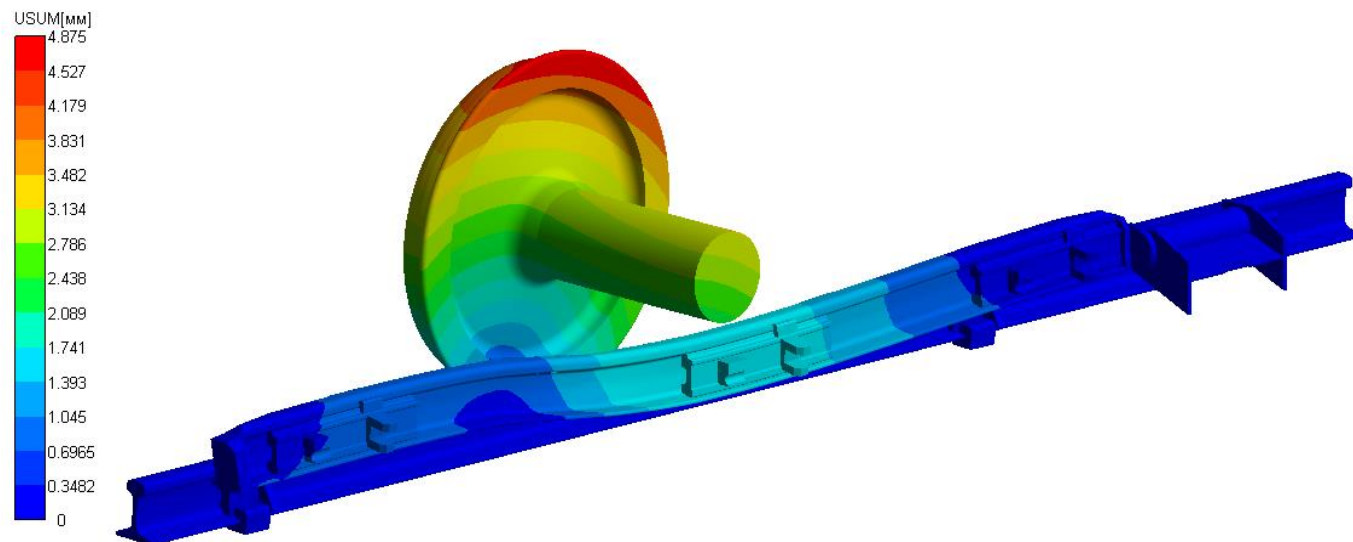


## Модули закрепления и поглощения

### Результаты расчета



Карта суммарных перемещений  
модуля закрепления (положение 1).  
Масштабный коэффициент 50



Карта суммарных перемещений  
модуля поглощения (положение 4).  
Масштабный коэффициент 50



## Поворотная платформа

### Нормативная база

1. СП 16.13330.2017 Стальные конструкции. Актуализированная редакция
2. ГОСТ 33169-2014 Краны грузоподъемные. Металлические конструкции. Подтверждение несущей способности
3. ГОСТ 32579.1-2013 Краны грузоподъемные. Принципы формирования расчетных нагрузок и комбинаций нагрузок. Часть 1. Общие положения





## Поворотная платформа

### Методика расчета

1. Расчеты по предельным состояниям первой группы, включая:

- расчет на прочность с учетом возможных неблагоприятных условий эксплуатации или вариантов установки объекта испытаний;
- расчет на потерю устойчивости формы конструкции;
- расчет на усталостное разрушение (расчет на выносливость конструкций, находящихся под воздействием многократно повторяющейся нагрузки, подвижной или пульсирующей).

2. Расчеты по предельным состояниям второй группы, включая:

- расчет перемещений элементов конструкции (прогибы, углы поворота, углы перекоса и т.п.).

3. Определение нагрузок на фундамент, подшипники, гидроцилиндры. Расчет соединений (болтовых, сварных, фланцевых) на статическую прочность и выносливость.





## Поворотная платформа

### Исходные данные

Для построения КЭ модели и выполнения расчета, были использованы:

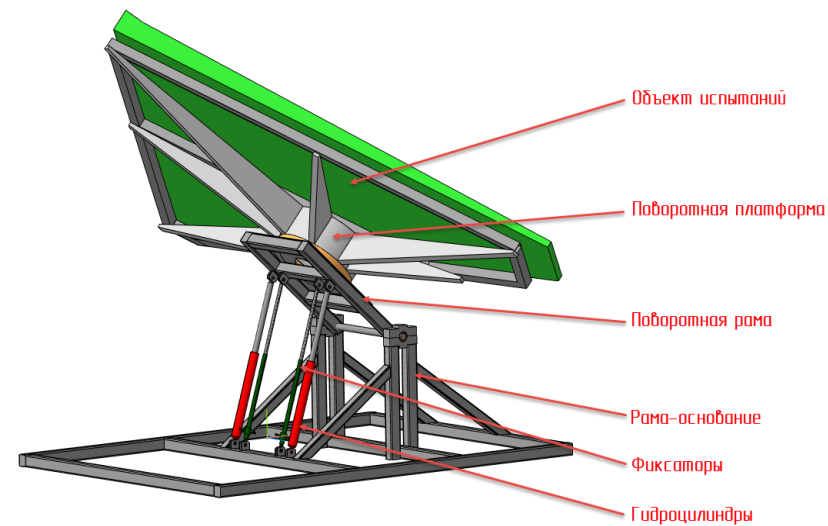
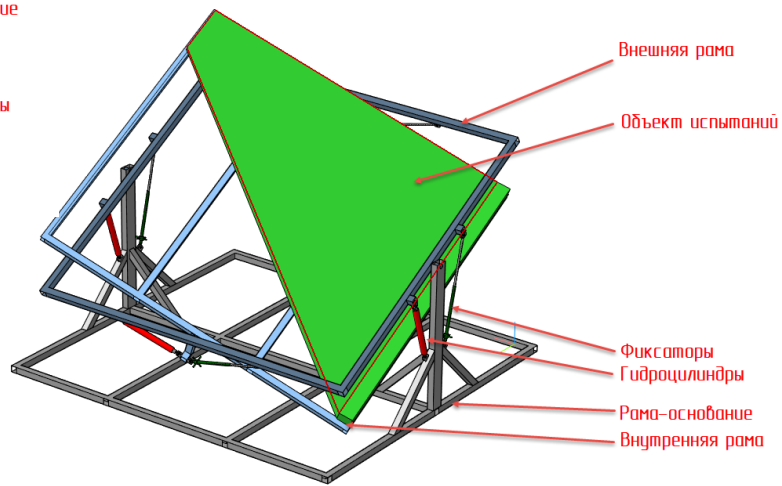
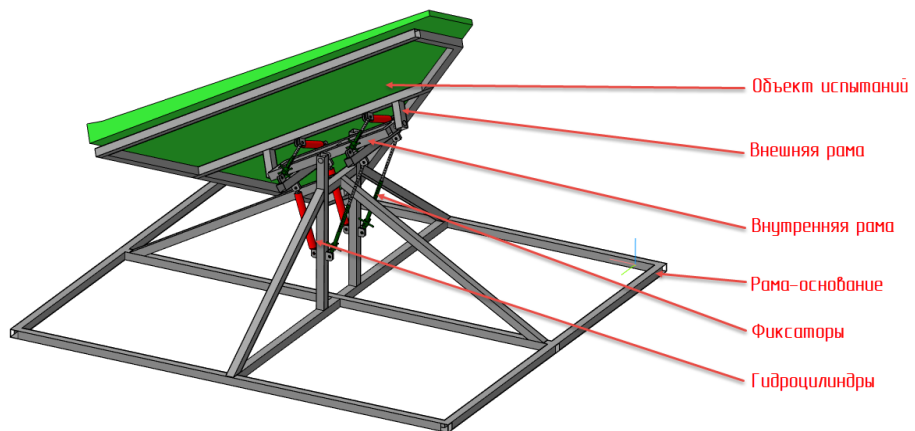
1. Данные по конструкторской части изделия – 3d модель изделия.
2. Данные по нагрузкам и условиям эксплуатации изделия, включая:
  - значение технологических нагрузок (массы оборудования, коммуникаций и прочих элементов не включенных в 3d модель);
  - значение полезных нагрузок (масса и пространственная ориентация объекта испытаний);
  - значения инерционных нагрузок (скорости и ускорения платформы при разгоне, движении и торможении);
3. Расчетные характеристики используемых в конструкции материалов.





## Поворотная платформа

### 3d модель

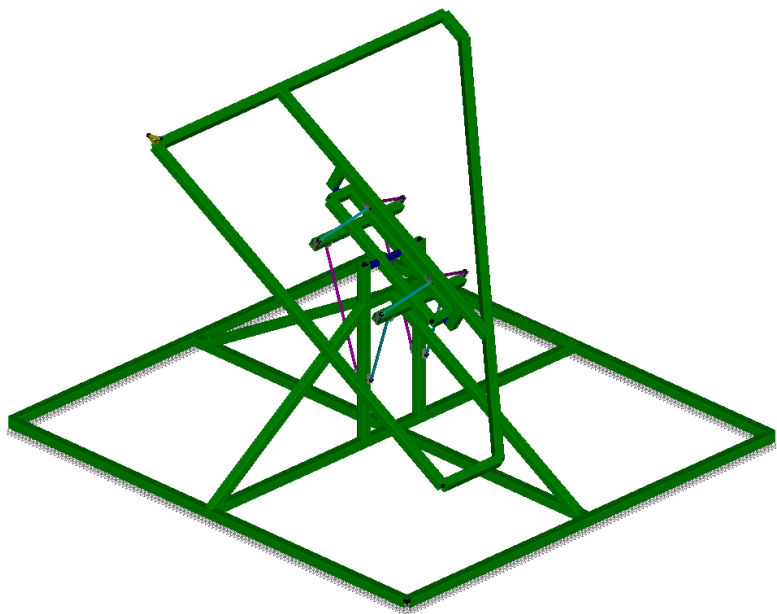


### Три варианта исполнения платформы

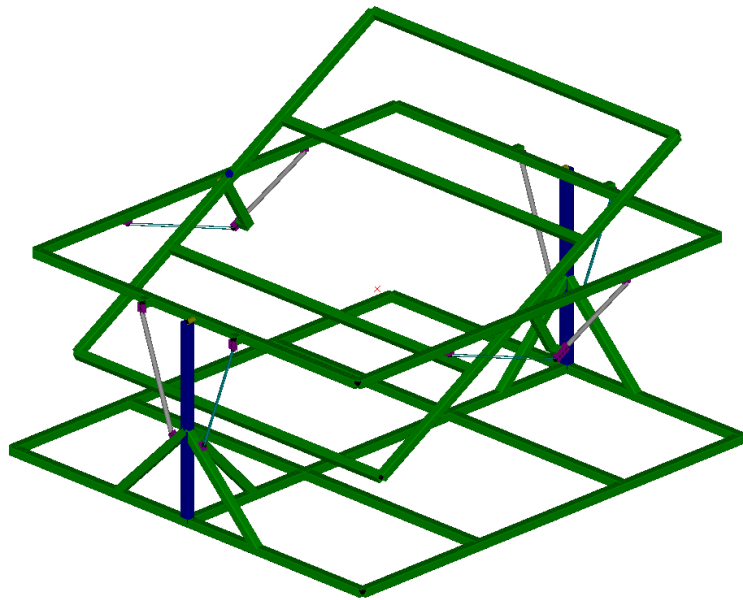


## Поворотная платформа

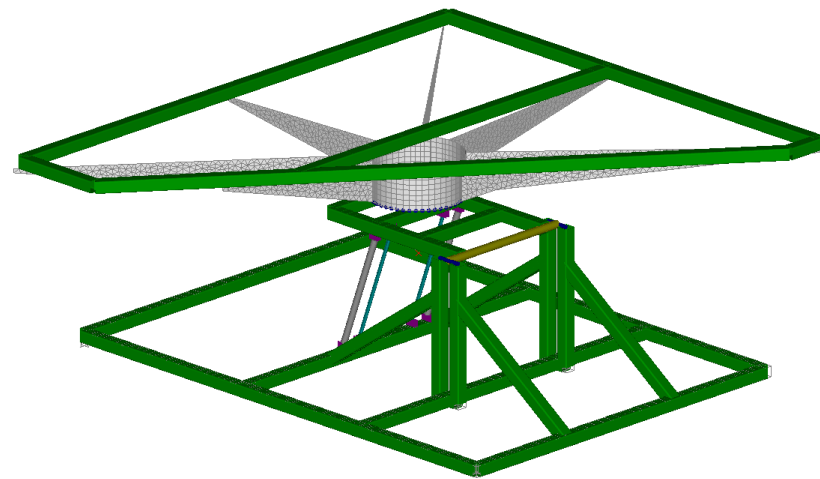
КЭ модель



Вариант 1



Вариант 2

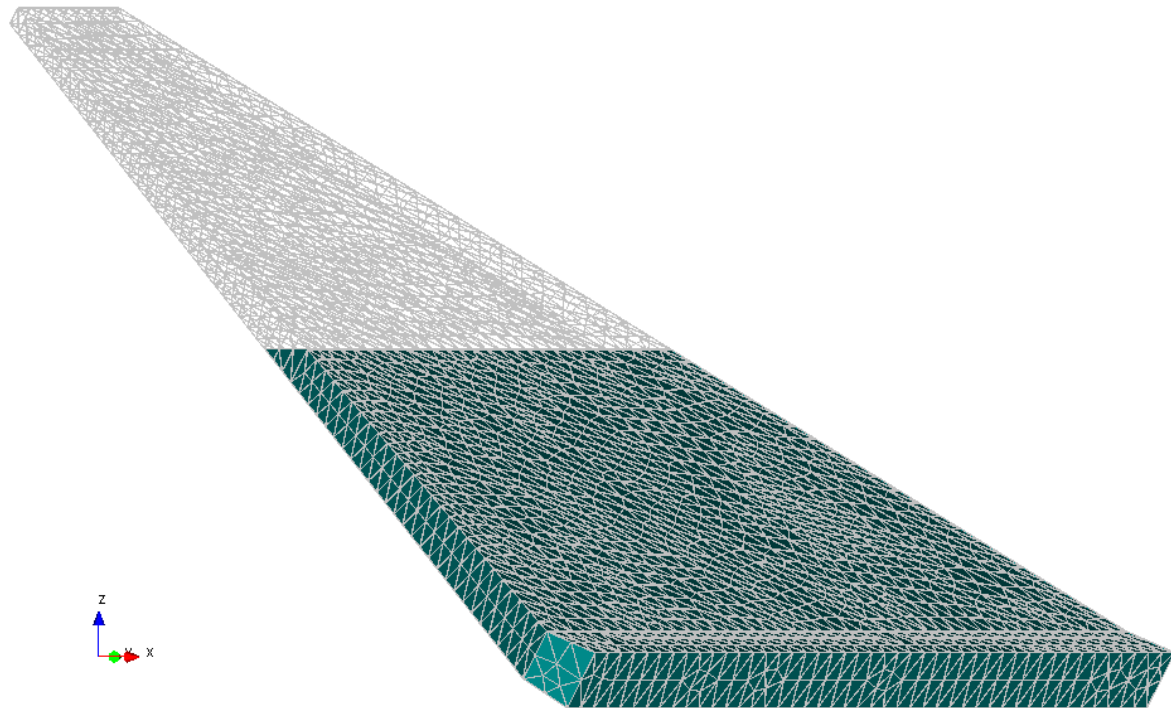


Вариант 3

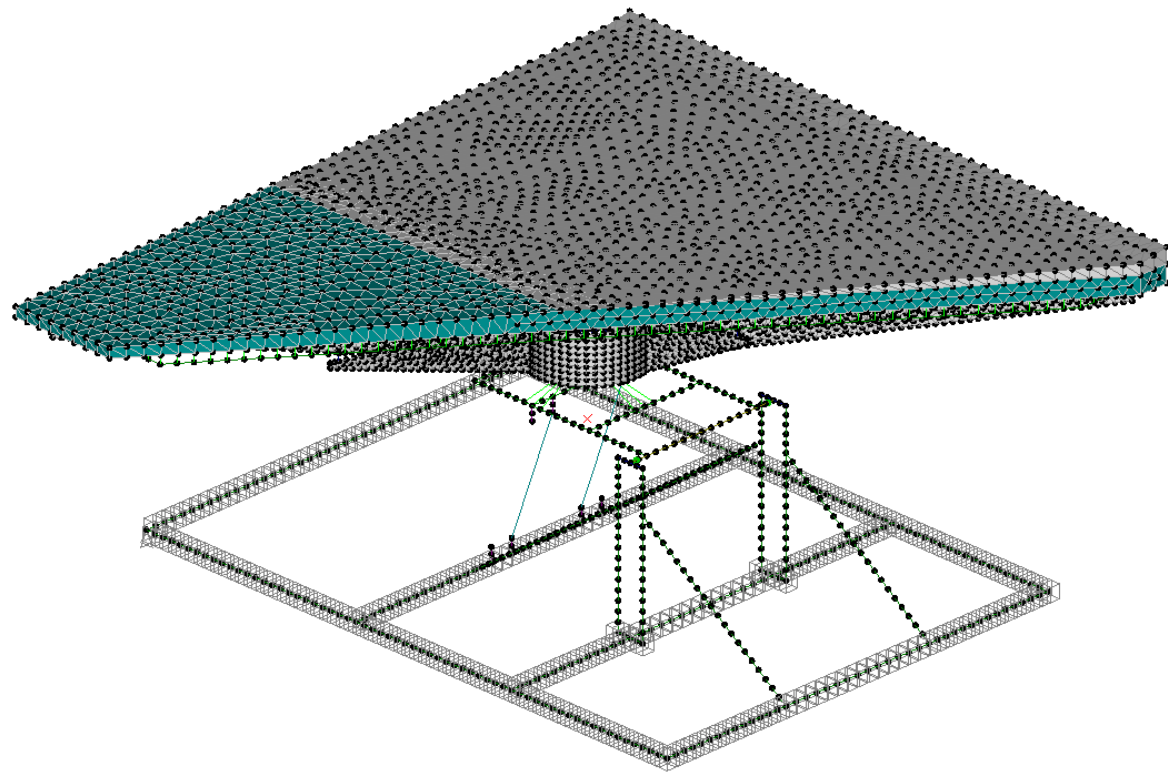


## Поворотная платформа

КЭ модель



Объект испытаний



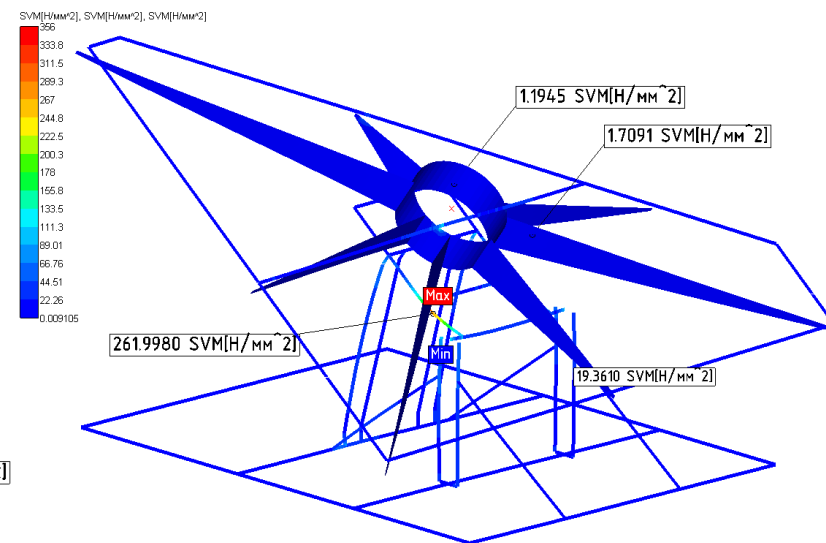
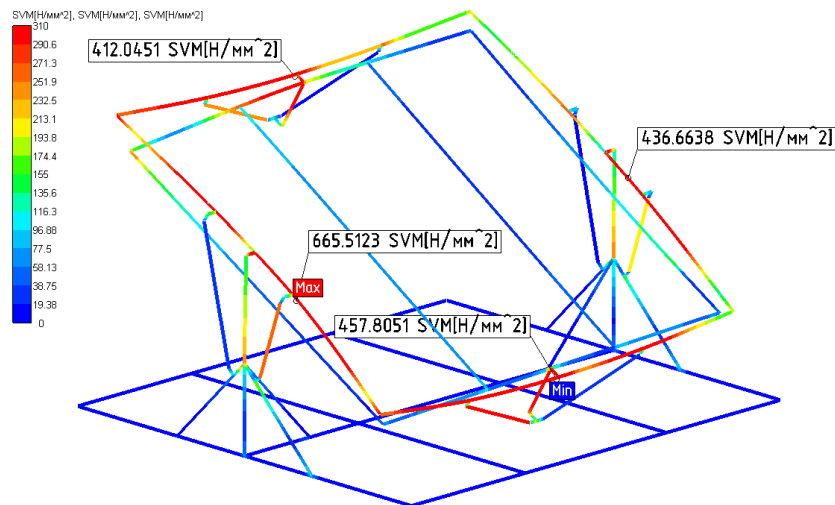
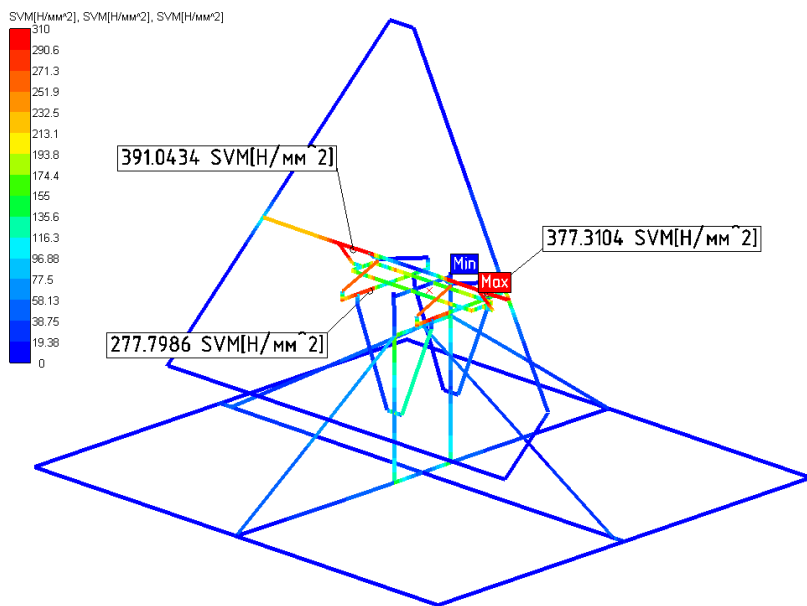
Платформа с объектом испытаний





## Поворотная платформа

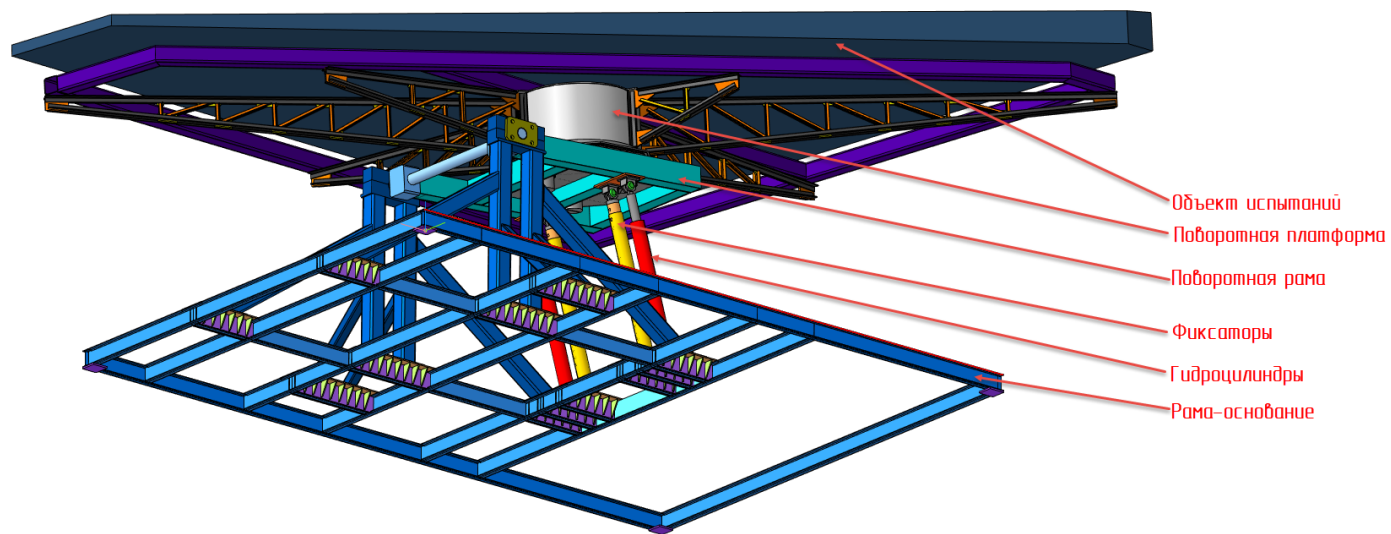
### Результаты расчета



Карты распределения эквивалентных напряжений в конструкциях платформ

## Поворотная платформа

### Результаты расчета



3d модель оптимизированной  
по массе и габаритам платформы

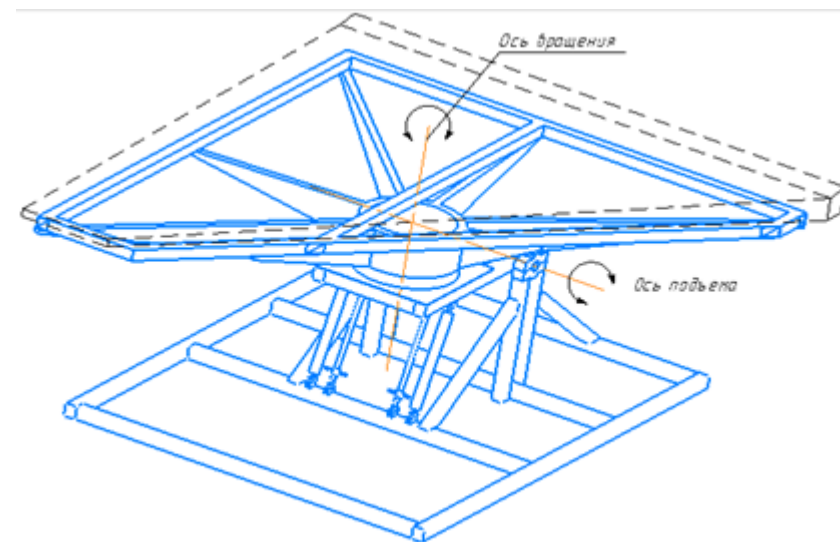
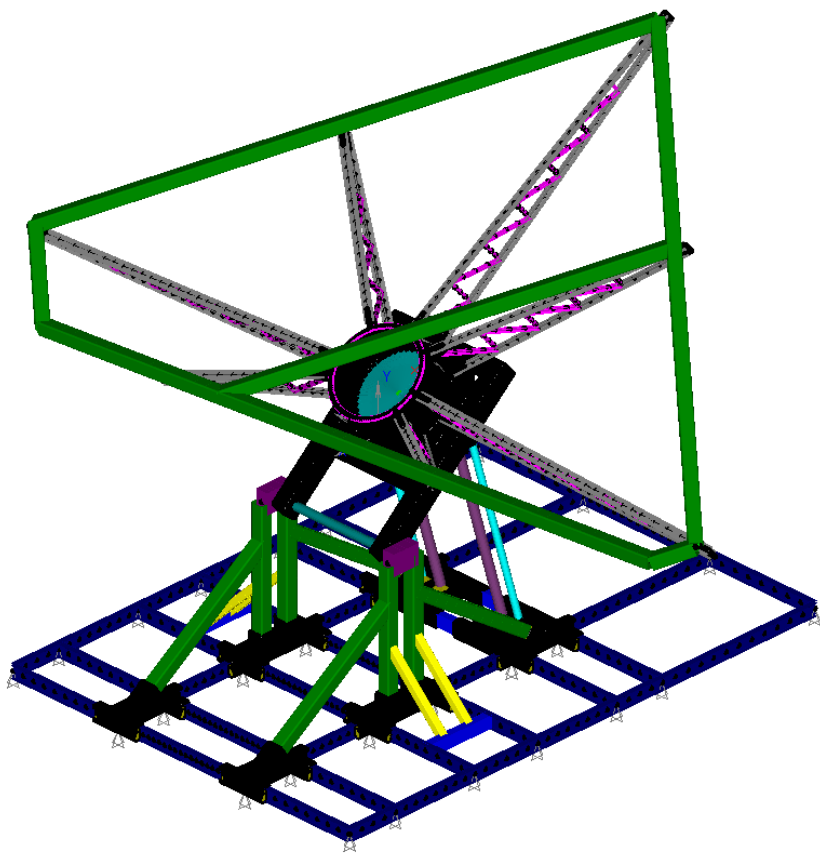


Схема работы платформы

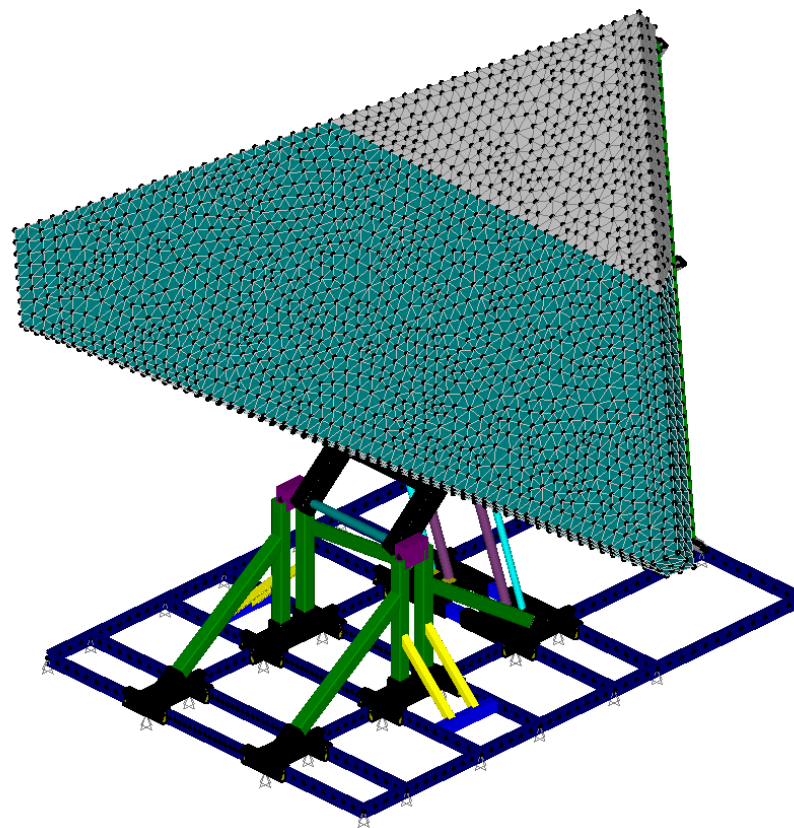


## Поворотная платформа

КЭ модель



Модель оптимизированной платформы



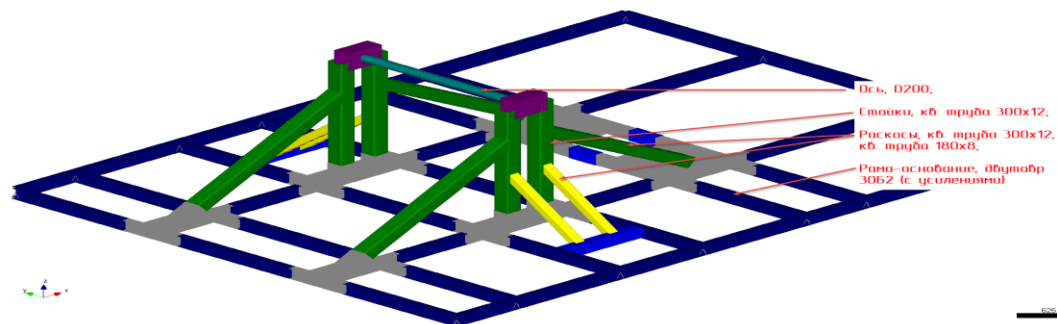
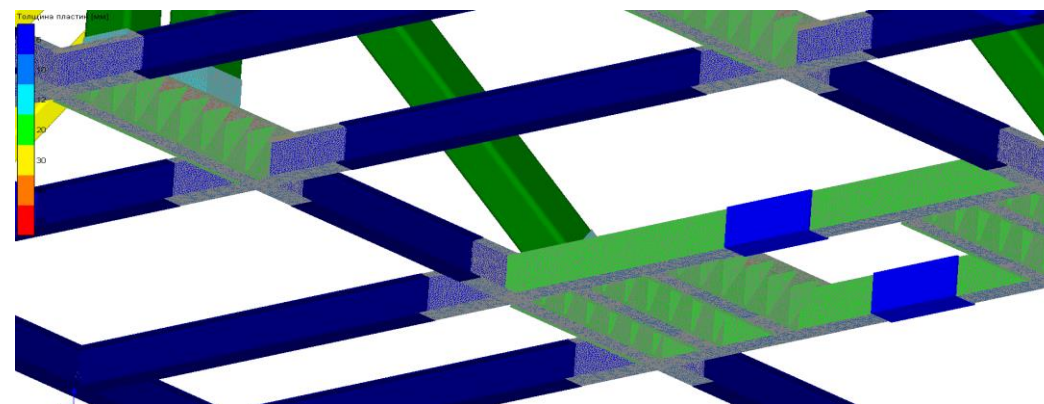
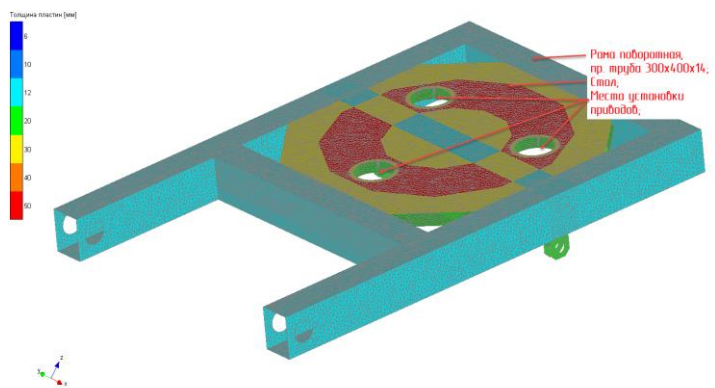
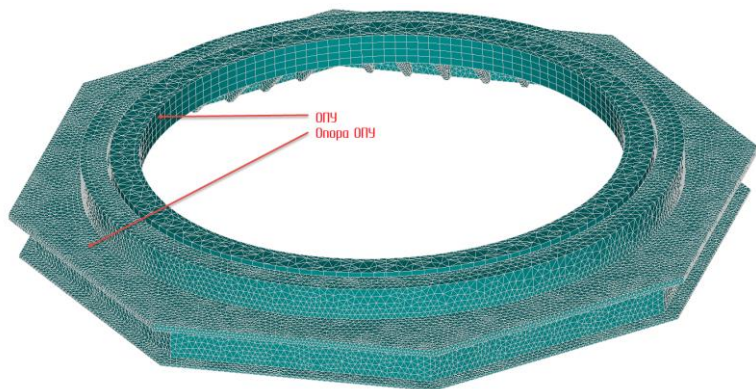
Модель оптимизированной платформы  
с объектом испытаний





## Поворотная платформа

КЭ модель

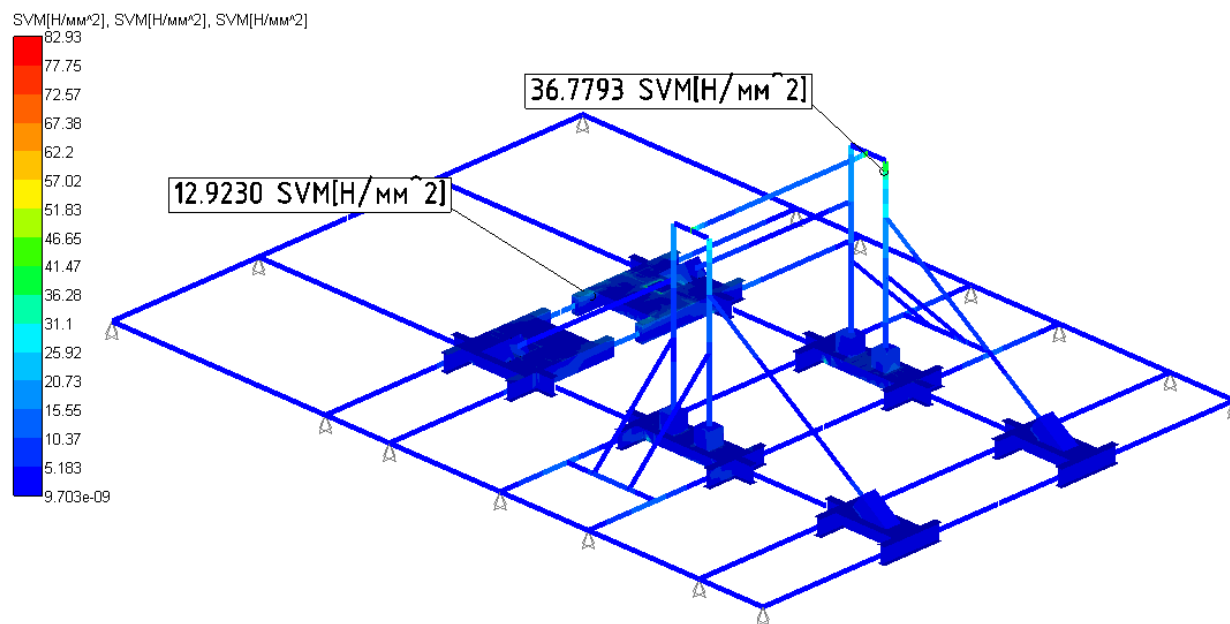
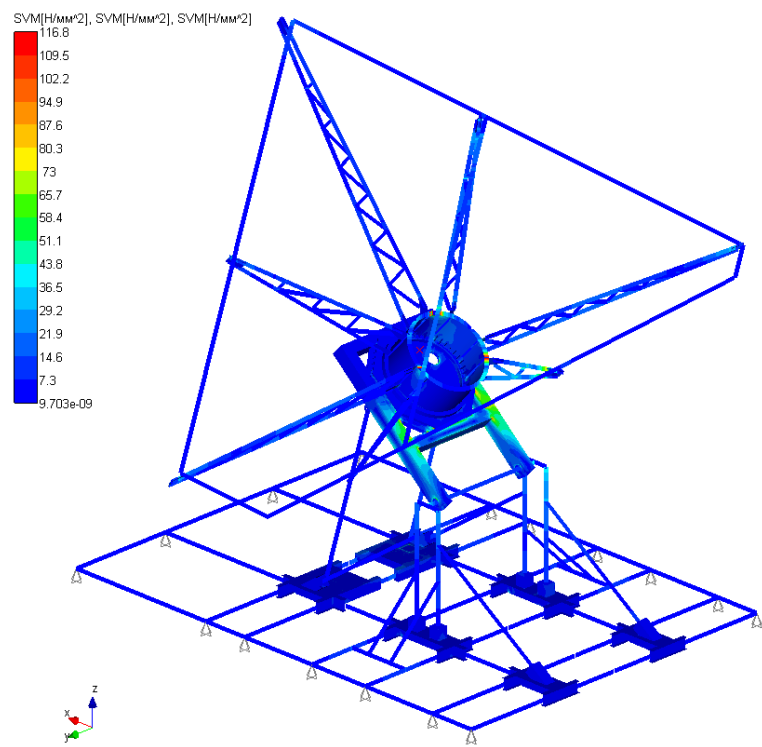


Фрагменты модели платформы



## Поворотная платформа

### Результаты расчета

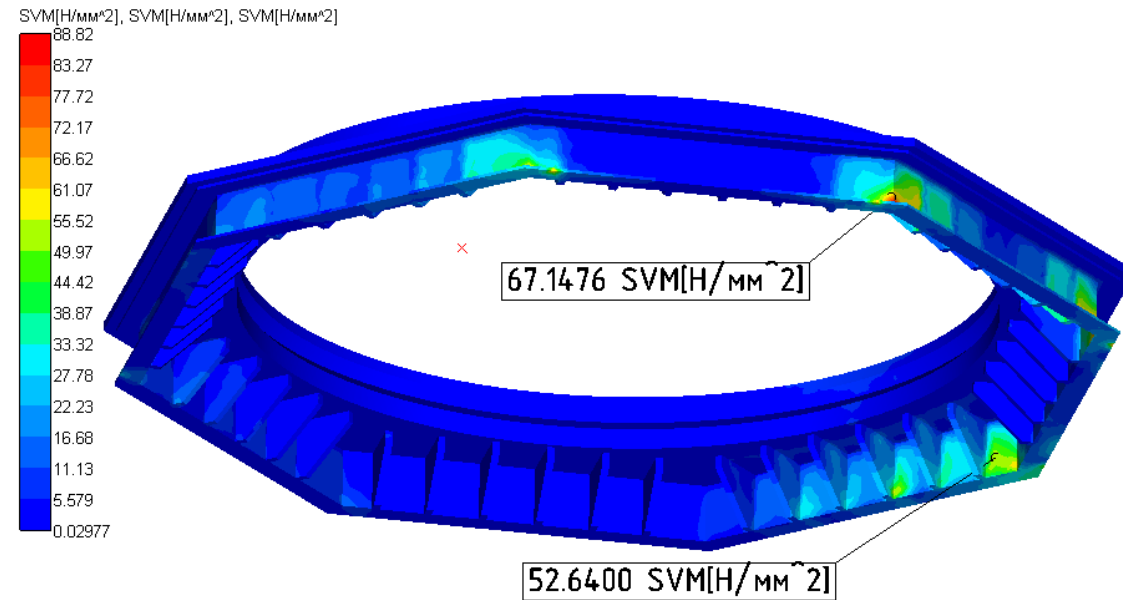
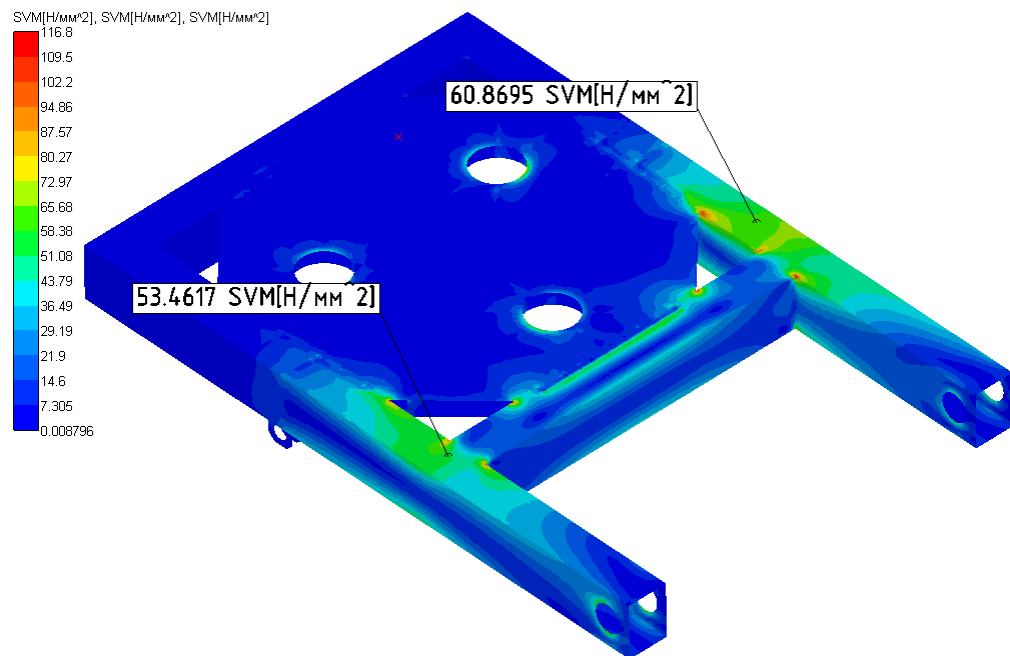


Карты распределения эквивалентных напряжений в оптимизированной конструкции платформы



## Поворотная платформа

### Результаты расчета

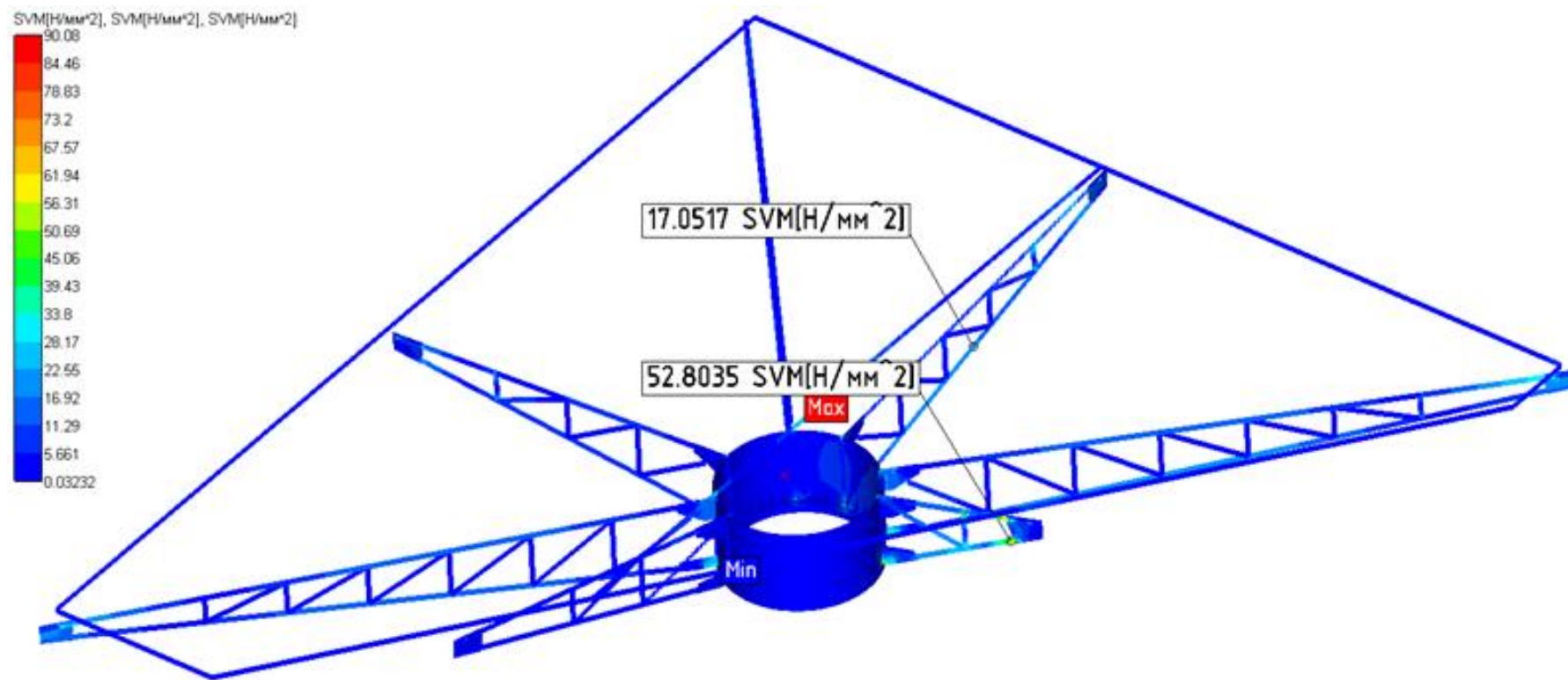


Карты распределения эквивалентных напряжений в оптимизированной конструкции платформы



## Поворотная платформа

### Результаты расчета

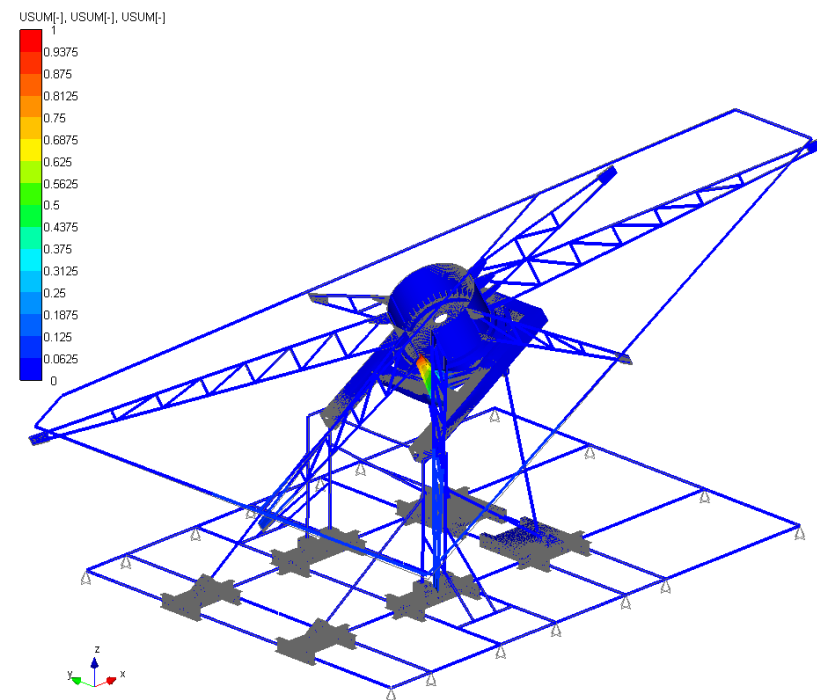
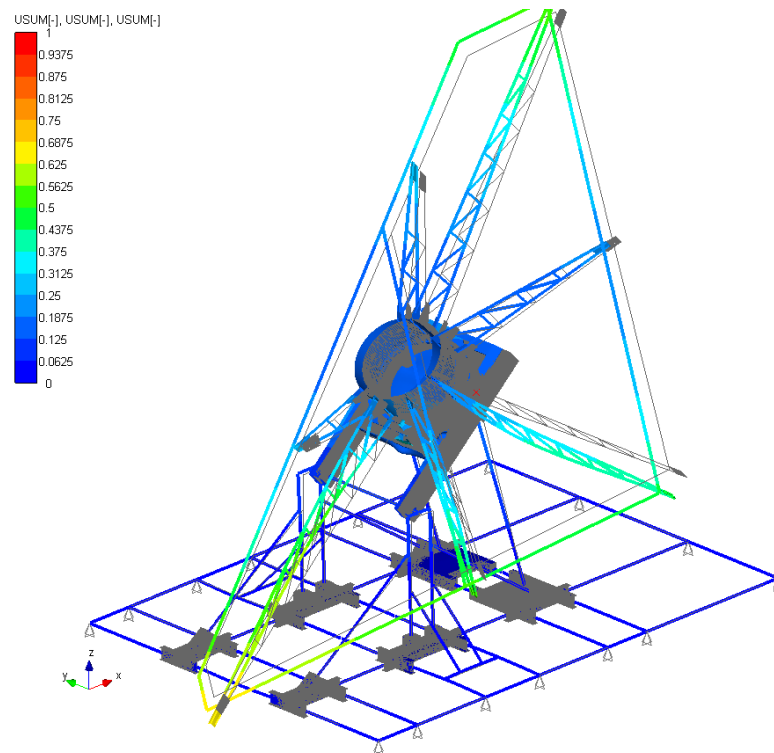
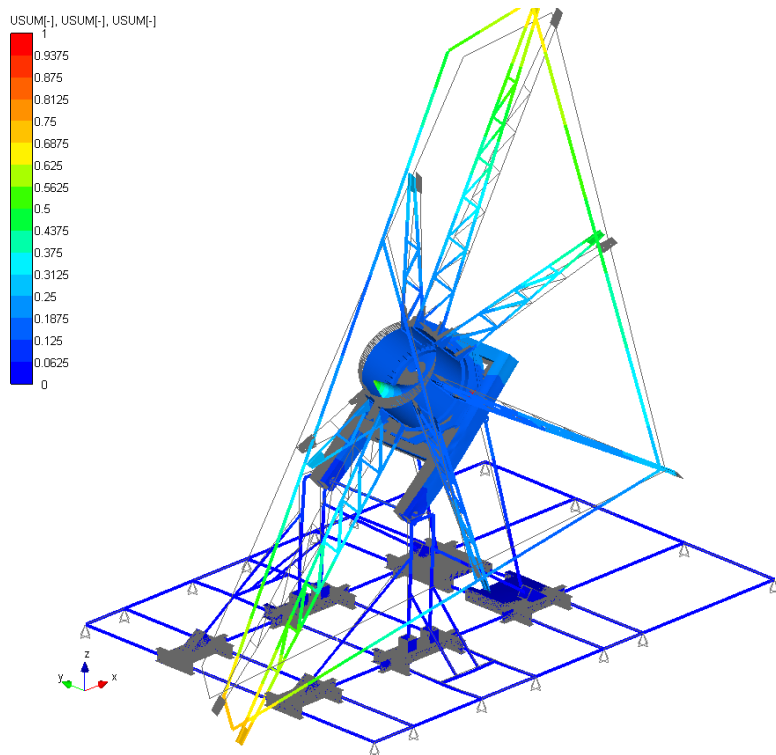


Карта распределения эквивалентных напряжений в оптимизированной конструкции платформы



## Поворотная платформа

### Результаты расчета



Формы потери устойчивости платформы



# Спасибо за внимание!

**Компания НТЦ «АПМ»  
(научно-технический центр)  
Московская область, г. Королев  
Октябрьский бульвар, д. 14, офис 6  
Тел.: (495) 120-58-10  
Internet: [www.apm.ru](http://www.apm.ru)  
E-mail: [com@apm.ru](mailto:com@apm.ru)**