



**ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ  
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «ПРОТОН»**

Юридический адрес: Россия, 195112, город Санкт-Петербург, Республиканская улица, дом 24,  
корпус 1, строение 1, квартира 59

Фактический адрес: Россия, 195112, город Санкт-Петербург, Республиканская улица, дом 24,  
корпус 1, строение 1, помещение 7-Н, офис 1

Телефон +7 9516670430, почта: proton.sertif@mail.ru

**Аттестат аккредитации № РОСС RU.32125.04ХРЕ0**

УТВЕРЖДАЮ



Руководитель ИЛ

Садников А.В.

М.П.

**ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 0382-1019**

от 25.10.2019 г

Место проведения Испытательный центр ООО «Протон»  
испытаний:

Заявитель: Общество с ограниченной ответственностью "ЭТЗ  
"Энергорегион" ( ООО "ЭТЗ "Энергорегион" ). Место нахождения:  
426039, Россия, Республика Удмуртская, город Ижевск, Воткинское  
шоссе, дом 338, этаж 2, помещение 58

Наименование  
продукции: Комплектная трансформаторная подстанция мощностью от 6 до 2 500  
кВА, напряжением 6(10) кВ.

Изготовитель: Общество с ограниченной ответственностью "ЭТЗ  
"Энергорегион" ( ООО "ЭТЗ "Энергорегион" ). Место нахождения:  
426039, Россия, Республика Удмуртская, город Ижевск, Воткинское  
шоссе, дом 338, этаж 2, помещение 58

Нормативный  
документ на  
соответствие  
которому  
проводятся  
испытания  
ТУ 3412-003-13063427-2014, ГОСТ 17516.1-90 «Изделия  
электротехнические. Общие требования в части стойкости к  
механическим внешним воздействующим  
факторам» (сейсмостойкость 9 баллов по шкале MSK-64)

Дата получения  
образца

10.10.2019 г.

Настоящий протокол испытаний распространяется только на образцы, подвергнутые  
испытаниям

Климатические условия испытаний:

- температура окружающей среды  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$
- относительная влажность  $64 \pm 5 \%$
- атмосферное давление  $98 \pm 5 \text{ кПа}$
- температура испытательной среды  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$

**Процедура испытаний и методика испытаний**

Идентификация изделия	Наименование, тип, маркировка образцов соответствует сопроводительной документации
Проведение испытаний согласно	ГОСТ 30546.1-98 «Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям и методы расчета их сложных конструкций в части сейсмостойкости»
	ГОСТ 30546.2-98 «Испытания на сейсмостойкость машин, приборов и других технических изделий. Общие положения и методы испытаний»
	ГОСТ 30546.3-98 «Методы определения сейсмостойкости машин, приборов и других технических изделий, установленных на месте эксплуатации, при их аттестации или сертификации на сейсмическую безопасность»
Условия проведения испытаний и методика расчета	ГОСТ 17516.1-90 «Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам»
	Собственный вес конструкции распределяется между узлами конечно-элементной модели пропорционально примыкающим площадям.
	Собственный вес оборудования сосредоточен в узлах закрепления (используются конечные элементы «сосредоточенная масса»).
	Напряженно-деформированное состояние несущих конструкций от сейсмического воздействия определено линейно-спектральным методом.
	Компоненты X, Y, Z в запас прочности складываются по абсолютной величине.

## Испытание изделия







## 2. Методика расчета

Расчет выполнен с помощью проектно-вычислительного комплекса SCAD 11.5. Комплекс реализует конечно-элементное моделирование статических и динамических расчетных схем, проверку устойчивости, выбор невыгодных сочетаний усилий, проверку несущей способности стальных конструкций. В представленной ниже методике расчета описаны лишь фактически использованные при расчетах исследуемого объекта возможности комплекса SCAD.

### Краткая характеристика

В основу расчета положен метод конечных элементов с использованием в качестве основных неизвестных перемещений и поворотов узлов расчетной схемы. В связи с этим идеализация конструкции выполнена в форме, приспособленной к использованию этого метода, а именно: система представлена в виде набора тел стандартного типа (стержней), называемых конечными элементами и присоединенных к узлам.

Тип конечного элемента определяется его геометрической формой, правилами, определяющими зависимость между перемещениями узлов конечного элемента и узлов системы, физическим законом, определяющим зависимость между внутренними усилиями и внутренними перемещениями, и набором параметров (жесткостей), входящих в описание этого закона и др.

Узел в расчетной схеме метода перемещений представляется в виде абсолютно жесткого тела исчезающе малых размеров. Положение узла в пространстве при деформациях системы определяется координатами центра и углами поворота трех осей, жестко связанных с узлом. Узел представлен как объект, обладающий шестью степенями свободы - тремя линейными смещениями и тремя углами поворота.

Все узлы и элементы расчетной схемы нумеруются. Номера, присвоенные им, следует трактовать только, как имена, которые позволяют делать необходимые ссылки.

Основная система метода перемещений выбирается путем наложения в каждом узле всех связей, запрещающих любые узловые перемещения. Условия равенства нулю усилий в этих связях представляют собой разрешающие уравнения равновесия, а смещения указанных связей - основные неизвестные метода перемещений.

В общем случае в пространственных конструкциях в узле могут присутствовать все шесть перемещений:

- 1 - линейное перемещение вдоль оси X;
- 2 - линейное перемещение вдоль оси Y;

- 3 - линейное перемещение вдоль оси Z;
- 4 - угол поворота с вектором вдоль оси X (поворот вокруг оси X);
- 5 - угол поворота с вектором вдоль оси Y (поворот вокруг оси Y);
- 6 - угол поворота с вектором вдоль оси Z (поворот вокруг оси Z).

Нумерация перемещений в узле (степеней свободы), представленная выше, используется далее всюду без специальных оговорок, а также используются соответственно обозначения X, Y, Z, UX, UY и UZ для обозначения величин соответствующих линейных перемещений и углов поворота.

В соответствии с идеологией метода конечных элементов, истинная форма поля перемещений внутри элемента (за исключением элементов стержневого типа) приближенно представлена различными упрощенными зависимостями. При этом погрешность в определении напряжений и деформаций имеет порядок  $(h/L)^k$ , где  $h$  — максимальный шаг сетки;  $L$  — характерный размер области. Скорость уменьшения ошибки приближенного результата (скорость сходимости) определяется показателем степени  $k$ , который имеет разное значение для перемещений и различных компонент внутренних усилий (напряжений).

#### **Расчетная схема**

##### ***Система координат***

Для задания данных о расчетной схеме были использованы пространственные системы координат, которые в дальнейшем были преобразованы в декартовы. В дальнейшем для описания расчетной схемы используются следующие декартовы системы координат:

Глобальная правосторонняя система координат XYZ, связанная с расчетной схемой

Локальные правосторонние системы координат, связанные с каждым конечным элементом

##### ***Тип схемы***

Расчетная схема определена как система с признаком 5. Это означает, что рассматривается система общего вида, деформации которой и ее основные неизвестные представлены линейными перемещениями узловых точек вдоль осей X, Y, Z и поворотами вокруг этих осей.

##### ***Условия примыкания элементов к узлам***

Точки примыкания конечного элемента к узлам (концевые сечения) одинаковые перемещения с указанными узлами.

### **Характеристики использованных типов конечных элементов**

В расчетную схему включены конечные элементы следующих типов.

Стержневые конечные элементы, для которых предусмотрена работа по обычным правилам сопротивления материалов. Описание их напряженного состояния связано с местной системой координат, у которой ось  $X1$  ориентирована вдоль стержня, а оси  $Y1$  и  $Z1$  — вдоль главных осей инерции поперечного сечения.

К стержневым конечным элементам рассматриваемой расчетной схемы относятся следующие типы элементов:

Элемент типа 5, который работает по пространственной схеме и воспринимает продольную силу  $N$ , изгибающие моменты  $M_y$  и  $M_z$ , поперечные силы  $Q_z$  и  $Q_y$ , а также крутящий момент  $M_k$ .

### **Правило знаков для перемещений**

Правило знаков для перемещений принято таким, что линейные перемещения положительны, если они направлены в сторону возрастания соответствующей координаты, а углы поворота положительны, если они соответствуют правилу правого винта (при взгляде от конца соответствующей оси к ее началу движение происходит против часовой стрелки).

### **Расчетные сочетания усилий**

Вычисление расчетных сочетаний усилий производится на основании критериев, характерных для соответствующих типов конечных элементов – стержней. В качестве таких критериев приняты экстремальные значения напряжений в характерных точках поперечного сечения элемента. При расчете учитываются требования нормативных документов и логические связи между нагрузками.

Основой выбора невыгодных расчетных сочетаний усилий служит принцип суперпозиции. Из всех возможных сочетаний, отбираются те РСУ, которые соответствуют максимальному значению некоторой величины, избранной в качестве критерия и зависящей от всех компонентов напряженного состояния:

для стержней — экстремальные значения нормальных и касательных напряжений в контрольных точках сечения, которые показаны на рисунке



### **Модальный анализ. Собственные формы. Инерционные нагрузки**

Для каждой из учтенных в динамическом загрузении форм колебаний конструкции получены частоты этих форм (круговые частоты  $\omega$  в радианах, частоты  $f$  в герцах, периоды колебаний  $T$  в секундах).

Они связаны зависимостями:

Для каждой из учитываемых форм собственных колебаний напечатаны соотношения между величинами амплитуд в узлах расчетной схемы по каждой из разрешенных задачей степени свободы в узле. Наибольшая величина амплитуды назначается 1000, значения остальных величин амплитуд определяются в долях от 1000.

### **3. Нагрузки и воздействия, действующие на КТП**

На основании технической документации, в проектно-вычислительном комплексе SCAD была смоделирована КТП – с приведенными геометрическими характеристиками в предоставленных чертежах.

#### Нагрузки и воздействия на КТП:

В качестве нагрузок были приняты следующие типы нагрузок:

1. собственный вес с коэффициентом – 1,05;
2. эксплуатационная нагрузка;
3. снеговая нагрузка;
4. сейсмическое воздействие по оси X;
5. сейсмическое воздействие по оси Y;
6. сейсмическое воздействие по оси Z;

В качестве снеговой нагрузки был взят III снеговой район с весом снегового покрова – 0,18 т/м<sup>2</sup>.

Расчетные сочетания нагрузок, действующих на КТП:

1. основные сочетания нагрузок:

РСН-1.  $1,0 \times \text{Постоянная нагрузка (собственный вес)} + 1,0 \times \text{Длительная нагрузка (эксплуатационная нагрузка)} + 1,0 \times \text{Кратковременная снеговая нагрузка}$

РСН-1.1.  $1,0 \times \text{Постоянная нагрузка (собственный вес)} + 1,0 \times \text{Длительная нагрузка (эксплуатационная нагрузка)} + 1,0 \times \text{Кратковременная снеговая нагрузка}$

2. особые сочетания нагрузок:

РСН-2.  $1,0 \times \text{Сейсмическая нагрузка по оси X} + 0,9 \times \text{Постоянная нагрузка (собственный вес)} + 0,8 \times \text{Длительная нагрузка (эксплуатационная нагрузка)} + 0,8 \times \text{Кратковременная снеговая нагрузка}$

РСН-3.  $1,0 \times \text{Сейсмическая нагрузка по оси Y} + 0,9 \times \text{Постоянная нагрузка (собственный вес)} + 0,8 \times \text{Длительная нагрузка (эксплуатационная нагрузка)} + 0,8 \times \text{Кратковременная снеговая нагрузка}$

РСН-4.  $1,0 \times \text{Сейсмическая нагрузка по оси Z} + 0,9 \times \text{Постоянная нагрузка (собственный вес)} + 0,8 \times \text{Длительная нагрузка (эксплуатационная нагрузка)} + 0,8 \times \text{Кратковременная снеговая нагрузка}$

#### 4. Расчет КТП

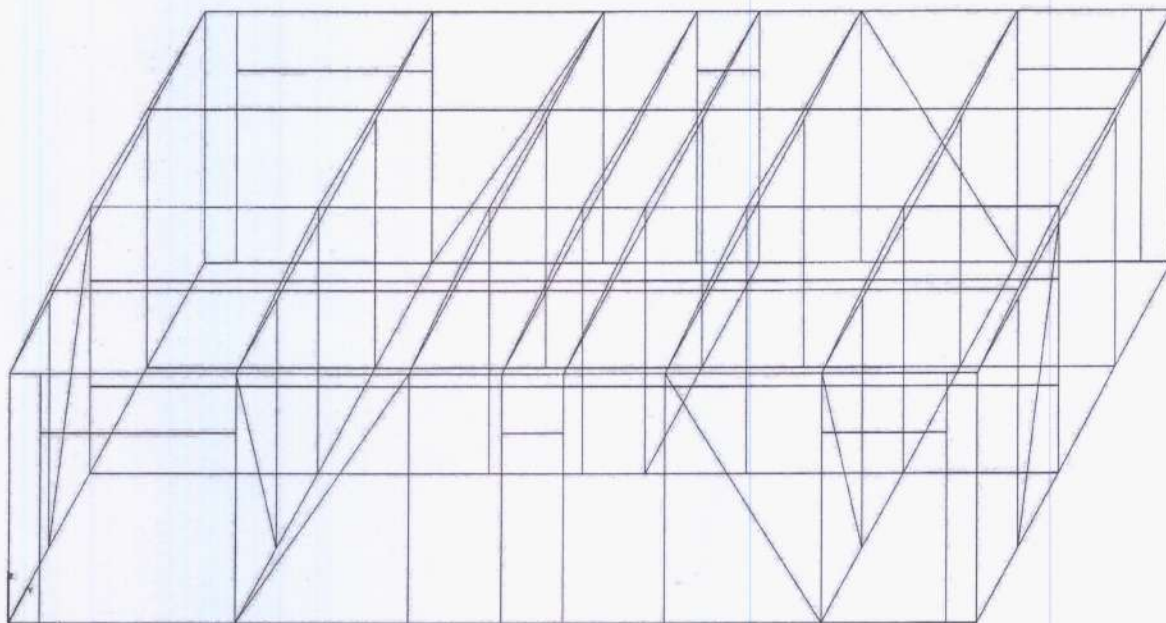


Рис. 2 Расчетная схема

В соответствии с СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» было определено максимально-действующее особое сочетание нагрузок – РСН-2.

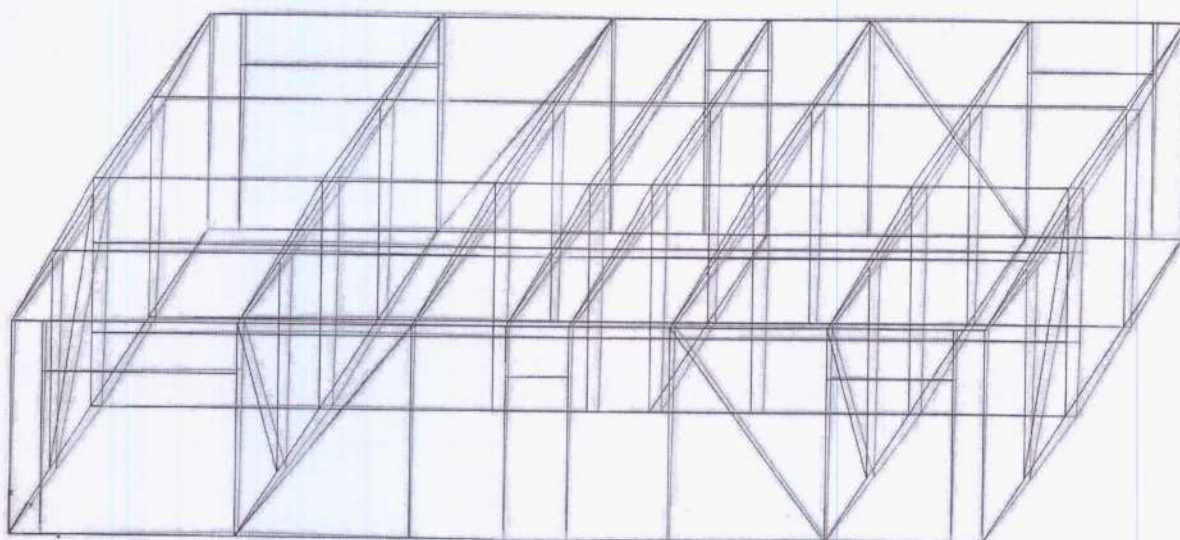


Рис. 3 Деформированная схема КТП от действия особого сочетания нагрузок – РСН-2

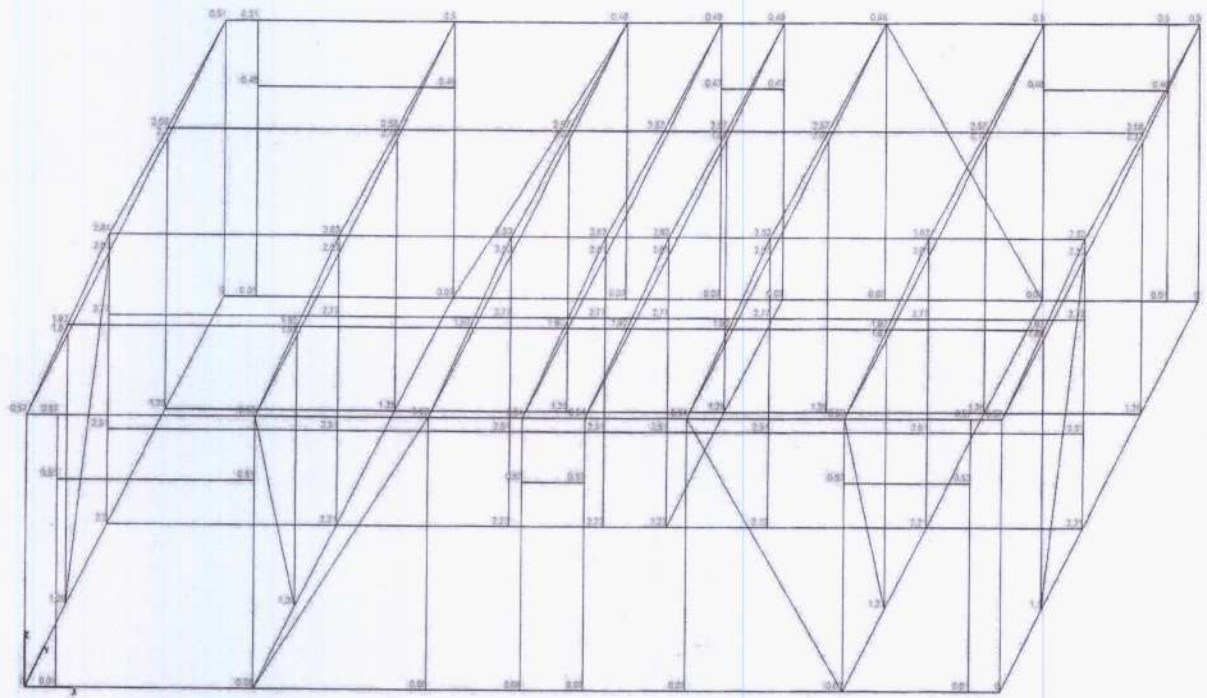


Рис. 4 Перемещения узлов по оси X [мм]

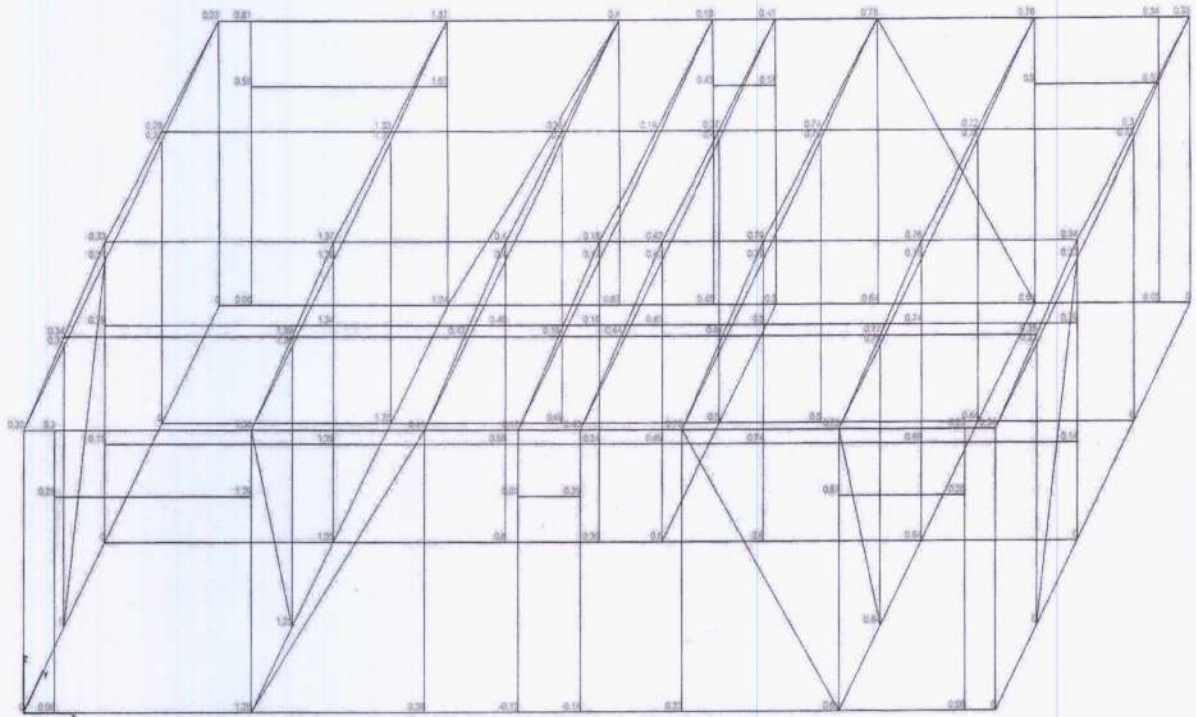


Рис. 5 Перемещения узлов по оси Y [мм]

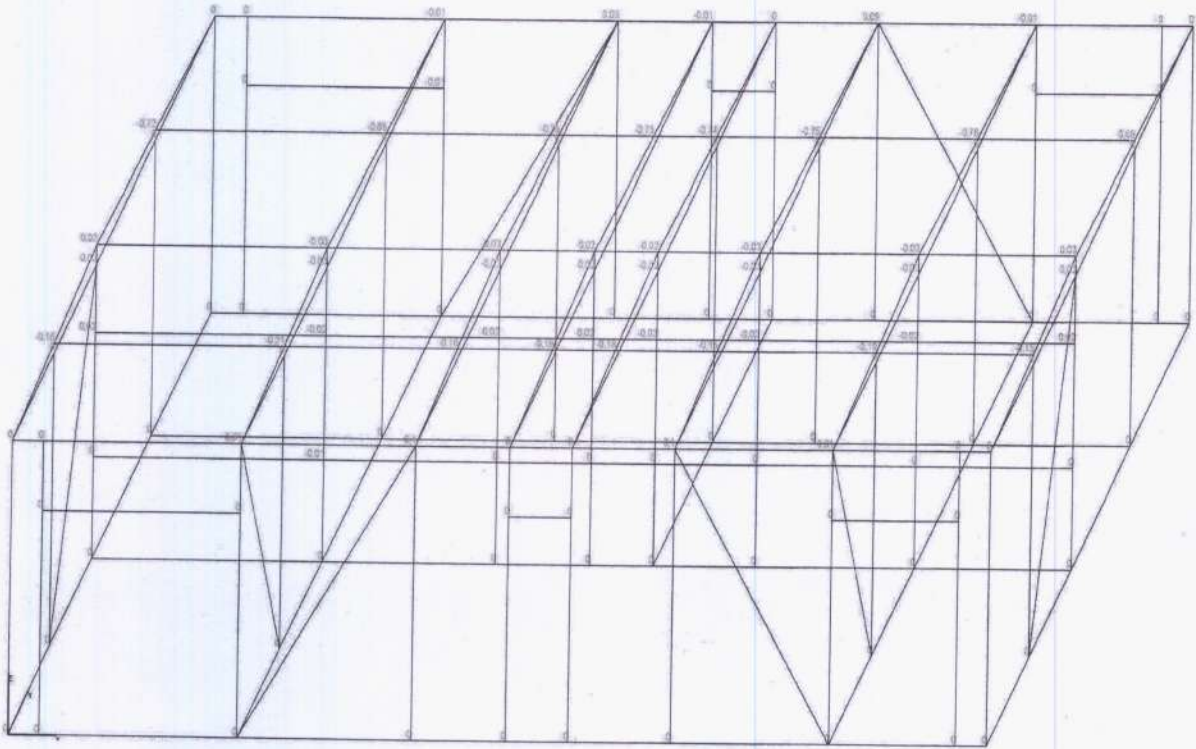


Рис. 6 Перемещения узлов по оси Z [мм]

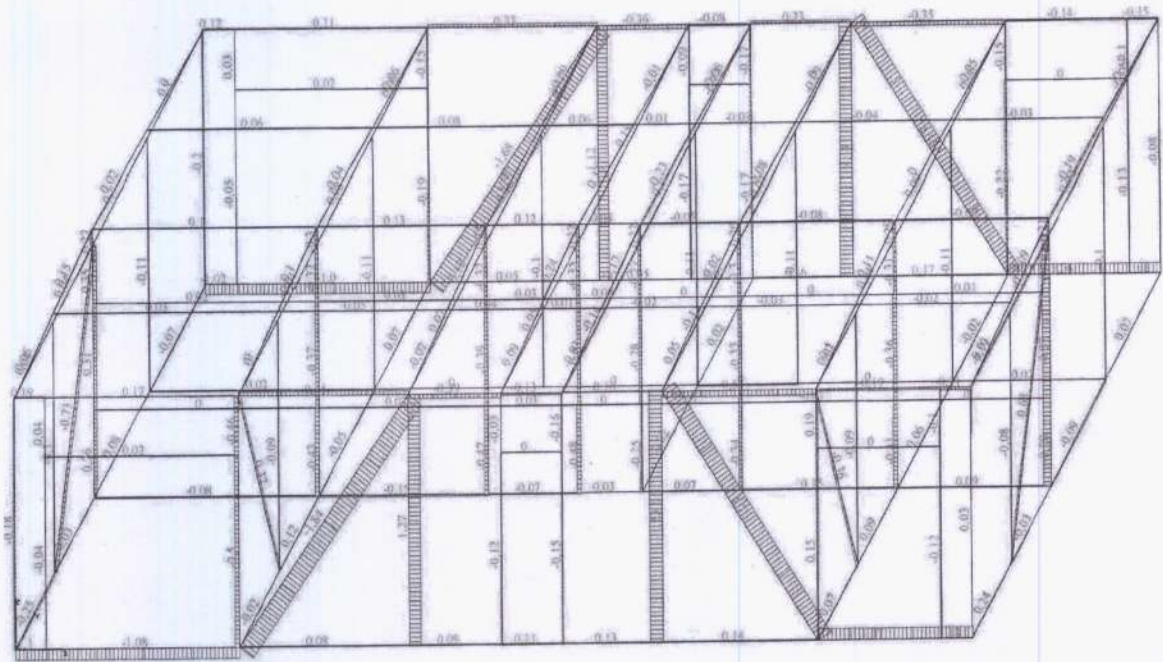


Рис. 7 Эпюры продольных усилий N от действия особого сочетания нагрузок [т]



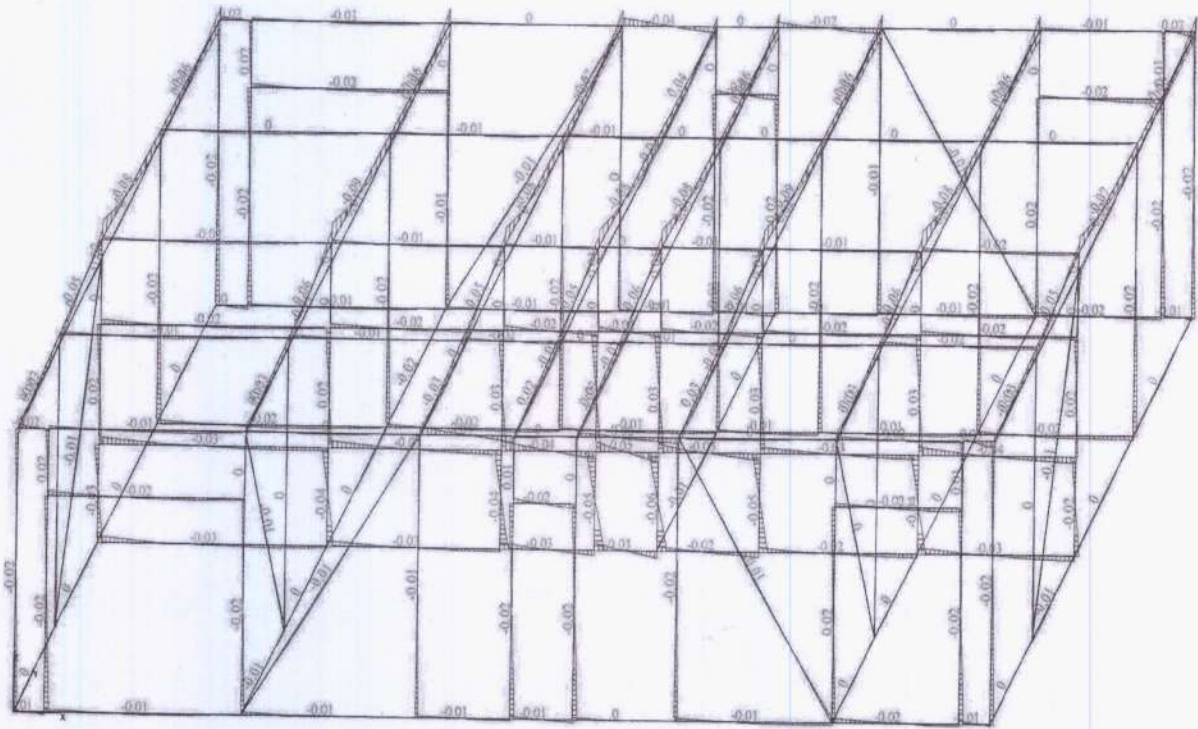


Рис. 8 Эпюры усилий  $M$  от действия особого сочетания нагрузок [ $t \cdot m$ ]

4.1 Визуализация коэффициентов использования:

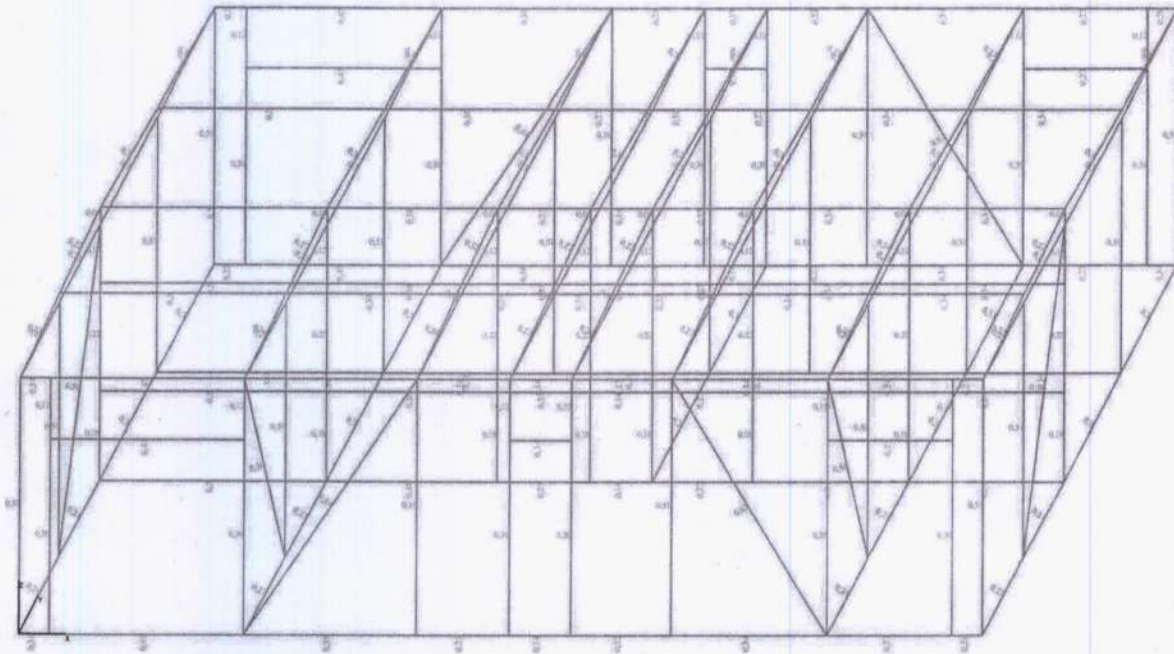


Рис. 9 Визуализация коэффициентов использования в несущих элементах

## 5. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Испытание на сейсмическое воздействие комплектной трансформаторной подстанции мощностью от 6 до 2 500 кВА, напряжением 6(10) кВ выполнено на основании технической документации, ГОСТ 30546.1-98 «Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям и методы расчета их сложных конструкций в части сейсмостойкости», ГОСТ 17516.1-90 «Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам», СП 14.13330.2011 «Строительство в сейсмических районах», СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*», СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81 \*», ГОСТ 16962.2-90 «Изделия электротехнические. Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам»;
2. В испытании представлены: деформированная схема КТП от действия особого сочетания нагрузок, эпюры усилий в несущих элементах от действия особого сочетания нагрузок, визуализация коэффициентов использования;
3. На основании проведенного испытания можно сделать вывод, что прочность основных несущих элементов комплектной трансформаторной подстанции мощностью от 6 до 2 500 кВА, напряжением 6(10) кВ от сейсмического воздействия в 9 баллов по шкале MSK-64 обеспечена.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Испытательным центром ООО «ПРОТОН» проведены испытания: Комплектная трансформаторная подстанция, в соответствии с требованиями ТУ 3412-003-13063427-2014, ГОСТ 17516.1-90 «Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам» (сейсмостойкость 9 баллов по шкале MSK-64) результаты исследований: прочность Подстанции трансформаторной комплектной от сейсмического воздействия в 9 баллов по шкале MSK-64 обеспечена.

Исполнители:



Садчиков А.В.