



Научно-исследовательский центр **СтаДиО**

Свидетельство СРО «АПОЭК» - Ассоциации «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

Инв. № XXXXXXXXXX

«Утверждаю»
Генеральный директор ЗАО НИИ СтаДиО


А. М. Белостоцкий
« _____ 2020 г.»


Научно-технический отчёт
по договору №XXXXXXXXXXXXXXXXXX от XXXXX

«Научно-техническое сопровождение проектирования, включая расчетные исследования напряженно-деформированного состояния, динамики, прочности и устойчивости несущих конструкций при нормативно регламентированных сочетаниях основных и особых (сейсмических) нагрузок и воздействий и сопоставительный анализ результатов альтернативных расчетов, для Объекта – «Музейный комплекс» по адресу: Калининградская область, г. Калининград, о. Октябрьский»

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

Отв. исполнитель
А.А. Аул

Исполнители
канд. техн. наук **А.С. Павлов**
канд. техн. наук **А.И. Нагибович**
Д.С. Дмитриев



Научно-исследовательский центр СтаДиО

Свидетельство СРО «АПОЭК» - Ассоциации «Проектировщики оборонного и энергетического комплексов»
Номер решения о приеме в члены СРО № 06-ПСС-38/2018 от 20.06.2018 г.

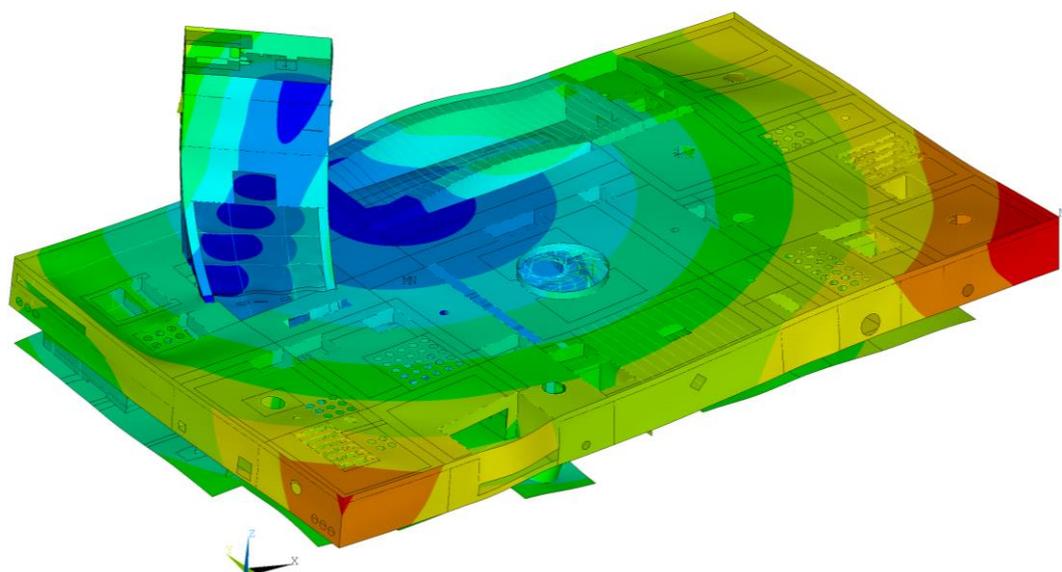
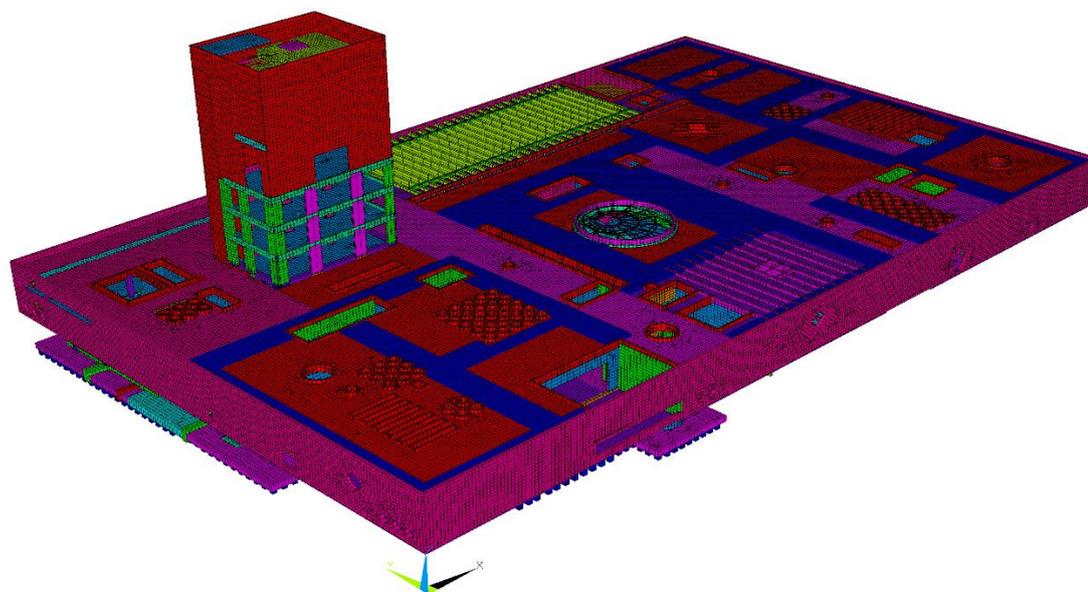
123098, Москва, пл. акад. Курчатова, 1, т. (499)706-8810, e-mail: stadyo@stadyo.ru, Web-site: www.stadyo.ru

Инв. № XXXXXXXXXX

Научно-технический отчёт

по договору №XXXXXXXXXXXXXXXXXX от XXXXX

«Научно-техническое сопровождение проектирования, включая расчетные исследования напряженно-деформированного состояния, динамики, прочности и устойчивости несущих конструкций при нормативно регламентированных сочетаниях основных и особых (сейсмических) нагрузок и воздействий и сопоставительный анализ результатов альтернативных расчетов, для Объекта – «Музейный комплекс» по адресу: Калининградская область, г. Калининград, о. Октябрьский»



Москва, 2020

Введение

В настоящем отчете представлены основные результаты научно-исследовательской работы (НИР) **«Научно-техническое сопровождение проектирования, включая расчетные исследования напряженно-деформированного состояния, динамики, прочности и устойчивости несущих конструкций при нормативно регламентированных сочетаниях основных и особых (сейсмических) нагрузок и воздействий и сопоставительный анализ результатов альтернативных расчетов, для Объекта – «Музейный комплекс» по адресу: Калининградская область, г. Калининград, о. Октябрьский»**, выполненной в ЗАО НИЦ СтаДиО.

В соответствии с техническим заданием, календарным планом, СТУ и рабочими соглашениями в отчете представлены:

- краткое описание природных условий района расположения, проектируемого «Музейного комплекса» по адресу: Калининградская область, г. Калининград, о. Октябрьский (далее - Объект), характеристик грунтового массива. Описание основных несущих конструкций Объекта, нагрузок (расчётных и нормативных) и их сочетаний. Постановка задач расчетных исследований (глава 1);
- описание численных методик, алгоритмов и реализующего программного комплекса (ANSYS Mechanical, верифицированный в системе РААСН.), расчета статического и динамического напряженно-деформированного состояния (глава 2);
- описание разработанных и верифицированных подробных конечноэлементных моделей системы «свайное основание – несущие конструкции музейного комплекса», адекватно отражающих его геометрию-жесткостные, инерционные и нагрузочные характеристики и результирующее напряженно-деформированное состояние (глава 3);
- результирующие параметры напряженно-деформированного состояния, прочности и динамики несущих конструкций Объекта при нормативно регламентированных сочетаниях основных и особых нагрузок и воздействий (глава 4).

В заключении, на базе выполненных исследований делается вывод о достоверности полученных расчетами критериальных параметров, определяющих механическую безопасность несущих конструкций Объекта.

Приложения 1–5 аккумулируют необходимые цифровые и графические материалы с разработанными моделями и результатами выполненных расчетных исследований.

Все основные расчеты проведены с использованием лицензионного верифицированного конечноэлементного программного комплекса ANSYS Mechanical.

Задачи расчетных исследований

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

- анализ и обобщение проектной документации (включая расчетное обоснование), данных изысканий (включая сейсмическое микрорайонирование), постановка задач расчетных исследований;
- разработка и верификация расчетной пространственной оболочечно-стержневой конечноэлементной модели системы «основание - несущие конструкции»;
- расчетное определение параметров напряженно-деформированного состояния (перемещения, усилия), динамики, прочности и устойчивости несущих конструкций при нормативно регламентированных сочетаниях основных и особых (сейсмических) сочетаний нагрузок;
- анализ корректности принятых в альтернативном расчётном обосновании предпосылок и методов численного моделирования;
- сопоставление и приведение в приемлемое соответствие критериальных результатов альтернативных расчетов напряжённо-деформированного состояния, динамики и прочности.

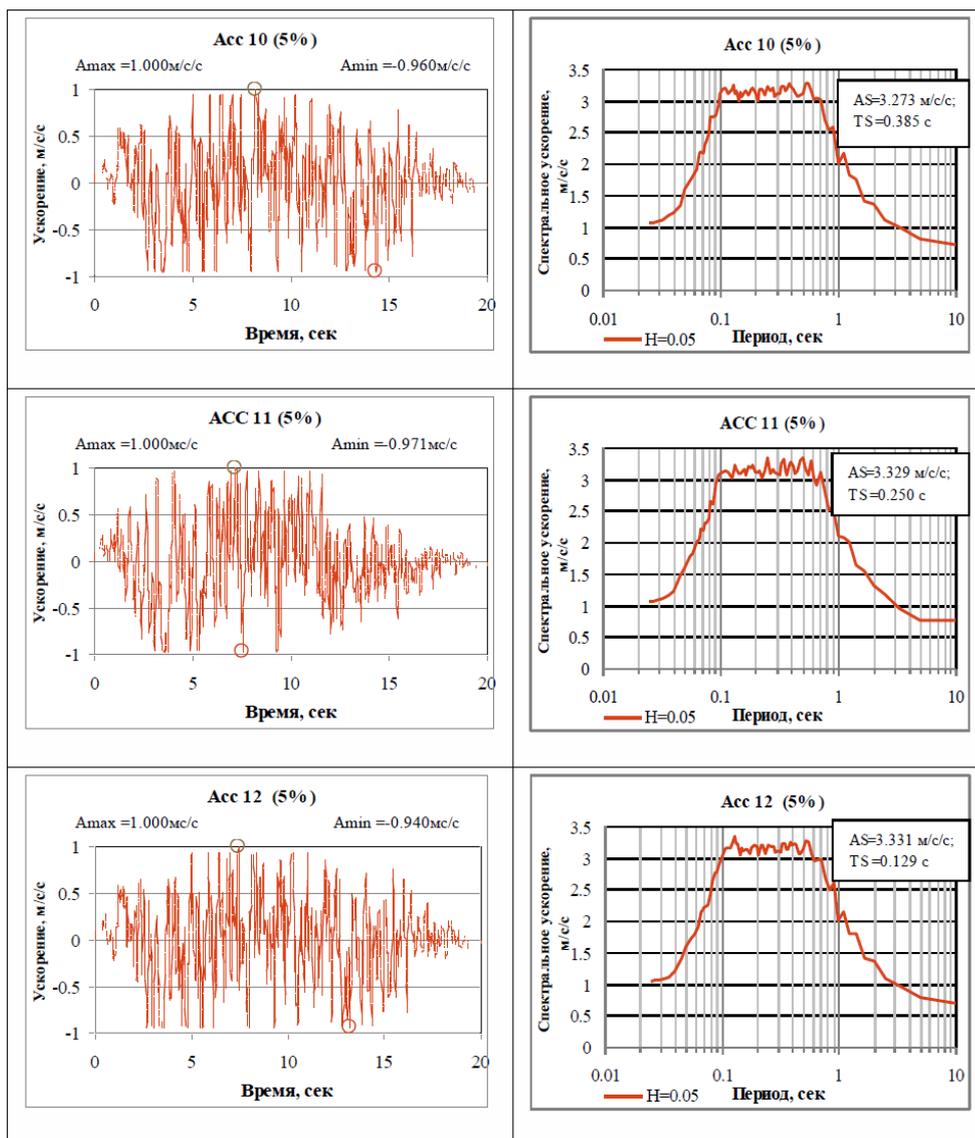
Программное обеспечение расчетов

В качестве основного расчетного инструмента выбран лицензионный универсальный ПК ANSYS, в котором реализованы прямые динамические расчеты с интегрирование по времени.

Сейсмические воздействия

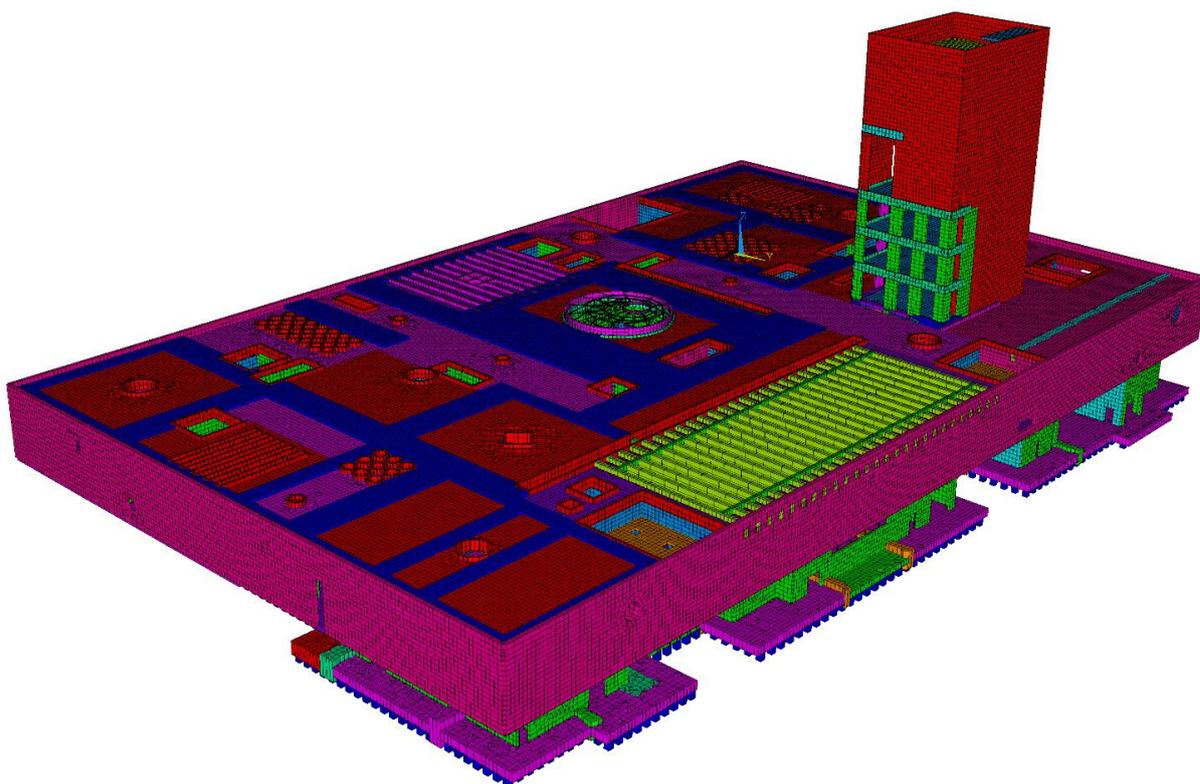
Нормативная сейсмичность района расположения площадки работ оценивается в 6 баллов для грунтов II категории по сейсмическим свойствам. По имеющимся инженерно-геологическим данным, толща участка изысканий сложена грунтами III и IV категории по сейсмическим свойствам. С учетом этого нормативная сейсмичность должна быть увеличена на 1 балл. Итоговая расчетная сейсмичность площадки строительства, определяемая по сумме величин исходной сейсмичности и приращений сейсмичности по результатам СМР [Ошибка! Источник ссылки не найден.] в нормативном инженерно-сейсмологическом диапазоне частот 0.5–10 Гц, составляет по шкале MSK-64 и по шкале ШСИ-2017 7.42 балла, то есть VII баллов при повторяемости землетрясений 1 раз в 1000 лет (вероятность по карте ОСР-2015-В). Соответствующее сейсмогрунтовым условиям площадки среднемаксимальное (50%-ной вероятности неперевышения) ускорение свободной поверхности грунта составляет 137 см/с^2 .

Сейсмическое воздействие (трехкомпонентная синтезированная акселерограмма) от максимального расчетного землетрясения, принята согласно отчету по СМР. Синтезированные ответные акселерограммы (нормированные к единице) с относительным затуханием 5% ACC 10 (5%), ACC 11 (5%), ACC 12 (5%) и их спектры ответа приведены на.

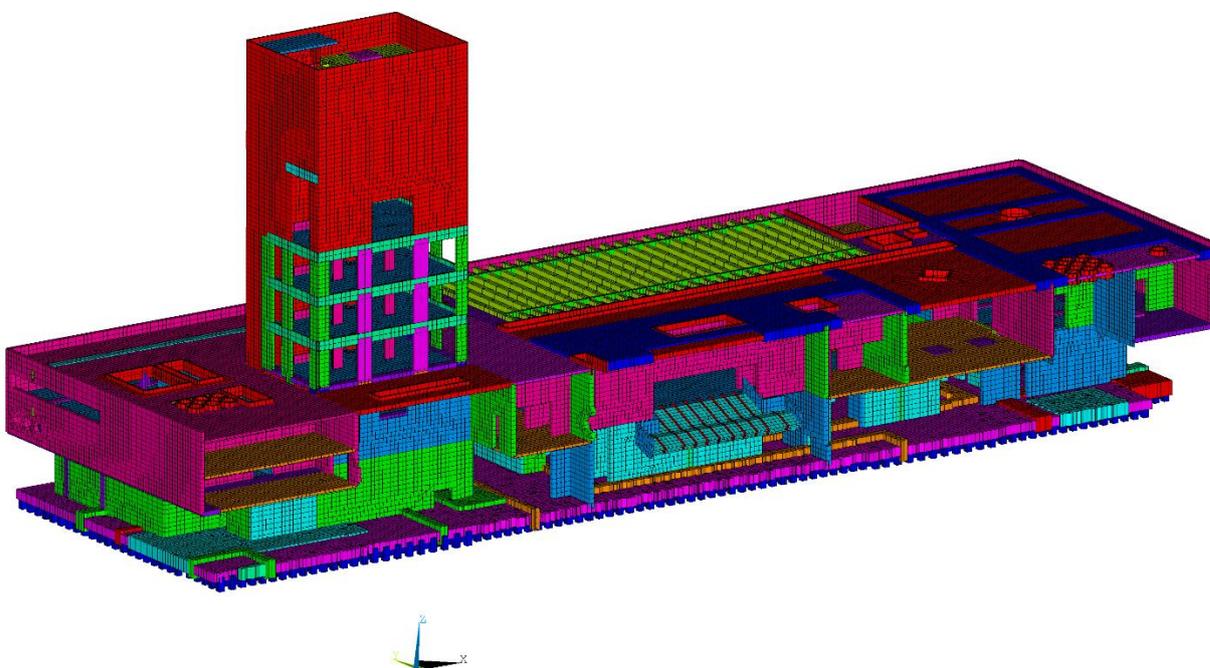


Синтезированные акселерограммы ACC 10, ACC 11, ACC 12

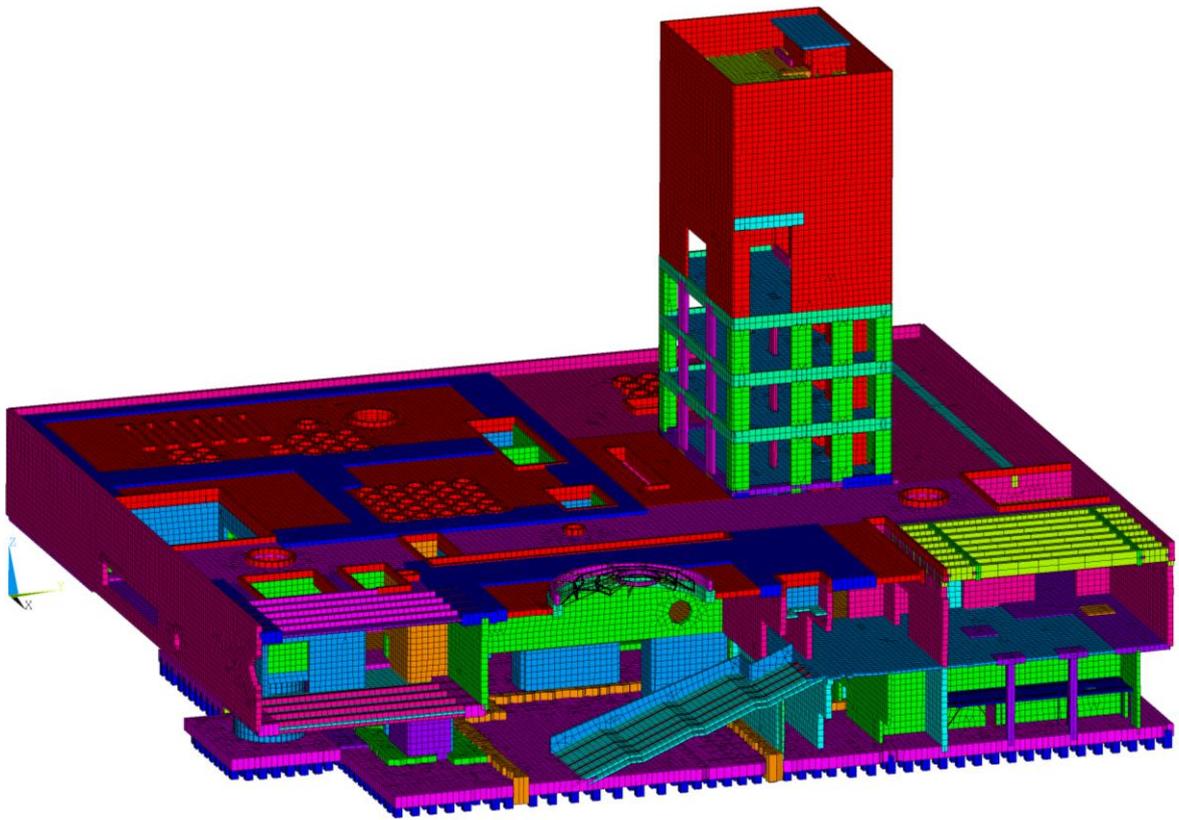
Расчетная конечноэлементная модель здания



Изометрия. КЭ-модель музейного комплекса (ANSYS Mechanical)



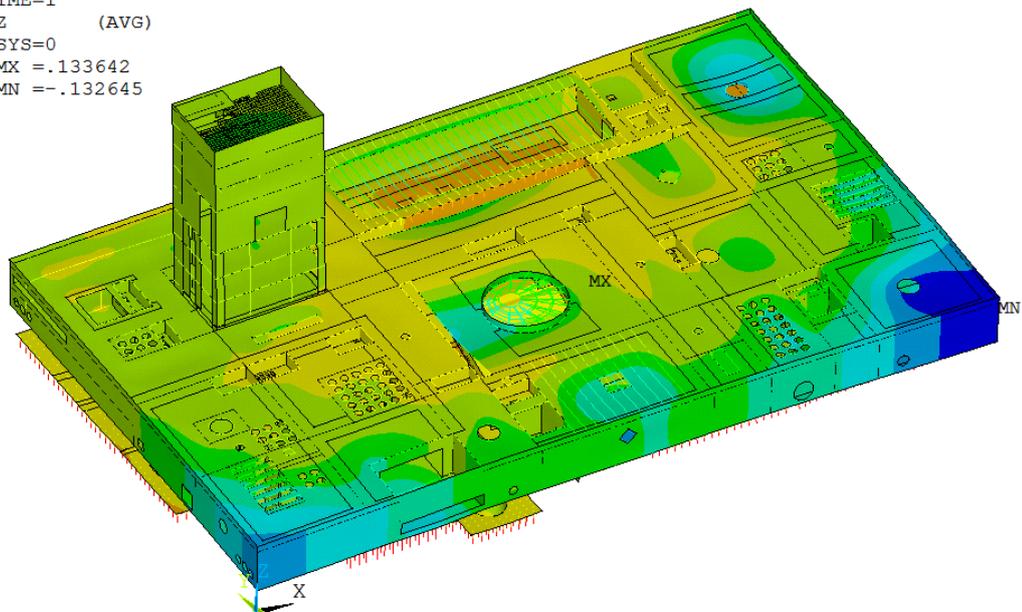
Изометрия. Фрагмент КЭ-модели музейного комплекса (ANSYS Mechanical).
Разрез вдоль продольной оси.



Изометрия. Фрагмент КЭ-модели музейного комплекса (ANSYS Mechanical).
Разрез вдоль поперечной оси.

Результаты расчётных исследований

1
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
UZ (AVG)
RSYS=0
DMX =.133642
SMN =-.132645

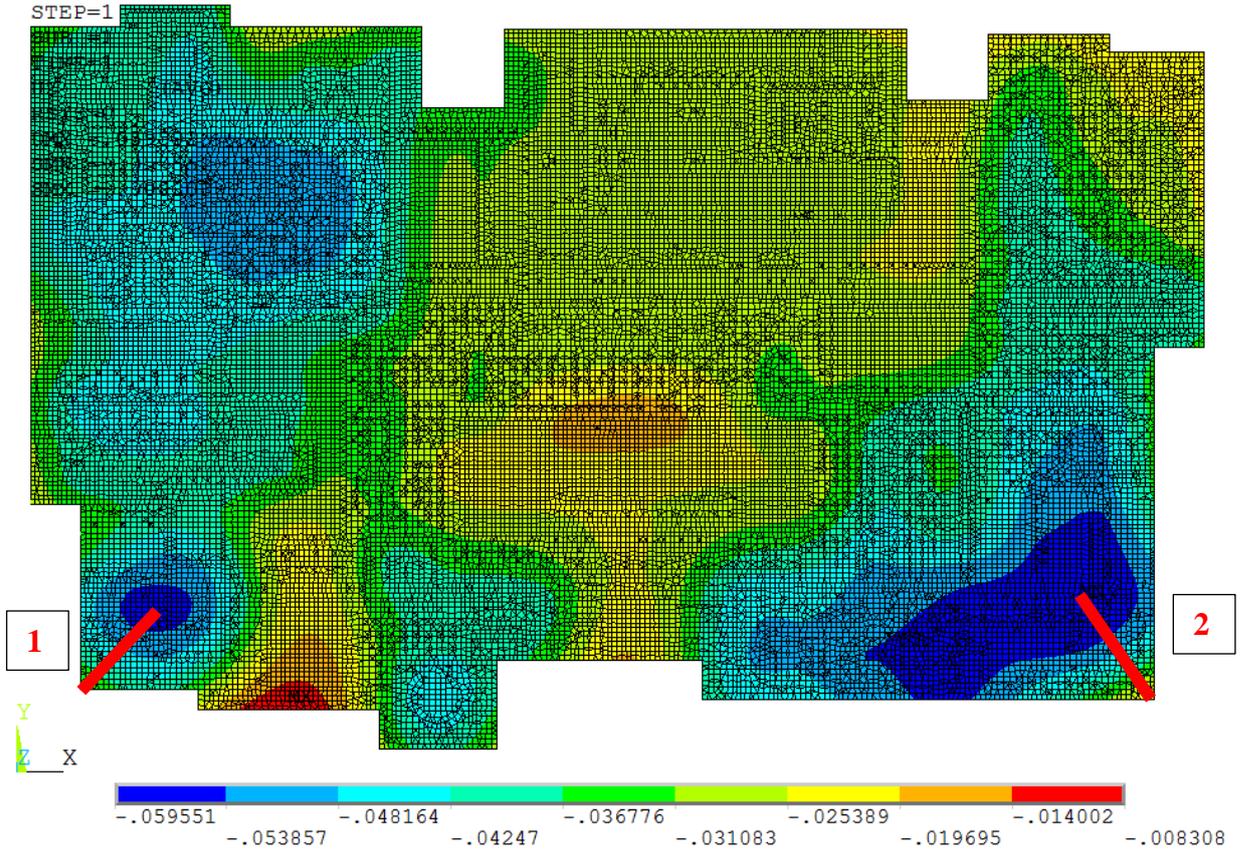


Вертикальные перемещения U_z , м. Сочетание 1 (ветер по X)

1

NODAL SOLUTION

STEP=1



Относительная разность осадок плитного фундамента не превышает предельно допустимых значений (значения предельных величин взяты из СП 22.13330.2011 табл.Д.1):

При расчетах линейно-спектральным методом удерживалось необходимое количество вычисленных собственных форм колебаний – 30 при горизонтальных воздействиях (модальная масса - более 90%), 135 – при вертикальных ((модальная масса - более 75%),

NODAL SOLUTION

STEP=10

SUB =1

TIME=10

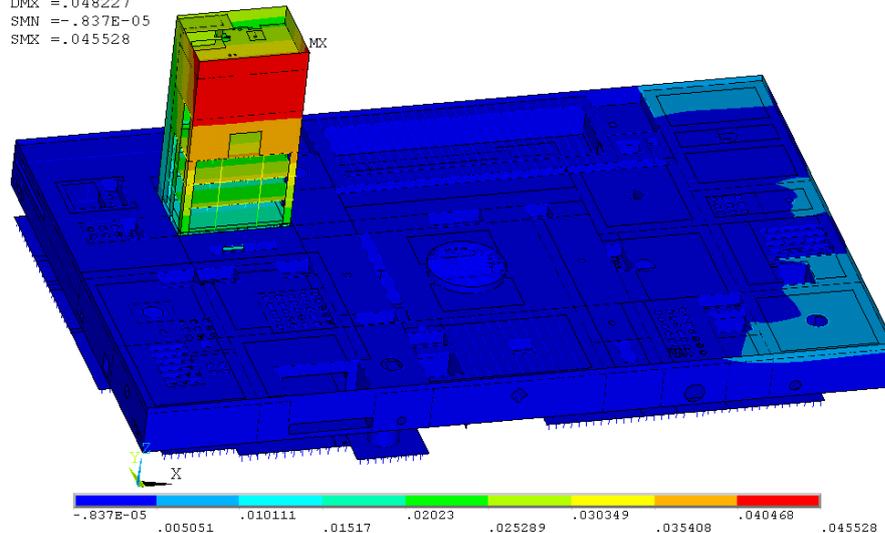
UX (AVG)

RSYS= SOLU

DMX =.048227

SMN =-.837E-05

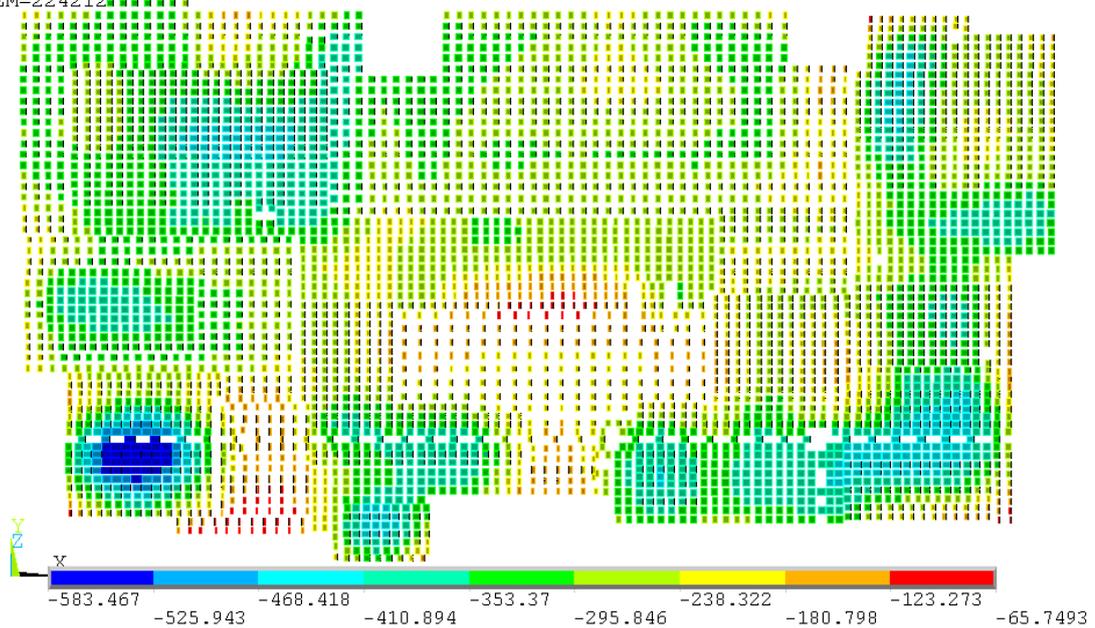
SMX =.045528



Максимальные по абсолютной величине горизонтальные перемещения U_x , м.
 Особое сочетание (статика + сеймика ПЗ по X)

LINE STRESS

STEP=7
 SUB =1
 TIME=7
 FXI FXJ
 MIN =-583.467
 ELEM=4298
 MAX =-65.7493
 ELEM=224212

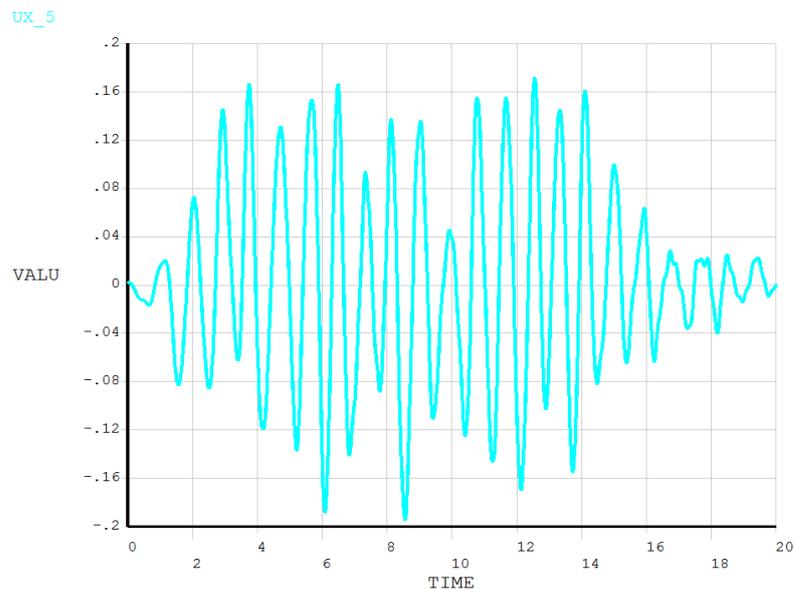


Максимальные продольные усилия в сваях, кН.
 Особое сочетание (статика – сеймика ПЗ по Z)

Расчет на особое сочетание нагрузок (сеймика МРЗ) выполнялся в два этапа – вначале прикладывалась статическая составляющая вертикальных нагрузок, а затем – трехкомпонентная акселерограмма.

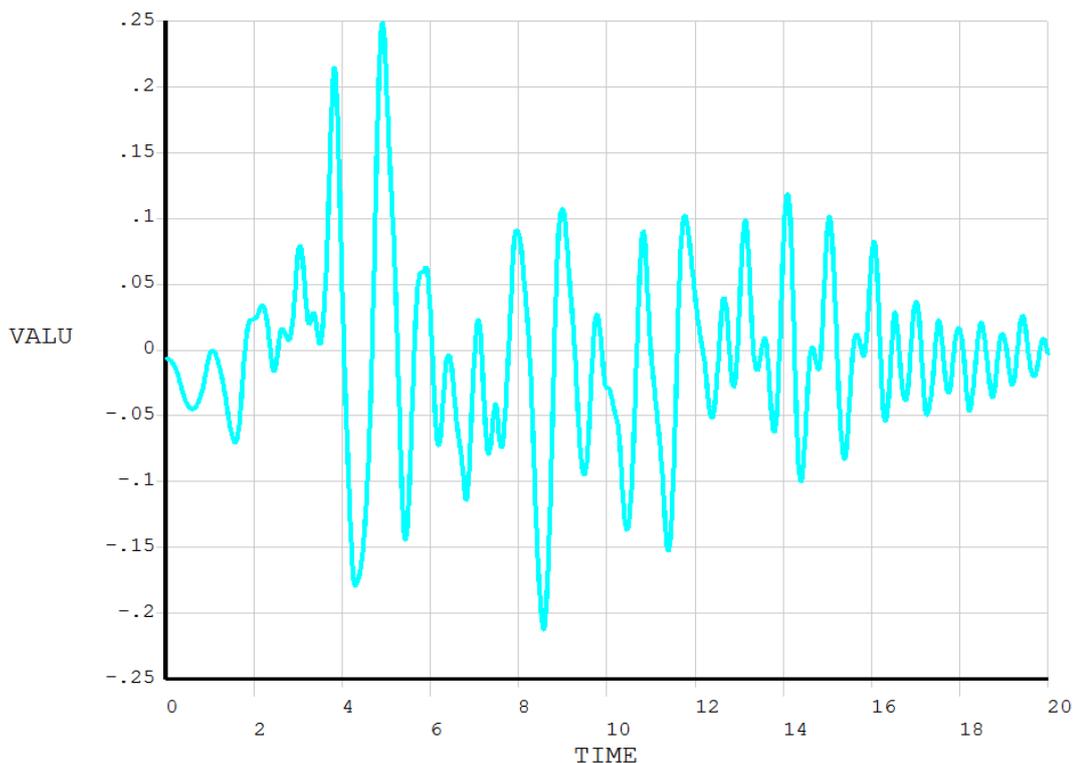
Применялась неявная разностная схема Ньюмарка интегрирования уравнений динамики, шаг интегрирования 0,01 с (2002 шага по времени).

Демпфирование принималось по модели Релея исходя из уровня 5% от критического.



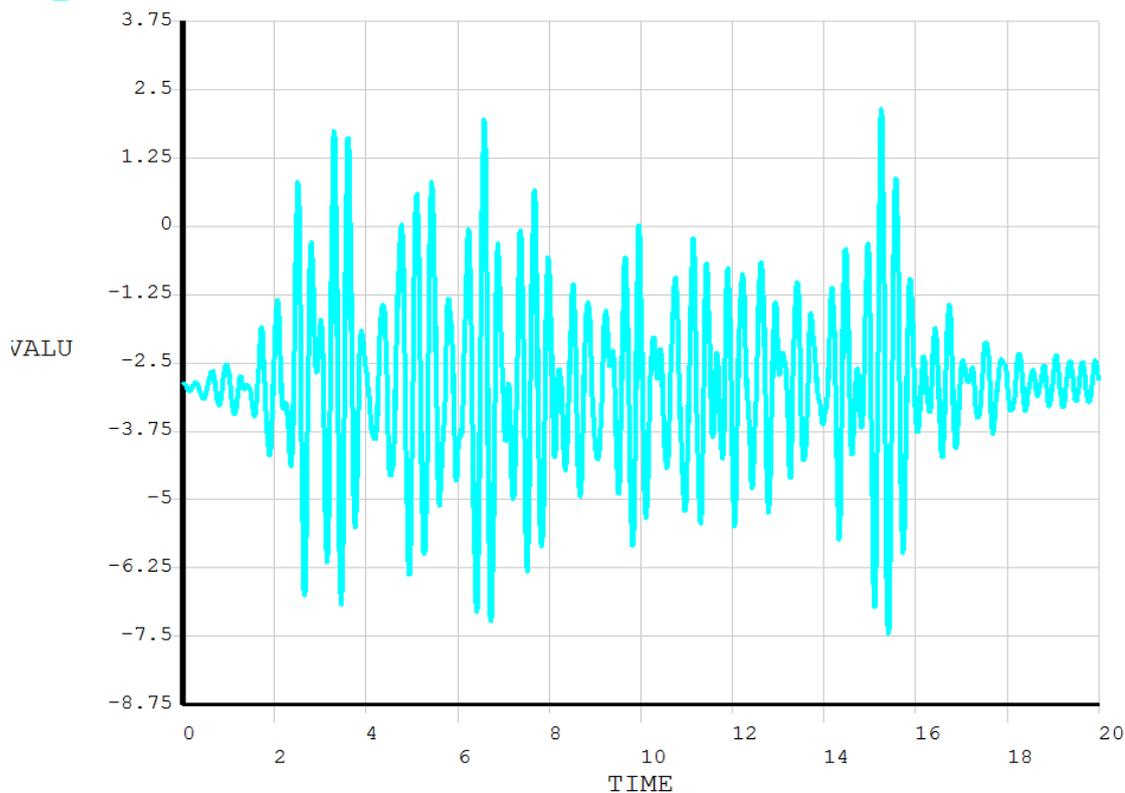
Максимальные горизонтальные перемещения U_x башни, м.
 Особое сочетание нагрузок (сеймика МРЗ с учётом статического фона)

UY_9



Максимальные горизонтальные перемещения U_y башни, м.
Особое сочетание нагрузок (сейсмика МРЗ с учётом статического фона)

UZ_17 (x10⁻²)



Вертикальные перемещения U_z консоли четырёхэтажной части, м.
Особое сочетание нагрузок (сейсмика МРЗ с учётом статического фона)

Заключение

В результате выполненных расчетных исследований напряженно-деформированного состояния, динамики и устойчивости несущих конструкций «Музейного комплекса» по адресу: Калининградская область, г. Калининград, о. Октябрьский, с учетом статических,

ветровых нагрузок и сейсмического воздействия уровня ПЗ и МРЗ, можно сформулировать следующие выводы и рекомендации.

- Разработанные и верифицированные расчетные статические и динамические пространственные оболочечно-стержневые конечноэлементные модели проектного варианта музейного комплекса на свайном основании позволяют адекватно оценить основные параметры статического и динамического НДС при действии вертикальных, ветровых нагрузок и трехкомпонентного сейсмического воздействия.

- Анализ результатов расчетных исследований, выполненных по верифицированному лицензионному программному комплексу ANSYS Mechanical, показал непротиворечивую картину распределения перемещений и усилий (сил и моментов) в сваях, фундаменте и каркасе музейного комплекса при вертикальных статических и ветровых нагрузках, сейсмически значимых собственных частот и форм колебаний здания.

- Критериальные значения кинематических параметров несущих конструкций музейного комплекса (прогибы фундаментной плиты, плит перекрытий, покрытия, горизонтальные перемещения верха здания) находятся в диапазоне нормативно-регламентированных величин.

- Максимальные усилия в сваях от расчетного сочетания нагрузок не превышают несущую способность свай:

- для шага 1,2 м – расчетное значение 54,2 т при несущей способности 62,6 т;
- для шага 1,3 м – расчетное значение 56,3 т при несущей способности 59,9 т;
- для шага 1,5 м – расчетное значение 49,5 т при несущей способности 53,8 т;
- для шага 1,9 м – расчетное значение 30,1 т при несущей способности 39,0 т.

- В вычисленном спектре собственных частот и форм колебаний ожидаемо проявляются таковые для «башни» (9-и этажная административно-офисная часть, нижние 3 формы изгиба и кручения в диапазоне 0,885 - 2,080 Гц), для 4-х этажной экспозиционной части (поступательные движения и закрутка на сваях, колебания консольных частей и локальных перекрытий), а также смешанные формы колебаний. Такой «богатый» спектр предвещает многоамплитудную и многочастотную сейсмическую реакцию системы «свайное основание – несущие конструкции» музейного комплекса.

- Расчеты на особое сочетание нагрузок, включающие сейсмические воздействия уровня ПЗ (с учетом всех значимых собственных форм колебаний), показали непротиворечивую картину распределения параметров НДС.

Максимальные расчётные горизонтальные перемещения «башни» составляют:

- по оси X расчётное значение 45,5 мм;
- по оси Y расчётное значение 64,1 мм.

Максимальные расчётные вертикальные перемещения «консоли» четырёхэтажной части здания составляют 35,3 мм

Значения горизонтальных перемещений находятся в диапазоне нормативно регламентированных величин.

- Расчет на особое сочетание нагрузок, включающее сейсмическое воздействие уровня МРЗ (задано трехкомпонентной акселерограммой), показал сложную по времени и пространству динамическую реакцию системы. Особое внимание следует уделить обеспечению прочности (по критерию предотвращения прогрессирующего обрушения) для нижней части башни и консольных участков 4-х этажной части здания.

- Полученные результаты математического моделирования для здания музейного комплекса – статические и ветровые перемещения, собственные частоты и формы колебаний – могут (и, на наш взгляд, должны) быть использованы при разработке программы и методики проведения мониторинга состояния основания и несущих конструкций здания в процессе его строительства и эксплуатации.