

Научно-исследовательский центр **СтаДиО**

Свидетельство СРО «АПОЭК» «Проектировщики оборонного и энергетического комплексов».

Номер решения о приеме в члены СРО № 06-ПСС-38/2018 от 20.06.2018 г.

123098, Москва, пл. акад. Курчатова, 1, т. (499)706-8810, e-mail: stadyo@stadyo.ru, Web-site: www.stadyo.ru

Ивн. № 2019-ЭЛК-22 / 2043062-19-Е-27-ISBL -1

“Утверждаю”
Генеральный директор ЗАО НИИЦ СтаДиО

А.М. Белостоцкий

2019 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**по научно-техническому сопровождению проектной документации
«Производства продуктов разделения воздуха, Кемеровская область, г.
Новокузнецк, Космическое шоссе»**

Руководитель работы
член-корр. РААСН, проф., докт. техн. наук
А. М. Белостоцкий

Ответственный исполнитель
Д.С. Дмитриев

Исполнители
канд. техн. наук **А.С. Павлов**
А.И. Нагибович
Ю.Н. Дядченко



Научно-исследовательский центр СтаДиО

Свидетельство СРО «АПОЭК» «Проектировщики оборонного и энергетического комплексов».

Номер решения о приеме в члены СРО № 06-ПСС-38/2018 от 20.06.2018 г.

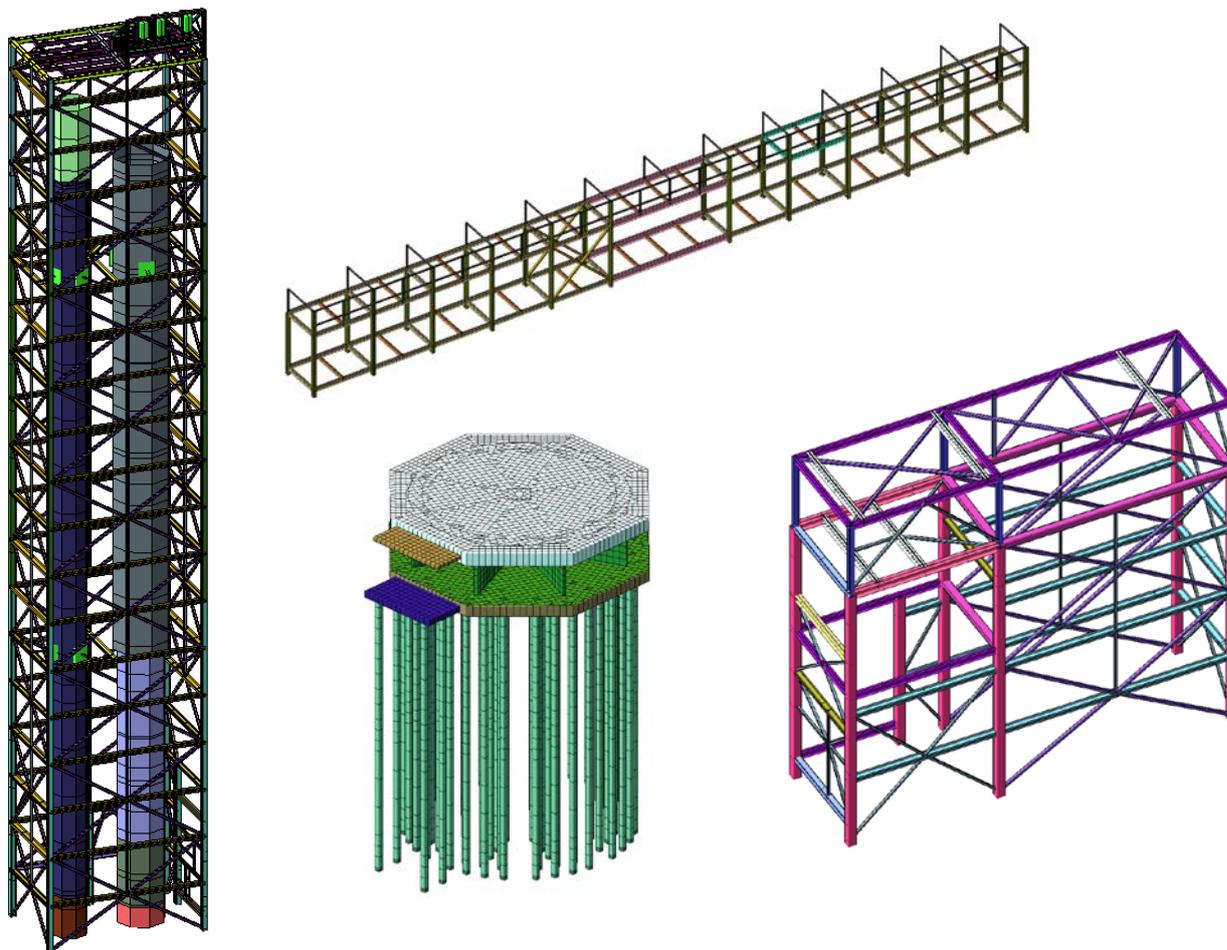
123098, Москва, пл. акад. Курчатова, 1, т. (499)706-8810, e-mail: stadyo@stadyo.ru, Web-site: www.stadyo.ru

Ивн. № 2019-ЭЛК-22 / 2043062-19-Е-27-ISBL -2

Научно-технический отчёт

по договору № 2019-ЭЛК-22 / 2043062-19-Е-27-ISBL от 13.06.2019

«Расчетные исследования напряженно-деформированного состояния, прочности и устойчивости строительных конструкций сооружений (1.1, 1.3, 6, 10.1 и 10.2 по генплану) производства продуктов разделения воздуха при основных и особых сочетаниях нагрузок и воздействий. Кемеровская область, г. Новокузнецк, Космическое шоссе»



Научно-техническое сопровождение проектирования производства продуктов разделения воздуха по адресу: Кемеровская область, г. Новокузнецк, Космическое шоссе, выполненное ЗАО «Научно-исследовательский центр СтаДиО» включало следующие основные разделы:

1. Глубокий анализ проектной документации, инженерных изысканий и рекомендаций по назначению аэродинамических коэффициентов среднего давления, на предмет соответствия нормативным требованиям. Особое внимание уделено расчетному обоснованию строительных конструкций, выполненному проектировщиком (по результатам анализа внесены необходимые корректировки).
2. ЗАО «Научно-исследовательский центр СтаДиО» выполнены расчетные исследования напряженно-деформированного состояния, прочности и устойчивости строительных конструкций ряда сооружений, относящихся к повышенному уровню ответственности КС-3. Расчеты выполнены в двух программных комплексах (сертифицированный в ЦСПС и верифицированный в РААСН ПК Лира-САПР 2019 и верифицированный в РААСН ПК ANSYS Mechanical).
3. Проведен сопоставительный анализ результатов альтернативных расчетных исследований напряженно-деформированного состояния, динамики, прочности, деформативности и устойчивости несущих конструкций сооружений производства разделения воздуха.
4. На основании проведенных исследований подготовлено заключение о соответствии принятых конструктивных решений действующим нормам и правилам проектирования.

Ниже представлены некоторые результаты проведенных расчетных исследований.

Введение

В настоящем отчете представлены основные результаты научно-исследовательской работы (НИР) **«Расчетные исследования напряженно-деформированного состояния, прочности и устойчивости строительных конструкций сооружений (1.1, 1.3, 6, 10.1 и 10.2 по генплану) производства продуктов разделения воздуха при основных и особых сочетаниях нагрузок и воздействий. Кемеровская область, г. Новокузнецк, Космическое шоссе»**, выполненной ЗАО НИЦ СтаДиО в рамках научно-технического сопровождения проектной документации по договору с ООО «Эр Ликид Кузбасс».

В соответствии с техническим заданием, в отчете рассмотрены строительные конструкции следующих сооружений производства:

1. строительные конструкции наружных установок криогенных блоков с насосами (номера 1.1 и 1.3 по генплану);
2. строительные конструкции емкости 606111V40 жидкого кислорода в составе склада жидких криогенных продуктов с точками налива в автоцистерны (номер 6 по генплану);
3. строительные конструкции эстакад (номера 10.1–10.2 по генплану).

В отчете приведены:

- краткое описание природных условий района расположения, проектируемых сооружений, характеристики грунтового массива. Описание основных несущих конструкций рассматриваемых сооружений, нагрузок (расчётных и нормативных) и их сочетаний. Постановка задач расчетных исследований (глава 1);

- описание численных методик, алгоритмов и реализующих программных комплексов (Лира-САПР и ANSYS Mechanical, верифицированных в системе РААСН), расчета статического и динамического напряженно-деформированного состояния (глава 2);

- описание разработанных и верифицированных подробных конечноэлементных моделей системы «свайное основание – строительные конструкции сооружений производства», адекватно отражающую их геометрико-жесткостные, инерционные и нагрузочные характеристики и результирующее напряженно-деформированное состояние (глава 3);

- результирующие параметры напряженно-деформированного состояния, прочности и динамики несущих конструкций сооружений производства при нормативно регламентированных сочетаниях вертикальных и ветровых нагрузок, а также расчеты на особое сочетание нагрузок (сейсмическое и прогрессирующее обрушение) (глава 4);

В заключении, на базе выполненных исследований делается вывод о достоверности полученных расчетами критериальных параметров, определяющих прочность, устойчивость и динамику несущих конструкций сооружений производства.

Задачи расчетных исследований

В соответствии с техническим заданием и календарным планом ставятся и решаются следующие задачи:

- анализ и обобщение проектной документации и данных изысканий, постановка задач расчетных исследований;
- разработка и верификация расчетных пространственных оболочечно-стержневых конечноэлементных моделей строительных конструкций сооружений производства продуктов разделения воздуха;
- определение параметров напряженно-деформированного состояния (перемещения, усилия) и расчетного армирования несущих ж/б конструкций при нормативно регламентированных сочетаниях нагрузок, в том числе особой (сейсмической);
- расчеты на устойчивость против прогрессирующего обрушения.

Программное обеспечение расчетов

Все основные расчеты проведены с использованием лицензионных, верифицированных в РААСН конечноэлементных программных комплексов Лира-САПР 2019 и ANSYS Mechanical.

Расчётные конечноэлементные модели сооружений

Заказчиком переданы комплект актуальных чертежей и схем рассматриваемых сооружений в файлах формата *.dwg и *.pdf. Так же в адрес ЗАО НИЦ СтаДиО была передана геометрия рассматриваемых сооружений.

На основании анализа и обобщения этих материалов в программном комплексе Лира-САПР 2018 и ANSYS Mechanical были построены и верифицированы пространственные оболочечно-стержневые конечноэлементные модели несущих конструкций сооружений производства продуктов разделения воздуха.

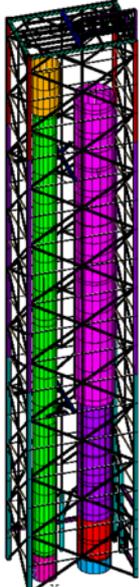
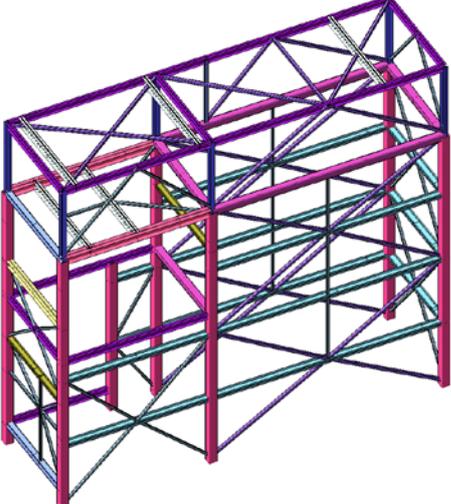
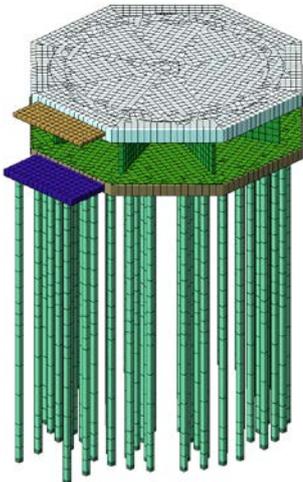
Разработаны модели с линейными характеристиками материалов для определения усилий, проверки конструктивных элементов на прочность, определения форм собственных колебаний и форм потери устойчивости. Также разработаны модели для динамических расчетов и расчетов на прогрессирующее обрушение. Эти модели имеют более подробную сетку конечных элементов и учитывают геометрическую и физическую нелинейности.

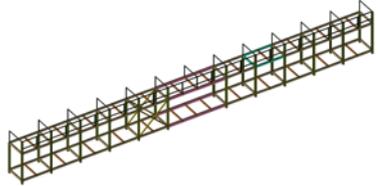
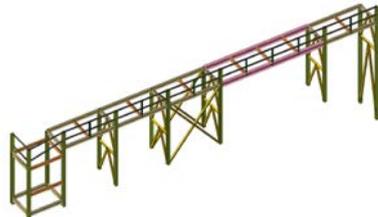
Разработанные расчётные модели адекватно отражает геометрико-жесткостные и инерционные свойства и нагрузочные характеристики строительных конструкций и оснований сооружений для основных сочетаний нагрузок.

В таблице 3.1.1 приведены размерности базовых расчетных моделей рассматриваемых сооружений производства. Тесты на сеточную сходимость подтвердили достаточность выбранной конечноэлементной аппроксимации.

Таблица 3.1.1

Разработанные расчетные КЭ-модели систем/подсистем несущих конструкций сооружений производства продуктов разделения воздуха.

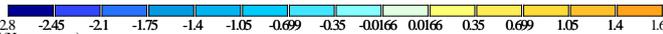
№	КЭ-модели системы/подсистемы	Изображение	Кол-во узлов	Кол-во элементов	Типы КЭ
1	Стальные конструкции “ColdBox” в составе наружной установки криогенных блоков		1461	1215	ANSYS BEAM188 SURF154 ЛИРА КЭ51 КЭ10
2	Стальные конструкции “Exchanger” в составе наружной установки криогенных блоков		168	195	КЭ10
3	Модель фундамента емкости 606111V40 жидкого кислорода		6 076	7 111	КЭ10 КЭ45

№	КЭ-модели системы/подсистемы	Изображение	Кол-во узлов	Кол-во элементов	Типы КЭ
4	Модель Эстакады 10.1		223	331	КЭ10
5	Модель Эстакады 10.2		108	225	КЭ10

**Результаты расчётных исследований
НДС и динамики несущих конструкций при основных сочетаниях нагрузок**

Таб. 2.1. Криогенный блок. Перемещения по комбинациям РСН-Н

№ РСН-Н.	1	2	3	4	5	6
UX, м	-2.8	-2.79	5.21	-5.59	29.3	-32.9
UY, м	47.9	48.4	167.0	-83.9	47.5	49.4
UZ, м	-9.21	-9.23	-16	-9.73	-10.1	-9.46



 РСН(Нормативные)
 Мозаика перемещений по X(G)
 Единицы измерения - мм

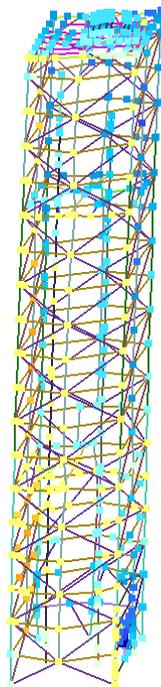


Рис. 2.1. Криогенный блок. РСН-Н 1. Перемещения по X, мм

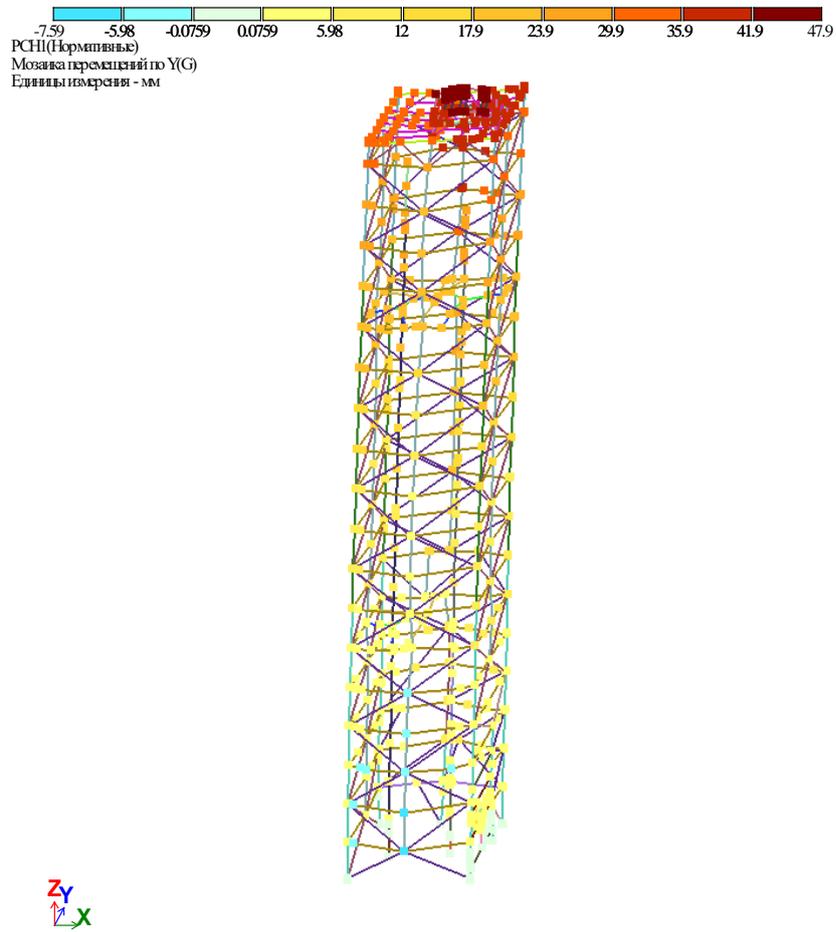


Рис. 2.2. Криогенный блок. РСН-Н 1. Перемещения по Y, мм

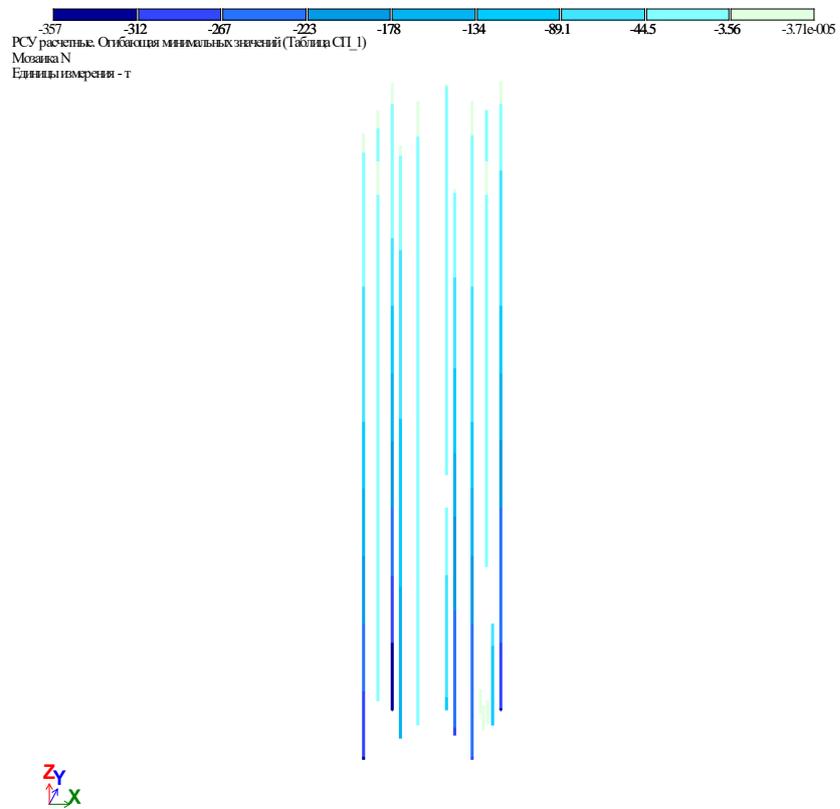


Рис. 3.3. Криогенный блок. Продольные усилия в вертикальных элементах. Огибающая по минимальным (по знаку) значениям по PCY по СП, т.

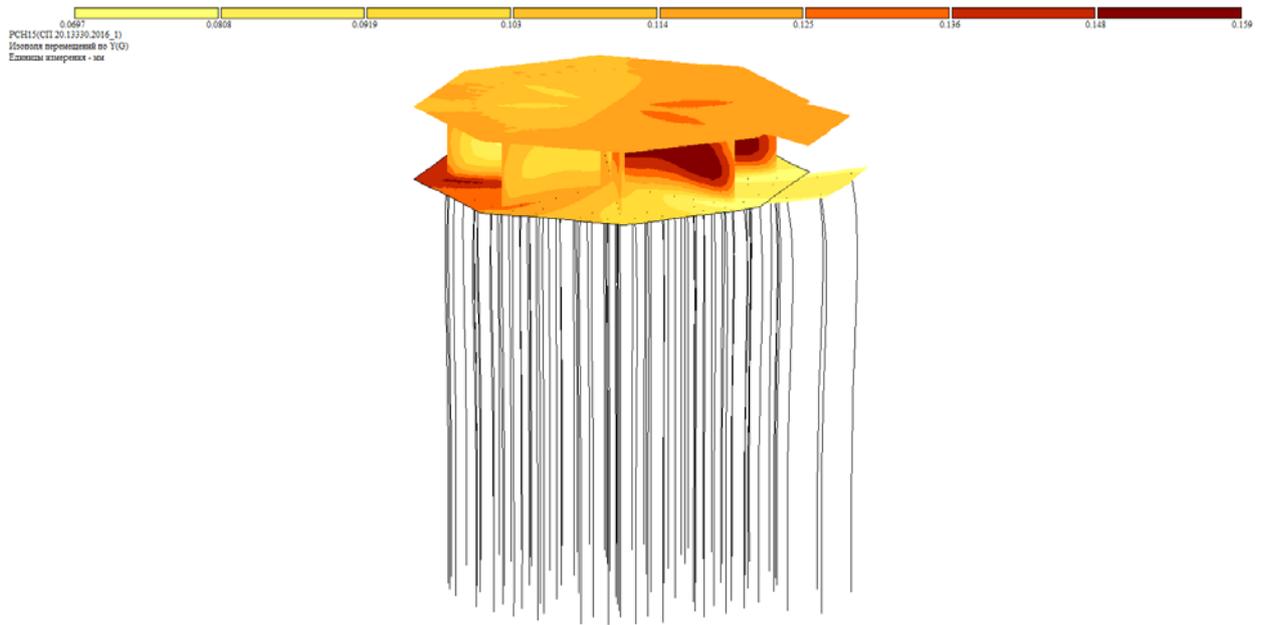


Рис.П2.1. Горизонтальные перемещения U_y , мм
Нормативное сочетание нагрузки 12 (с учетом снеговой нагрузки и ветра вдоль оси Y).
Строительные конструкции емкости 606111V40.

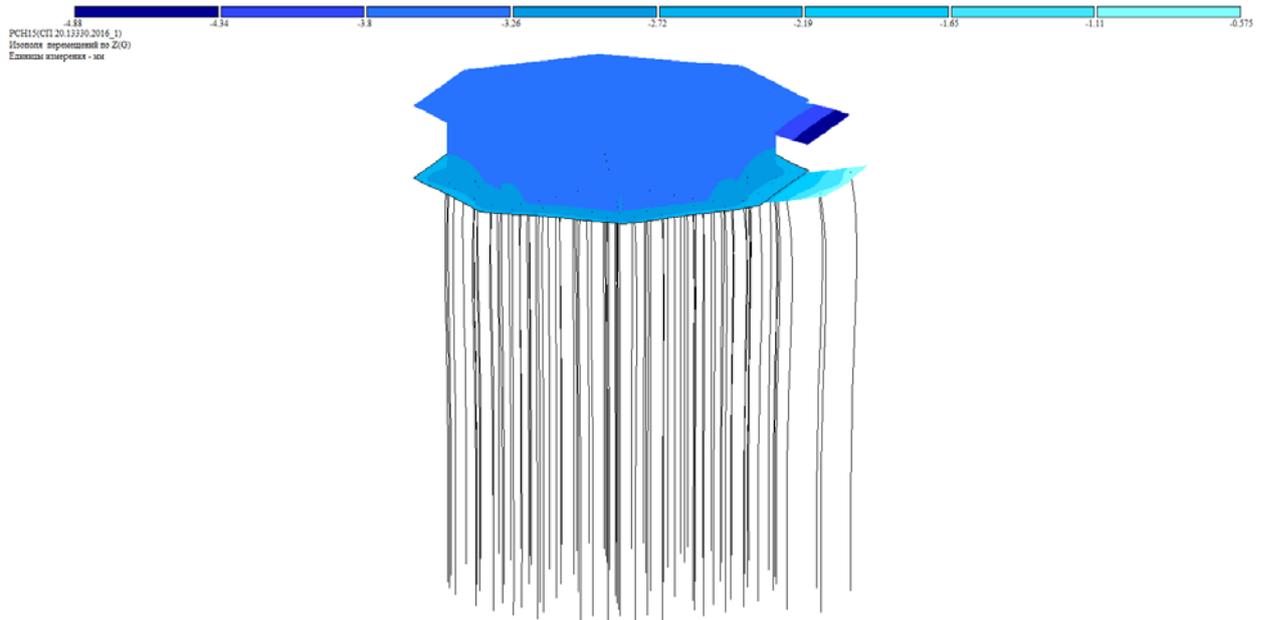


Рис.П2.2. Вертикальные перемещения U_z , мм
Нормативное сочетание нагрузки 12 (с учетом снеговой нагрузки и ветра вдоль оси Y).
Строительные конструкции емкости 606111V40.

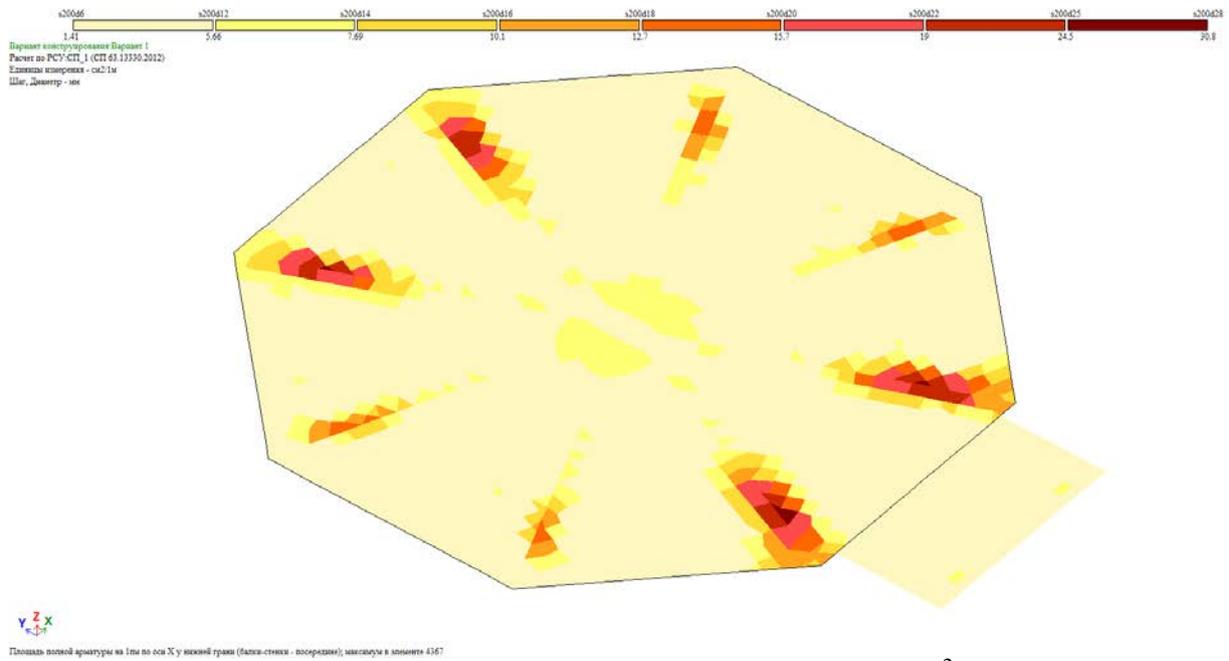


Рис.П2.3. Нижнее армирование вдоль оси X, $\text{см}^2/\text{м}$
Нижняя плита. Строительные конструкции емкости 606111V40.

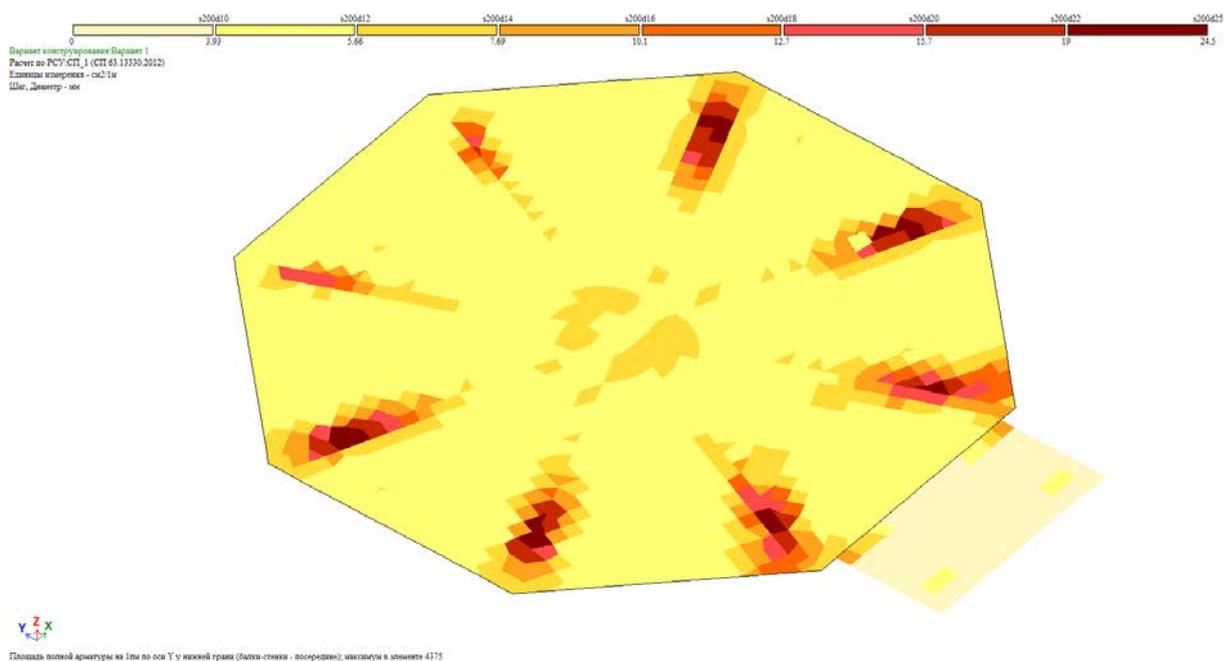


Рис.П2.4. Нижнее армирование вдоль оси Y, $\text{см}^2/\text{м}$
Нижняя плита. Строительные конструкции емкости 606111V40.

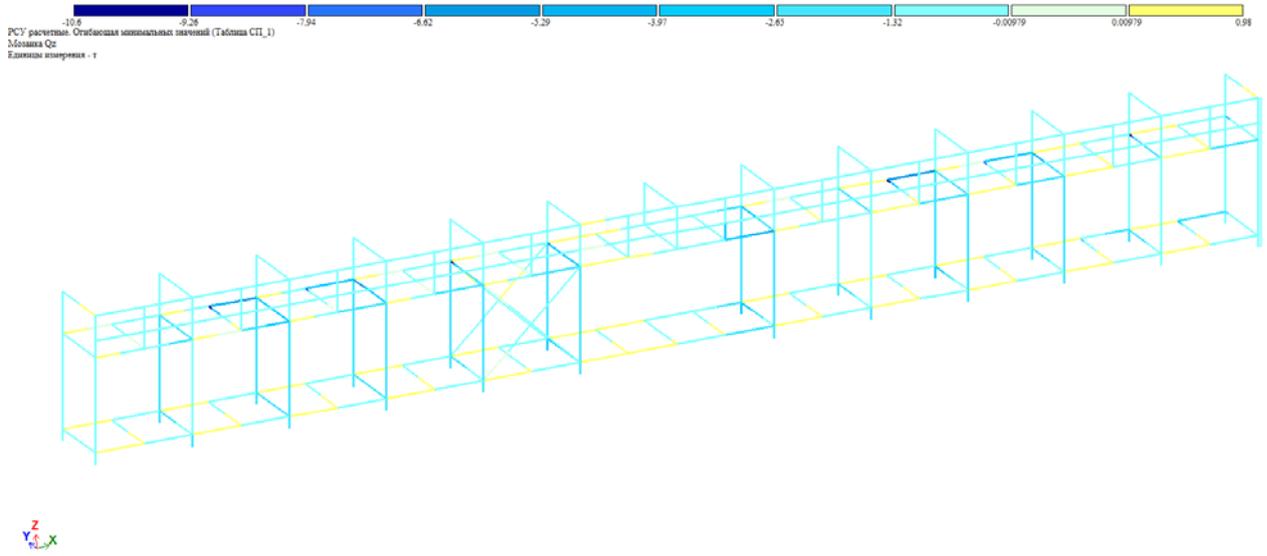


Рис.ПЗ.5. Поперечные силы, Q_z , т
Минимальные расчетные значения по огибающей PCY.
Эстакада 10.1.

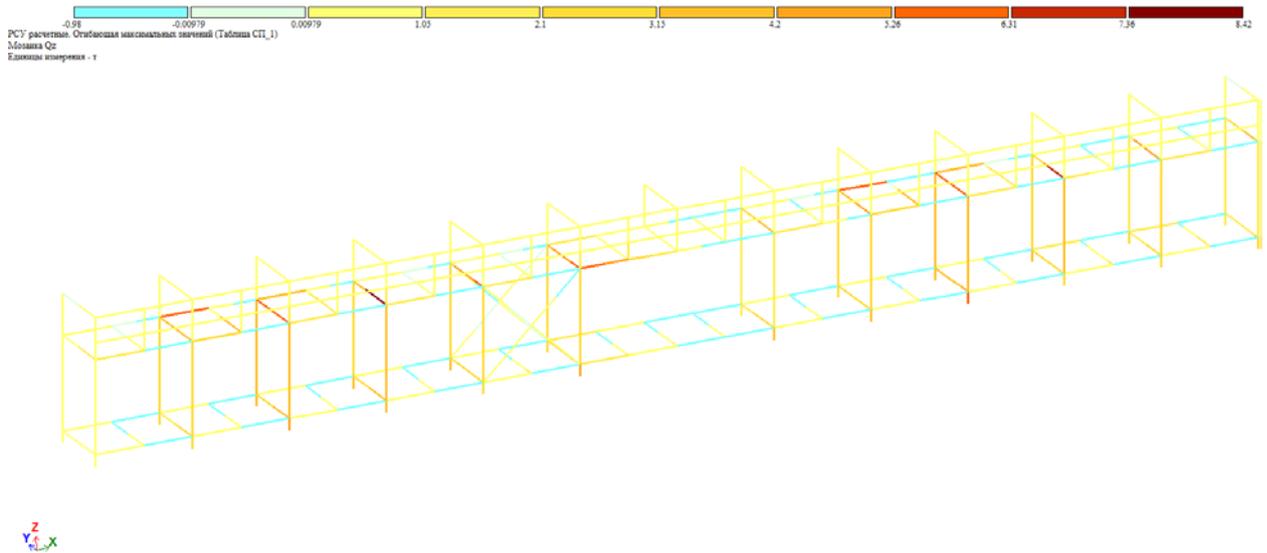


Рис.ПЗ.6. Поперечные силы, Q_z , т
Максимальные расчетные значения по огибающей PCY.
Эстакада 10.1.

Результаты расчётных исследований
НДС и динамики несущих конструкций при особых сочетаниях нагрузок
Результаты расчета сооружения на действие аварийных нагрузок

Сценарии инициирующего локального разрушения

№	Сценарий
1	Отказ опорной стойки
2	Отказ опорного раскоса
3	Отказ опорного узла

1.1.1. Сценарий 1. Отказ опорной стойки

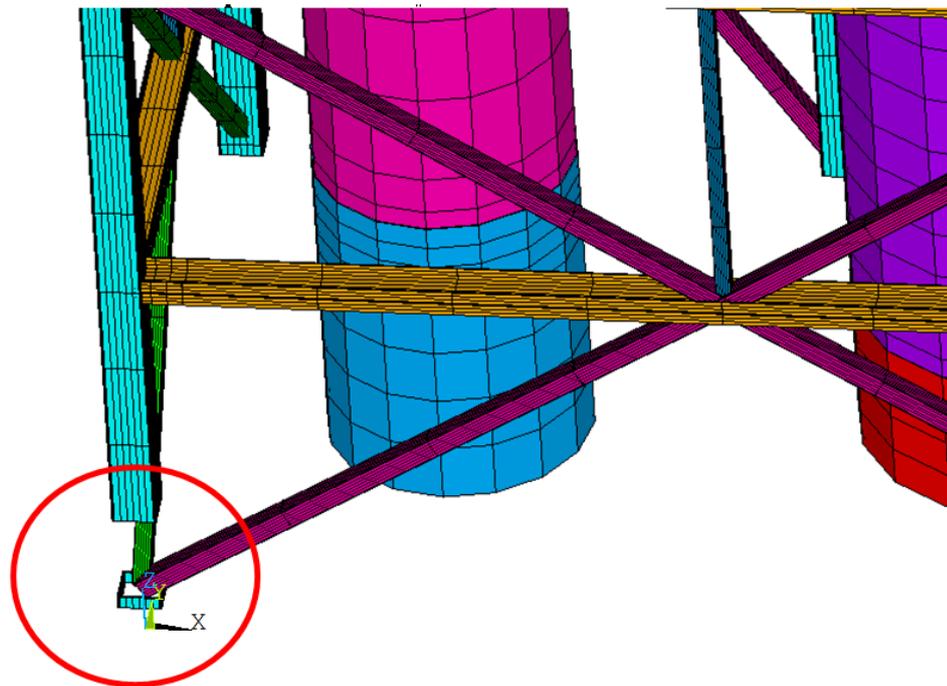


Рисунок 4.7 Зона инициирующего локального повреждения
(опорный участок колонны по оси А-1)

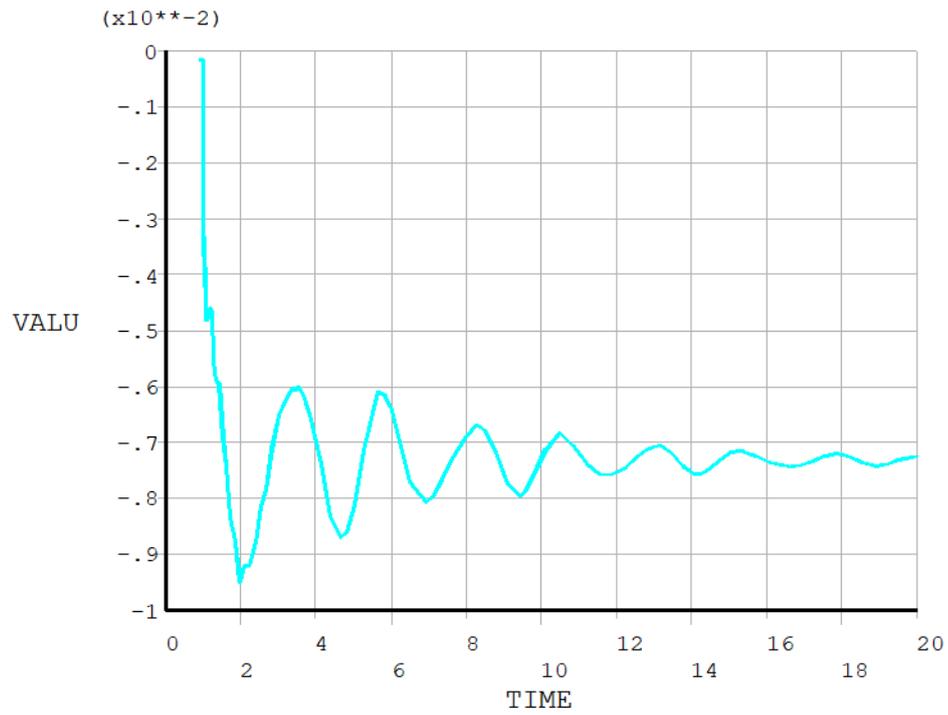


Рисунок 4.8 Вертикальные перемещения в узле над удаленным элементом во времени (м и секунды)

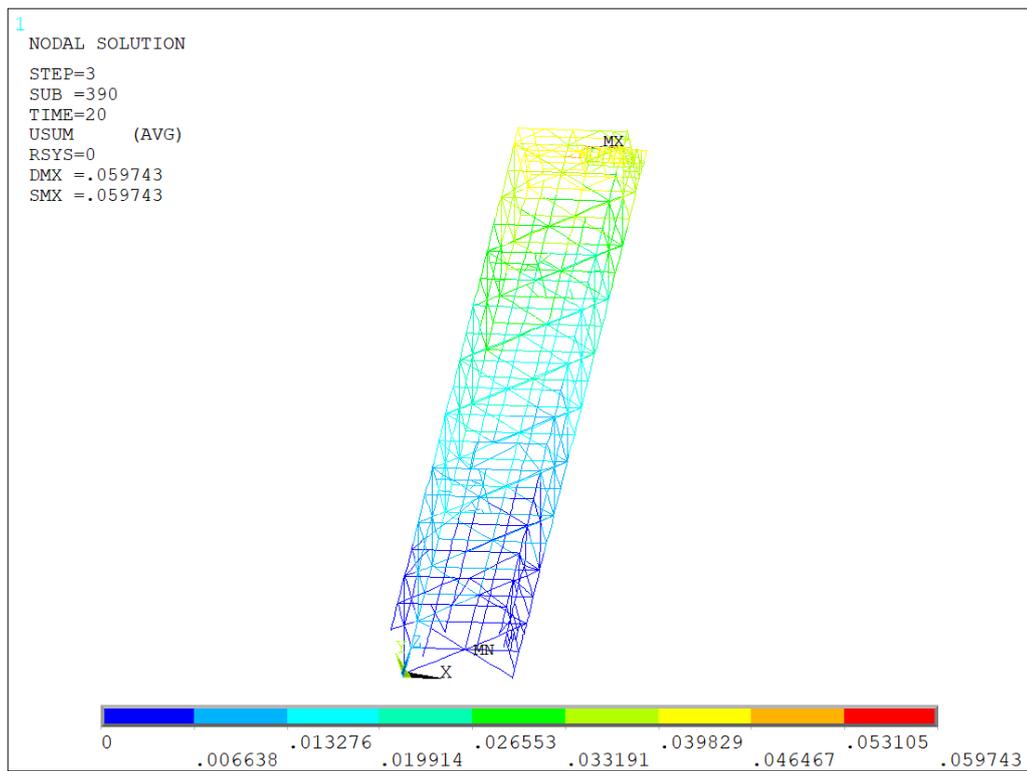


Рисунок 4.9 Суммарные перемещения на момент времени 20 секунд, м

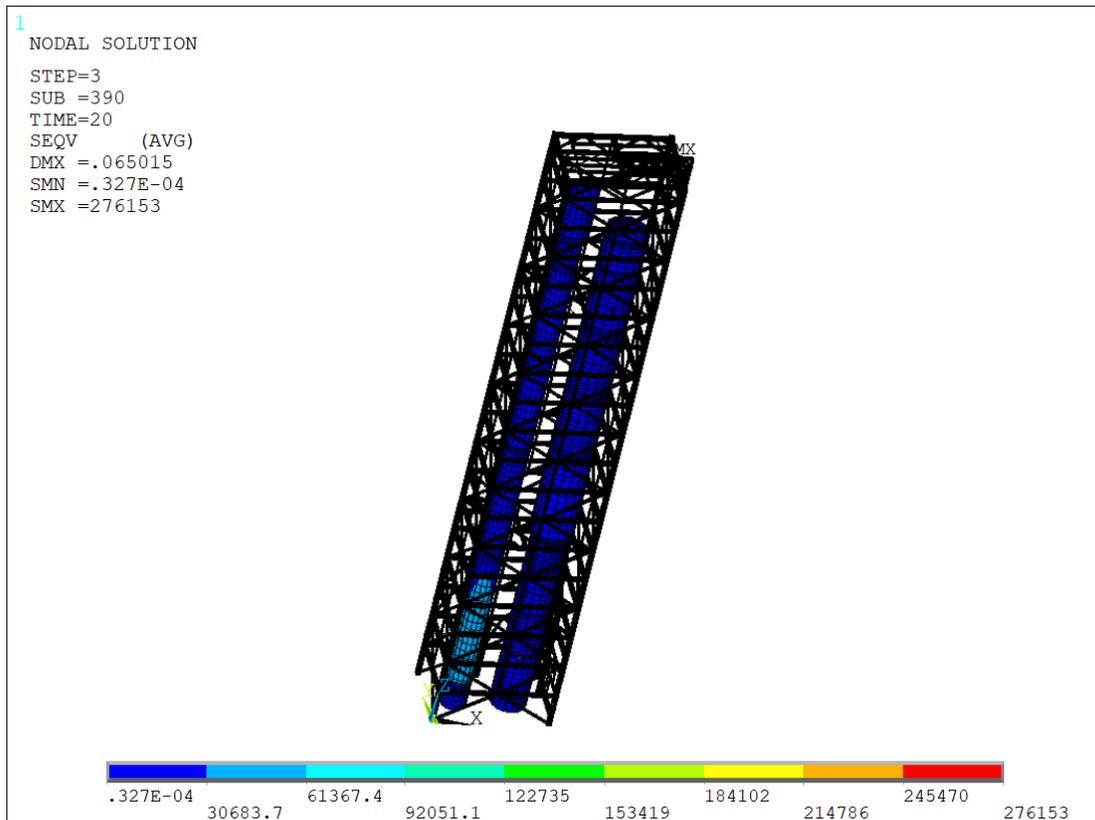


Рисунок 4.10 Напряжения по Мизесу по конструкции на момент времени 20 секунд, кПа

Результаты расчета сооружения при сейсмическом воздействии уровня МРЗ, с применением динамической теории (ДТ)

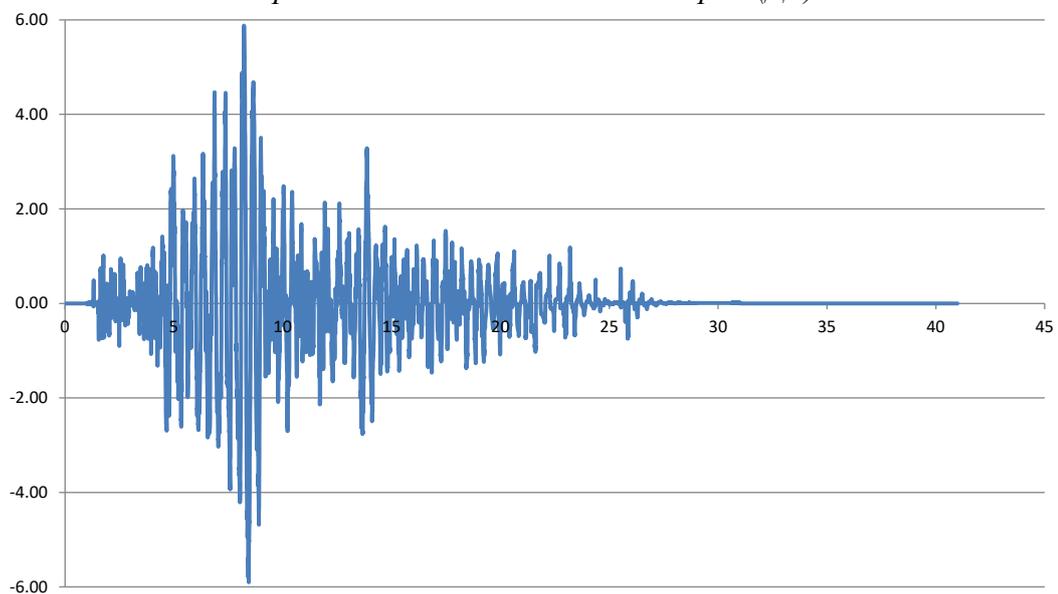


Рисунок 4.11 График расчетной акселерограммы по времени (ускорения — м/с^2 , время — секунды)

1.1.1. Акселерограмма вдоль оси X

Согласно проведенному расчетному исследованию на действие акселерограммы:

- Максимальные горизонтальные перемещения по X составили — 0.046 м
- Максимальные напряжения по Мизесу — 309 МПа
- Максимальные полные деформации — 8.52%, что меньше предельных 16.5%

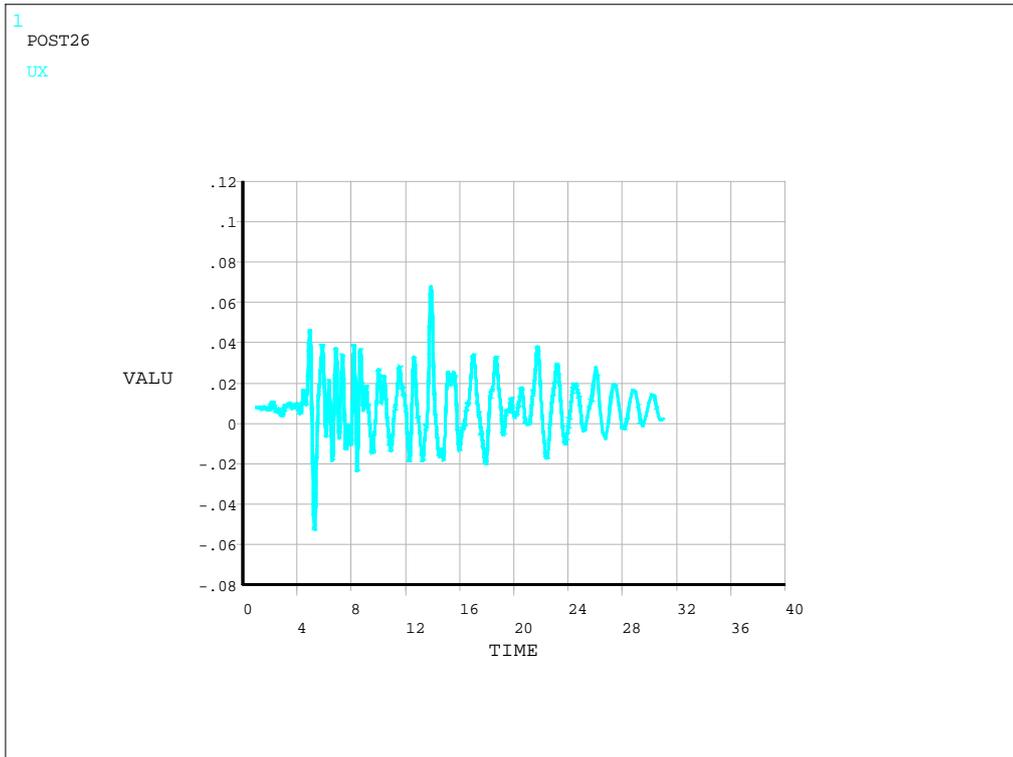
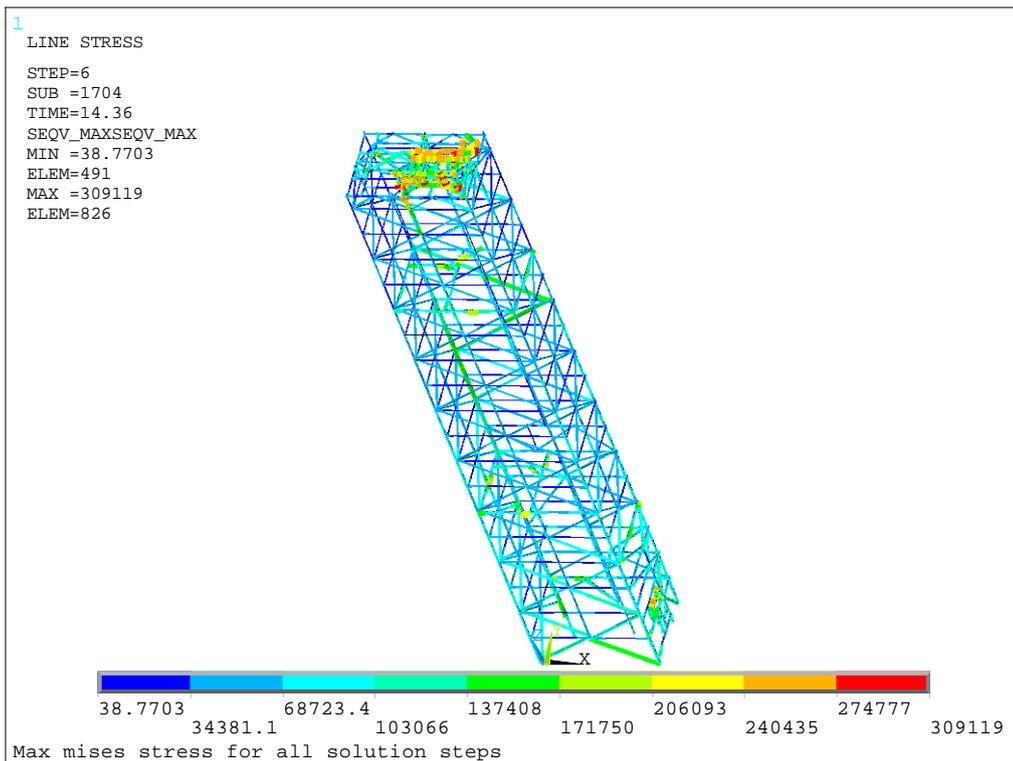


Рисунок 4.12 График горизонтальных перемещений узла покрытия ColdBox по X во времени (м и сек)



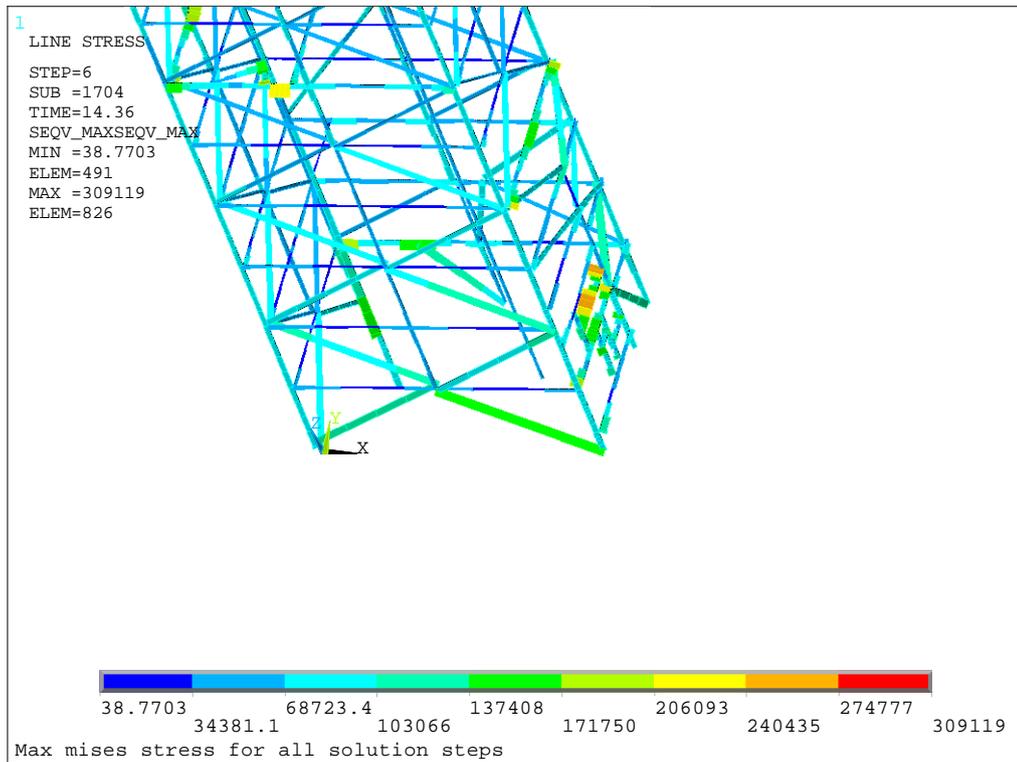


Рисунок 4.13 Огибающая по напряжениям по Мизесу за все шаги, кПа

Выводы

В результате выполненных расчетных исследований напряженно-деформированного состояния, прочности, динамики и устойчивости несущих конструкций сооружений производства разделения воздуха (Кемеровская область, г. Новокузнецк, Космическое шоссе) с учетом статических, ветровых нагрузок, сейсмической нагрузки и гипотетических локальных разрушений, а также научно-технического сопровождения проекта в части расчетных исследований рассматриваемых сооружений, можно сформулировать следующие выводы и рекомендации:

1 Разработанные и верифицированные расчетные статические и динамические пространственные оболочечно-стержневые конечноэлементные модели позволяют адекватно оценить основные параметры НДС при действии вертикальных, ветровых, сейсмических нагрузок и гипотетических локальных разрушений.

2 Анализ результатов расчетных исследований, выполненных по верифицированному лицензионному программному комплексу Лира-САПР, показал непротиворечивую картину распределения перемещений и усилий (сил и моментов) в основных несущих элементах при вертикальных статических, ветровых и сейсмических нагрузках, значимых собственных частот и форм колебаний.

3 Критериальные значения кинематических параметров несущих конструкций рассматриваемых сооружений (прогибы, горизонтальные перемещения) находятся в диапазоне нормативно-регламентированных величин:

4 Максимальные усилия в сваях от основных расчетных сочетаний нагрузок не превышают несущую способность свай.