



ОАО «СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНЖИНИРИНГОВЫЙ ЦЕНТР»
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР «СЕВЗАПЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

Разработка многогранных порталов для ПС 330 кВ Западная: расчёты и конструирование

Умные воздушные линии: проектирование и
реконструкция

17-19 июля 2014 года, Санкт-Петербург

НИЛКЭС, начальник сектора Касаткин Сергей Петрович

ПЦ «Севзапэнергосетьпроект» ОАО «СевЗап НТЦ»

e-mail: s_kasatkin@nwec.ru

тел. (812) 449-74-19

Предпосылки для разработки НОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В 2007 году была выпущена рабочая документация «Расширение и реконструкция подстанции Западная СПб», подразумевающая полную замену существующих железобетонных порталов на решётчатые порталы, устанавливаемые на буровые сваи с железобетонными ростверками.

Такой вариант реконструкции оказался неприемлем по причине невозможности полного отключения линии напряжением 330 кВ. В результате было принято решение разработать новые конструкции многогранных порталов, устанавливаемых на существующие фундаменты в условиях минимального времени отключения подстанции.

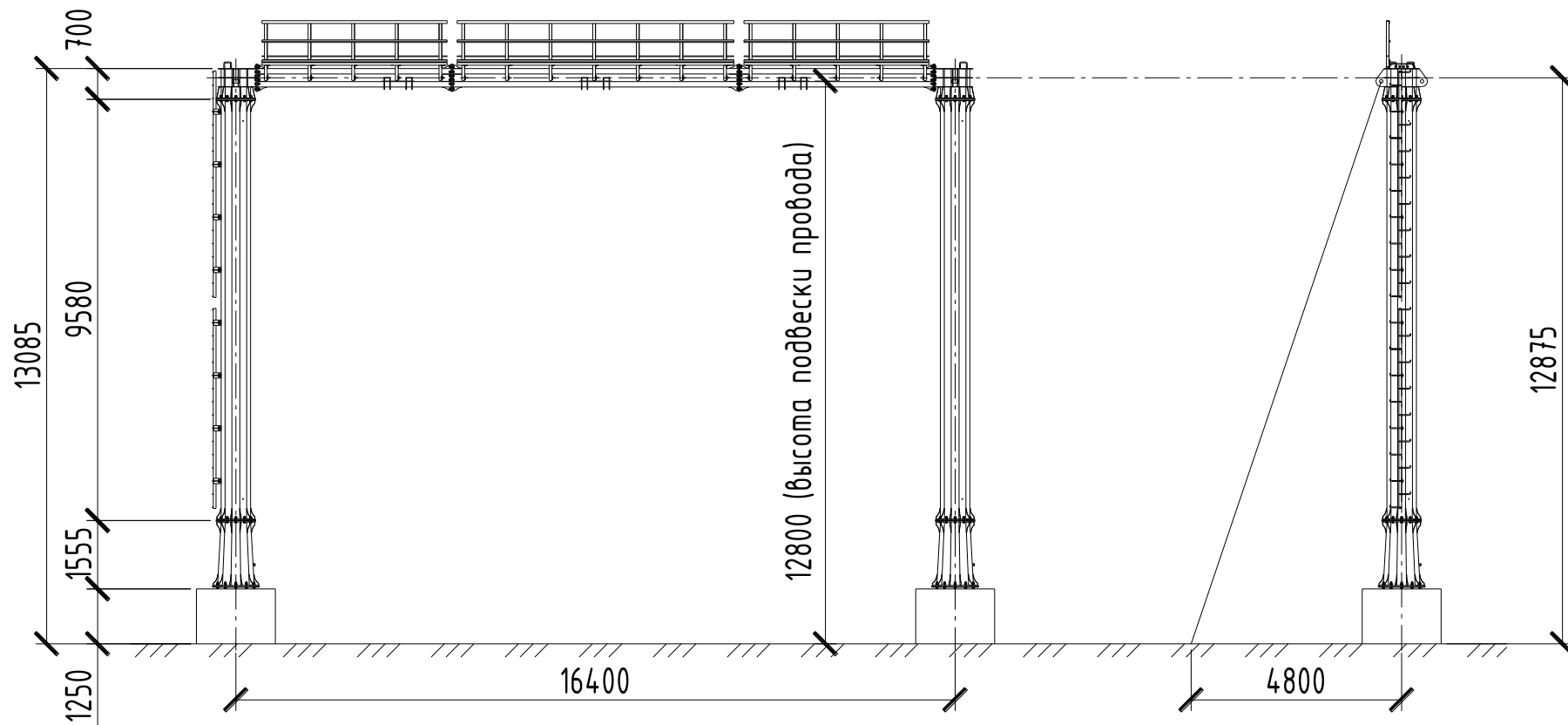
Разработаны:

1. Портал шинный ПМ-330Ш в четырёх модификациях;
2. Портал ячейковый ПМ-330ЯЗ в двух модификациях;
3. Портал трансформаторный ПМ-330Тр.

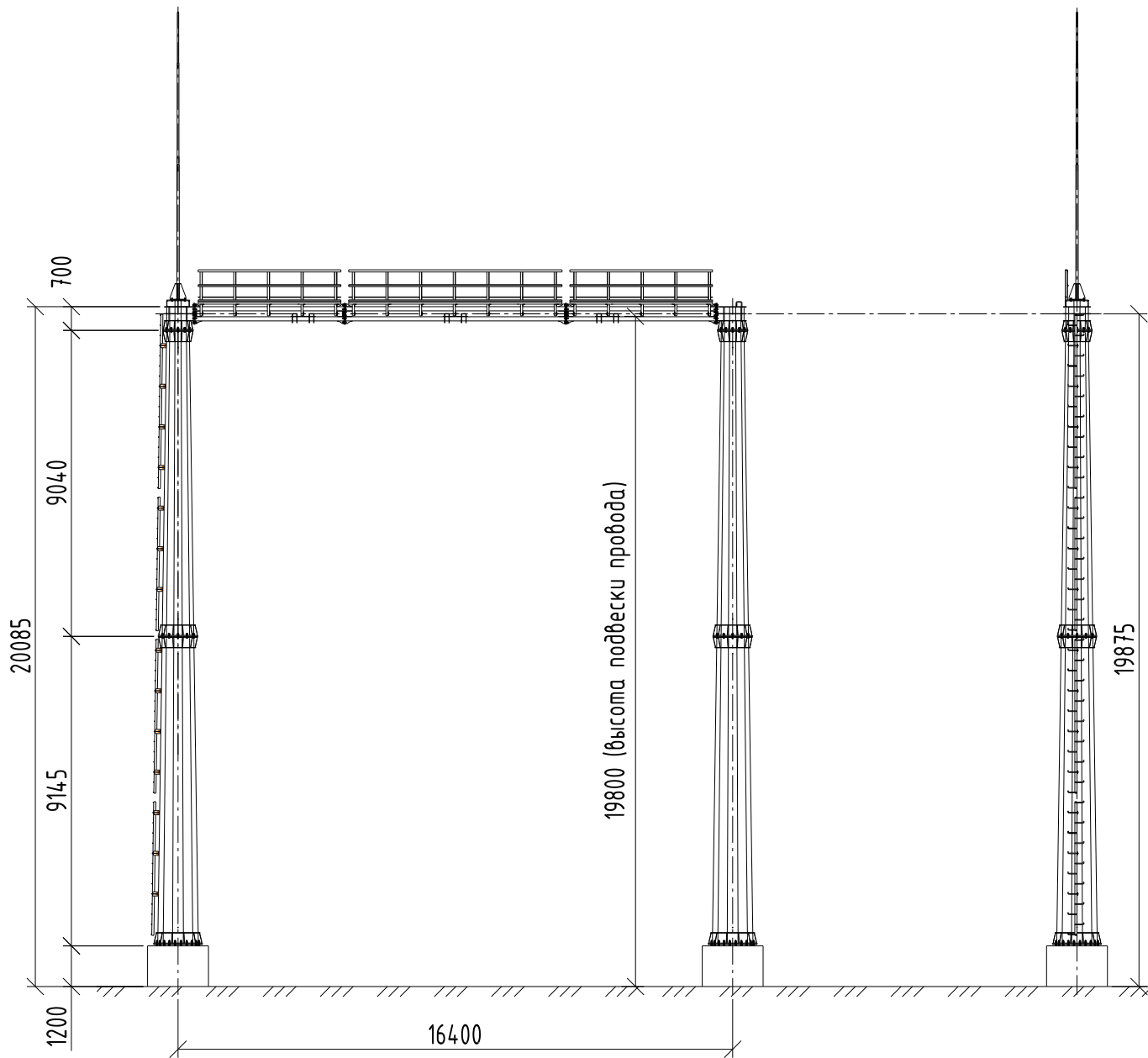
Шинный портал ПМ-330Ш

Разработаны четыре модификации:

1. ПМ-330Ш1 промежуточный базовый
2. ПМ-330Ш2 промежуточный с молниеприёмником
3. ПМ-330Ш3 концевой с оттяжками
4. ПМ-330Ш4 концевой с оттяжками и молниеприёмником



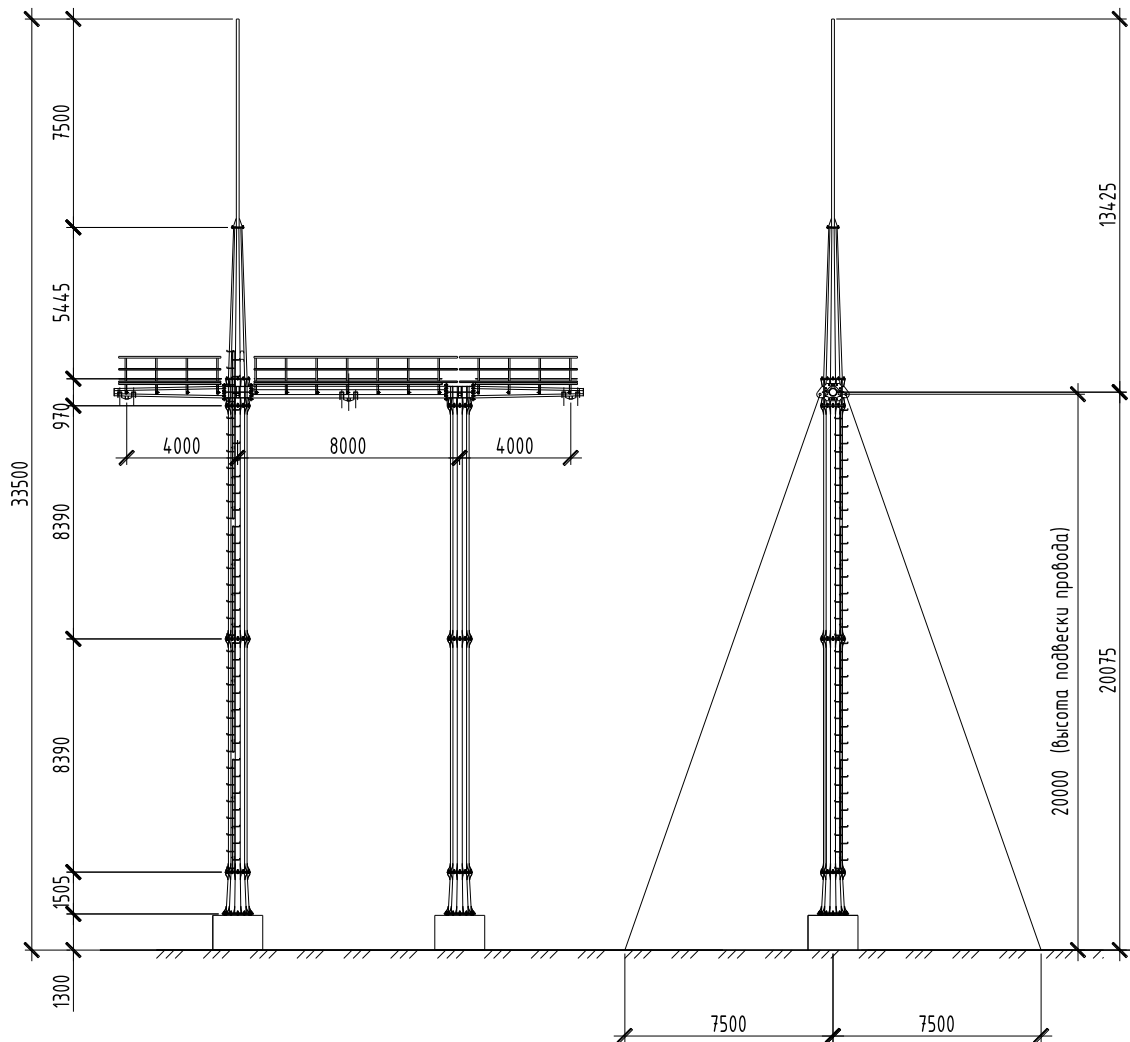
Трансформаторный портал ПМ-330Тр



Ячейковый портал ПМ-330ЯЗ

Разработаны две модификации:

1. ПМ-330ЯЗ
2. ПМ-330ЯЗм – модификация со стойками из обечаек для возможности монтажа методом подращивания



Расчёт стальных конструкций

В соответствии с СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции» были проведены следующие расчёты:



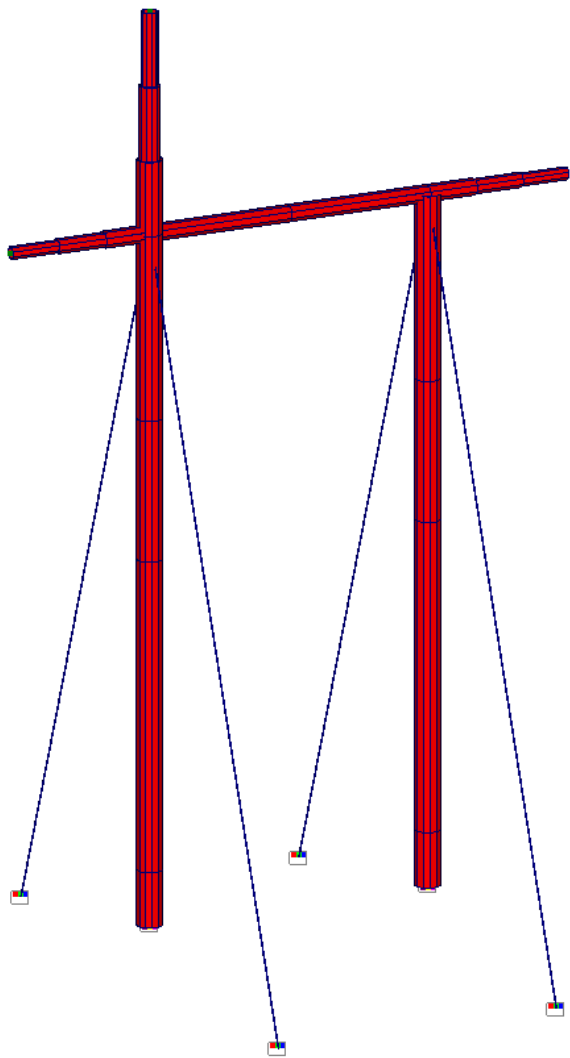
1. По прочности
 - 1.1 Проверка нормальных напряжений
 - 1.2 Проверка касательных напряжений
 - 1.3 Проверка приведённых напряжений
 - 1.4 Расчёт соединений
2. Расчёт по устойчивости
 - 2.1 Проверка общей устойчивости
 - 2.2 Проверка устойчивости стенки многогранного профиля
3. Расчёт по деформациям

Этапы расчёта:

1. Расчёт усилий;
2. Расчёт напряжений;
3. Расчёт деформаций;
4. Проверки МКЭ.

Расчёт усилий в элементах портала

Расчёт усилий в элементах портала производится при помощи расчётно-вычислительного комплекса SCAD.



Ячейковый портал - статически неопределимая рамная конструкция, поэтому при создании расчётной модели важно правильно задать жёсткости элементов портала.

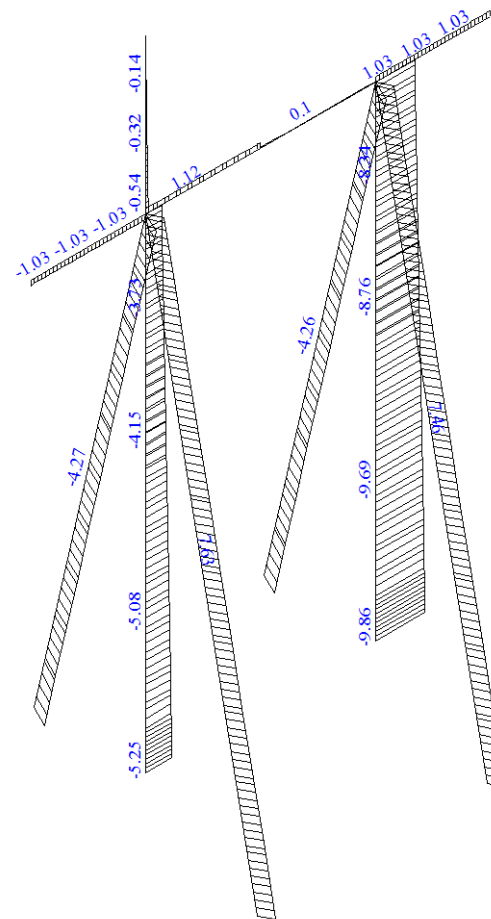
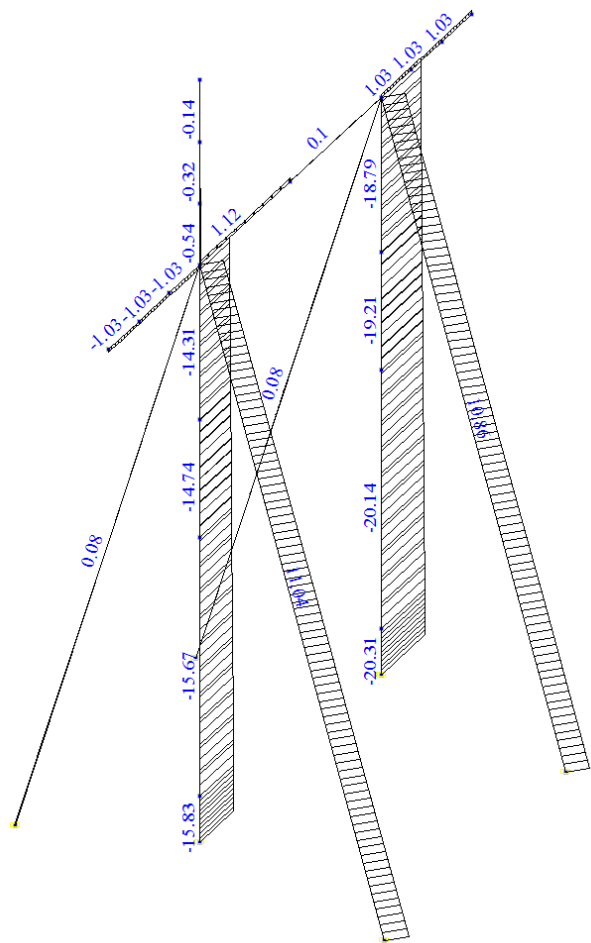
Оттяжки в конструкции портала представляют собой вантовые элементы, которые работают только на растяжение и не способны воспринимать сжимающие нагрузки. Для исключения сжимающих усилий в оттяжках необходимо проведение расчётов с учётом геометрической нелинейности.

Пример правильного и не правильного расчётов

Эпюры продольных сил при загрузении односторонним тяжением.

Нелинейный расчёт. В оттяжках отсутствует сжатие.

Линейный расчёт. В оттяжках сжатие.



Результат адекватный.

Неадекватный результат.

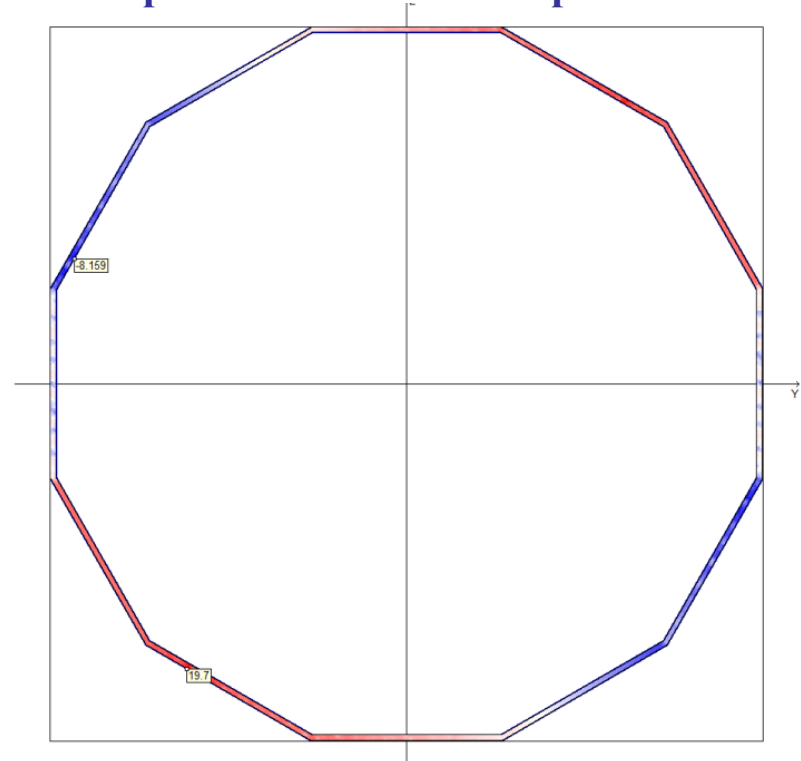
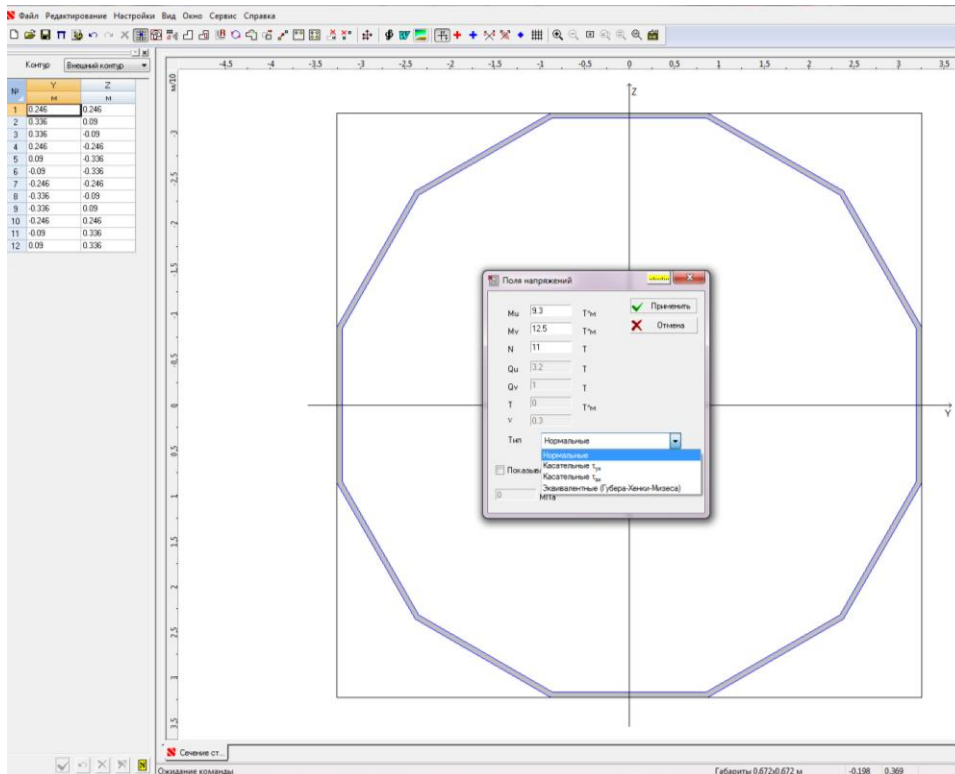
Расчёт напряжений в расчётных сечениях

Расчёт напряжений производится в программе Консул.

Программа Консул позволяет импортировать расчётное сечение из программы AutoCAD, рассчитать геометрические характеристики сечения и выполнить расчёт нормальных, касательных и эквивалентных напряжений.

Расчёт максимальных касательных напряжений и, соответственно, эквивалентных осложнён нетривиальностью геометрии сечения – вручную сложно вычислить точку с максимальными касательными напряжениями и, как следствие, правильно вычислить критические напряжения при расчёте на устойчивость стенки.

Карта касательных напряжений



Расчёт портала ПМ-330ЯЗ методом конечных ЭЛЕМЕНТОВ

Современные программные комплексы применительно к portalу ПМ-330ЯЗ позволяют загрузить:

1. Статической нагрузкой;
2. Динамической нагрузкой, в т.ч. сейсмической;
3. Нагрузкой от смоделированного обдува и т.д.

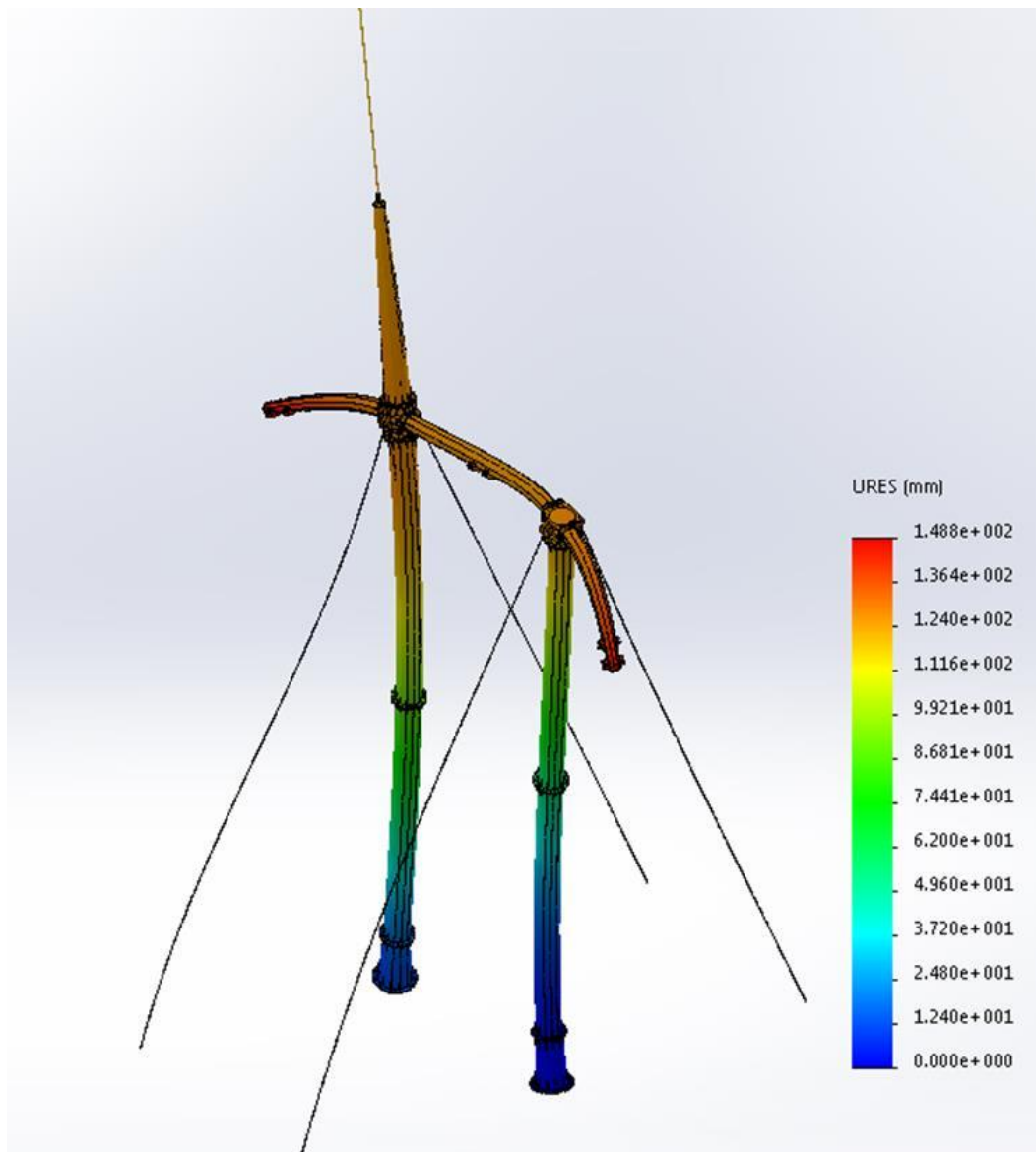
вычислить:

1. Карты напряжений;
2. Карты перемещений и деформаций;
3. Усилия в болтах с учётом жесткостей соединяемых элементов;
4. Собственные частоты и формы колебаний.
5. Формы потери устойчивости и коэффициенты запаса.

выполнить:

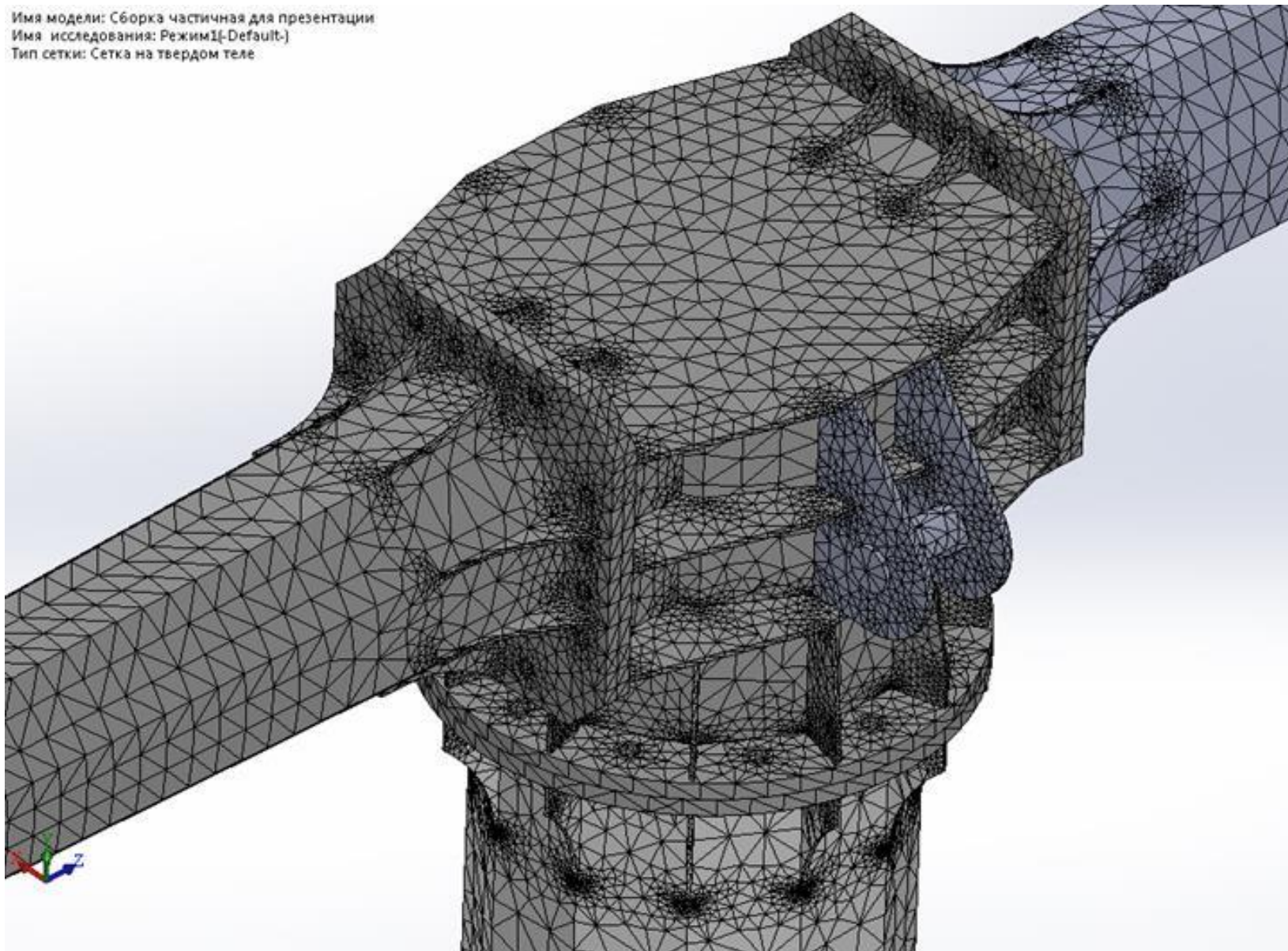
1. Подбор и оптимизацию размеров и толщин элементов;
2. Подбор болтов, в т.ч. с контролируемым натяжением.

Схема деформирования портала ПМ-330ЯЗ в режиме одностороннего тяжения

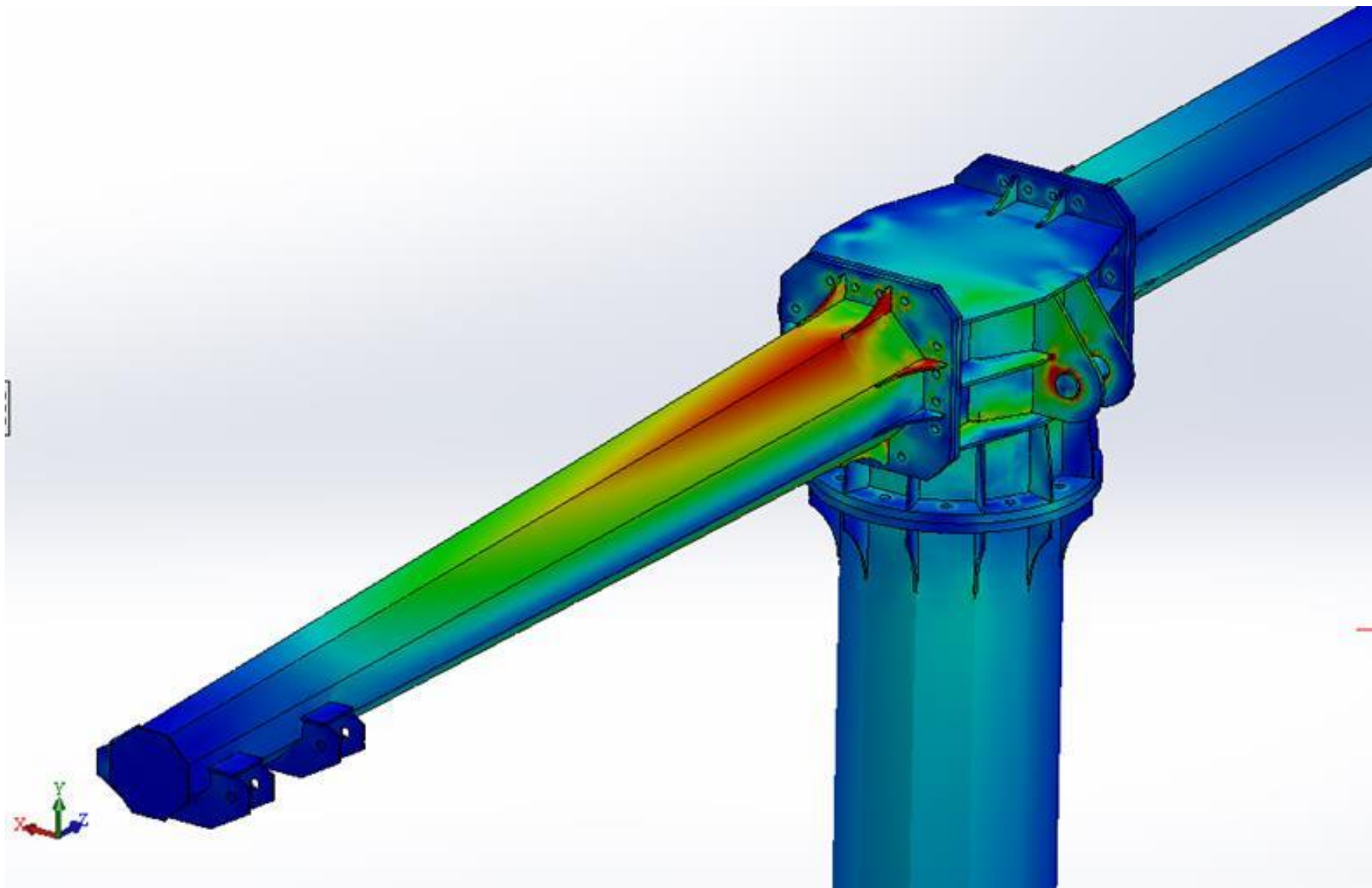


Сетка конечных элементов на примере одного узла

Имя модели: Сборка частичная для презентации
Имя исследования: Режим1(-Default-)
Тип сетки: Сетка на твердом теле



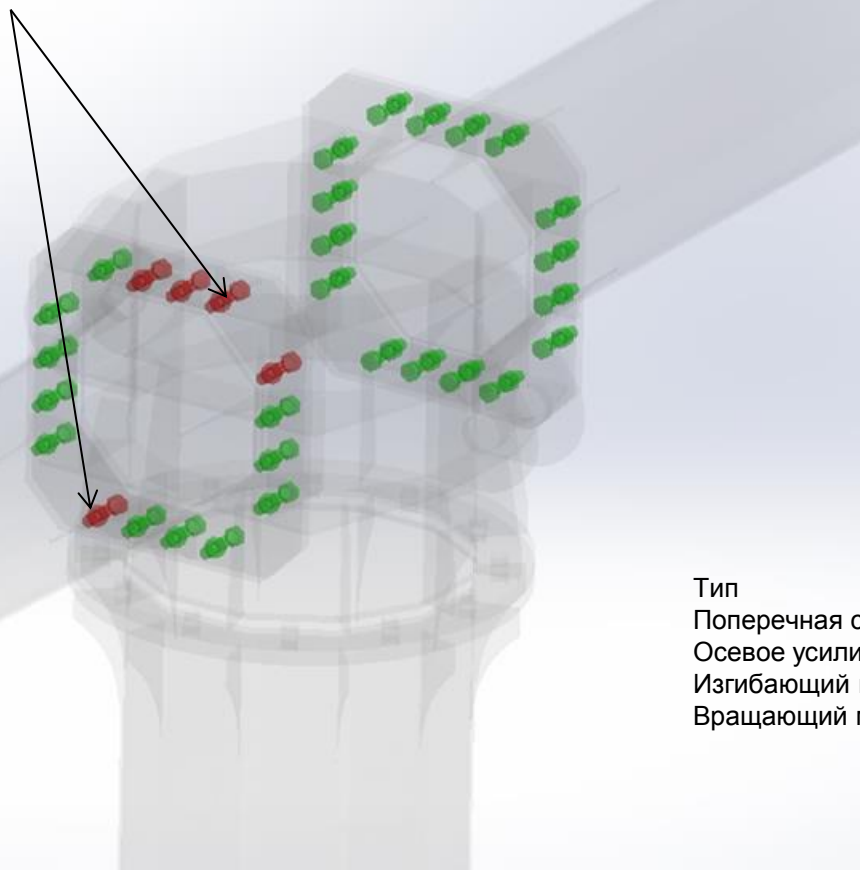
Карта эквивалентных напряжений по Мизесу



Расчёт болтовых соединений

Результатами расчётов болтовых соединений являются усилия в болтах. Наибольший интерес представляет изгибающий момент в болте, зависящий от жёсткости соединяемых фланцев, а также от усилия натяжения. Вручную данное усилие получить невозможно.

Болты, требующие усиления

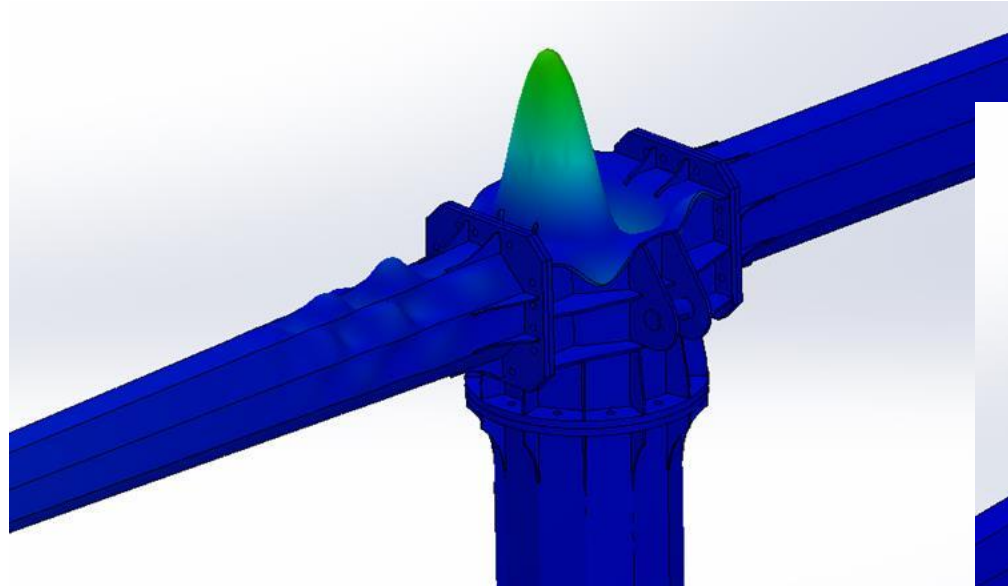


Выдача усилий в болте в текстовом формате

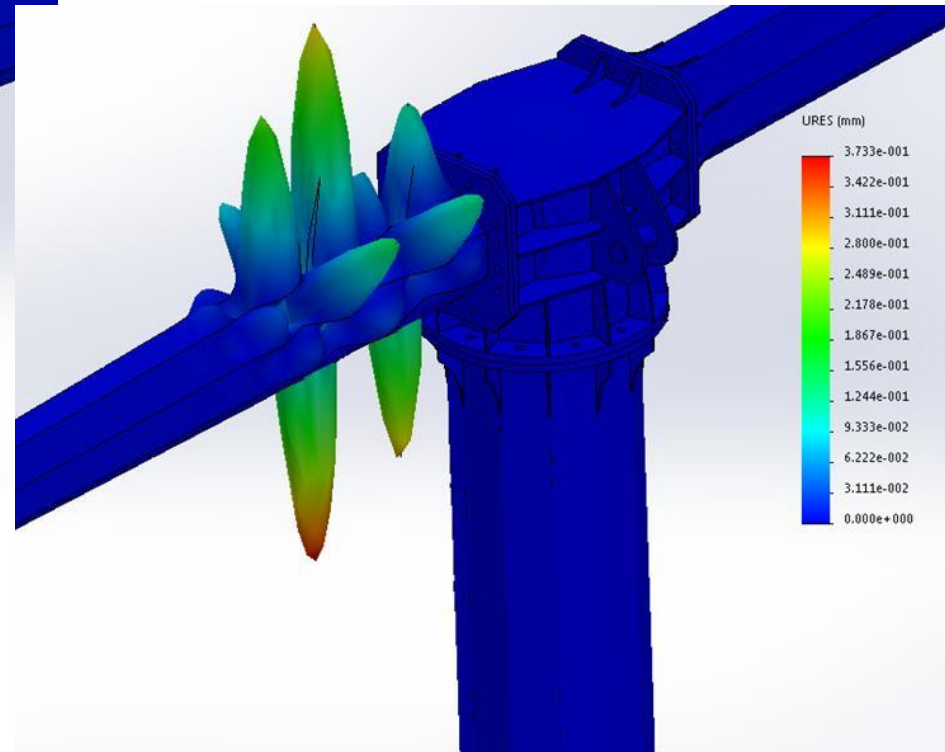
Тип	Результирующая	Соединитель
Поперечная сила (N)	9446.3	bolt M24 x 100.88
Осевое усилие (N)	95883	bolt M24 x 100.88
Изгибающий момент (N.m)	172.65	bolt M24 x 100.88
Вращающий момент (N.m)	0	bolt M24 x 100.88

Расчёт форм собственных колебаний и расчёт потери устойчивости

Траверса с рёбрами жёсткости



Траверса без рёбер жёсткости



При отсутствии рёбер жёсткости максимальные деформации наблюдаются в стенке многогранного профиля траверсы. В этом случае потеря устойчивости в первую очередь произойдёт в траверсе.

Выводы

При расчёте и конструировании многогранных порталов был применён комплексный подход, учитывающий:

1. Статическую неопределимость конструкций;
2. Геометрическую нелинейность расчётов;
3. Неочевидное перераспределение усилий в сложных узлах и болтовых соединениях.

Расчёт металлоконструкций методом конечных элементов – это скачок на качественно более высокий уровень проектирования, позволяющий оптимизировать конструкции, а также учесть нюансы, которые другими методами учесть невозможно.

Несмотря на все преимущества, расчёт методом конечных элементов является весьма ресурсоёмким процессом, требующим высокой квалификации пользователя расчётного комплекса.

Неправильный выбор расчётной схемы и метода расчёта приводит к неверным результатам, несмотря на использование самых совершенных программных комплексов.

Результаты работы

Для реконструкции подстанции Западная в Санкт-Петербурге разработаны 7 типов порталов, включая модификации.

Конструкции порталов разработаны с использованием двух независимых методов расчёта:

1. Расчёт условной стержневой модели;
2. Расчёт реальной 3D модели.

Конструкции порталов согласованы Заказчиком и приняты в производство.

Разработанные многогранные порталы позволят минимизировать сроки отключения линий на подстанции Западная а также получить значительный экономический эффект от использования существующих фундаментных конструкций.