

акад. РААСН, проф., д.т.н. *Белостоцкий А.М.*  
*НИЦ СтаДиО + НОЦ КМ им. А.Б. Золотова НИУ МГСУ*

# Компьютерное моделирование в научно-техническом сопровождении уникальных и особо ответственных объектов строительства на всех стадиях их жизненного цикла

## Истоки, достижения и вызовы

2023 г.



## *НТС*, несколько цитат из реальной жизни...

- Техзадание, из свежих, фрагмент...

*«...Целью настоящей работы является выполнение отчета по научно-техническому сопровождению проектирования объекта капитального строительства, **В объёме достаточном для прохождения ГЭ**»*

- Сайт НИЦ СтаДиО

*«**НТС**, СТУ, ГЭ, СРО, .... Очередные "три буквы на заборе" или что-то большее?»*

- На просторах интернета – «рекомендация»

*«Проще всего зайти в местный строительный ВУЗ. Там точно есть и кандидаты и доктора. За **еду** они любое **НТС** в любом объёме сделают. Причём на титуле будет гербовая печать».*

В рамках строительно-технических экспертиз выполнен анализ причин локальных разрушений и прогрессирующего обрушения конструкций покрытия ряда большепролетных зданий



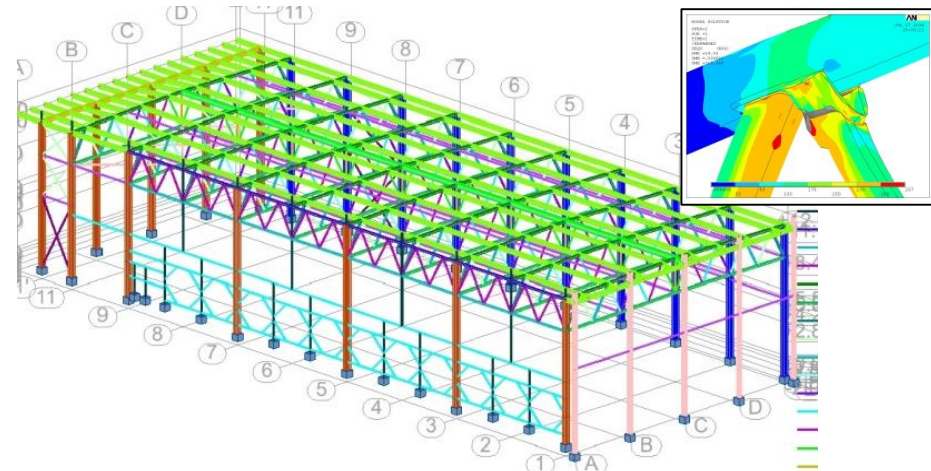
СОК «Трансвааль парк» (2004 г.)



Басманный рынок (2006 г.)



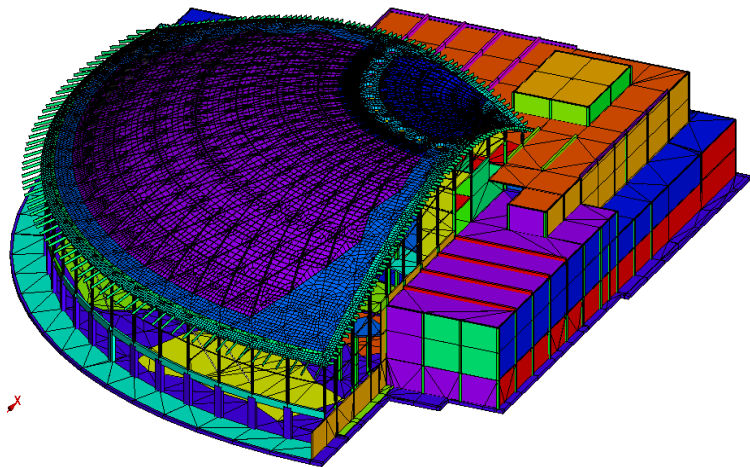
Крытый конькобежный центр «Крылатское»



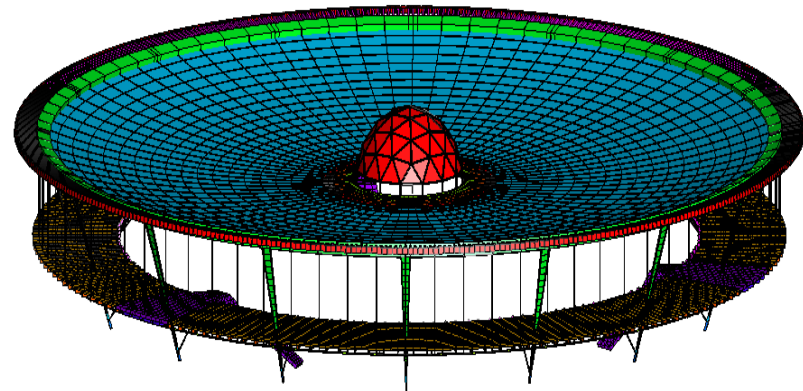
Производственный цех (Подмосковье)



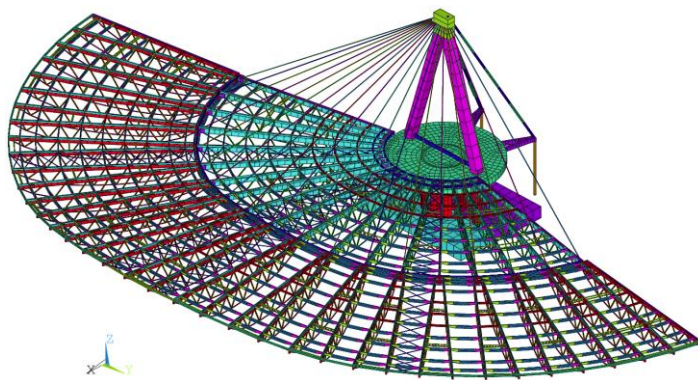
**НИЦ СтаДиО** в рамках строительно-технических экспертиз выполнен анализ причин локальных разрушений и прогрессирующего обрушения конструкций покрытия ряда большепролетных зданий



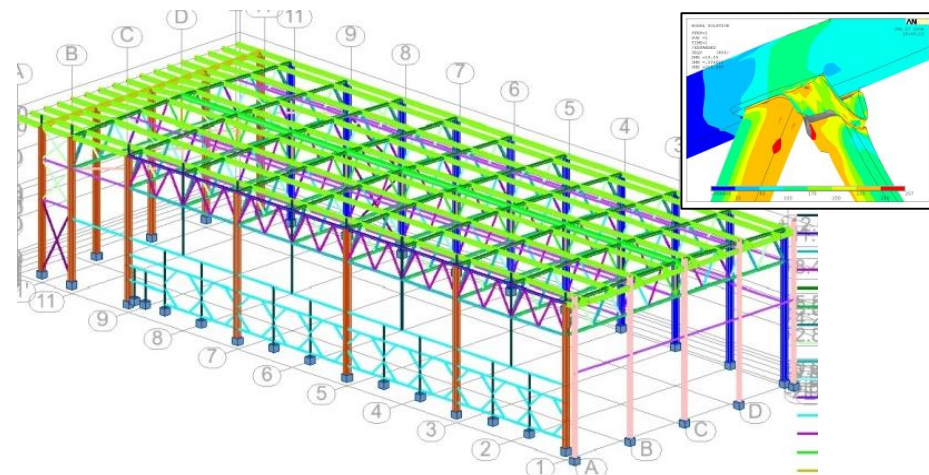
Спортивно-оздоровительный комплекс «Трансвааль парк» (2004-2005 гг.)



Басманный рынок (2006-2007 гг.)



Крытый конькобежный центр «Крылатское»



Производственный цех (Подмосковье)



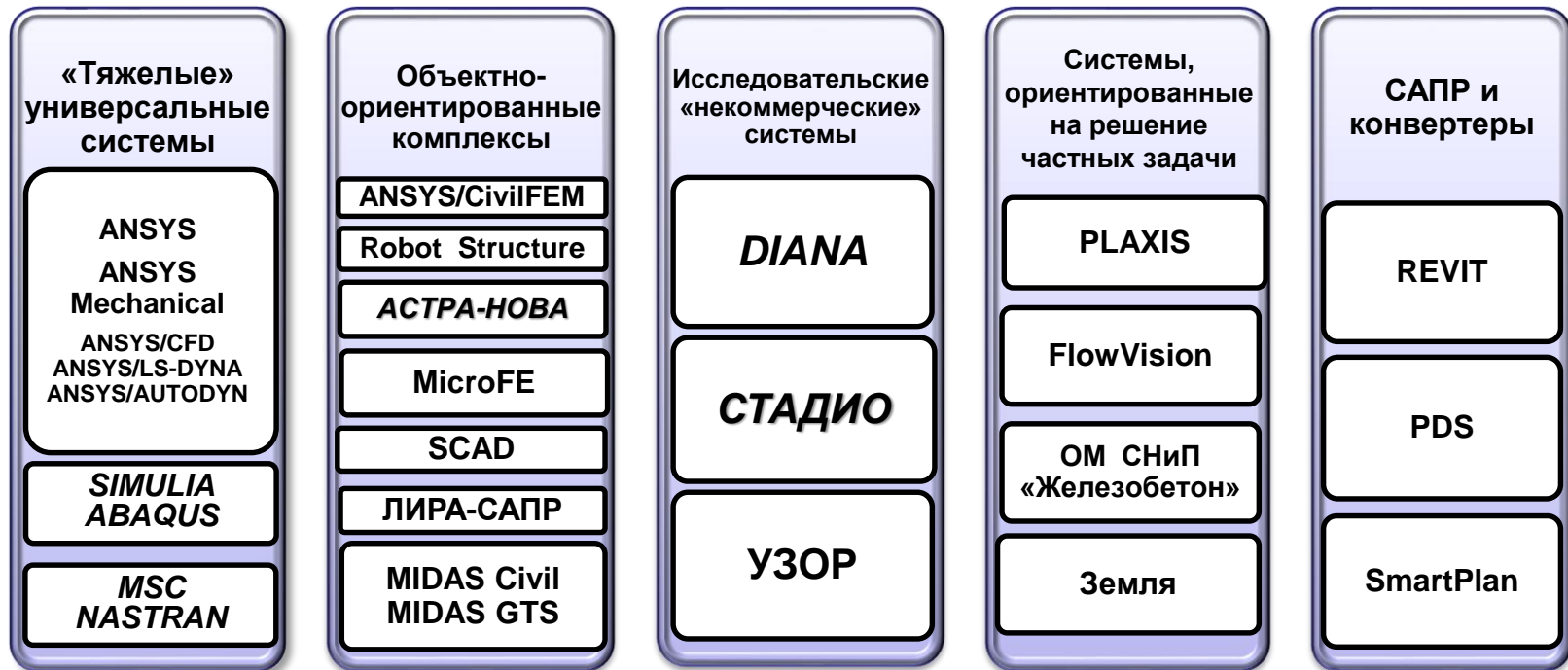
## Основные выводы экспертиз и усвоенные уроки

- 1. «Человеческий фактор(ище)» - необходимость подготовки нового поколения расчетчиков-исследователей уникальных сооружений.** Сегодня – в значительной части реализован(уется) силами **НИЦ СтаДиО** и ряда ВУЗов-партнеров
- 2. Альтернативные независимые расчетные исследования** (сейчас – нормативно прописанная часть НТС)
- 3. Из «подробностей» – моделирование нагрузок/воздействий, уточненный трехмерный нелинейный анализ конструктивных узлов, расчеты на прогрессирующее обрушение,...** Ок, почти!
- 4. Разработка и реализация внятной и основанной на подробной экспертизе верификации/валидации программных комплексов** (реализовано в системе РААСН с 2007 г., 6 ПК прошли)
- 5. Мониторинг конструкций для стадий строительства и эксплуатации** (в стадии осмысления и частичной реализации)

1. Решение актуальных проблем математического моделирования поведения уникальных конструкций, зданий и сооружений на значимых стадиях их жизненного цикла
2. Разработка собственных программных комплексов
3. Верификация программных комплексов в соответствии с требованиями РААСН
4. Экспертиза расчетов зданий и сооружений с использованием верифицированных программных комплексов
5. Разработка и актуализация новых методов расчета зданий и сооружений
6. Подготовка и переподготовка специалистов-пользователей программных комплексов математического моделирования уникальных конструкций, зданий и сооружений
7. Решение научно-исследовательских и научно-технических задач
8. Научно-образовательная деятельность

# Программные комплексы

Программные комплексы расчета нагрузок и воздействий, НДС, прочности и устойчивости конструкций, зданий и сооружений





## Свидетельство о верификация ПК ABAQUS



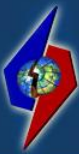






## Матрица верификации «Функциональные возможности» (ПК ABAQUS)

Функциональные возможности	Пример 1	Пример 2	Пример 3	Пример 4	Пример 5	Пример 6	Пример 7	Пример 8	Пример 9	Пример 10	Пример 11	Пример 12	Пример 13	Пример 14	Пример 15	Пример 16	Пример 17	Пример 18	Пример 19	Пример 20	Пример 21	Пример 22	Пример 23	Пример 24	Пример 25	Пример 26	Пример 27	Пример 28	Пример 29	Пример 30
Геометрически нелинейный квазистатический расчёт с учётом истории нагружения																								•						
Физический нелинейный квазистатический расчёт с учётом истории нагружения																				•				•						
Геометрически нелинейный динамический расчёт																						•								
Физически и геометрически нелинейный динамический расчёт																									•	•		•	•	•
Анализ чувствительности конструкции												•																		
Линейно упругие материалы	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•	•		•	•						•		
Термические свойства материалов					•																									
Ортотропные линейно упругие материалы										•																				
Определение $J$ -интеграла						•																								
Учёт деформации поперечного сечения балочных конструкций								•																						
Моделирование воздушных и наземных взрывов (CONWEP)																													•	
Многоточечные связи (MPC)															•							•								
Подциклы															•															
Установившаяся ползучесть																				•										
Модель Муни-Ривлина для каучукообразных гиперупругих материалов																							•							



## Матрица верификации «Функциональные возможности» (ПК ABAQUS)

Функциональные возможности	Пример 1	Пример 2	Пример 3	Пример 4	Пример 5	Пример 6	Пример 7	Пример 8	Пример 9	Пример 10	Пример 11	Пример 12	Пример 13	Пример 14	Пример 15	Пример 16	Пример 17	Пример 18	Пример 19	Пример 20	Пример 21	Пример 22	Пример 23	Пример 24	Пример 25	Пример 26	Пример 27	Пример 28	Пример 29	Пример 30	
Модель Огдена для каучукообразных гиперупругих материалов																							•								
Модель пластичности Мизеса														•											•	•			•		
Расширенные модели пластичности и ползучести Друкера-Прагера																									•					•	
Модель пластичности Джонсона-Кука																													•		
Модель пластичности Мора-Кулона																														•	
Модель пластичности чугуна																														•	
Зависимость неупругих свойств от скорости деформирования																										•				•	
Модель разрушения для пластичных металлов																										•			•		
Уравнение состояния Ми-Грюнайзена																										•		•	•		
Модели "размазанного" трещинообразования в хрупких материалах																										•					
Смешанный подход Эйлера-Лагранжа (CEL)																											•	•			
"Гидродинамика сглаженных частиц" (SPH)																												•			
Пользовательские материалы																										•				•	
Пользовательские подпрограммы																													•	•	

Разработка, верификация и апробация параметризуемой объемной конечноэлементной модели системы **«основание – водохранилище – плотина – здание станции Саяно-Шушенской ГЭС»**



Численное моделирование системы „**основание – комплекс сооружений на территории ЛФВЭ ОИЯИ (NICA)**“, с учетом геологических и гидрогеологических условий.



НТС проектирования Мега-сайенс Объекта: **«Сибирский кольцевой источник фотонов» (СКИФ) в г. Новосибирск».**



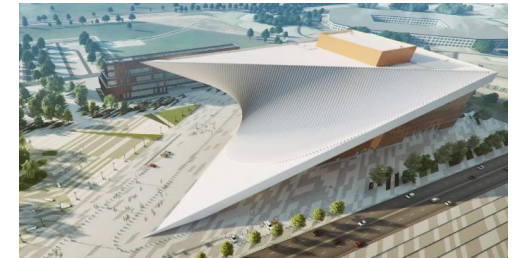
НТС проектирования и строительства **Петербургского спортивно-концертного комплекса** (г. Санкт-Петербург)



НТС проектирования Объекта: **«Театр оперы и балета»**  
(г. Севастополь)



НТС проектирования Объекта: **«Театр оперы и балета»**  
(г. Калининград)



НТС проектирования Объекта: **«МиТОК»**  
(г. Кемерово)



НТС проектирования, включая комплексные  
аэродинамические исследования, для Объекта —  
**«Серфинг-парк „Волна“»**



Комплексное НТС на стадиях проектирования и строительства Объекта: **«Технопарк ПАО Сбербанк» в инновационном центре «Сколково».**



Расчетные исследования НДС, прочности и устойчивости несущих конструкций многофункционального **высотного (404 м) жилого комплекса** на территории **ММДЦ «Москва-Сити» («One Tower»)**



Техническое обследование и расчетные исследования фактического состояния железобетонных конструкций... **Башни «Эволюция» ММДЦ «Москва-Сити»** и выдача заключения по их несущей способности

Расчетное обоснование наиболее ответственных, тяжело нагруженных и сложно решенных трубобетонных конструктивных узлов и сопряжений конструкций Объекта: **«Многофункциональный жилой комплекс с на территории Бадаевского пивоваренного завода, (Москва, Кутузовский проспект, ...)**



Разработка, верификация и апробация параметризуемой объемной конечноэлементной модели системы **«основание – водохранилище – плотина – здание станции Саяно-Шушенской ГЭС»**



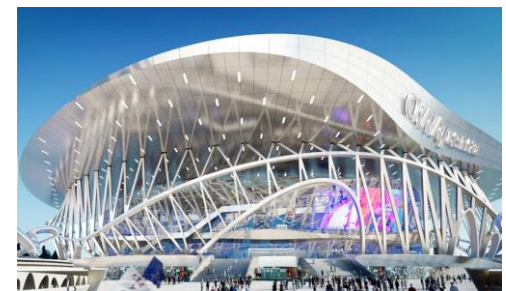
Численное моделирование системы **„основание – комплекс сооружений на территории ЛФВЭ ОИЯИ (NICA)“**, с учетом геологических и гидрогеологических условий.

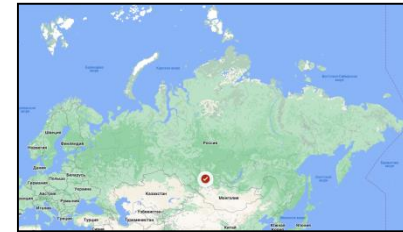


НТС проектирования Мега-сайенс Объекта: **«Сибирский кольцевой источник фотонов» (СКИФ) в г. Новосибирск»**.

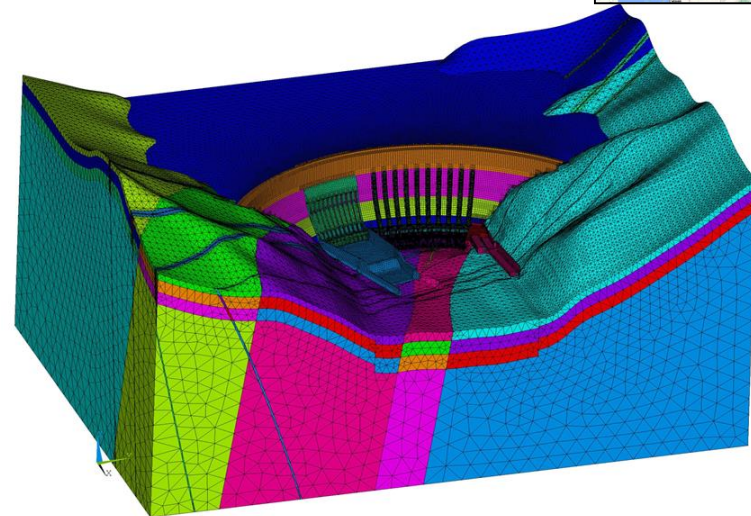


НТС проектирования и строительства **Петербургского спортивно-концертного комплекса** (г. Санкт-Петербург)

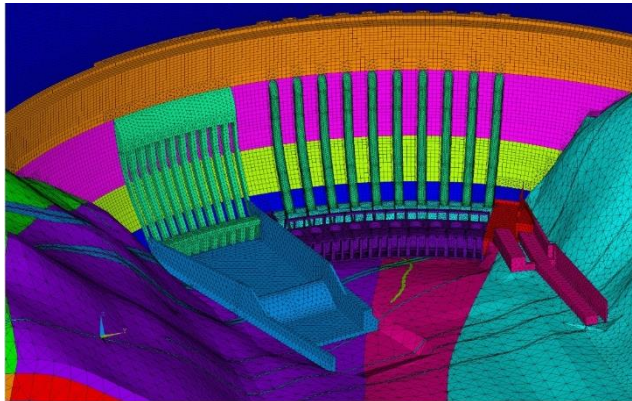




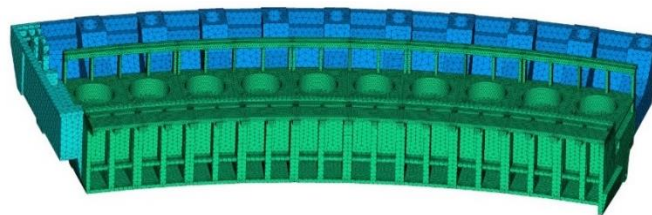
Гидроузел СШГЭС им. П.С. Непорожного



КЭ-модель системы «основание – водохранилище – плотина – здание станции»



Фрагмент КЭ-модели плотины системы «основание – водохранилище – ....»



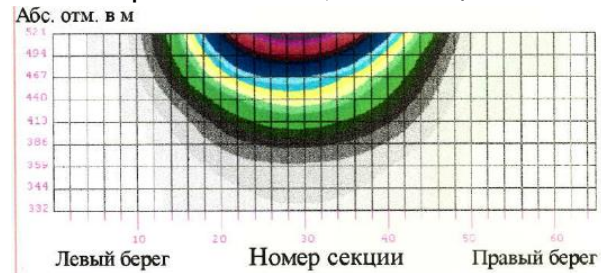
КЭ-модель здания станции



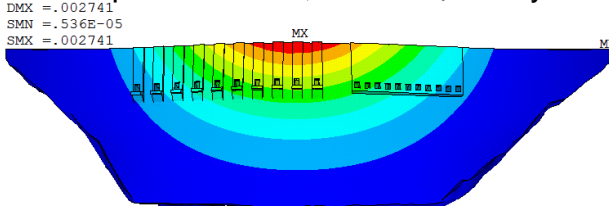
КЭ-модель агрегатного блока



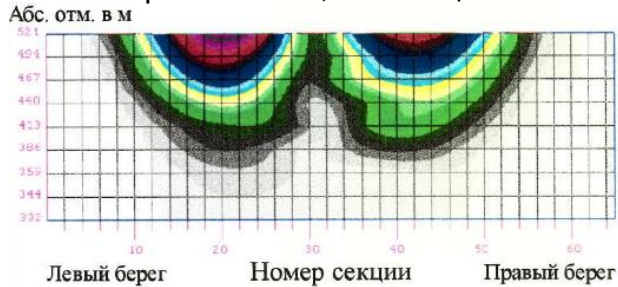
Первая частота, 1.236 Гц. МСВ.



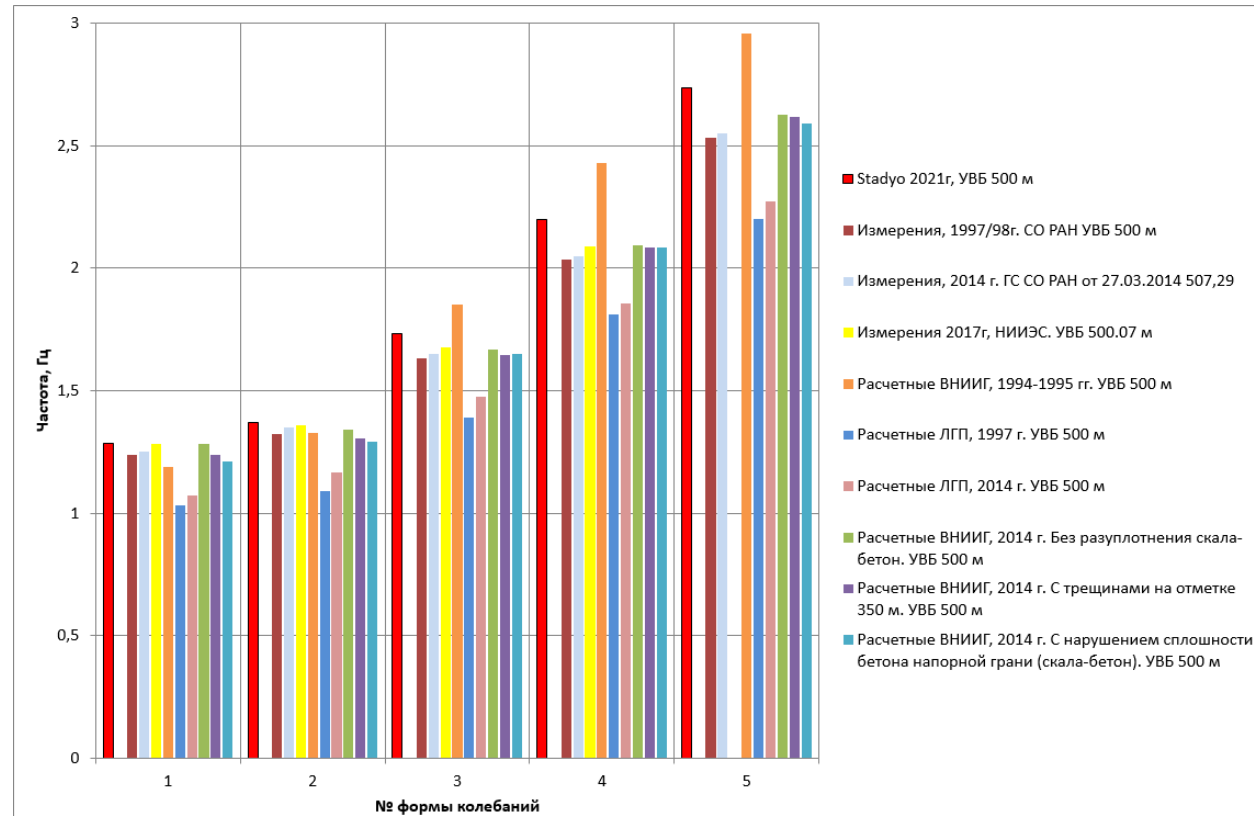
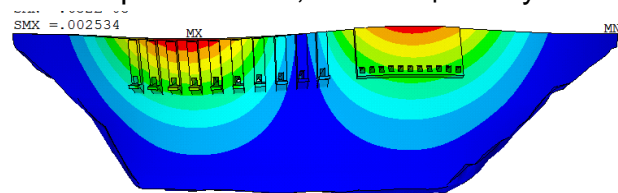
Первая частота, 1.286 Гц. Stadyo.



Вторая частота, 1.325 Гц. МСВ.

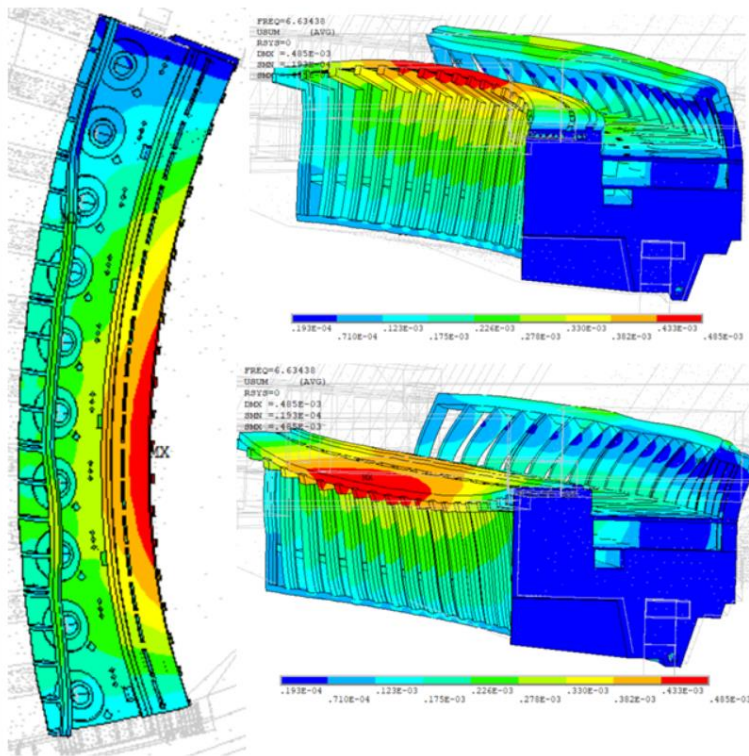


Вторая частота, 1.374 Гц. Stadyo.



Сопоставление расчетных и натуральных собственных частот/форм системы, Гц. УВБ: 500 м

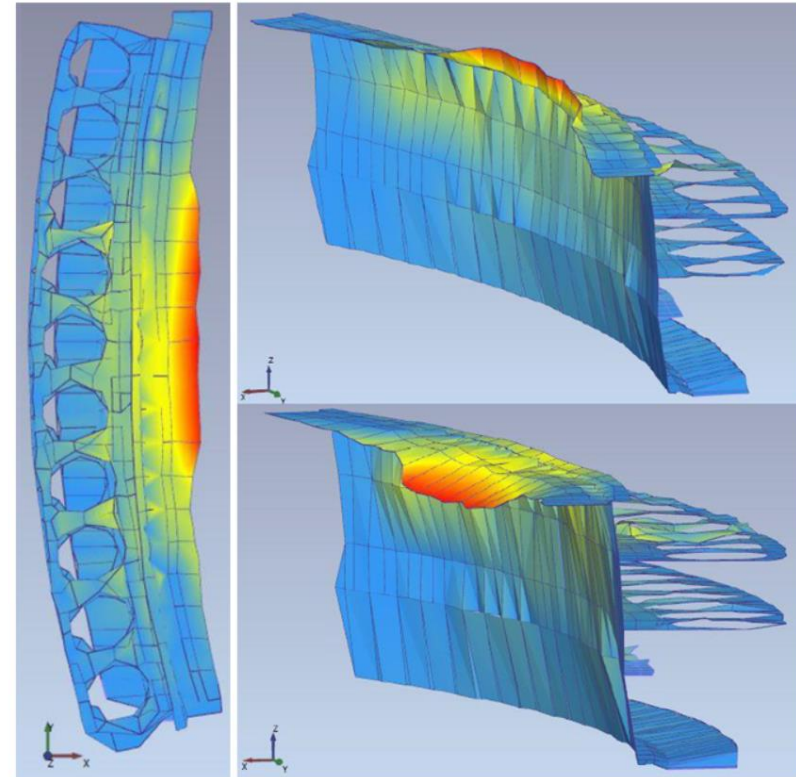
ЗАО НИЦ СтанО  
(ПК ANSYS)



$f = 6.634 \text{ Гц}$

ВНИИГ

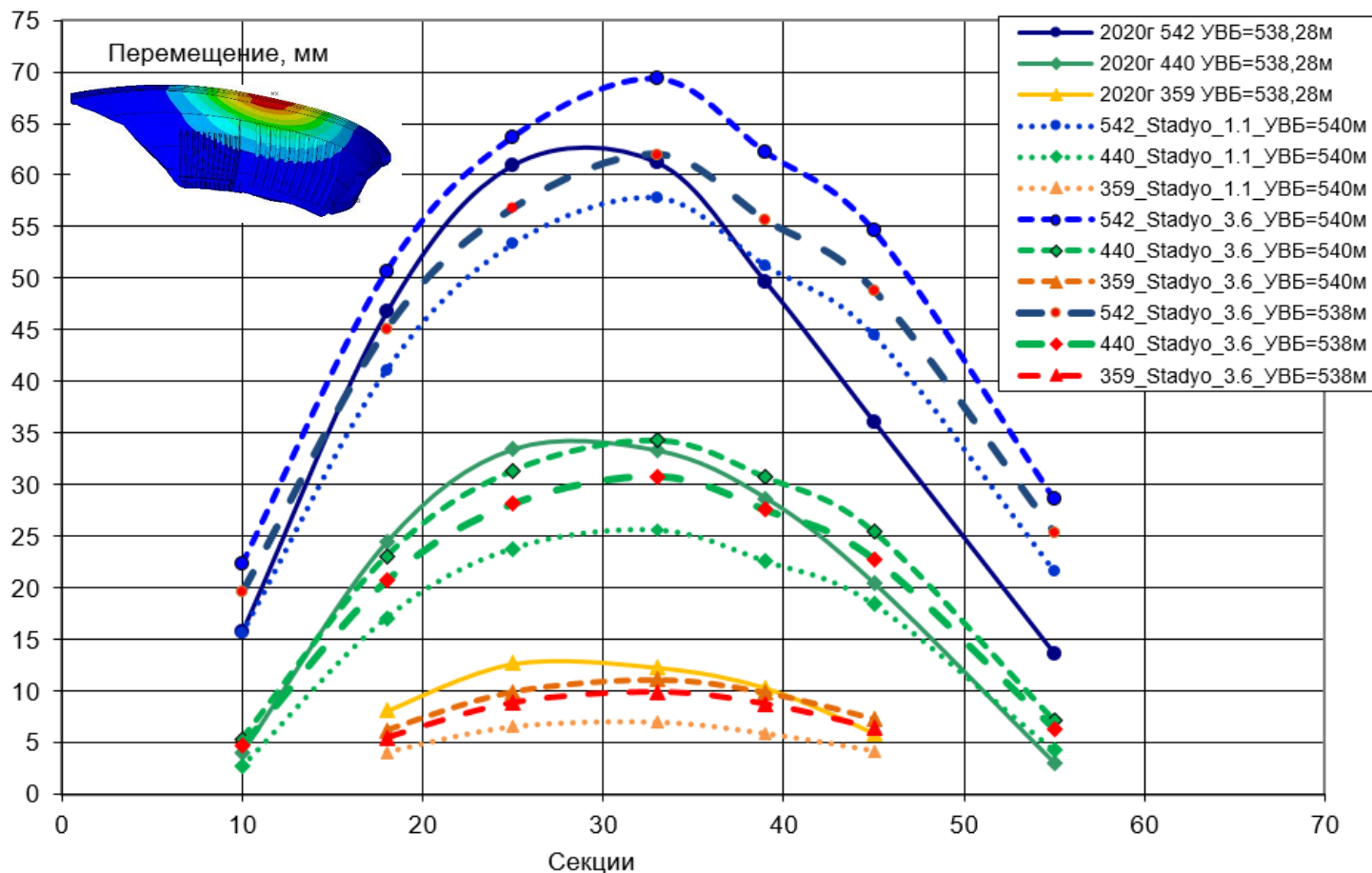
(инструментальное определение собственных частот) 2020 г.



$f = 6.7 \text{ Гц}$

Сопоставление расчетных и измеренных динамических характеристик здания ГЭС

Радиальные перемещения, по ряду отметок при макс УВБ 540/538



Относительные радиальные перемещения гребня плотины в базовой модели на трех отметках при расчетном УВБ 538/540. Сопоставление расчетных и натуральных (мониторинг) данных.



Разработка, верификация и апробация параметризуемой объемной конечноэлементной модели системы **«основание – водохранилище – плотина – здание станции Саяно-Шушенской ГЭС»**



Численное моделирование системы „основание – комплекс сооружений на территории ЛФВЭ ОИЯИ (NICA)“, с учетом геологических и гидрогеологических условий.

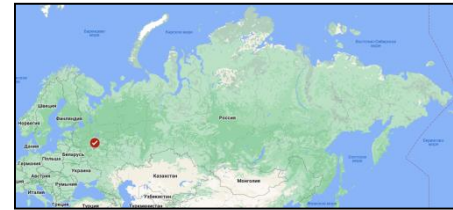


НТС проектирования Мега-сайенс Объекта: **«Сибирский кольцевой источник фотонов» (СКИФ) в г. Новосибирск».**

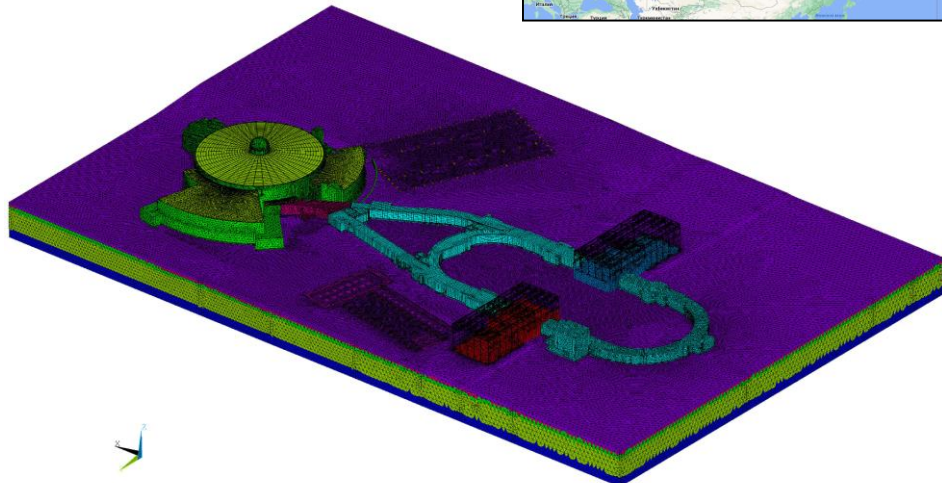


НТС проектирования и строительства **Петербургского спортивно-концертного комплекса** (г. Санкт-Петербург)

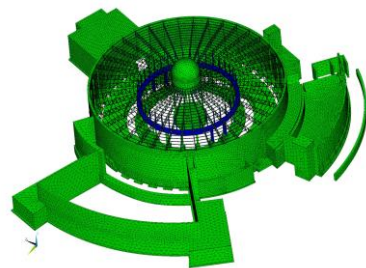




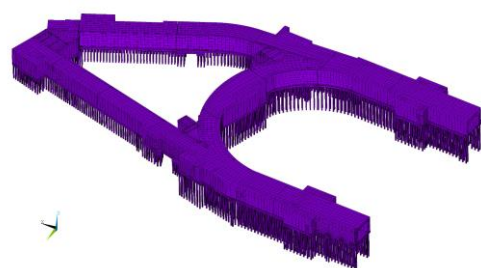
Комплекс сооружений на территории ЛФВЭ ОИЯИ



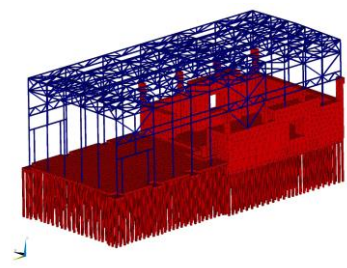
КЭ-модель системы «основание – комплекс сооружений на территории ЛФВЭ ОИЯИ»



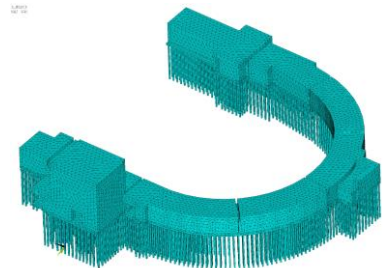
КЭ-модель здания 1



КЭ-модель полукольца E






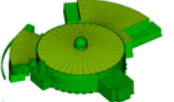

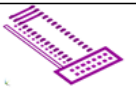
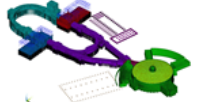
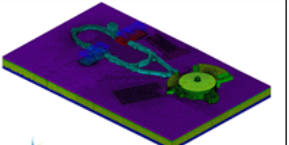


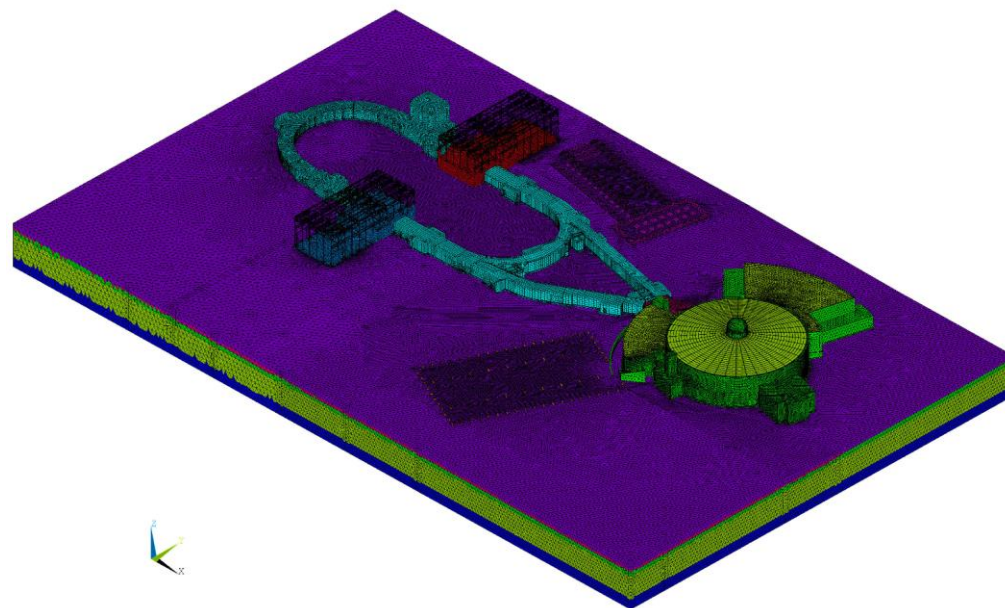
КЭ-модель здания детектора



КЭ-модель полукольца W



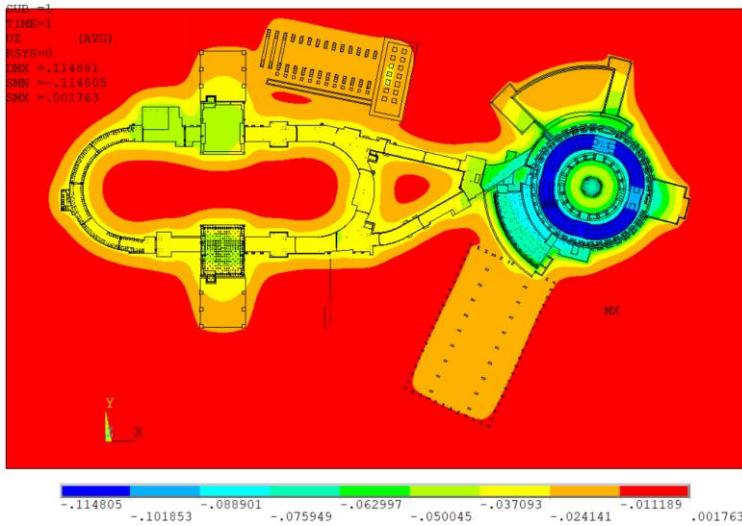
№ д/п	Наименование сооружения	Иллюстрация	Кол-во узлов	Кол-во элементов	Вычислительная размерность
1	Полукольцо W		67 908	94 344	203 724
2	Полукольцо E и КТП		194 365	258 727	583 095
3	MPD		82 506	80 004	247 518
4	SPD		82 726	81 007	248 178
5	Переход к зданию 1		4 744	16 238	14 232
6	Здание 1		98 944	259 779	296 832
7	Здание 205 (фундаменты)		984	171	2 952
8	Здание 1a (фундаменты)		6 785	15 587	20 355
9	Весь комплекс сооружений без грунтового массива		535 802	799 893	1 607 406
10	Весь комплекс сооружений с грунтовым массивом		1 652 905	8 262 082	4 958 715



КЭ-модель системы  
«основание – комплекс сооружений  
на территории ЛФВЭ ОИЯИ»

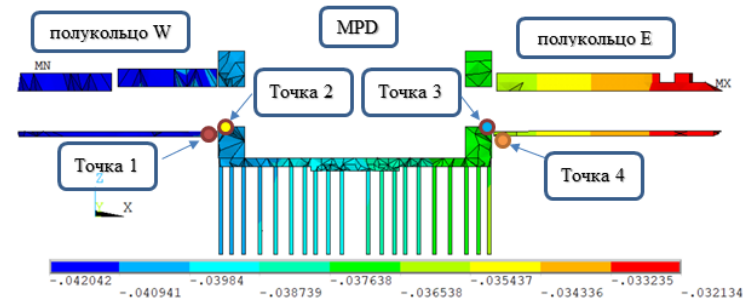


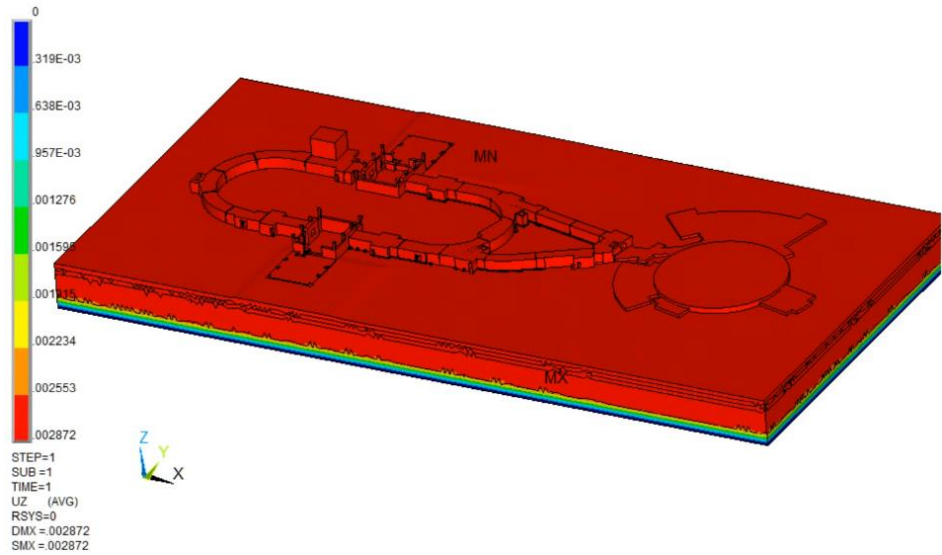
Сопоставление вертикальных перемещений  $U_z$  в зоне деформационных швов между зданием детектора MPD и полукольцами, мм.



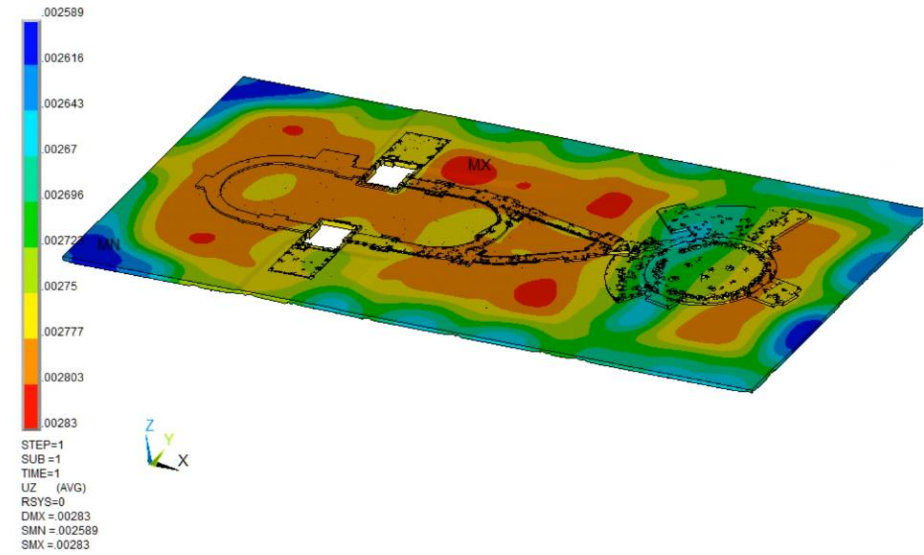
Вертикальные перемещения  $U_z$ , мм. Вид сверху. Собственный вес несущих конструкций всех сооружений + эксплуатационная нагрузка во всех сооружениях комплекса (MPD в позиции 3, SPD в позиции 3, бетонная защита в измерительном павильоне). Неоднородный безмассовый грунт.

№ п/п	Нагрузка			Шов между полукольцом W и MPD			Шов между MPD и полукольцом E				
	Собственный вес	Эксплуатационная (во всех сооружениях)	Положение детектора			Точка 1 (W) $U_z$ , мм	Точка 2 (MPD) $U_z$ , мм	$\delta$ , мм	Точка 3 (MPD) $U_z$ , мм	Точка 4 (E) $U_z$ , мм	$\delta$ , мм
			Позиция 1	Позиция 2	Позиция 3						
1	+	+			+	41,686	40,846	<b>0,840</b>	36,837	36,663	<b>0,174</b>
2	+	+		+		41,595	40,766	<b>0,829</b>	36,701	36,580	<b>0,121</b>
3	+	+	+			41,461	40,629	<b>0,832</b>	36,520	36,455	<b>0,065</b>
4		+			+	3,940	4,677	<b>0,737</b>	4,573	3,797	<b>0,776</b>
5		+			+	3,849	4,598	<b>0,749</b>	4,437	3,714	<b>0,723</b>
6		+	+			3,715	4,460	<b>0,745</b>	4,256	3,589	<b>0,667</b>





Вертикальные перемещения  $U_z$ , м, при  $\Delta h=10$ м.  
Результаты расчета на этапе 1.  
Действие противодействия  
(без учета собственного веса сооружений)



Вертикальные перемещения  $U_z$  в уровне дневной поверхности, м. Результаты расчета на этапе 1.  
Действие противодействия  
(без учета собственного веса сооружений)



Разработка, верификация и апробация параметризуемой объемной конечноэлементной модели системы «**основание – водохранилище – плотина – здание станции Саяно-Шушенской ГЭС**»



Численное моделирование системы „**основание – комплекс сооружений на территории ЛФВЭ ОИЯИ (NICA)**“, с учетом геологических и гидрогеологических условий.



НТС проектирования Мега-сайенс Объекта: «**Сибирский кольцевой источник фотонов**» (СКИФ) в г. Новосибирск».



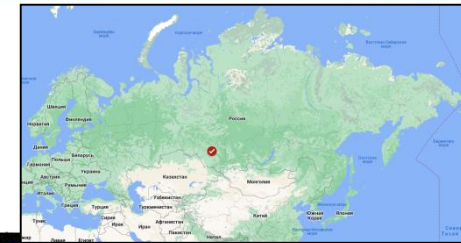
НТС проектирования и строительства **Петербургского спортивно-концертного комплекса** (г. Санкт-Петербург)



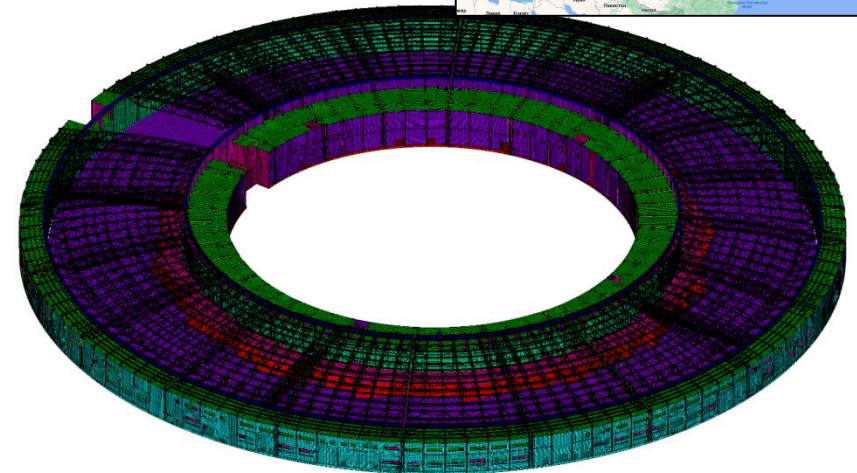
# НТС строительства и проектирования Объекта: «Сибирский кольцевой источник фотонов» (СКИФ) в г. Новосибирск».



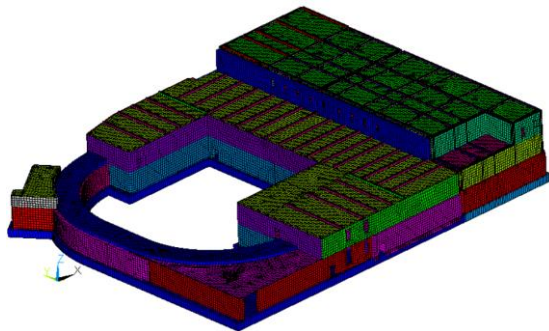
Комплекс сооружений ЦПК «СКИФ»



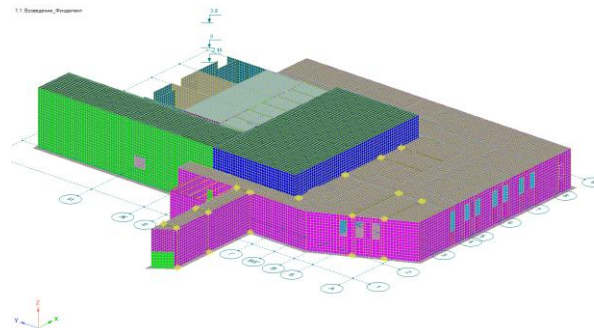
ELEMENTS  
SSC: 100M



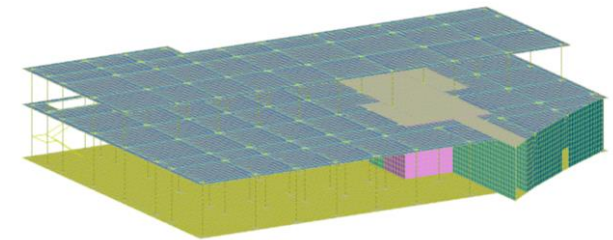
КЭ-модель накопителя



КЭ-модель инжектора

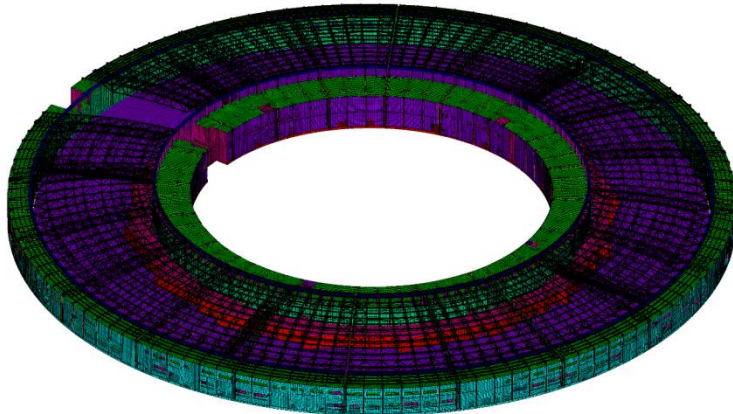


КЭ-модель экспериментальной станции 1-3



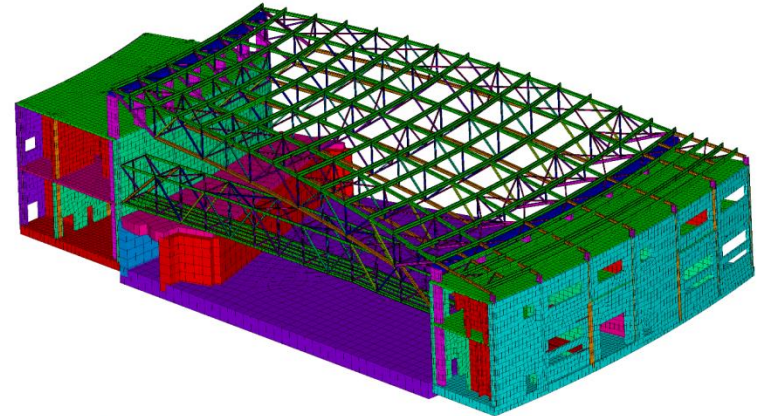
КЭ-модель экспериментальной станции 1-5

ELEMENTS  
SEC: 3000

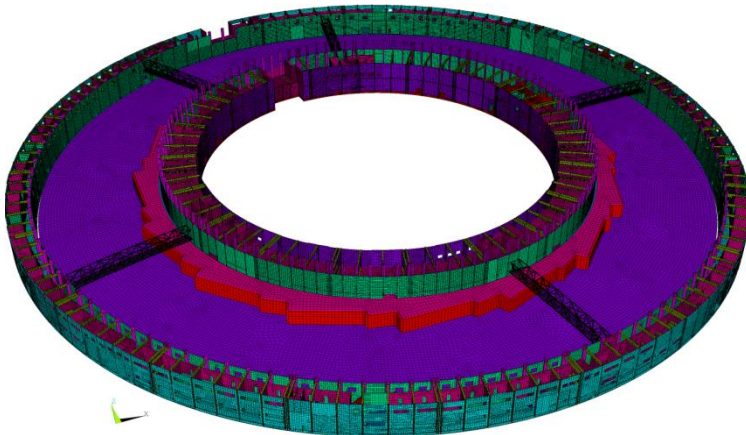


КЭ-модель накопителя

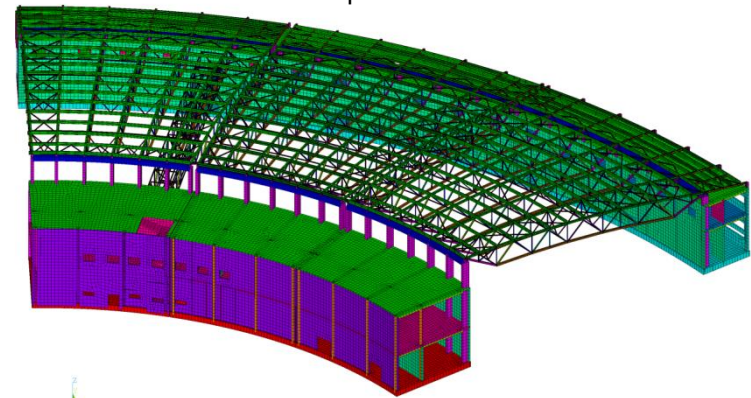
ELEMENTS  
SEC: 1000



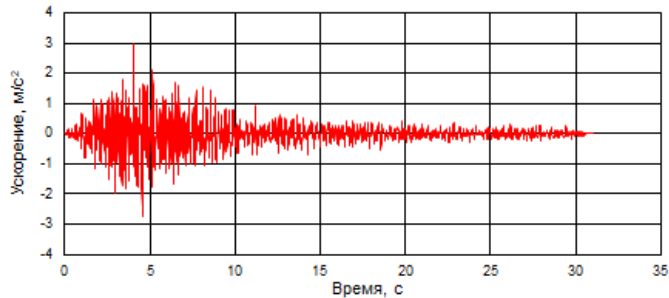
Фрагмент КЭ-модели накопителя  
Сектор в осях 2-3



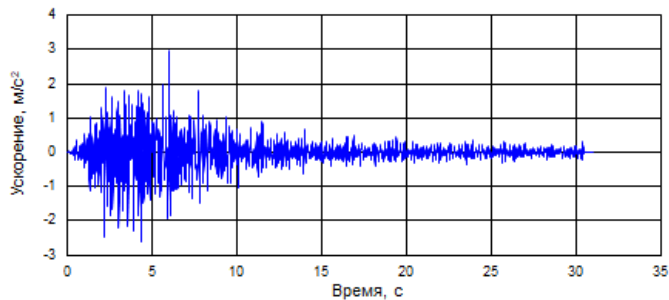
КЭ-модель накопителя  
(отключено отображение покрытия)



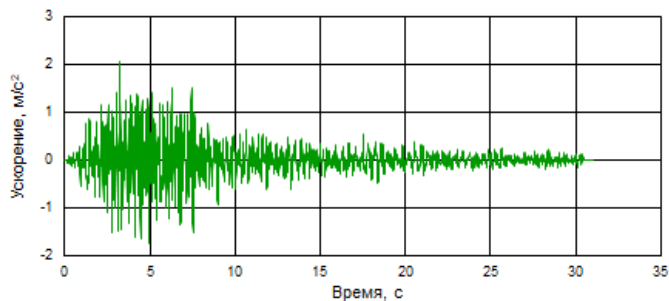
Фрагмент КЭ-модели накопителя  
Сектора в осях 3-6



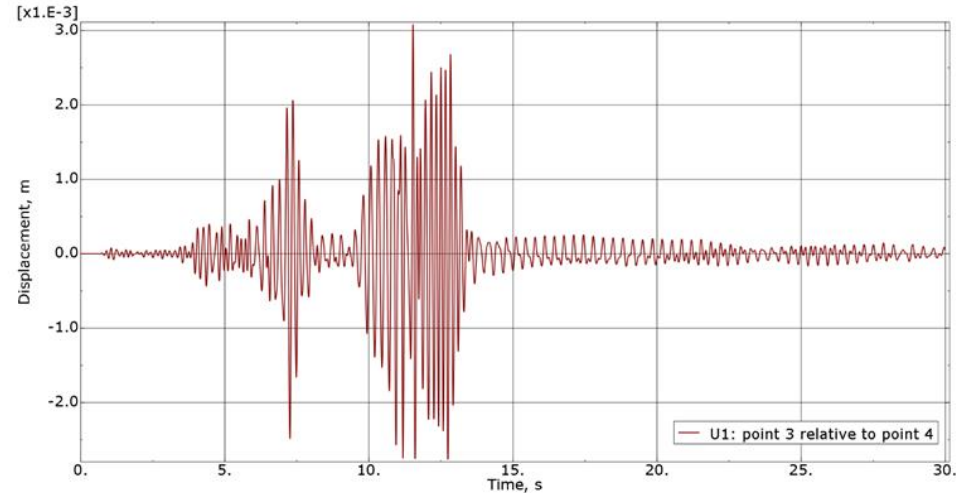
Синтезированная акселерограмма № 1. Компонента X (горизонтальная)



Синтезированная акселерограмма № 1. Компонента Y (горизонтальная)



Синтезированная акселерограмма № 1. Компонента Z (вертикальная)



Взаимные перемещения  $\Delta u_1$  (вдоль оси X) точек 3 и 4

Тип сейсмических волн	Частота, Гц	$\max  \Delta u_1(t) , \text{ м}$	$\max  \Delta u_2(t) , \text{ м}$	$\max  \Delta u_3(t) , \text{ м}$
Волны Лява	3	—	—	0.0110
Волны Лява	5	—	—	0.0027
Волны Рэлея-Лэмба	3	0.0094	0.0048	—
Волны Рэлея-Лэмба	5	0.0031	0.0014	—

Максимальные взаимные перемещения точек расчётной модели, соответствующих расположению опорных узлов стропильных ферм покрытия здания Накопителя, при воздействии сейсмических поверхностных волн разных типов и различной частоты, имеющих максимальные амплитуды ускорений, соответствующие сейсмичности площадки строительства ЦКП «СКИФ», равной 8 баллов по шкале MSK-64 для периода повторяемости сейсмических событий 10000 лет



Разработка, верификация и апробация параметризуемой объемной конечноэлементной модели системы **«основание – водохранилище – плотина – здание станции Саяно-Шушенской ГЭС»**



Численное моделирование системы **„основание – комплекс сооружений на территории ЛФВЭ ОИЯИ (NICA)“**, с учетом геологических и гидрогеологических условий.



НТС проектирования Мега-сайенс Объекта: **«Сибирский кольцевой источник фотонов» (СКИФ) в г. Новосибирск»**.

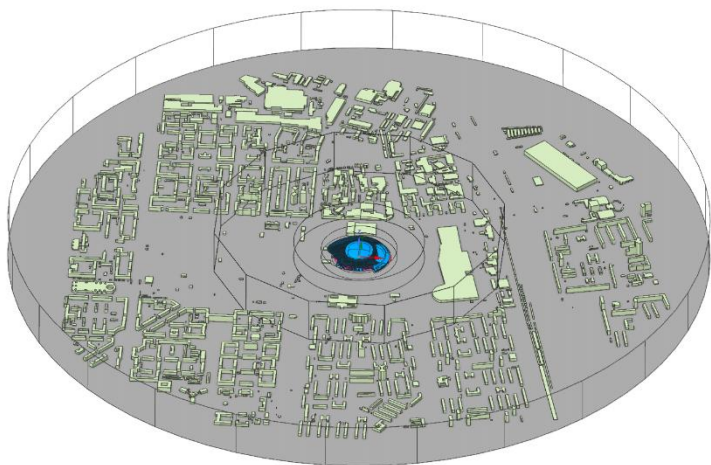


НТС проектирования и строительства **Петербургского спортивно-концертного комплекса** (г. Санкт-Петербург)

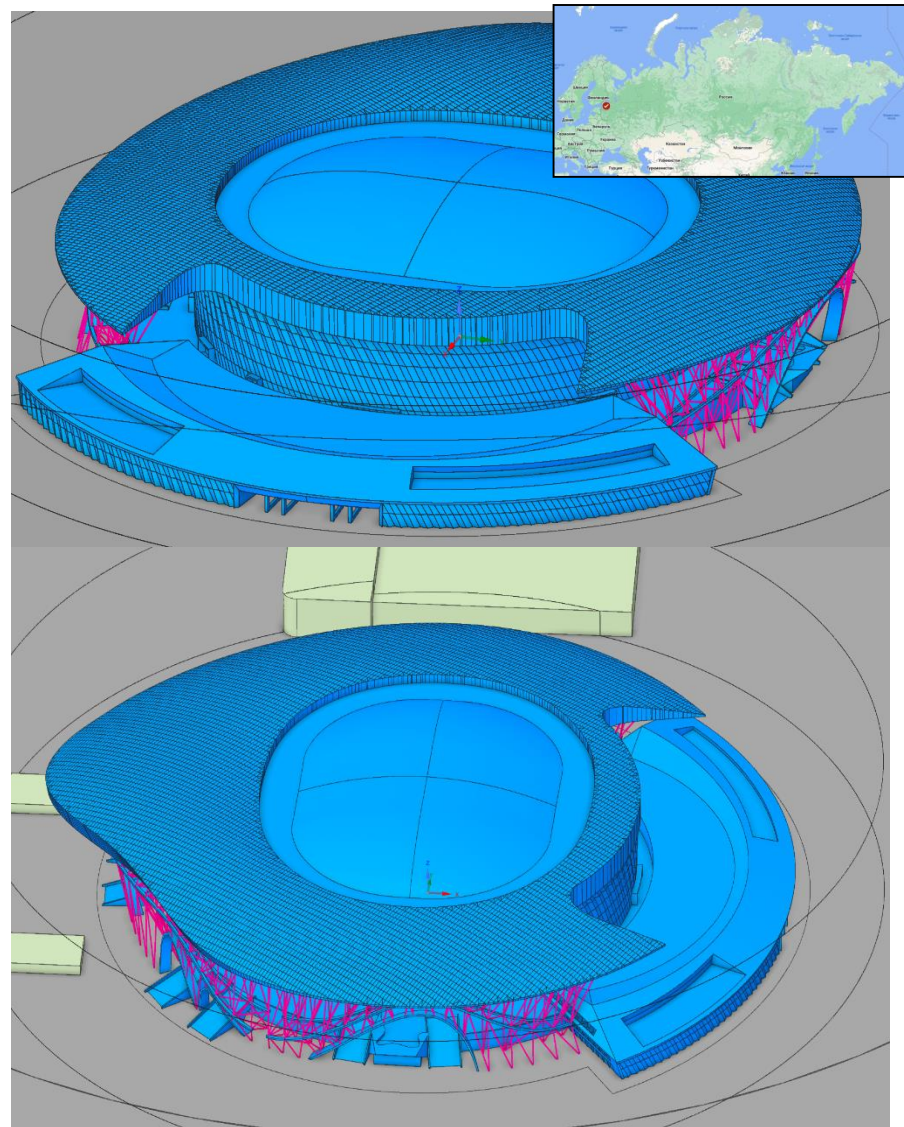




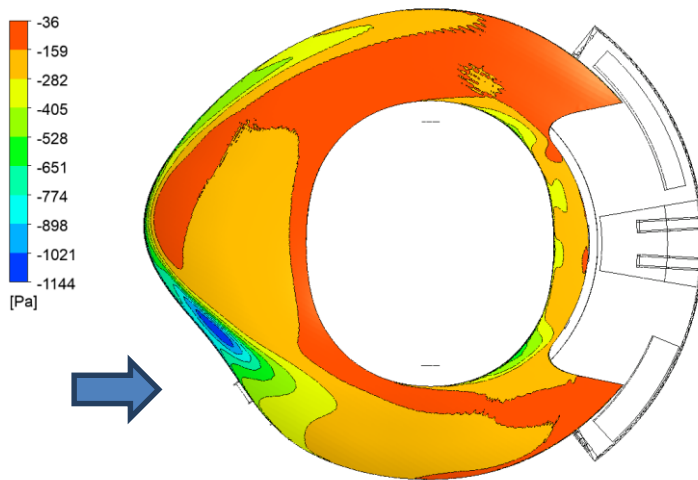
Проект спортивно-концертного комплекса  
в г. Санкт-Петербург



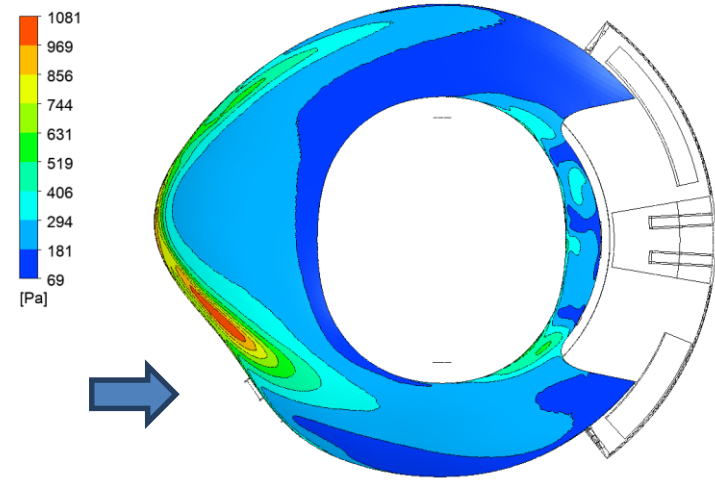
Модель с застройкой. Геометрическая модель. Общий вид



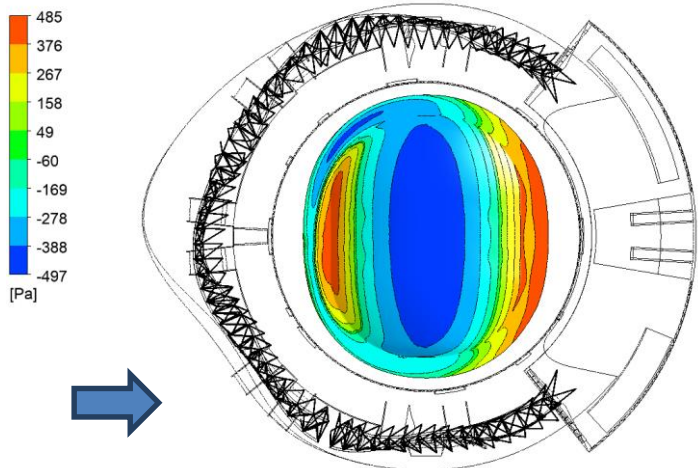
Модель с застройкой. Геометрическая модель.  
Виды вблизи СКК.



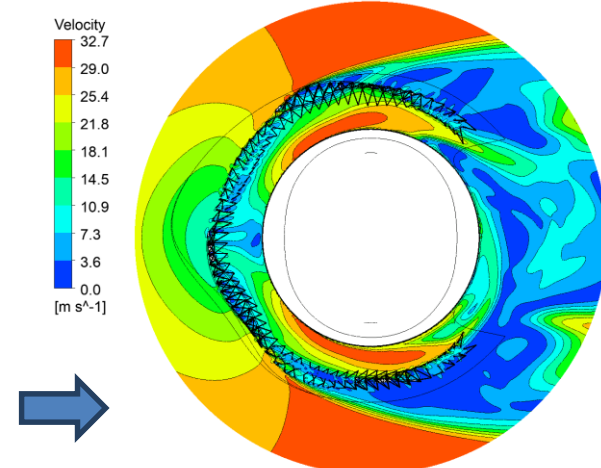
Средняя составляющая ветрового давления (Па) на конструкции Декоративного козырька СКК без учета окружающей застройки. Угол атаки ветра 270°.



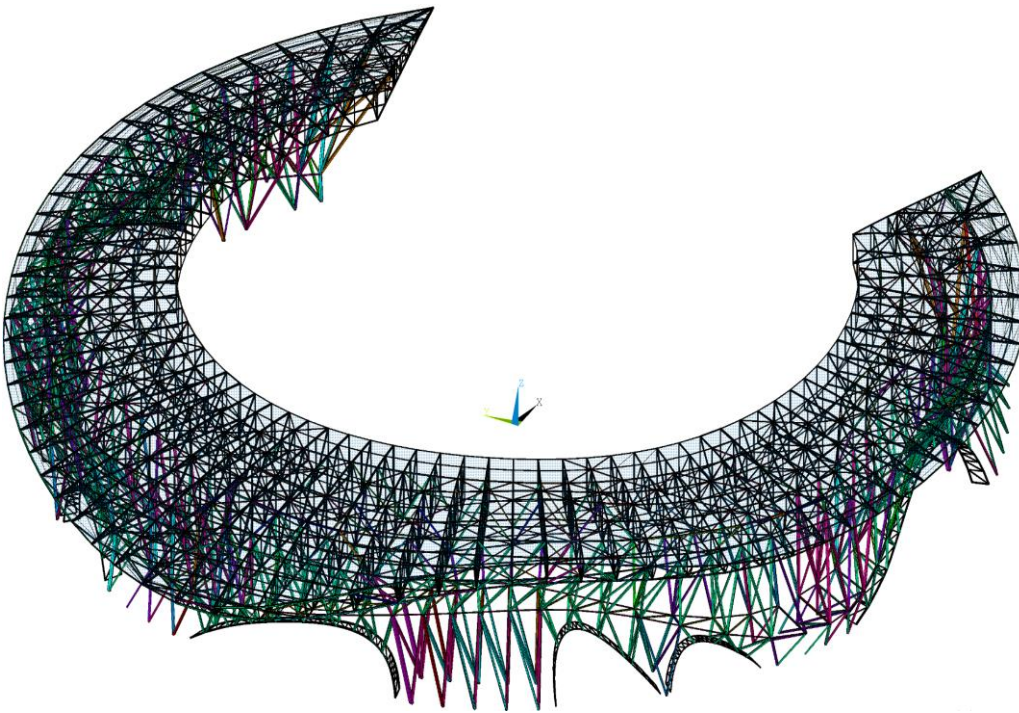
Пулсационная составляющая ветрового давления (амплитуда, Па) на конструкции Декоративного козырька СКК без учета окружающей застройки. Угол атаки ветра 270°.



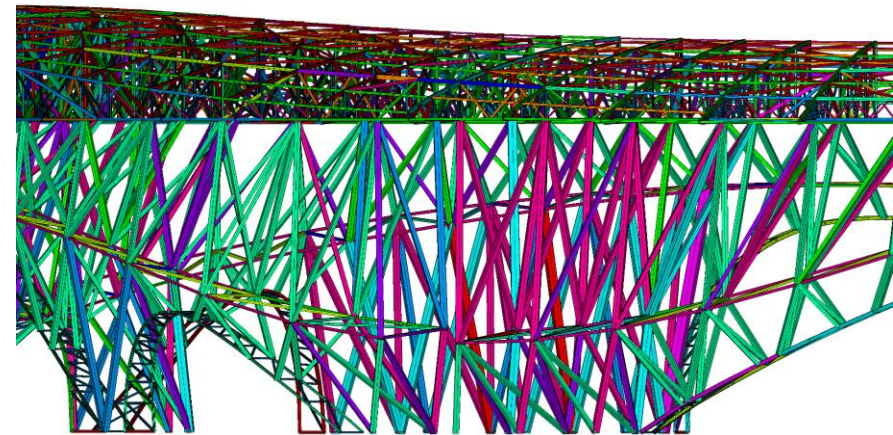
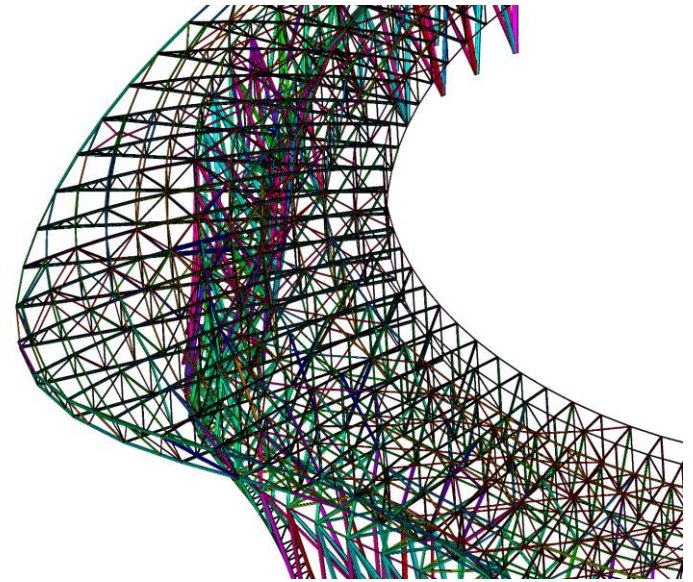
Суммарное ветровое давление (Па) на конструкции Купола СКК без учета окружающей застройки. Угол атаки ветра 270°.



Средние скорости ветра (м/с) вокруг СКК на высоте 20м над уровнем земли. Угол атаки ветра 270° – без учета окружающей застройки.

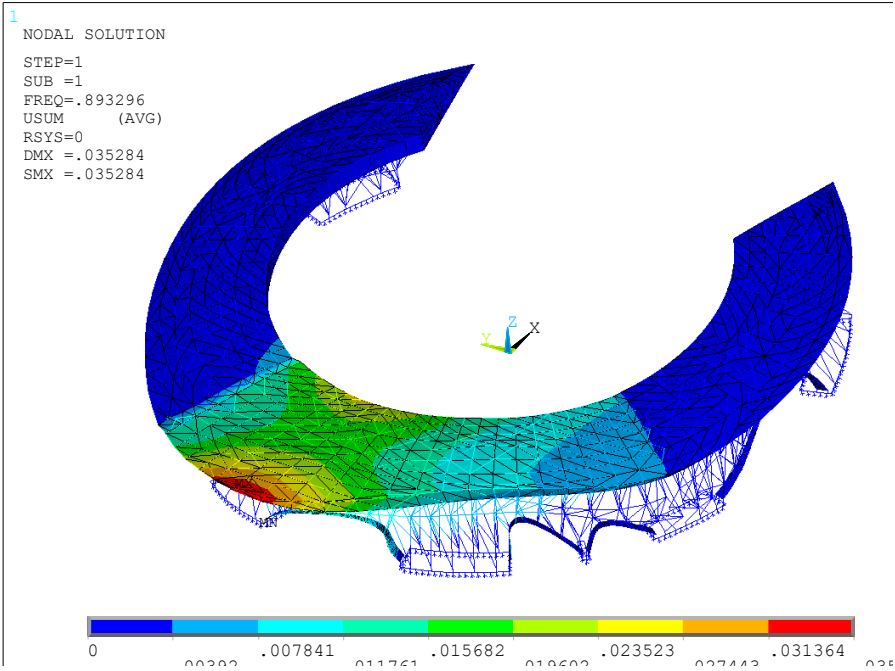


КЭ-модель декоративного козырька

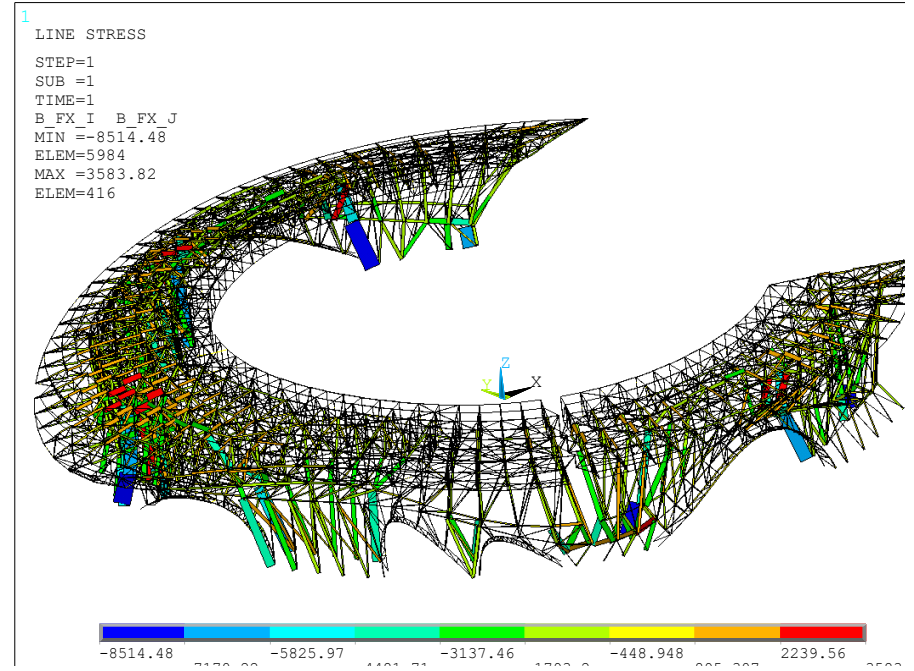


Фрагменты КЭ-модели декоративного козырька

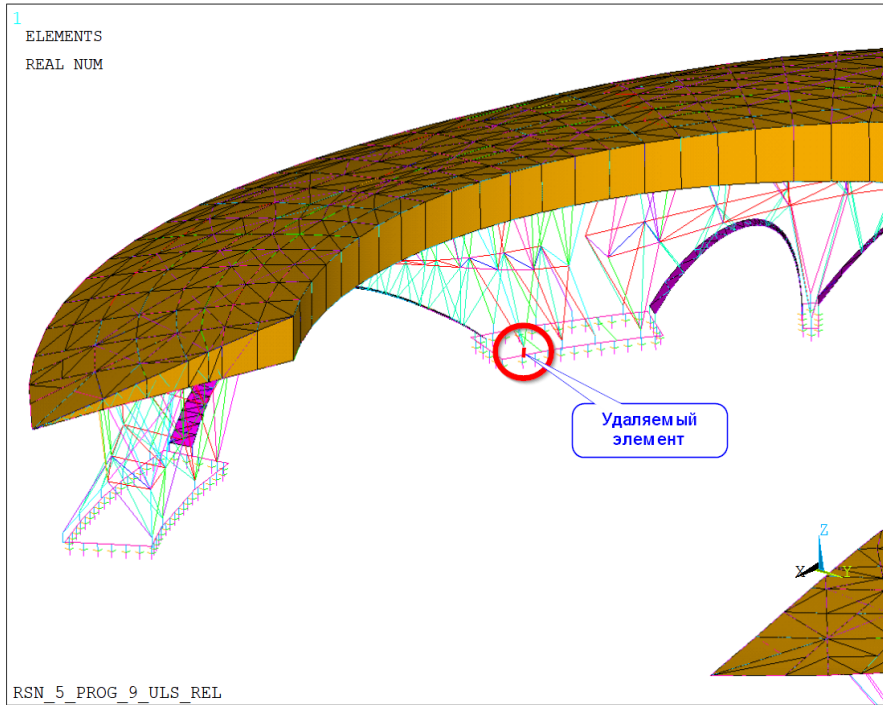




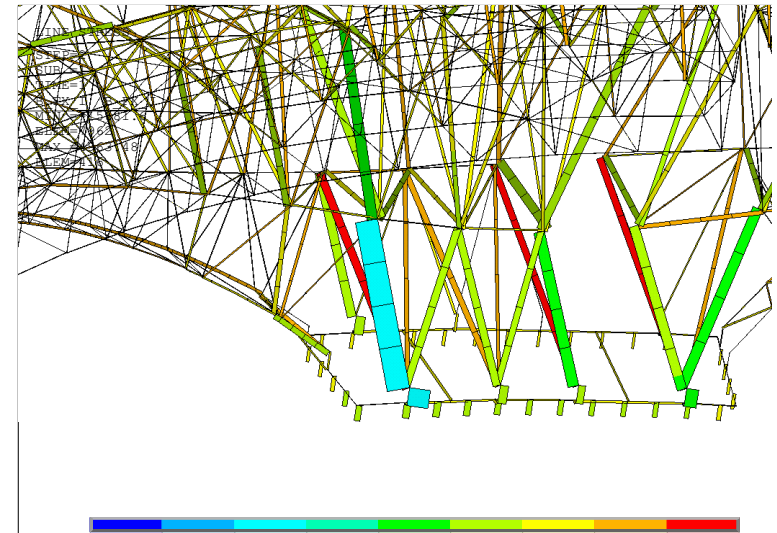
1-я собственная форма колебаний, 0.893 Гц



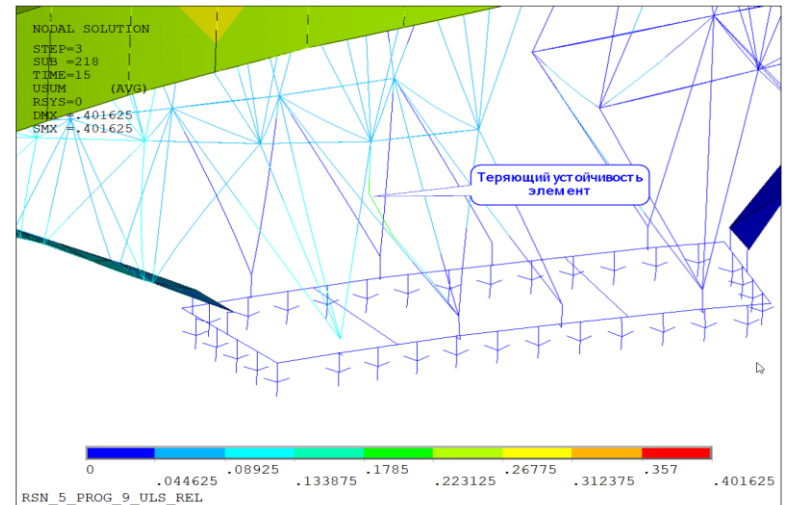
Продольные усилия в элементах, кН



Расчет на прогрессирующее обрушение, разрушение наиболее нагруженного узла колонны



Продольные усилия в элементах до разрушения элемента, кН

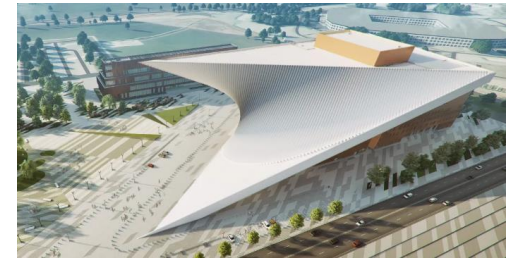


Деформированная схема. Суммарные перемещения, м

НТС проектирования Объекта: **«Театр оперы и балета»**  
(г. Севастополь)



НТС проектирования Объекта: **«Театр оперы и балета»**  
(г. Калининград)



НТС проектирования Объекта: **«Театр оперы и балета»**  
(г. Кемерово)



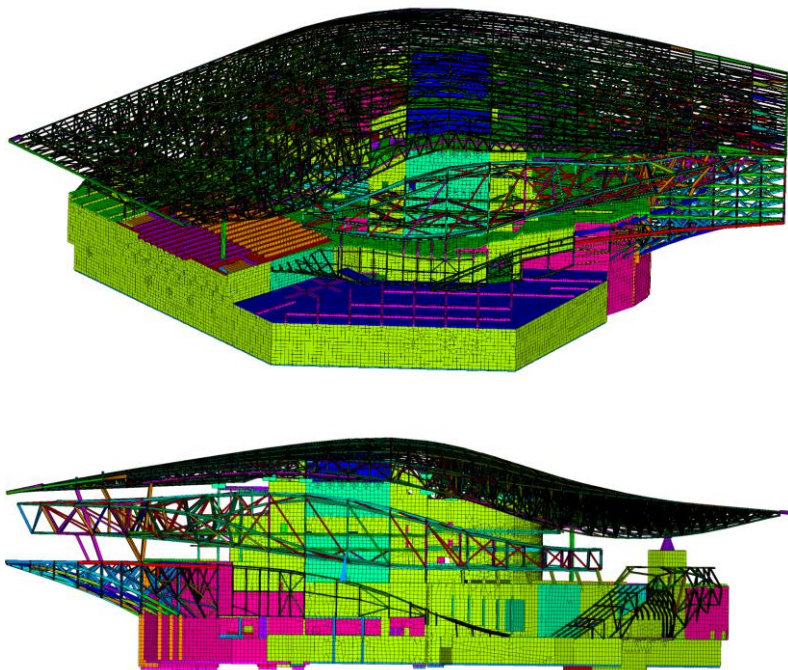
НТС проектирования, включая комплексные  
аэродинамические исследования, для Объекта —  
**«Серфинг-парк „Волна“»**



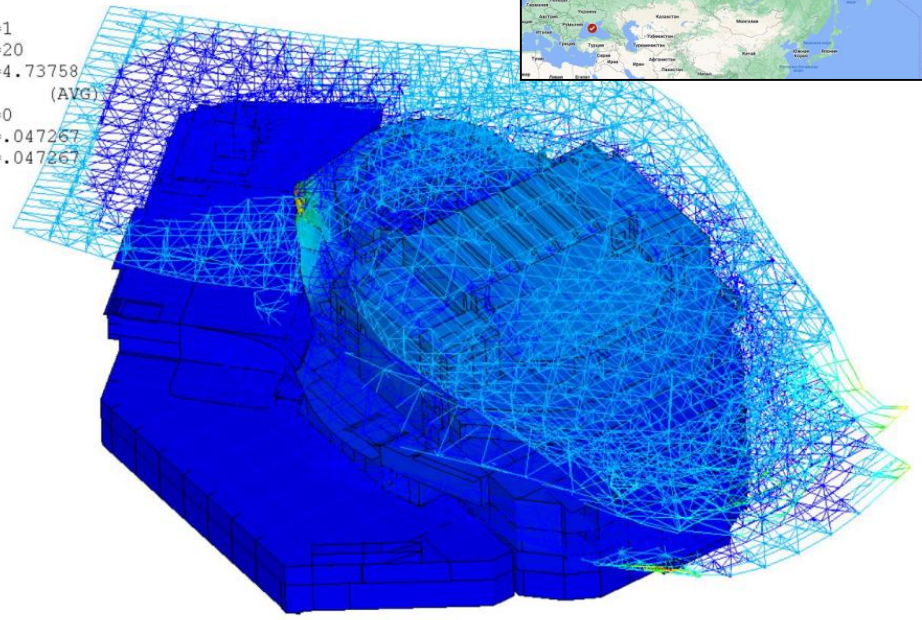
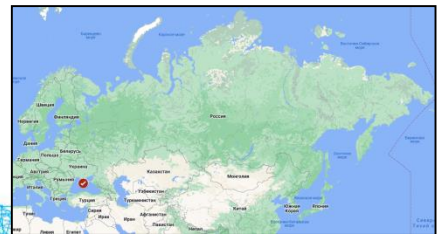
# НТСП, для Объекта – «Театр оперы и балета» (г. Севастополь)



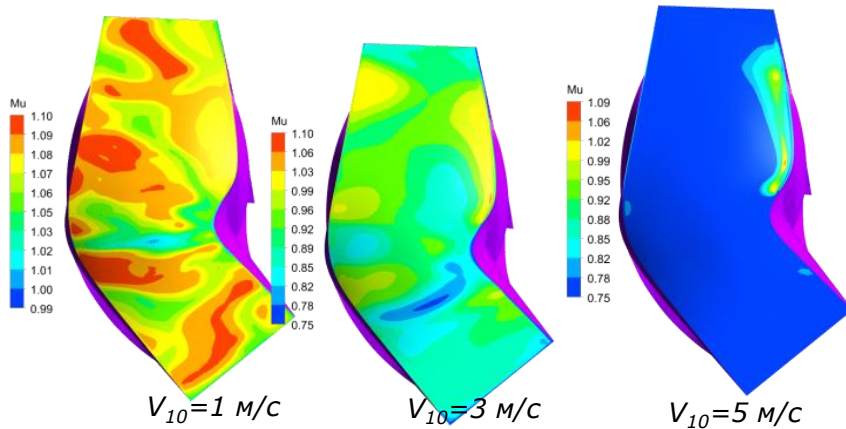
Научно-техническое сопровождение проектирования, включая численное моделирование ветровых и снеговых нагрузок, расчетные исследования напряженно-деформированного состояния, динамики, прочности и устойчивости несущих конструкций при нормативно регламентированных сочетаниях основных и особых (сейсмических и аварийных) нагрузок и воздействий и сопоставительный анализ результатов альтернативных расчетов, для Объекта – «Театр оперы и балета» (г. Севастополь)



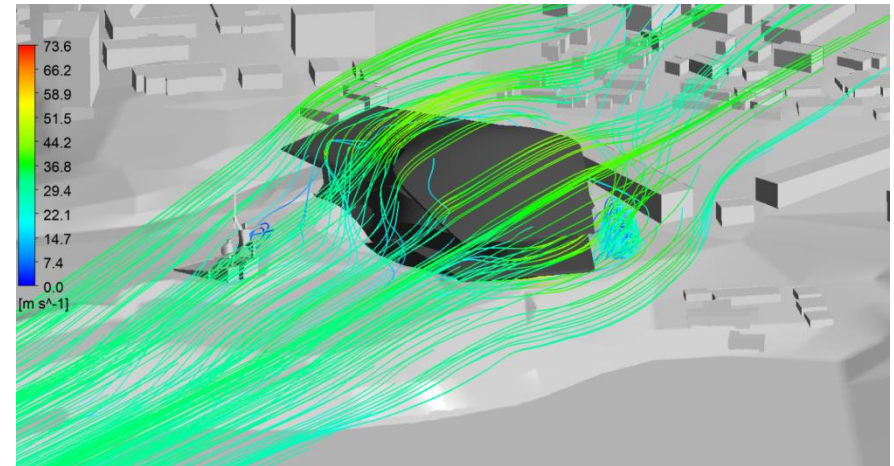
```
STEP=1
SUB =20
FREQ=4.73758
USUM (AVG)
RSYS=0
DMX =.047267
SMX =.047267
```



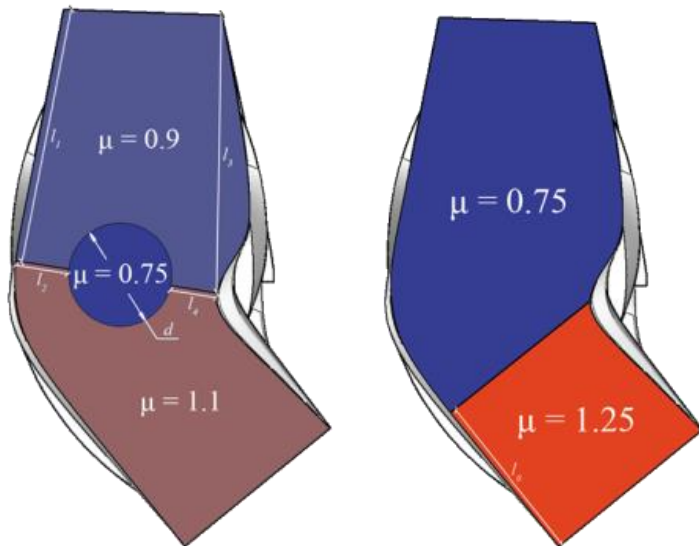
# НТСП, для Объекта – «Театр оперы и балета» (г. Севастополь)



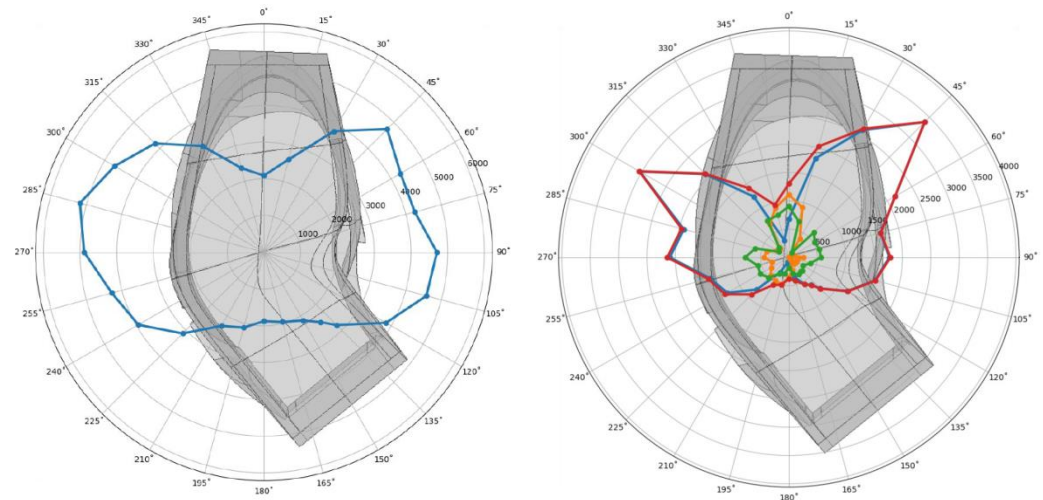
Расчетное распределение коэффициента  $\mu$



Линии тока ветра в характерных сечениях, м/с.



Рекомендуемые схемы коэффициента  $\mu$   
для прочностных расчетов

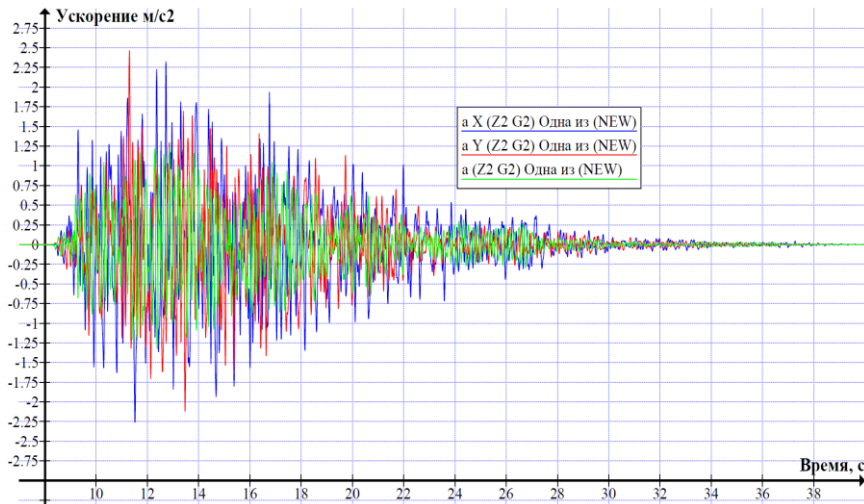


Покрытие

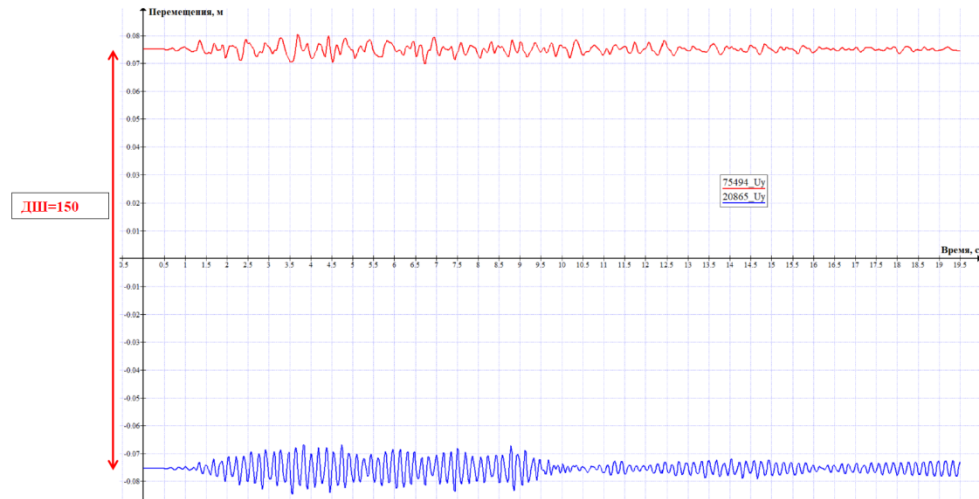
Стены

Суммарные расчетные ветровые нагрузки

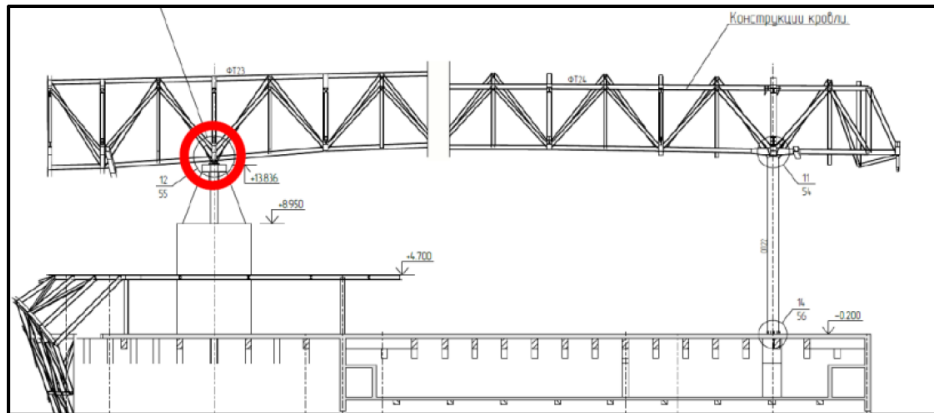
# НТСП, для Объекта – «Театр оперы и балета» (г. Севастополь)



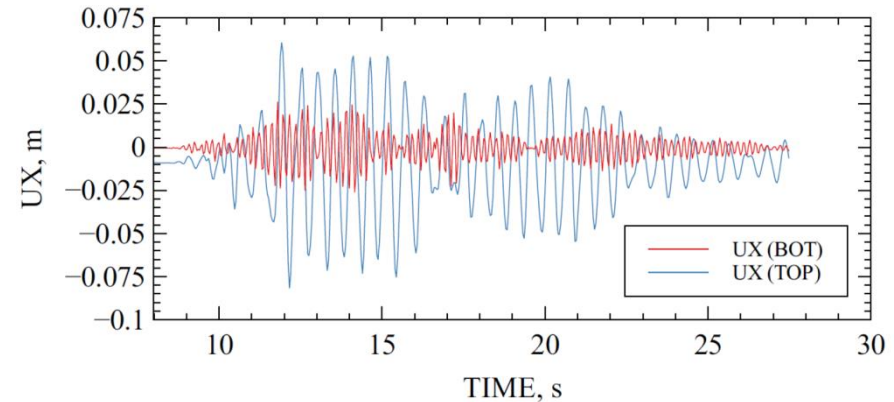
Трехкомпонентная акселерограмма (одна из набора).  
Шаг акселерограммы по времени 0.01 с. Диапазон 8-40 с.



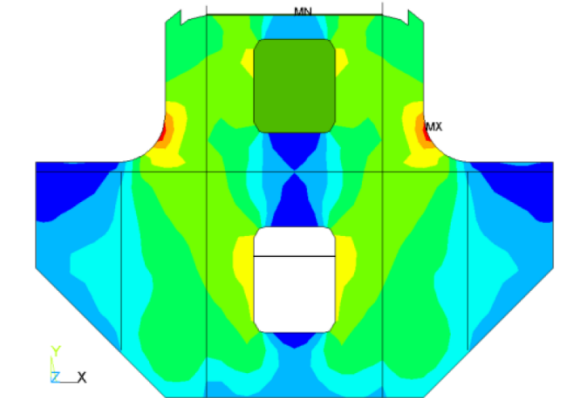
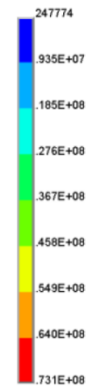
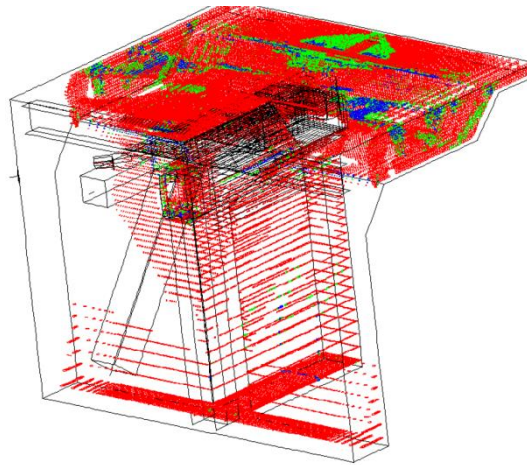
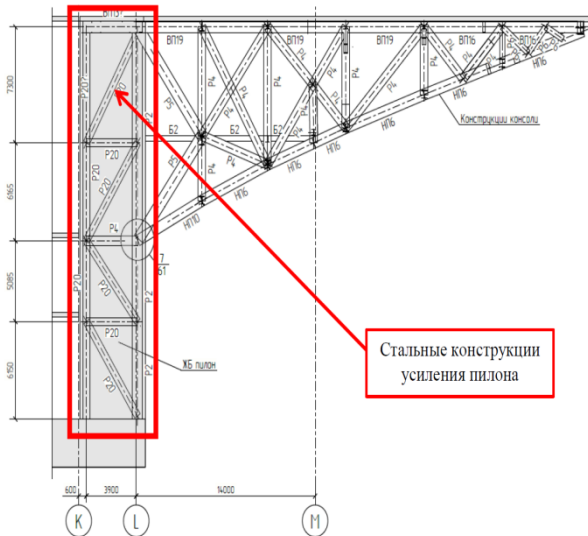
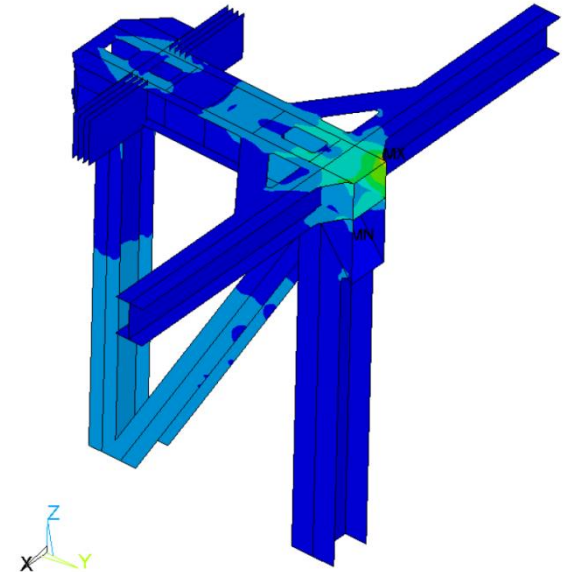
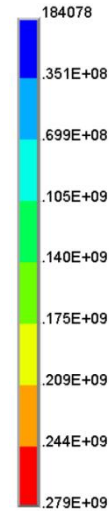
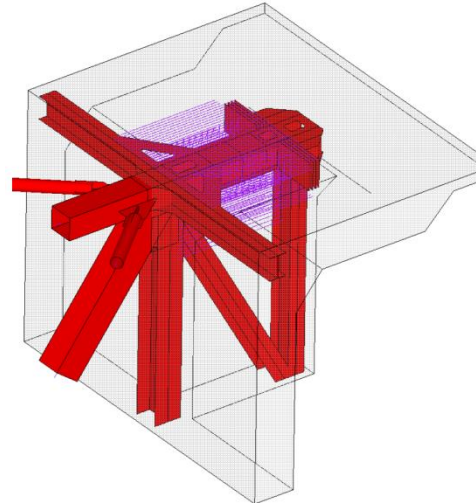
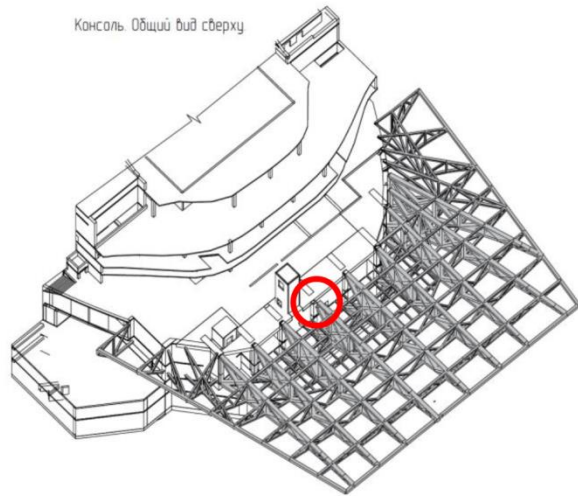
Оценка возможности соударения соседних сейсмических блоков



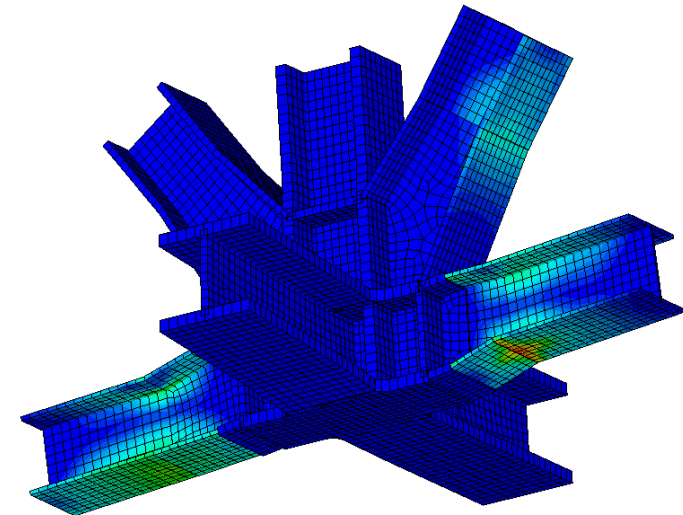
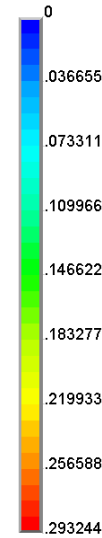
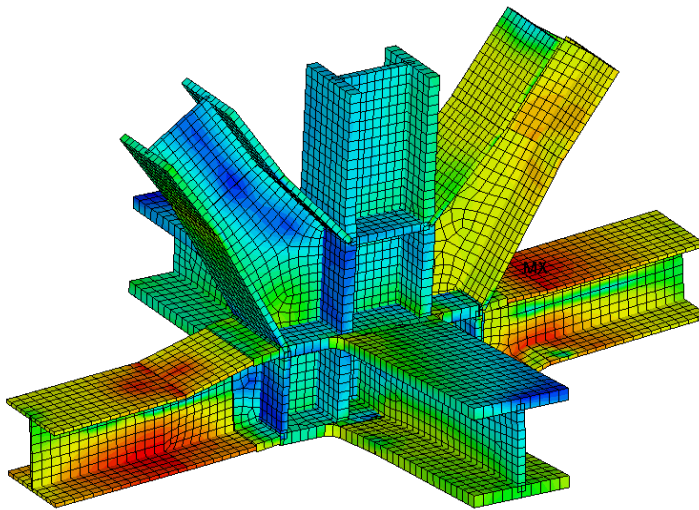
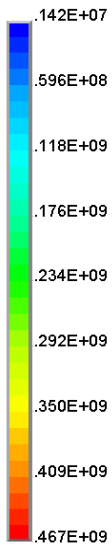
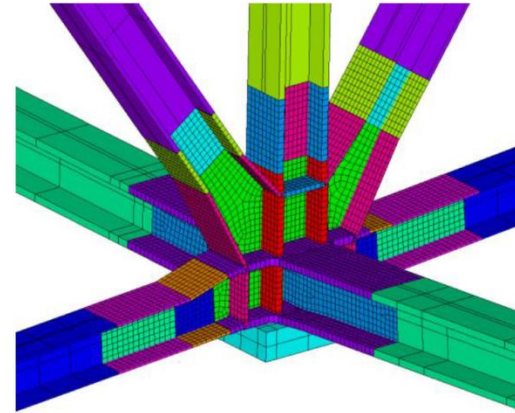
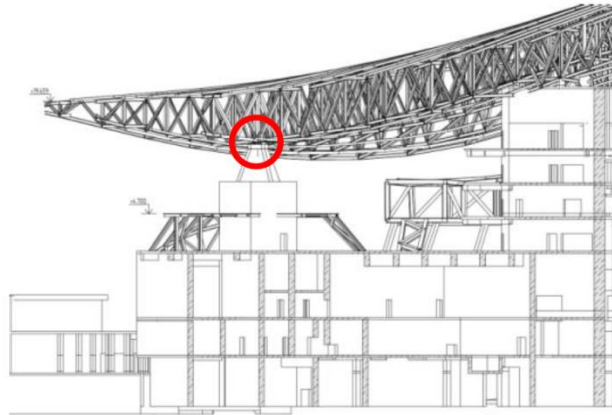
Расчетная оценка всесторонне подвижной опоры



## Расчет сложных конструктивных узлов



## Расчет сложных конструктивных узлов

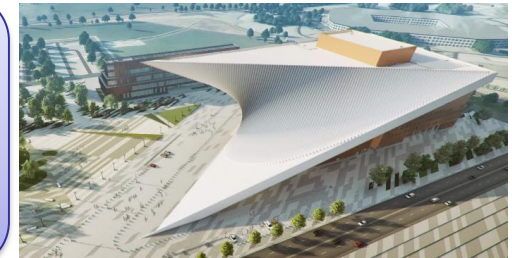




НТС проектирования Объекта: **«Театр оперы и балета»**  
(г. Севастополь)



НТС проектирования Объекта: **«Театр оперы и балета»**  
(г. Калининград)



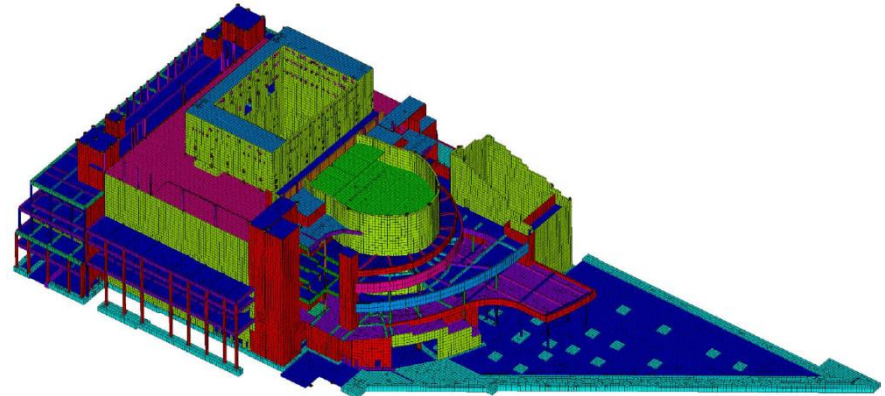
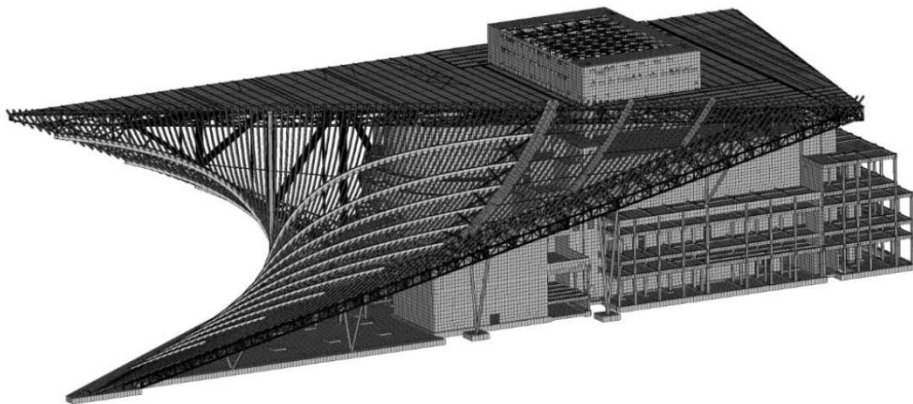
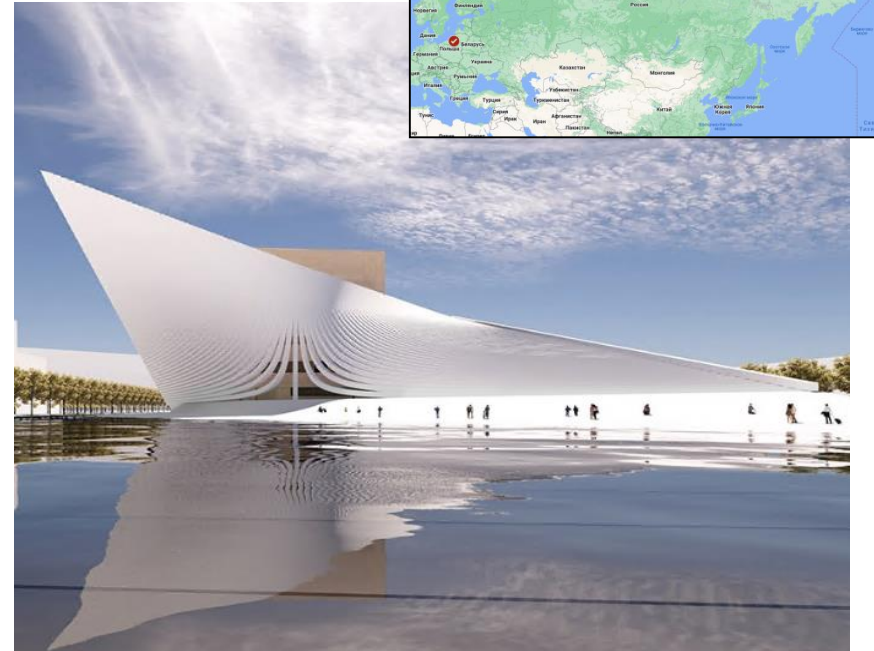
НТС проектирования Объекта: **«МиТОК»**  
(г. Кемерово)



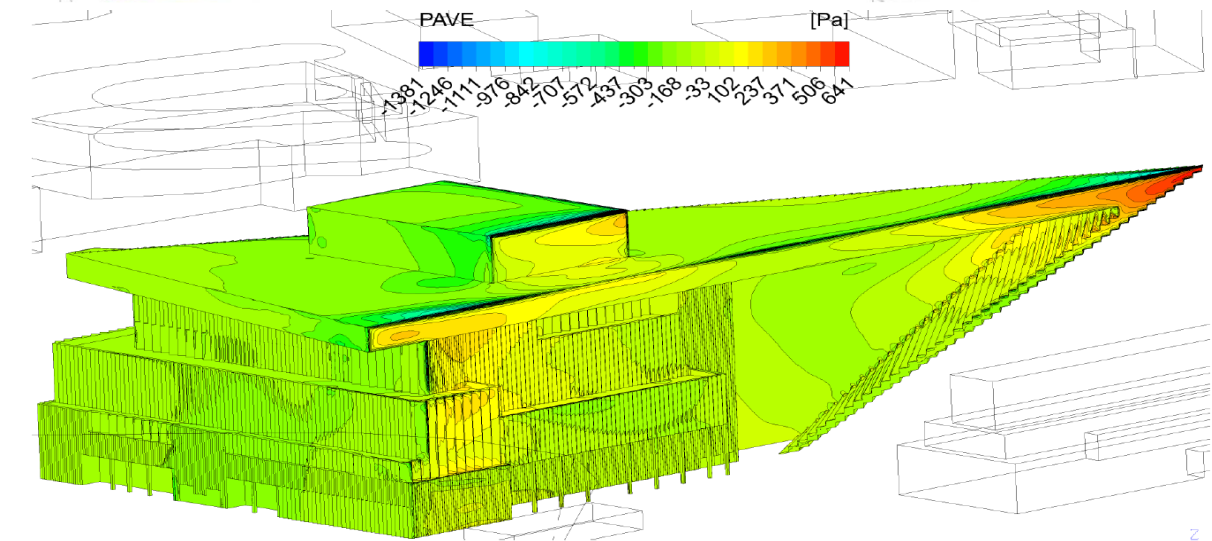
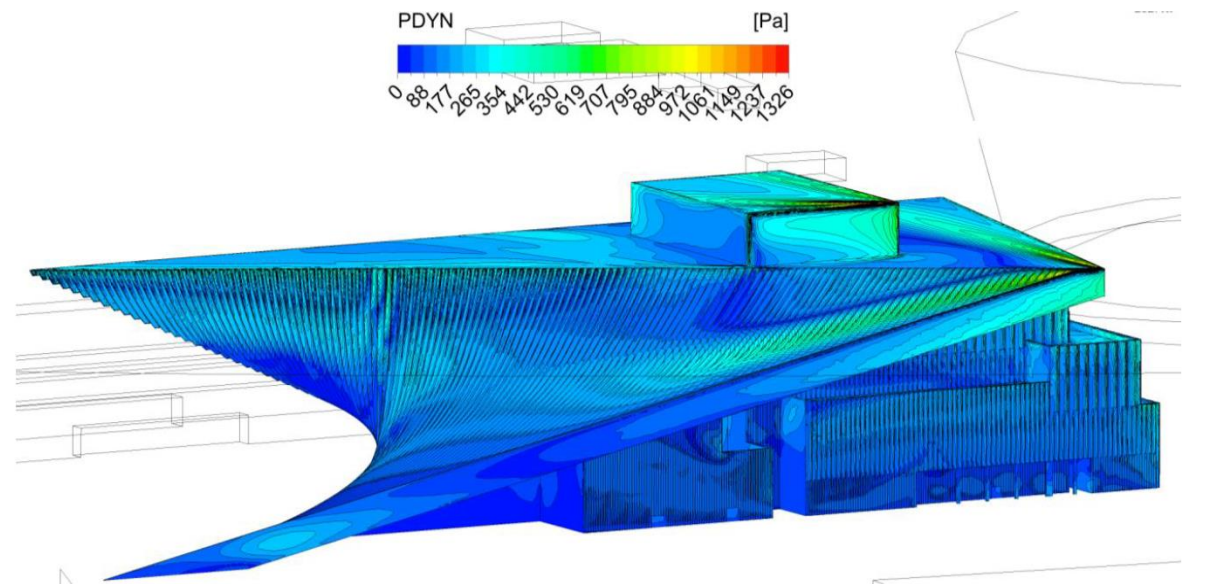
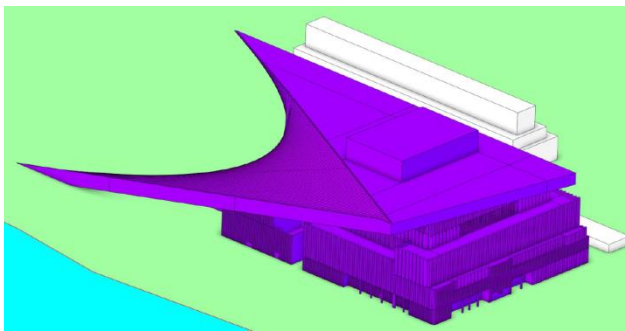
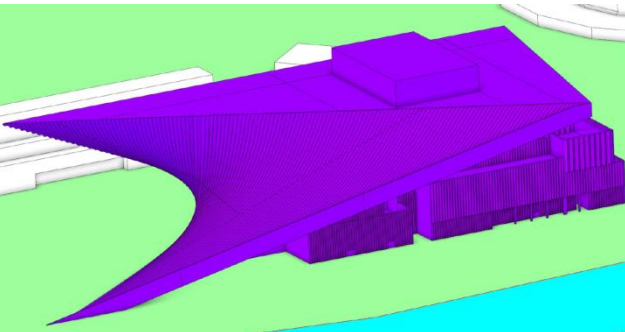
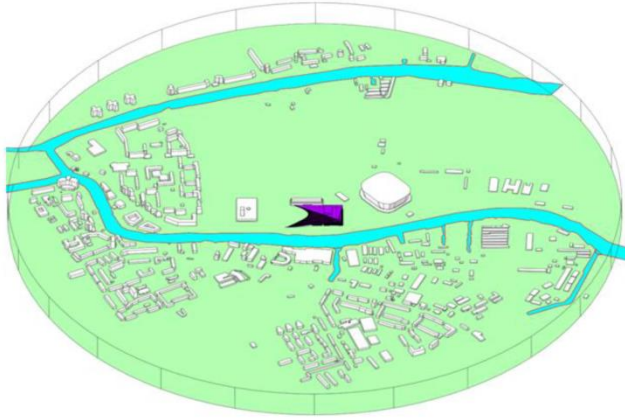
НТС проектирования, включая комплексные  
аэродинамические исследования, для Объекта —  
**«Серфинг-парк „Волна“»**



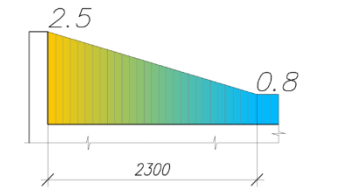
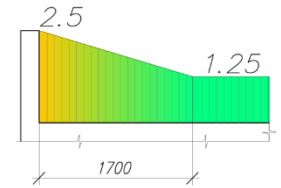
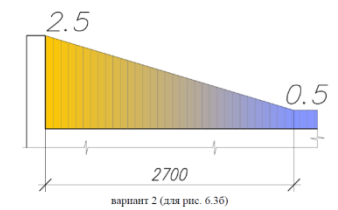
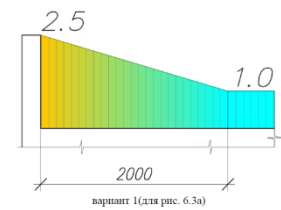
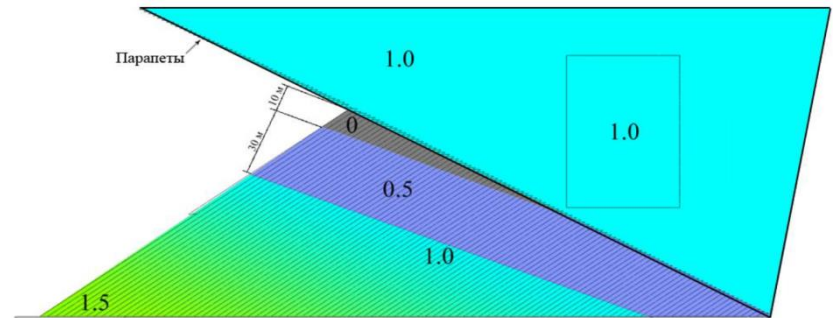
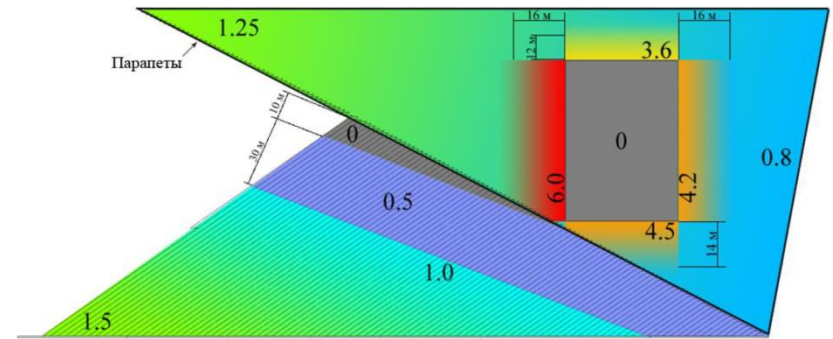
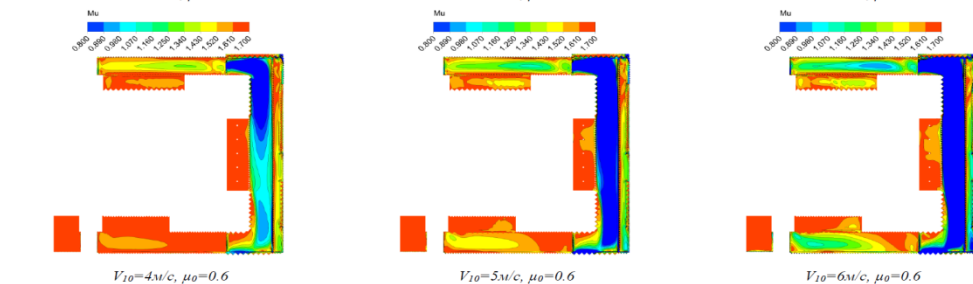
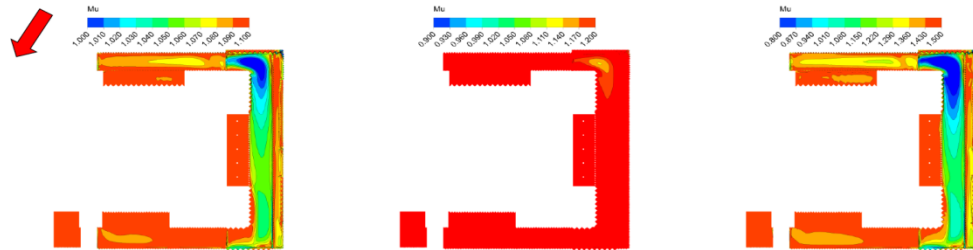
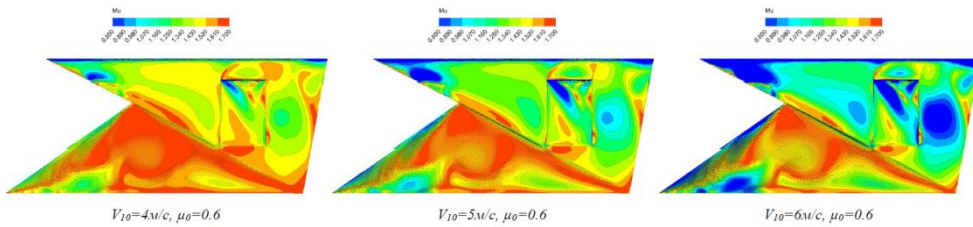
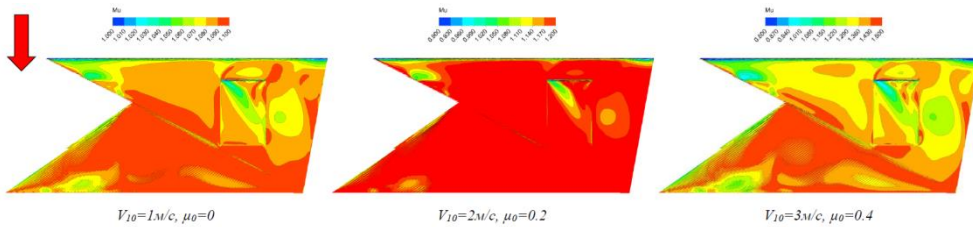
# НТСП, для Объекта – «Театр оперы и балета» (г. Калининград)



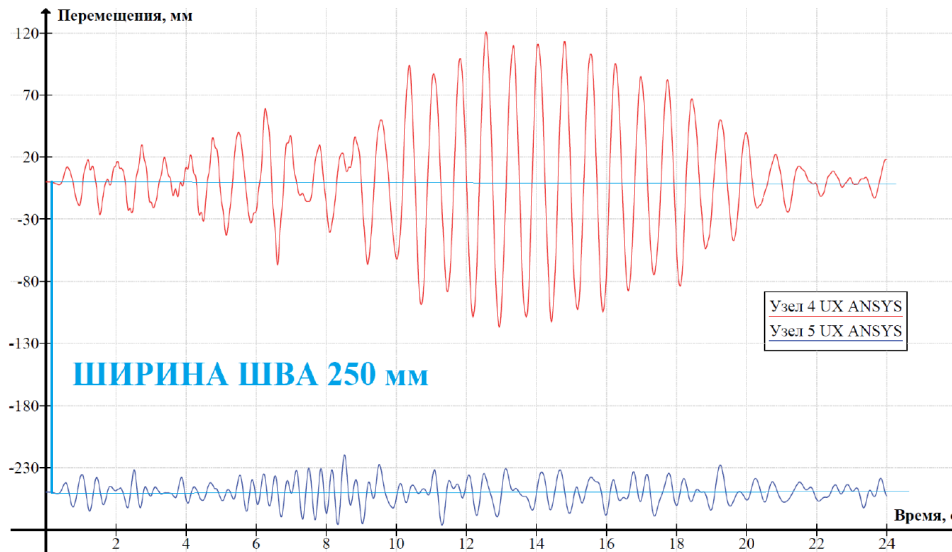
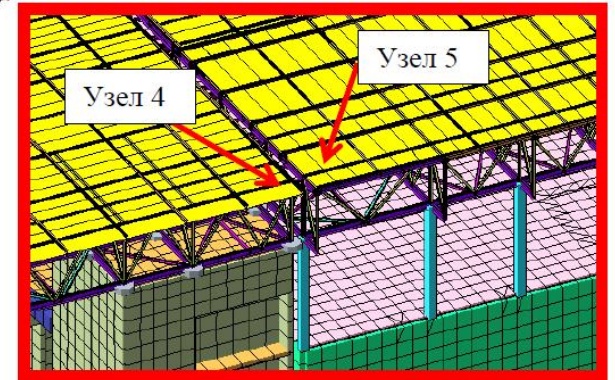
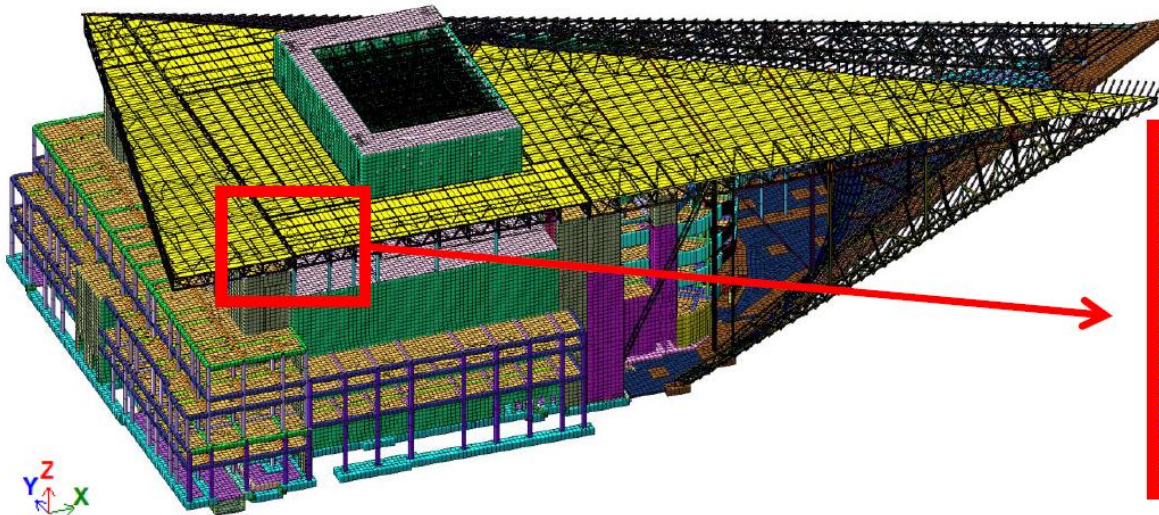
# НТСП, для Объекта – «Театр оперы и балета» (г. Калининград)



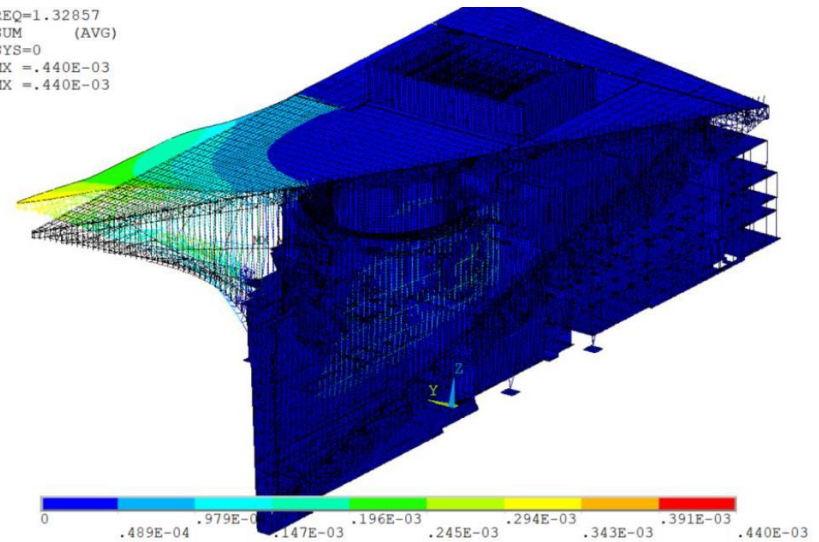
# НТСП, для Объекта – «Театр оперы и балета» (г. Калининград)



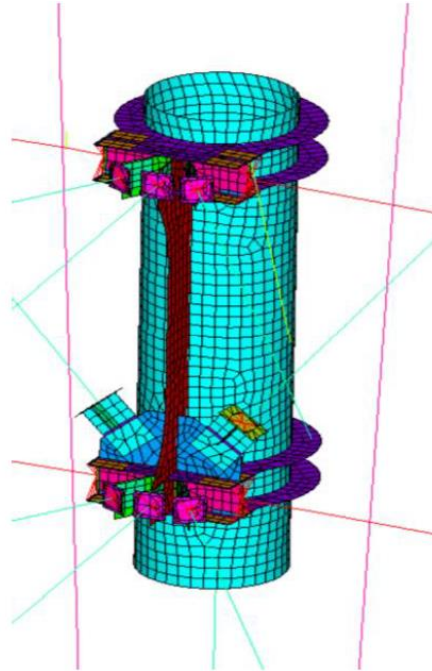
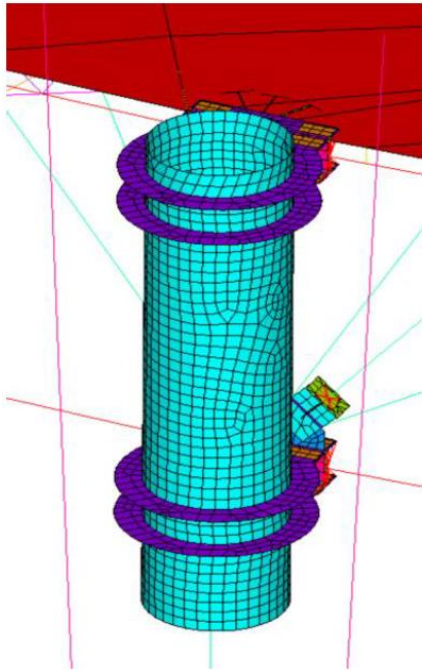
# НТСП, для Объекта – «Театр оперы и балета» (г. Калининград)



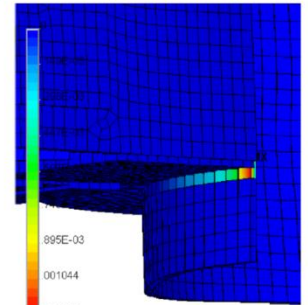
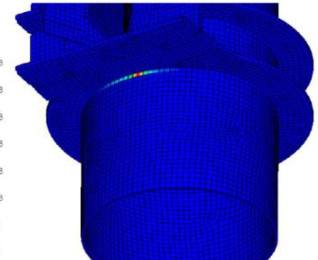
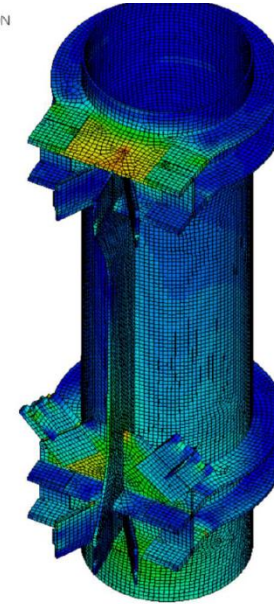
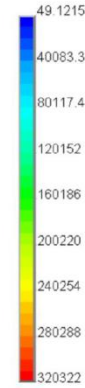
FREQ=1.32857  
USUM (AVG)  
RSYS=0  
DMX =.440E-03  
SMX =.440E-03



# НТСП, для Объекта – «Театр оперы и балета» (г. Калининград)

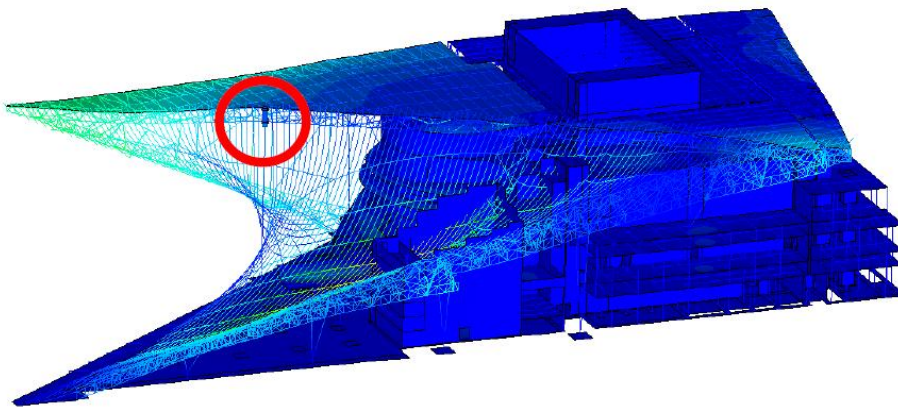
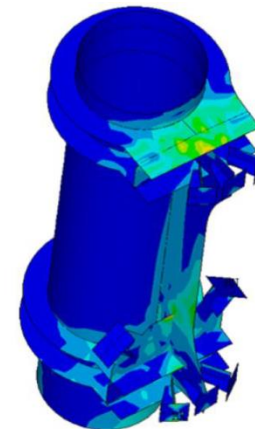


NODAL SOLUTION



NODAL SOLUTION

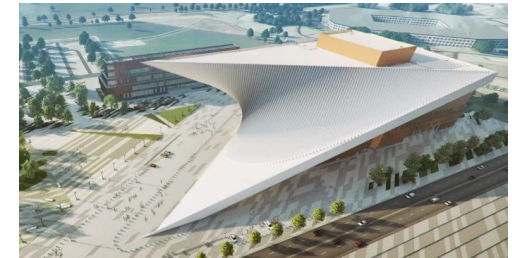
STEP=11  
SUB =1  
FREQ=11  
SEQV (AVG)  
DMX =.031224  
SMI =488.237  
SMX =315096



НТС проектирования Объекта: **«Театр оперы и балета»**  
(г. Севастополь)



НТС проектирования Объекта: **«Театр оперы и балета»**  
(г. Калининград)



НТС проектирования Объекта: **«МиТОК»**  
(г. Кемерово)



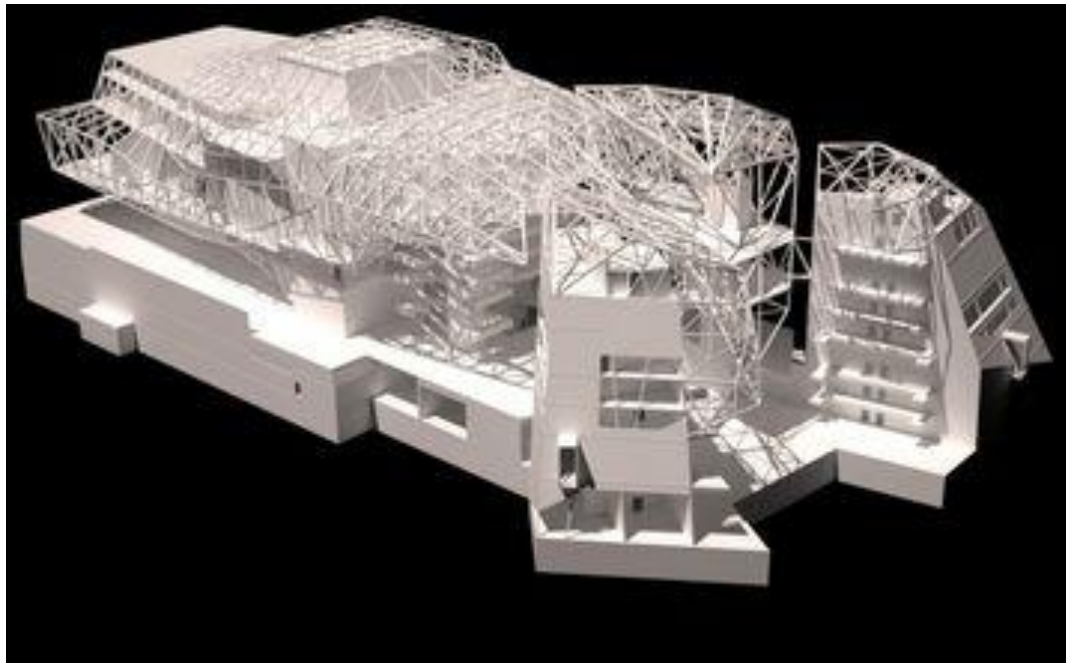
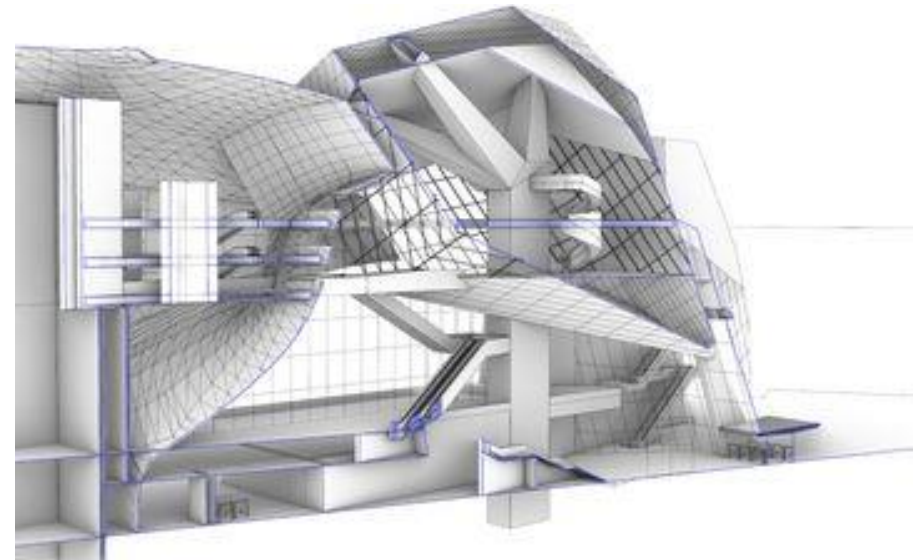
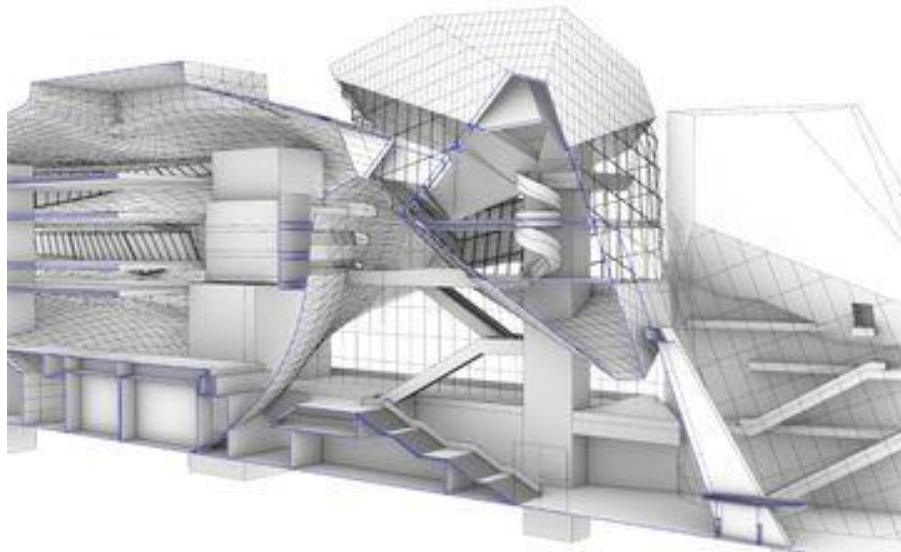
НТС проектирования, включая комплексные  
аэродинамические исследования, для Объекта —  
**«Серфинг-парк „Волна“»**



# НТСП, для Объекта – «МиТОК» (г. Кемерово)



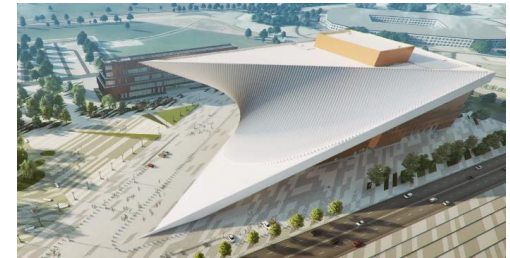




НТС проектирования Объекта: **«Театр оперы и балета»**  
(г. Севастополь)



НТС проектирования Объекта: **«Театр оперы и балета»**  
(г. Калининград)

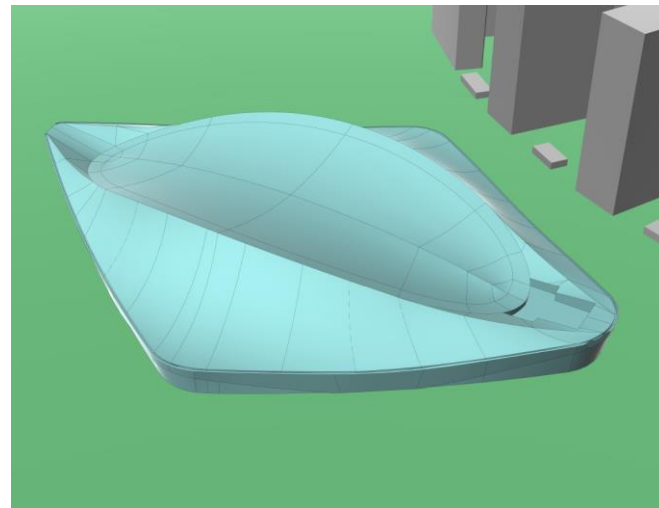
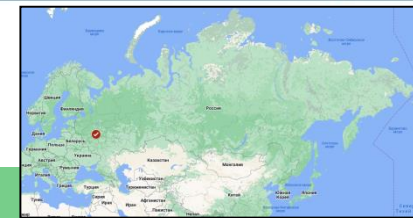
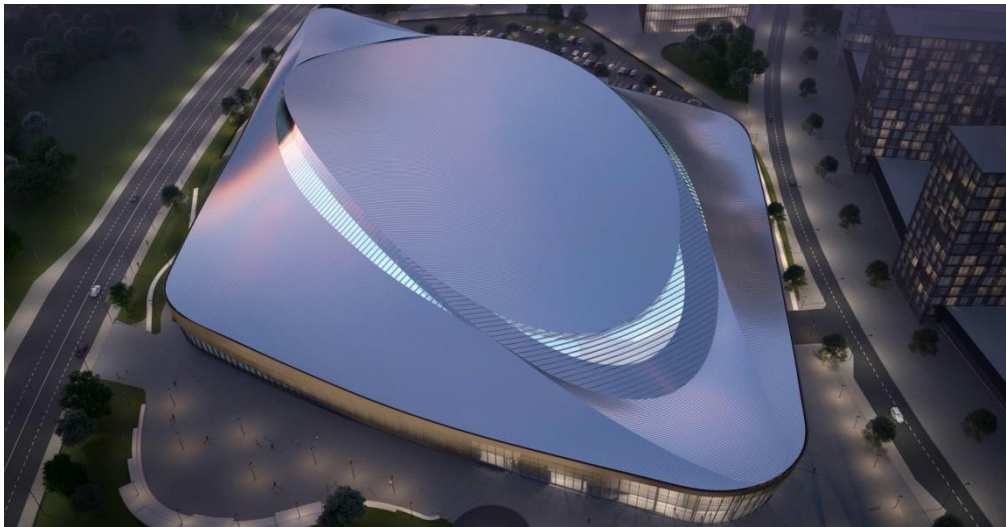


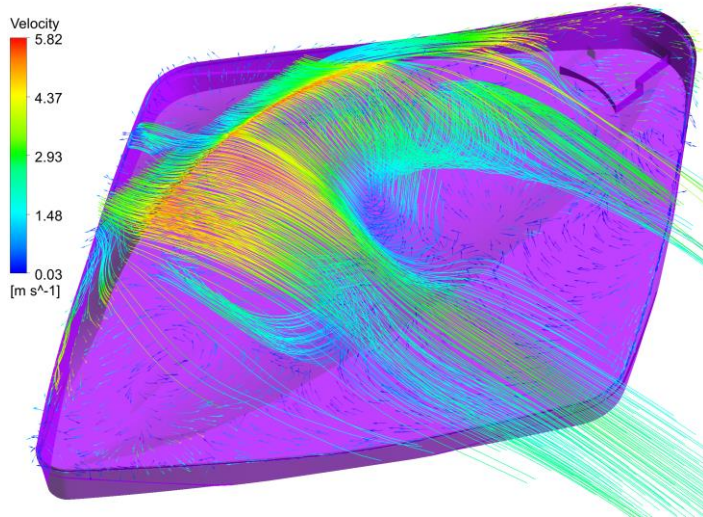
НТС проектирования Объекта: **«МиТОК»**  
(г. Кемерово)



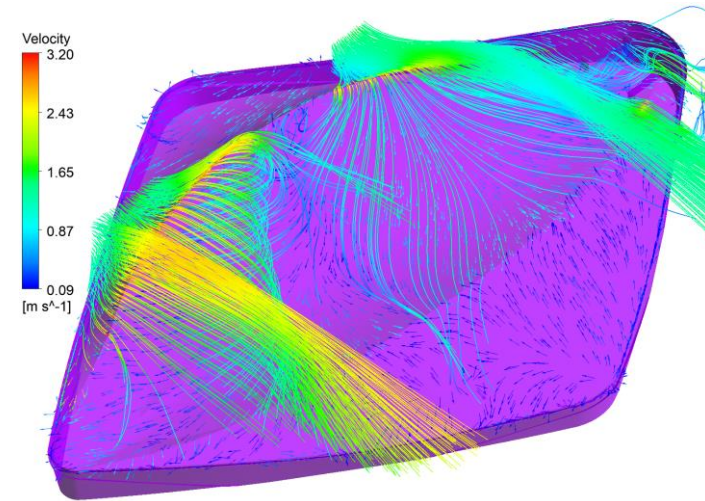
НТС проектирования, включая комплексные  
аэродинамические исследования, для Объекта –  
**«Серфинг-парк „Волна“»**



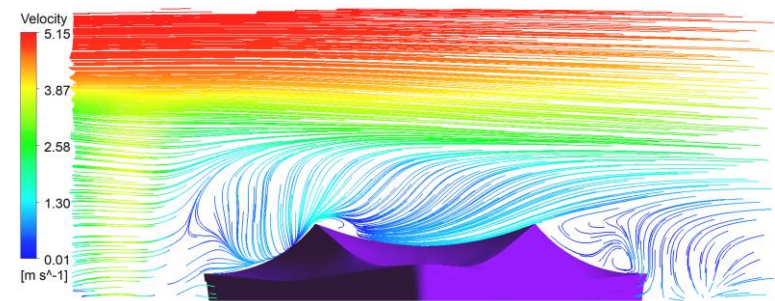
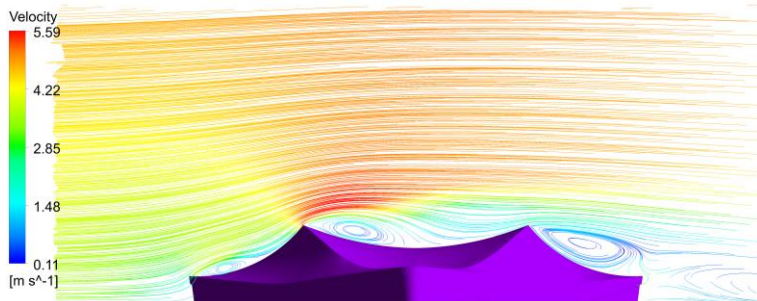




Визуализация линий тока ветра [м/с] и векторного поля напряжений сдвига  
Случай без застройки



Визуализация линий тока ветра [м/с] и векторного поля напряжений сдвига  
Случай с застройкой



## Серфинг-парк «Волна». Результаты моделирования

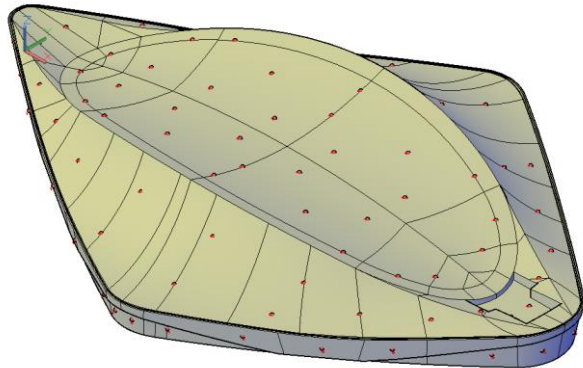
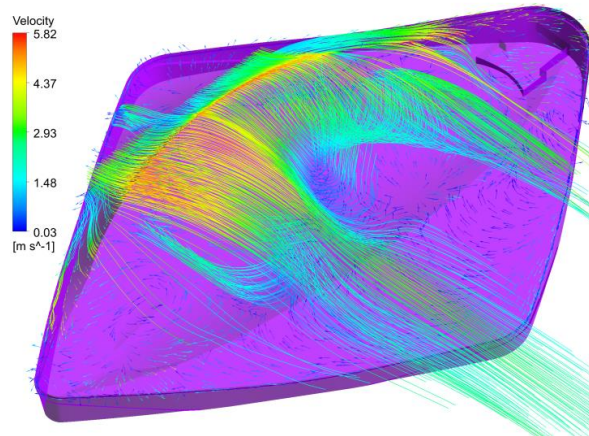
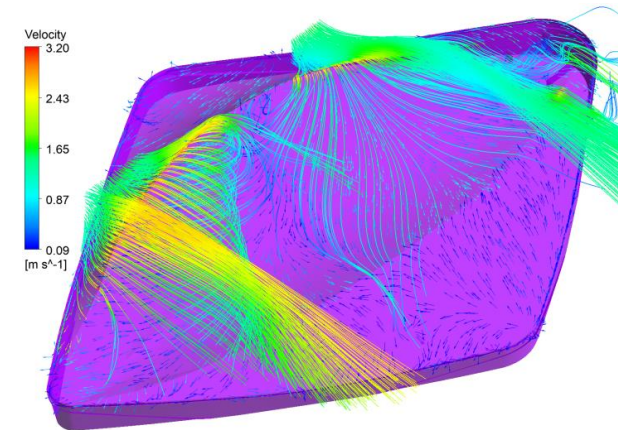


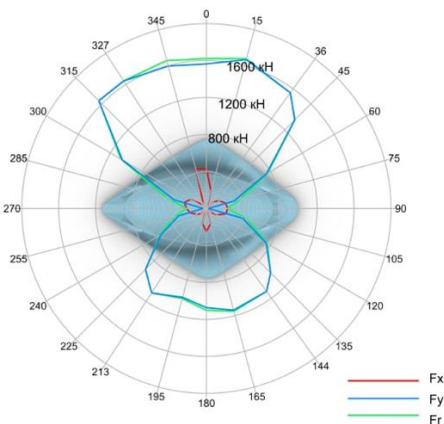
Схема расположения дренажных (контрольных точек) в испытаниях в АДТ



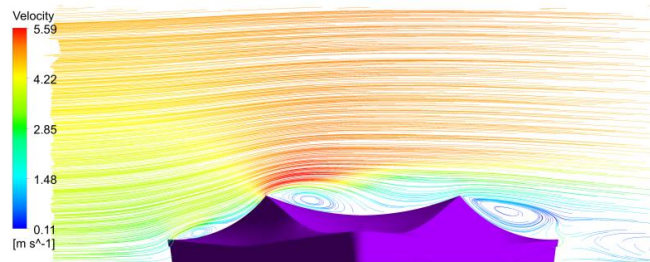
Визуализация линий тока ветра [м/с] и векторного поля напряжений сдвига  
Случай без застройки



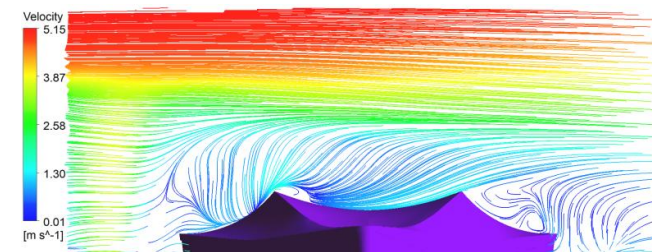
Визуализация линий тока ветра [м/с] и векторного поля напряжений сдвига  
Случай с застройкой



Интегральные расчетные ветровые нагрузки для исследуемых направлений ветра



Визуализация линий тока ветра [м/с]  
Случай без застройки

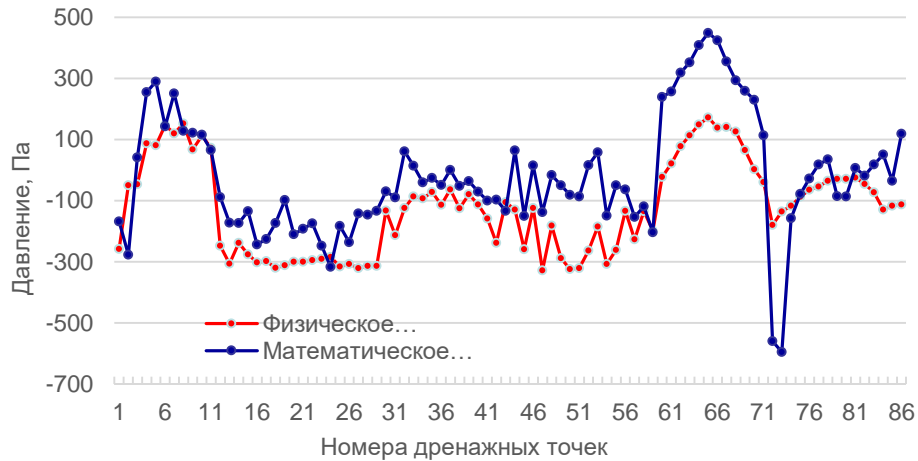


Визуализация линий тока ветра [м/с]  
Случай с застройкой

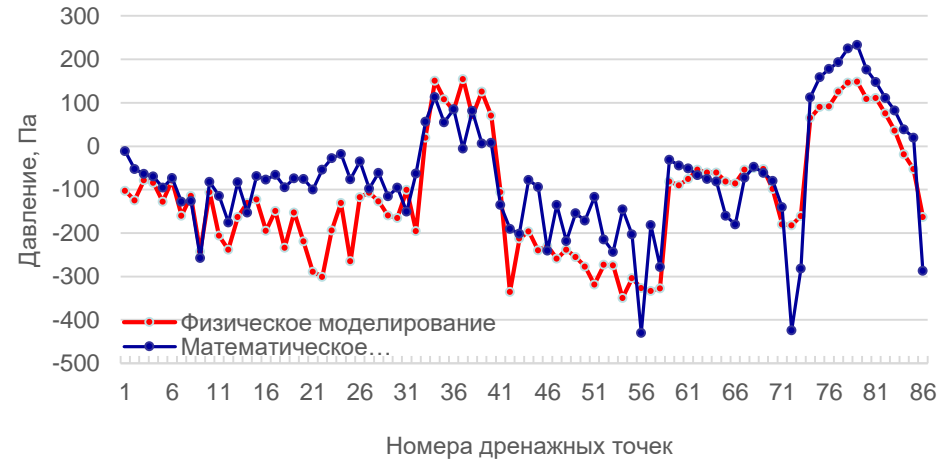


## Серфинг-парк «Волна». Сопоставление средних ветровых давлений [Па], полученных методами физического и математического моделирования в контрольных точках без учета окружающей застройки

Угол атаки ветра 0°



Угол атаки ветра 165°



Угол атаки ветра 315°

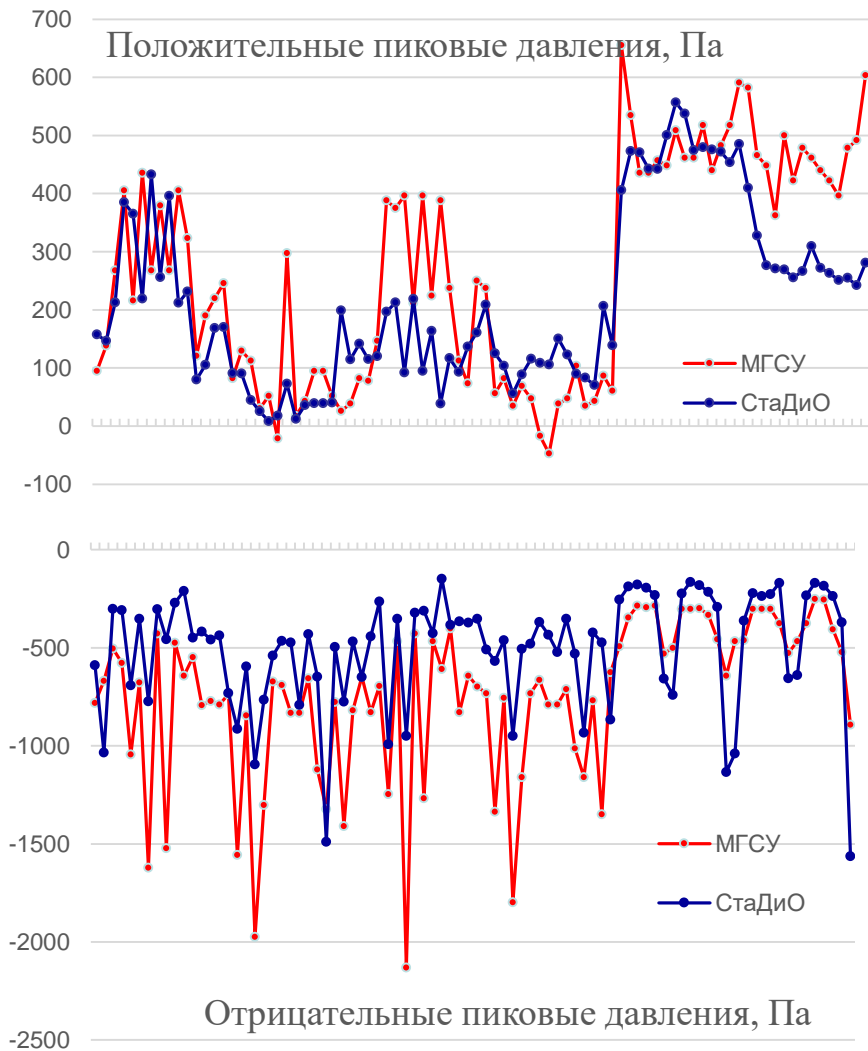


Угол атаки ветра 327°





**Серфинг-парк «Волна».** Сопоставление пиковых ветровых давлений, полученных методами физического и математического моделирования в контрольных точках без учета окружающей застройки



По результатам моделирования ветровых нагрузок на несущие и фасадные конструкции (основные нагрузки и пиковые давления) Объекта Серфинг-Парк «Волна» методами физического (экспериментального в АДТ) и математического (численного) моделирования было выявлено хорошее сходство результатов по средним давлениям и удовлетворительное – по пиковым.

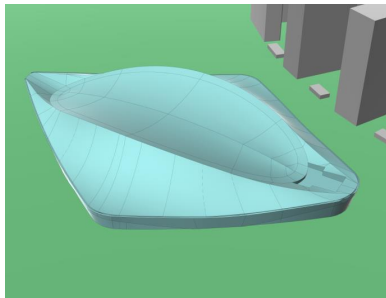
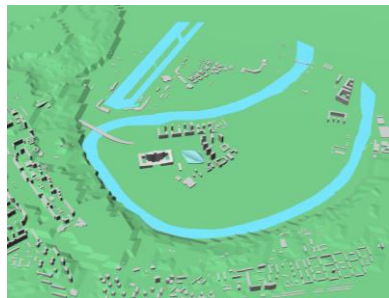
Точки с наибольшими отличиями находятся на торцах объекта, где наблюдаются срывы вихрей.

Наблюдается некоторое превышение положительных средних давлений, полученных по результатам математического моделирования, над результатами физического моделирования. Для отрицательных давлений наблюдается обратная ситуация.

Результаты пиковых давлений отличаются существенней по причине принципиально разных подходов к определению этих величин.

## Численная методика моделирования снегонакопления в *стационарной* постановке Апробация методики

Сёрфинг-центр «Волна» (г. Москва)

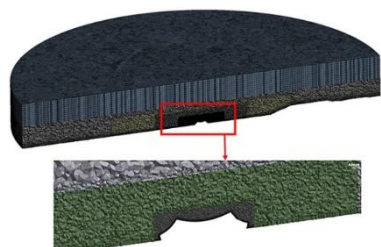


Расчётная область  
(+ рельеф и окружающая застройка)

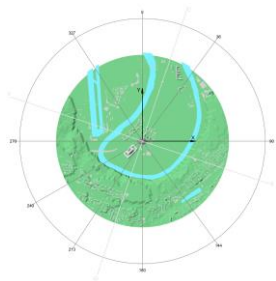
Геометрическая модель



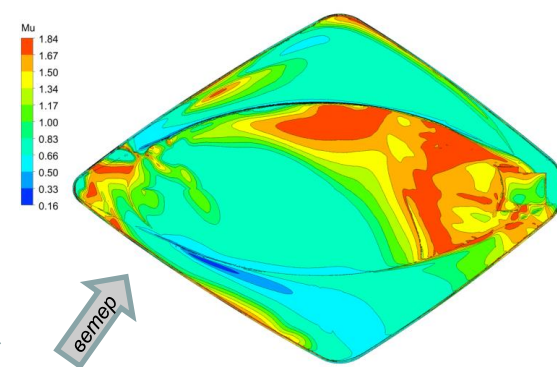
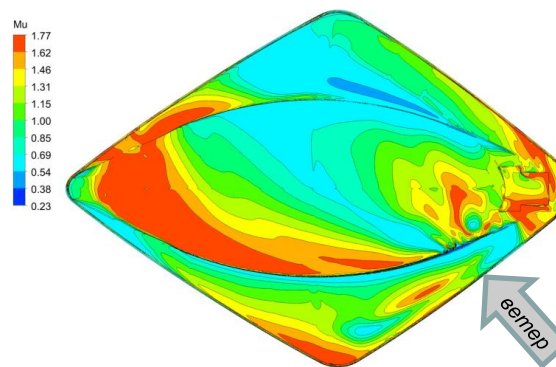
Физическое моделирование коэффициента  $\mu$  (НИУ МГСУ)  
(без учёта окружающей застройки)



Конечнообъёмная сетка  
(~9 млн. КО)



Расчётные направления  
ветрового потока



Численное моделирование коэффициента  $\mu$   
(без учёта окружающей застройки)



## Численная методика моделирования снегонакопления в стационарной постановке Апробация методики

Без учёта  
окружающей  
застройки

С учётом окружающей  
застройки

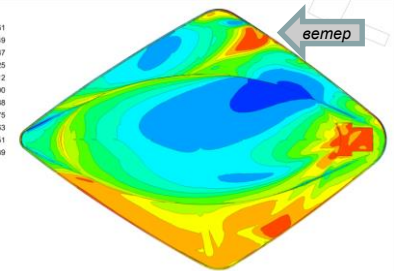
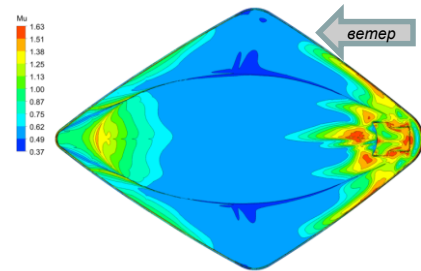
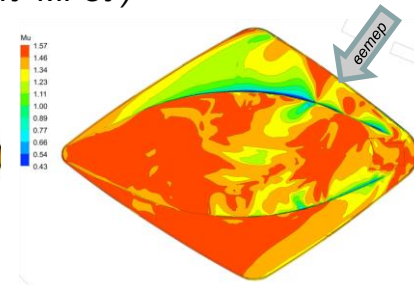
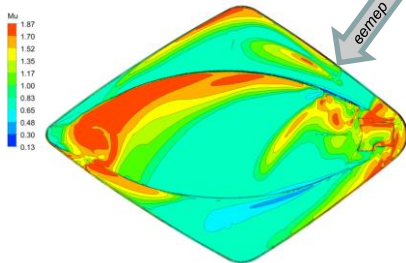
Без учёта  
окружающей  
застройки

С учётом окружающей  
застройки



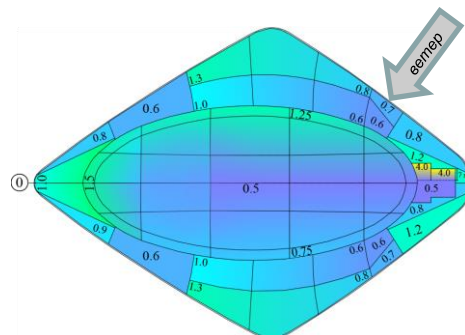
Физическое моделирование коэффициента  $\mu$   
(НИУ МГСУ)

Физическое моделирование коэффициента  $\mu$   
(НИУ МГСУ)

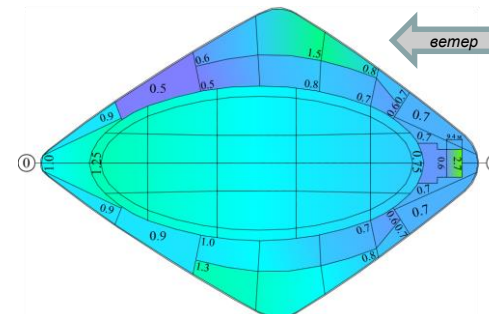


Численное моделирование коэффициента  $\mu$

Численное моделирование коэффициента  $\mu$



Рекомендуемая  
схема  
коэффициента  $\mu$   
для прочностных  
расчётов



Рекомендуемая  
схема  
коэффициента  $\mu$   
для прочностных  
расчётов

Комплексное НТС на стадиях проектирования и строительства Объекта: **«Технопарк ПАО Сбербанк» в инновационном центре «Сколково».**



Расчетные исследования НДС, прочности и устойчивости несущих конструкций многофункционального **высотного (404 м) жилого комплекса** на территории **ММДЦ «Москва-Сити» («One Tower»)**



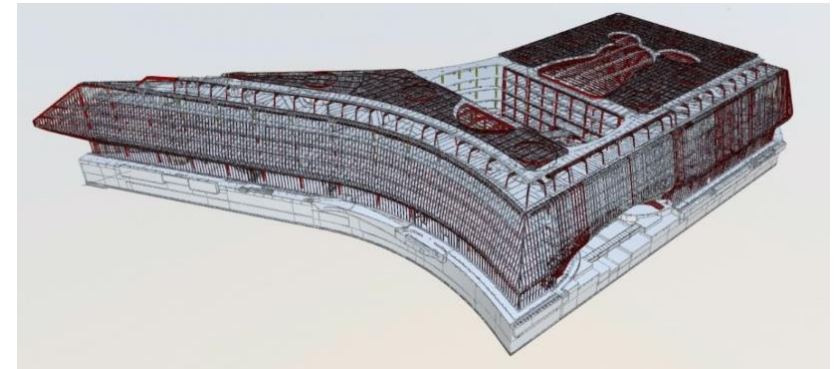
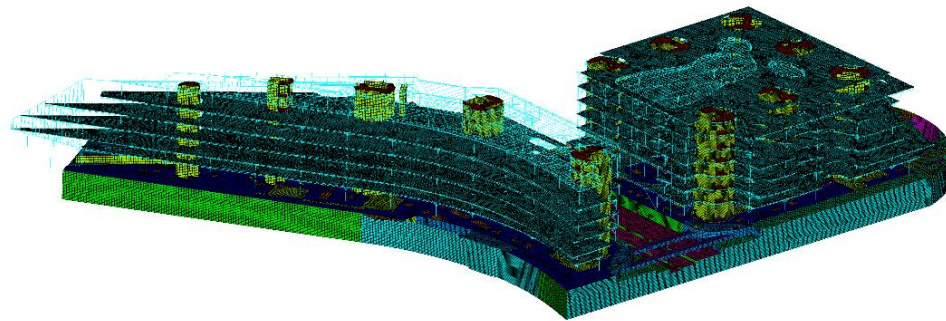
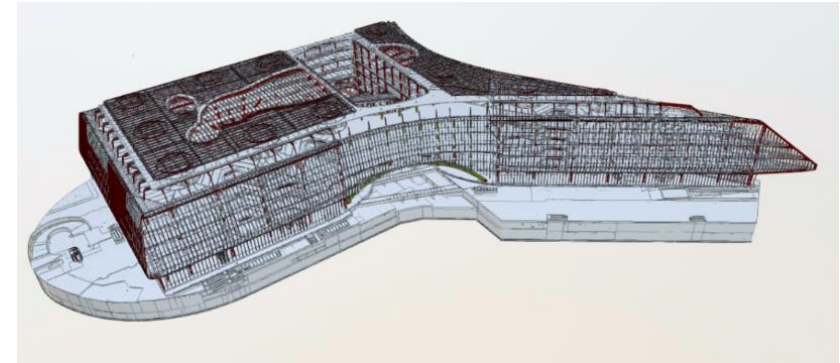
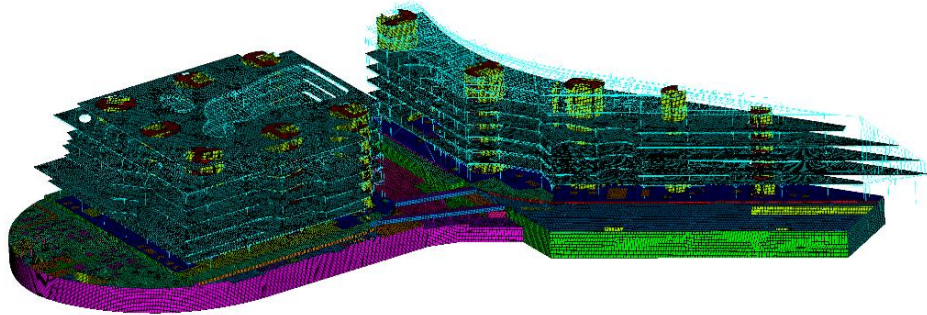
Техническое обследование и расчетные исследования фактического состояния железобетонных конструкций...**Башни «Эволюция» ММДЦ «Москва-Сити»** и выдача заключения по их несущей способности

Расчетное обоснование наиболее ответственных, тяжело нагруженных и сложно решенных трубобетонных конструктивных узлов и сопряжений конструкций Объекта: **«Многофункциональный жилой комплекс с на территории Бадаевского пивоваренного завода, (Москва, Кутузовский проспект, ...)**



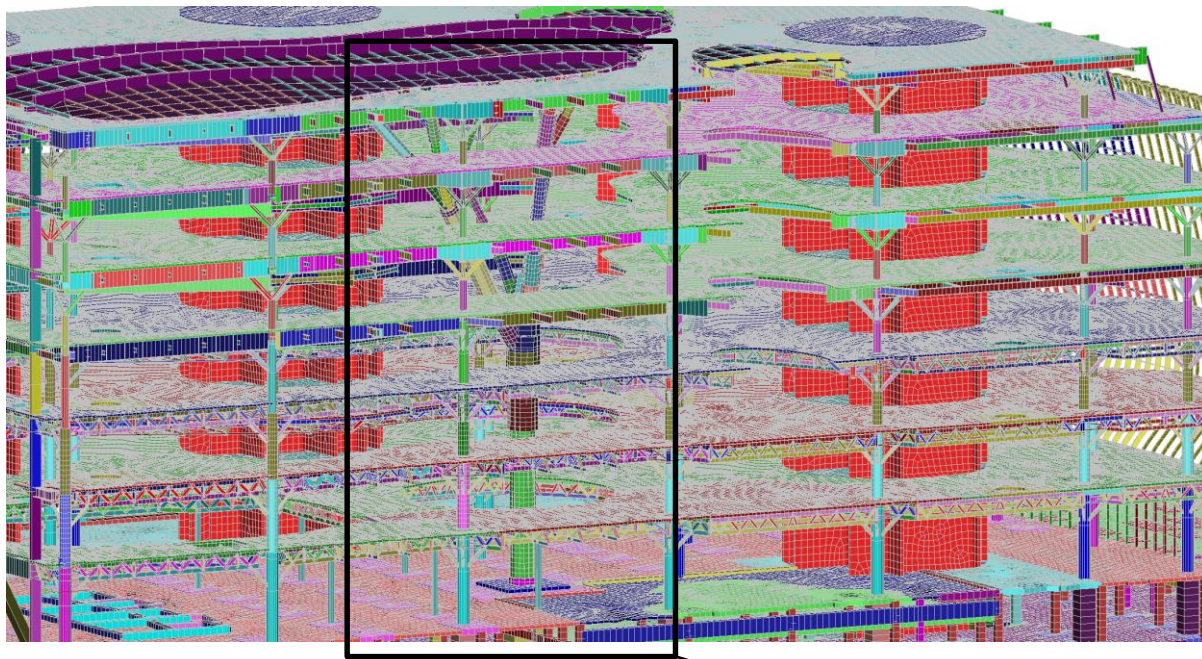
# НТС объекта на стадии проектирования и строительства «Технопарк ПАО Сбербанк в инновационном центре «Сколково».



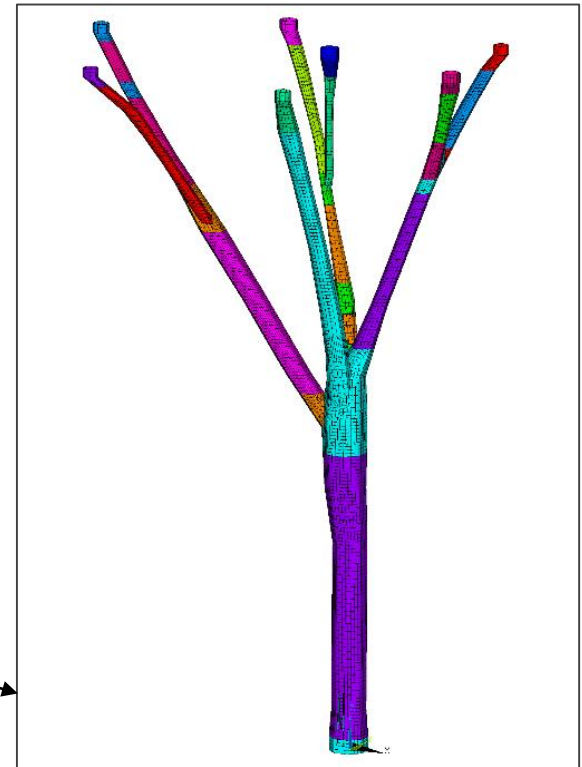


КЭ-модель. Железобетонная часть, Блок А и Блок В

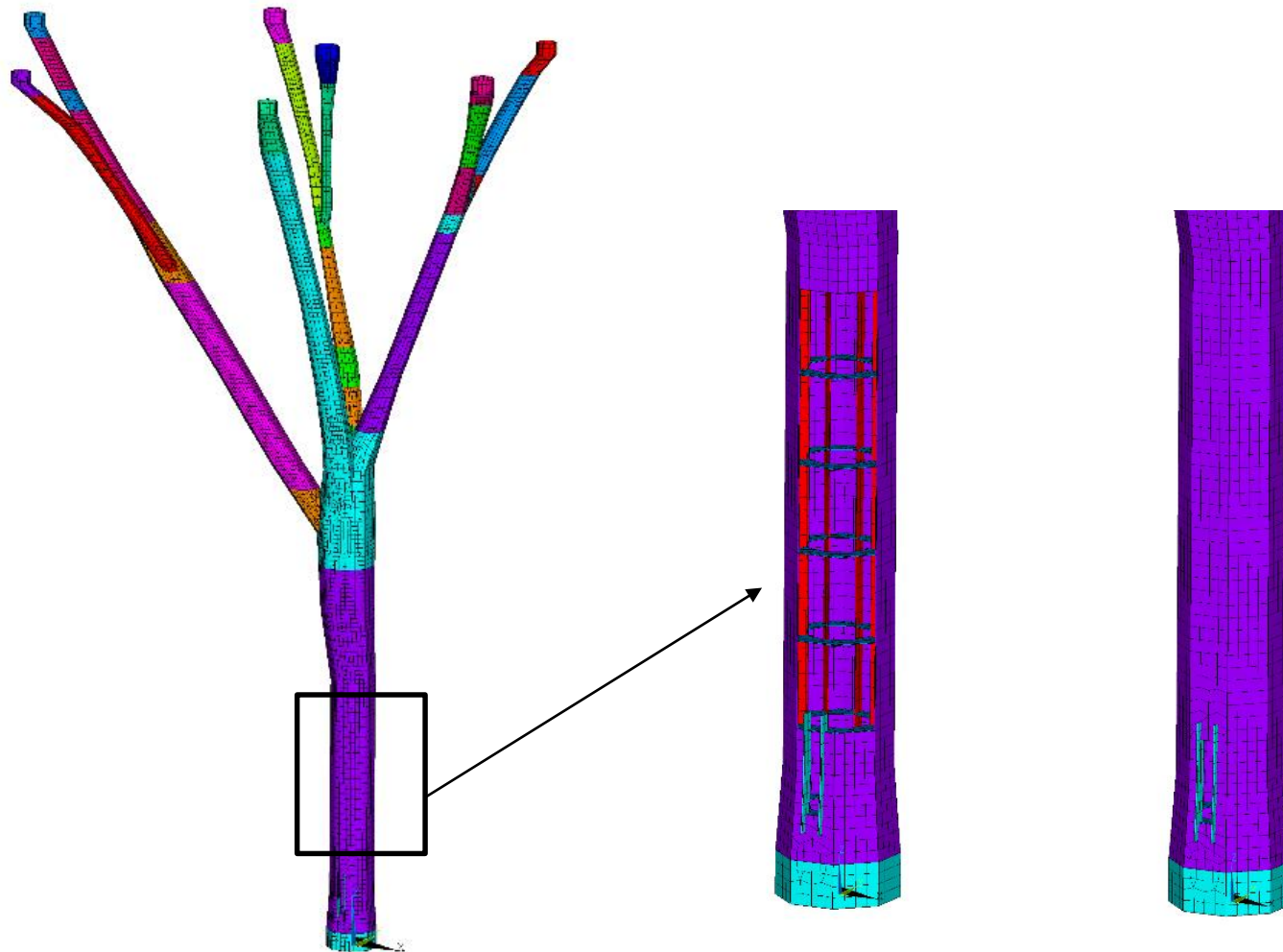
Revit-модель. Железобетонная часть, Блоки А, В и С



**Главное дерево**  
в составе общей КЭ-модель



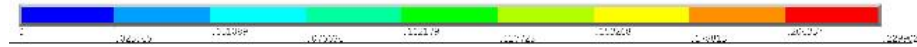
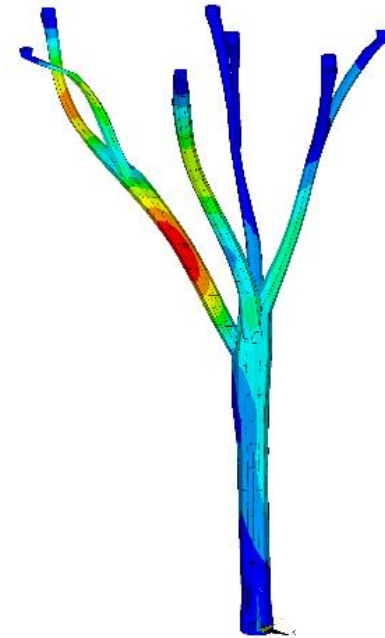
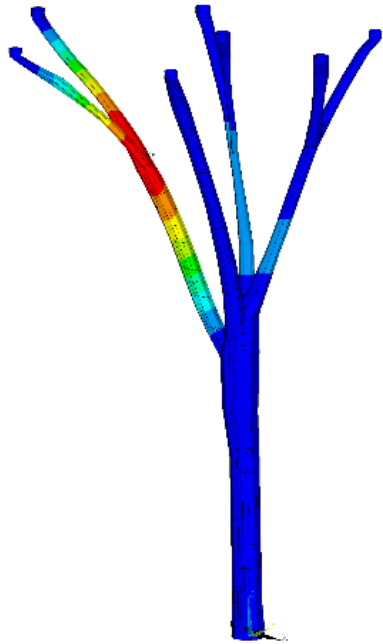
оболочечная КЭ-модель *Главного дерева*



16 389 узла, 17 264 конечных элемента

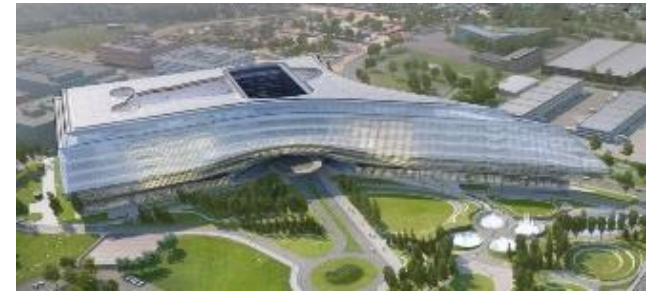


## оболочечная КЭ-модель *Главного дерева*



*Собственные формы колебаний*

Комплексное НТС на стадиях проектирования и строительства Объекта: **«Технопарк ПАО Сбербанк» в инновационном центре «Сколково».**



Расчетные исследования НДС, прочности и устойчивости несущих конструкций многофункционального **высотного (404 м) жилого комплекса** на территории **ММДЦ «Москва-Сити» («One Tower»)**



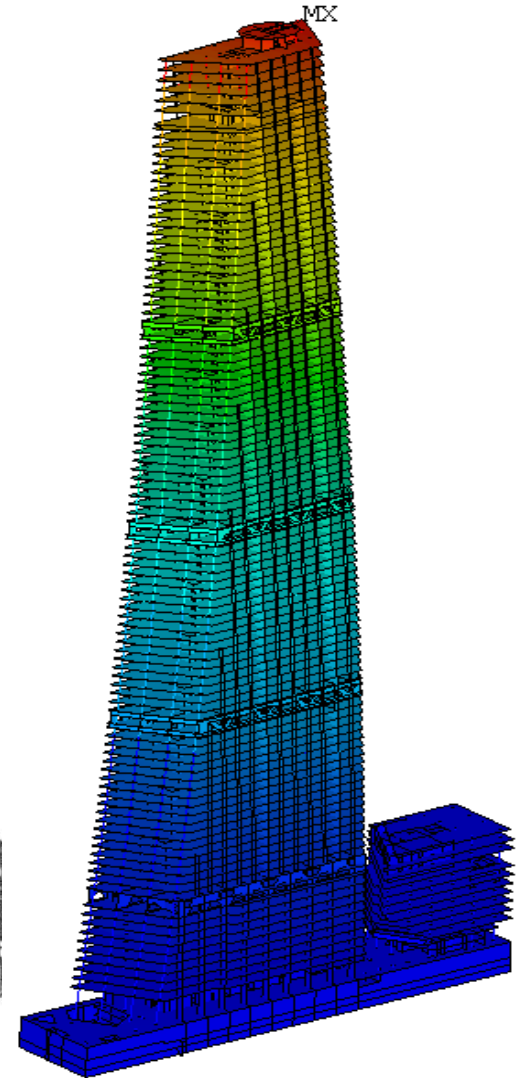
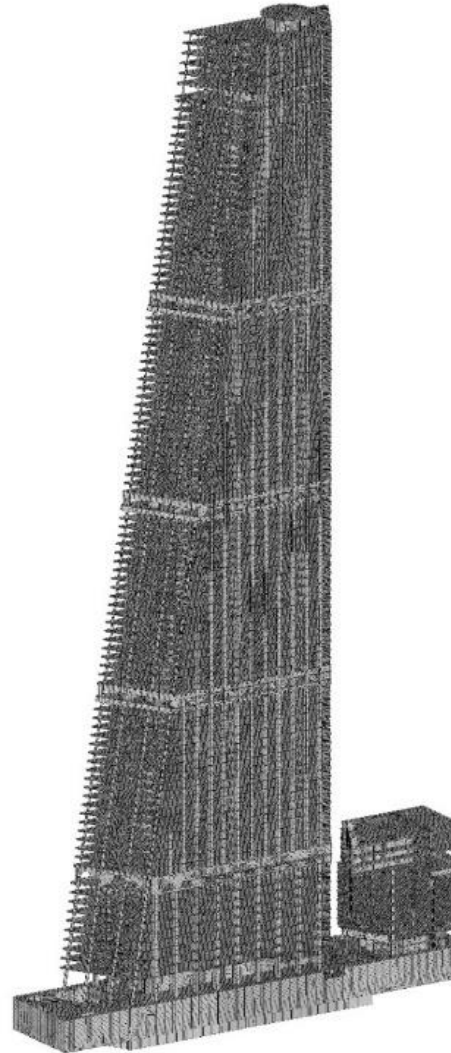
Техническое обследование и расчетные исследования фактического состояния железобетонных конструкций... **Башни «Эволюция» ММДЦ «Москва-Сити»** и выдача заключения по их несущей способности

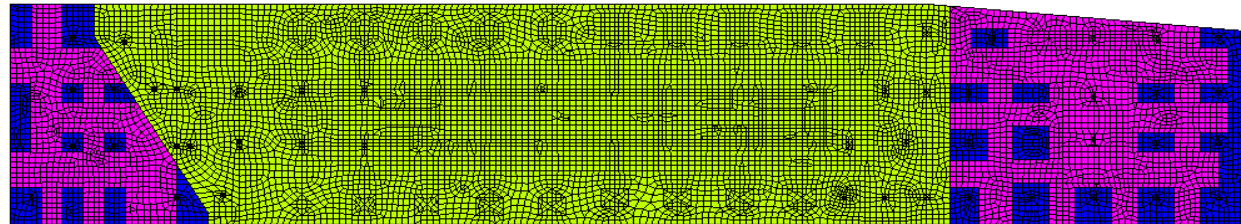
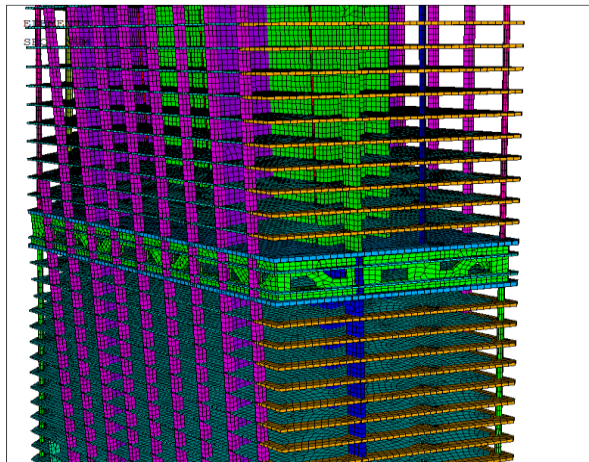
Расчетное обоснование наиболее ответственных, тяжело нагруженных и сложно решенных трубобетонных конструктивных узлов и сопряжений конструкций Объекта: **«Многофункциональный жилой комплекс с на территории Бадаевского пивоваренного завода, (Москва, Кутузовский проспект, ...)**





# One Tower (404 м) ММДЦ «Москва-Сити»






 - 4500 мм
  - 1500 мм
  - 500 мм

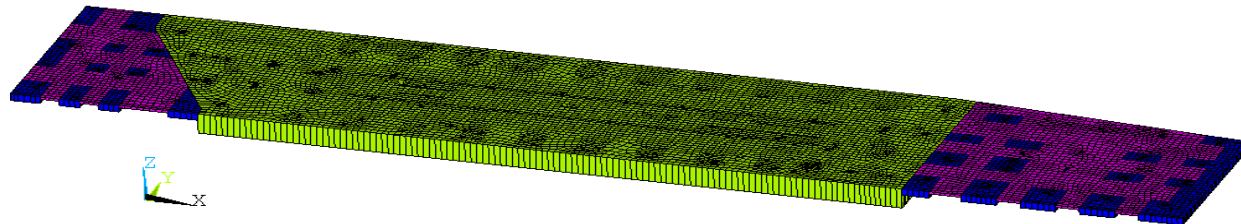


Схема фундаментной плиты. Цветом выделены зоны с разной толщиной плиты

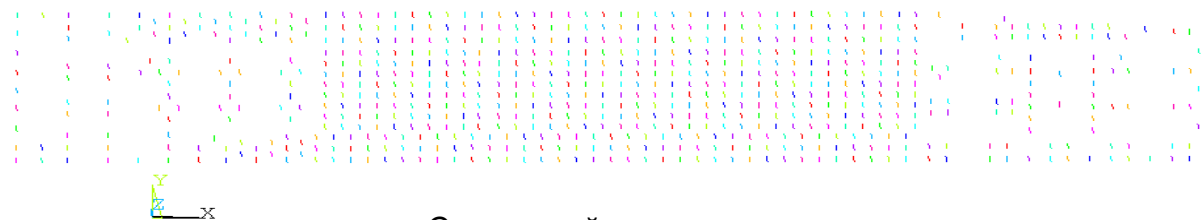
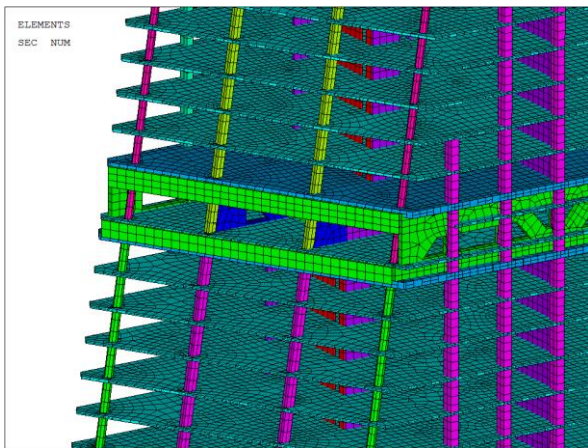
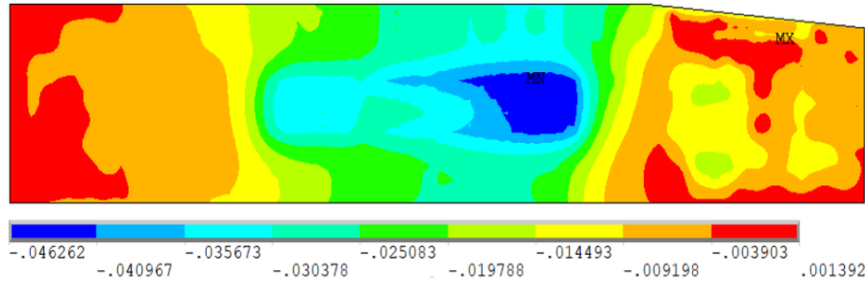
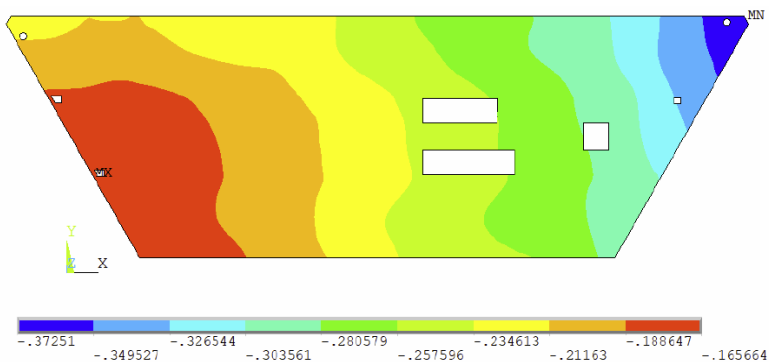


Схема свайного поля

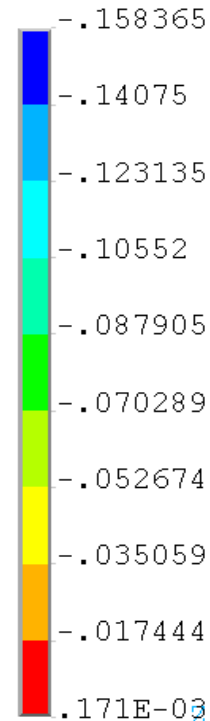
Изометрия. Фрагменты КЭ-модели  
многофункционального высотного жилого комплекса



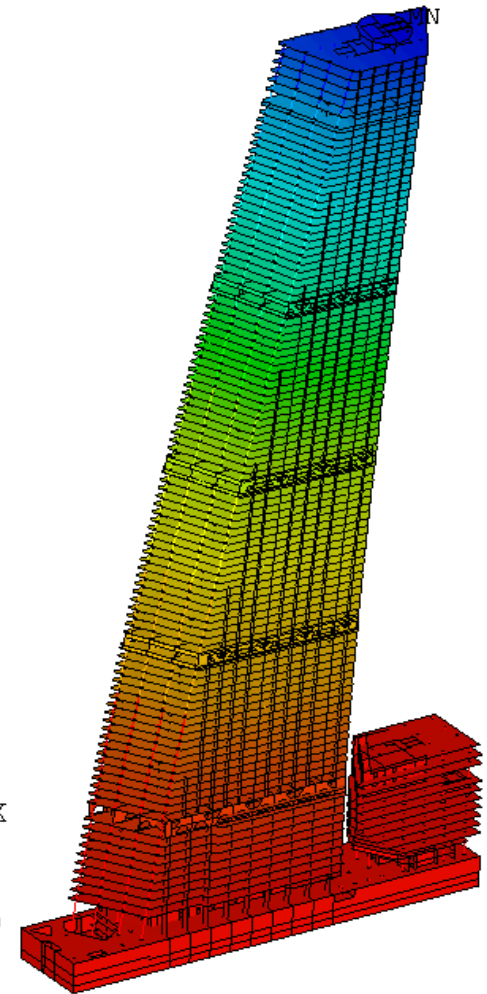
Вертикальные перемещения.  
Фундаментная плита на отм. -13.450 м



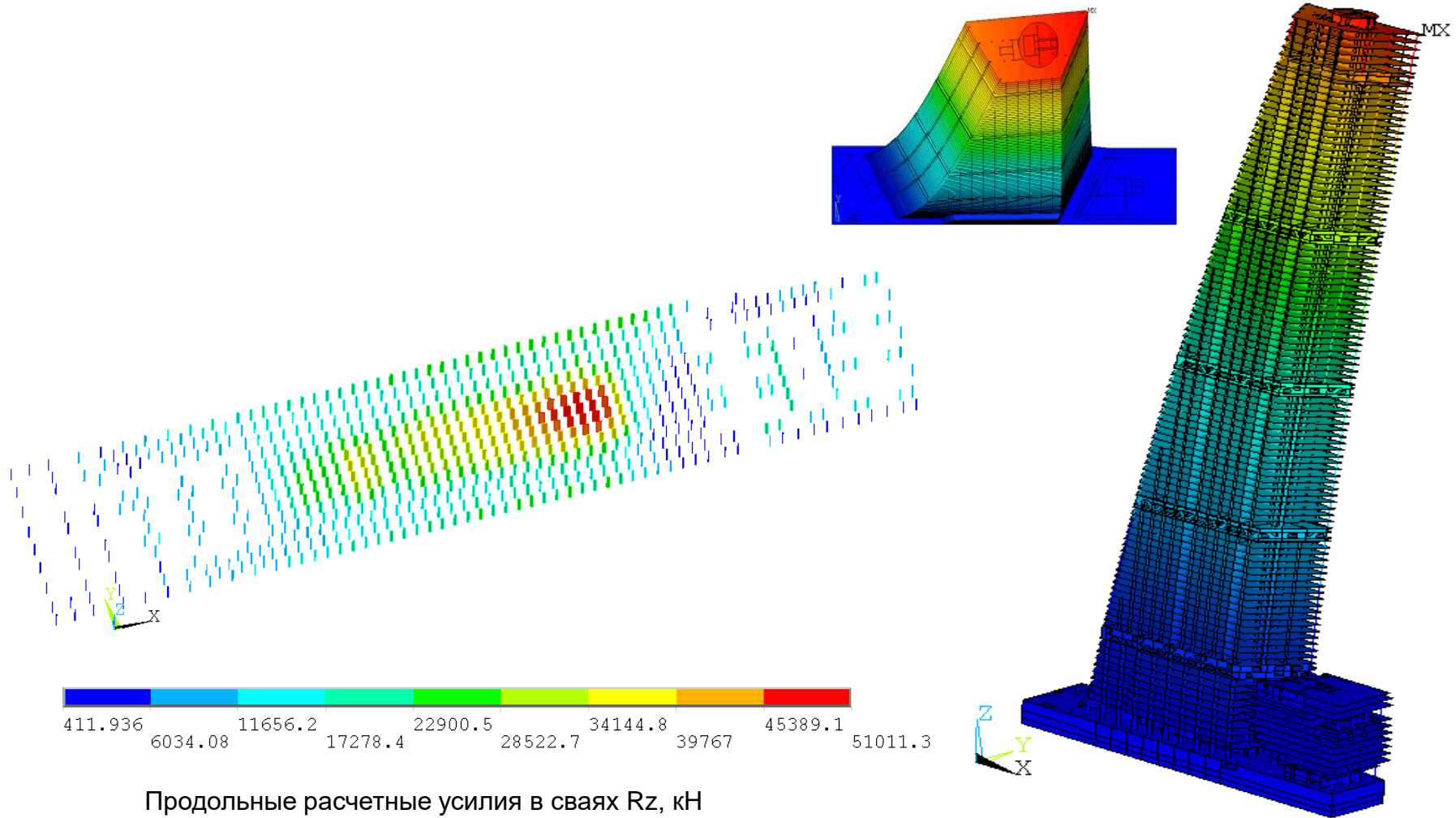
Вертикальные перемещения.  
Плита перекрытия на отм. 200.250 м



STEP=1  
SUB =1  
TIME=1  
UY (AVG)  
RSYS=0  
DMX =.158392



Горизонтальные амплитуды перемещения Uy, мм от действия пульсационной составляющей ветра с учетом понижающего коэффициента 0.7 (от нормативной нагрузки)



Первая форма собственных колебаний,  $f_1=0,07550$  Гц (0.474 рад/с). С учетом конвертации расчетных нагрузок в массы со следующими коэффициентами - 0.9 SW, 0.8 DL, 0.5LL.

Комплексное НТС на стадиях проектирования и строительства Объекта: **«Технопарк ПАО Сбербанк» в инновационном центре «Сколково».**



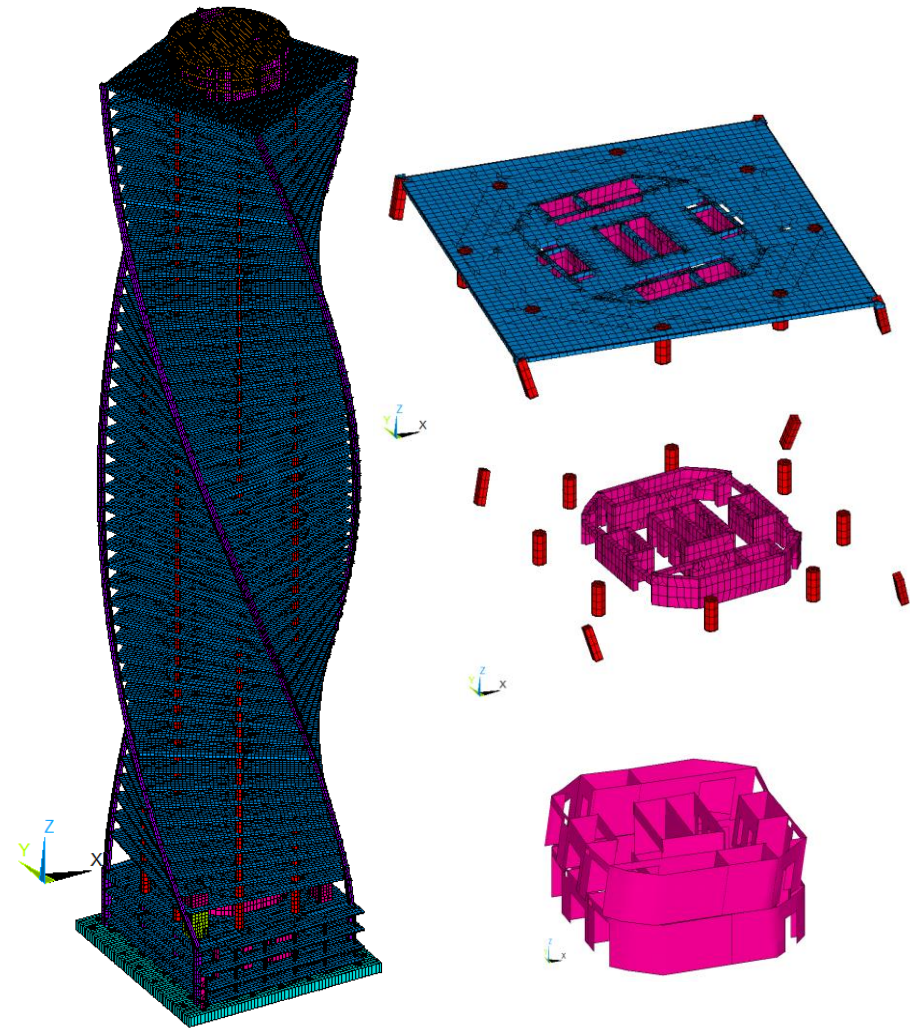
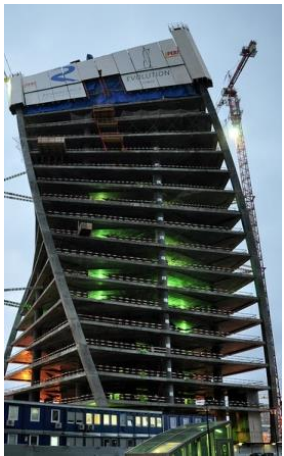
Расчетные исследования НДС, прочности и устойчивости несущих конструкций многофункционального **высотного (404 м) жилого комплекса** на территории **ММДЦ «Москва-Сити» («One Tower»)**



Техническое обследование и расчетные исследования фактического состояния железобетонных конструкций... **Башни «Эволюция» ММДЦ «Москва-Сити»** и выдача заключения по их несущей способности

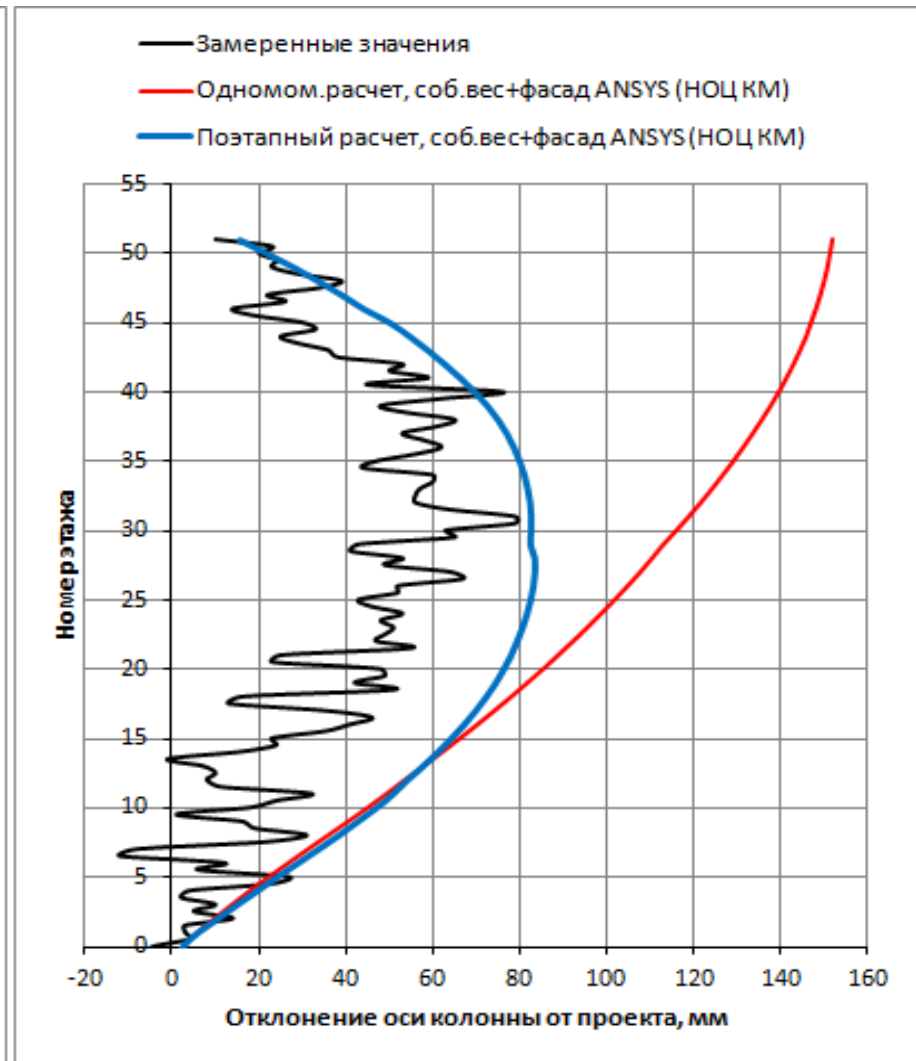
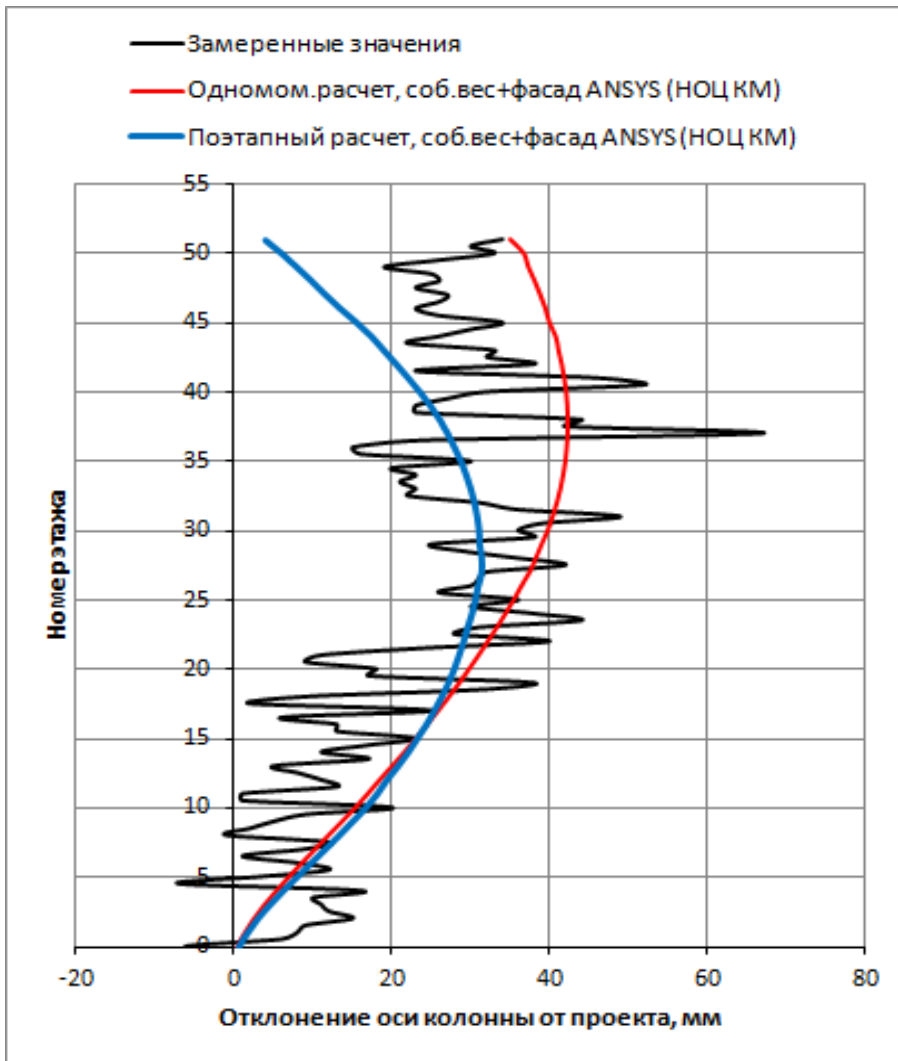
Расчетное обоснование наиболее ответственных, тяжело нагруженных и сложно решенных трубобетонных конструктивных узлов и сопряжений конструкций Объекта: **«Многофункциональный жилой комплекс с на территории Бадаевского пивоваренного завода, (Москва, Кутузовский проспект, ...)**





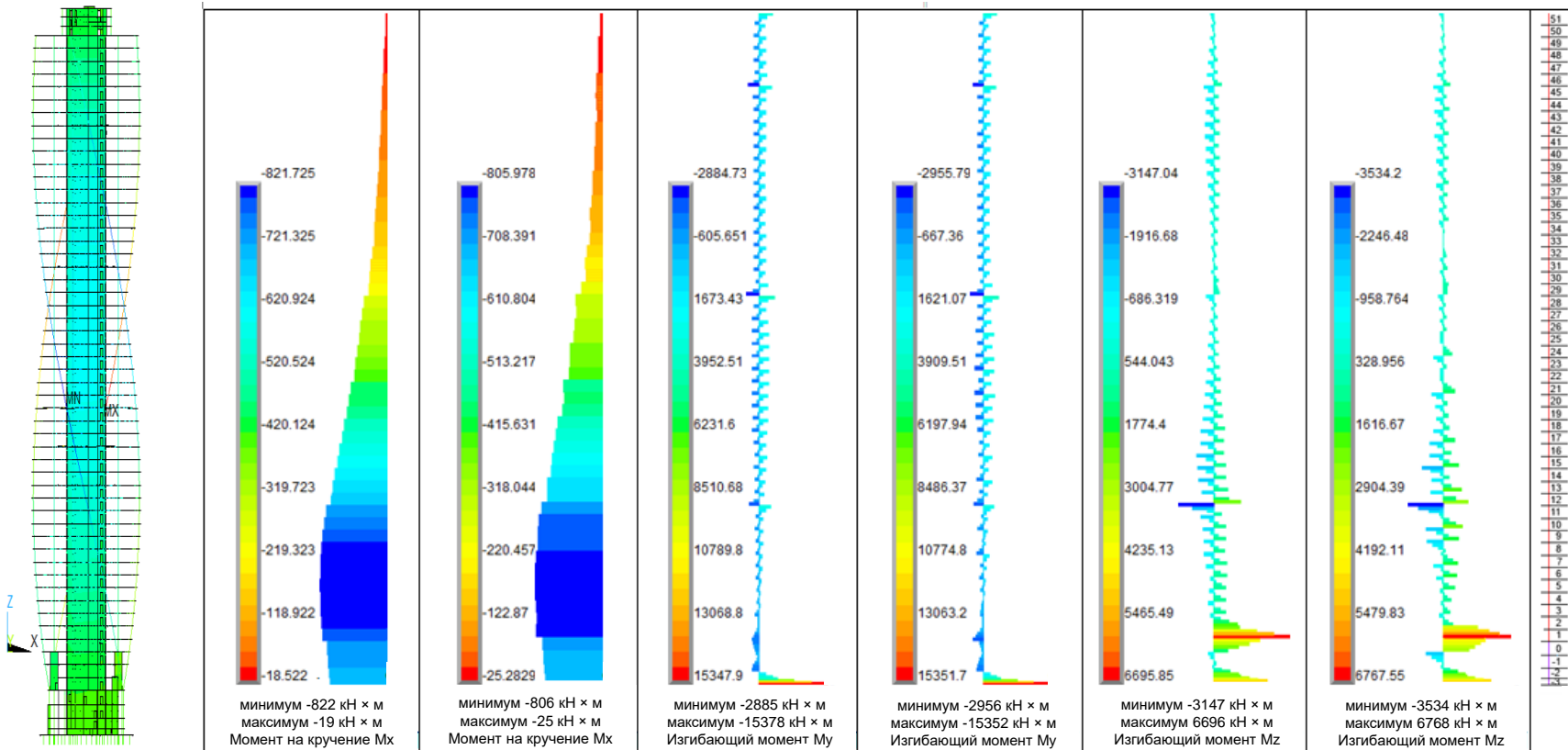
Башня «Эволюция», этапы строительства  
(правый – по состоянию на июль 2014 года)

КЭ-модель, этапы строительства  
Учет фактической геометрии колонн и стен



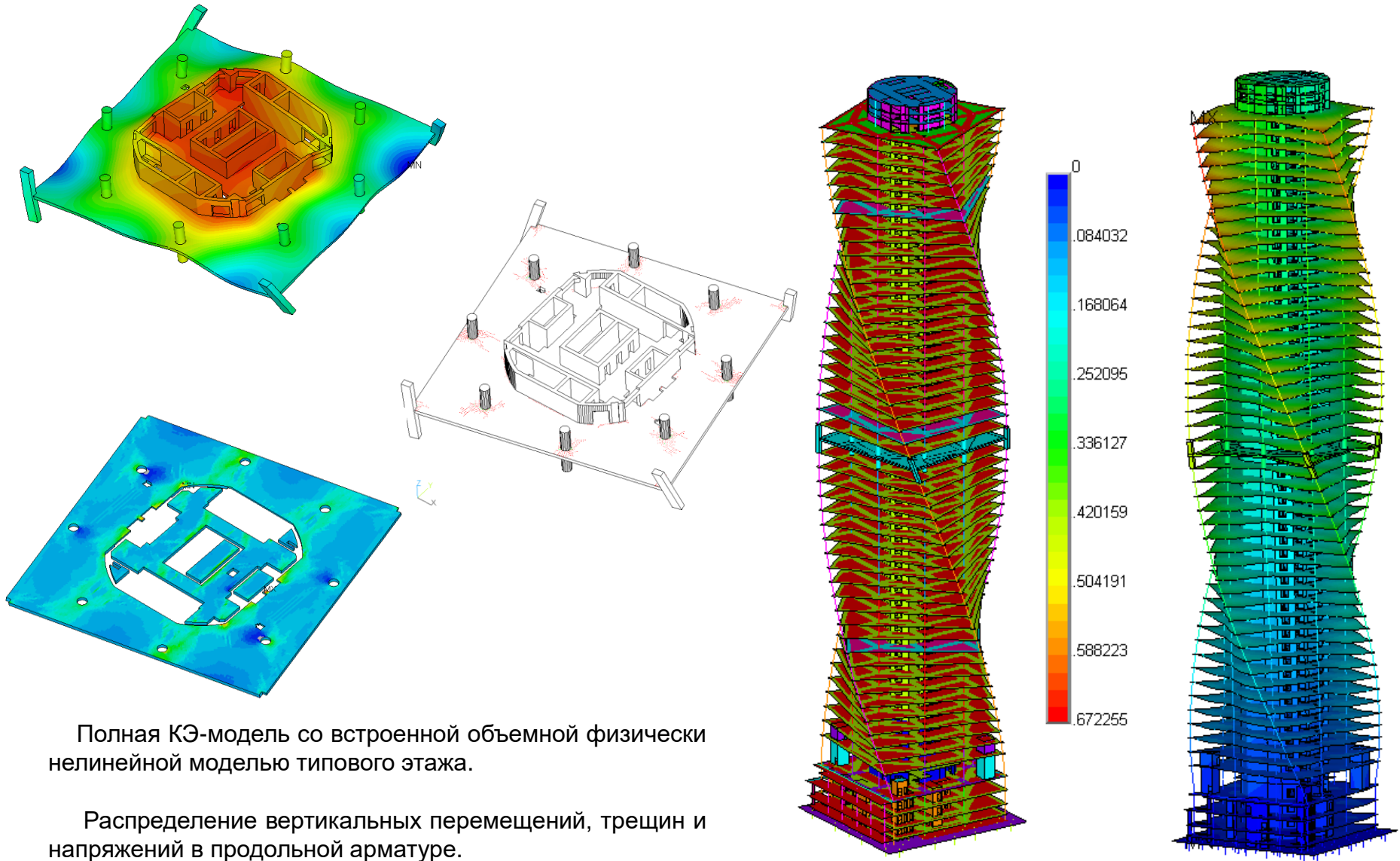
Отклонение оси колонны от проектного положения по оси OX (слева) и OY с учетом деформирования модели.  
Нагрузки: нормативный собственный вес несущих конструкций, нагрузки от фасадных конструкций (на момент обследования)

# Башня «Эволюция» ММДЦ «Москва-Сити»



Усилия в колонне T1TC, «проектная» и «фактическая №1» модели, сочетание нагрузок 1.32SW+1.44Fас+1.56PN+0.504VN+Сrown).





Полная КЭ-модель со встроенной объемной физически нелинейной моделью типового этажа.

Распределение вертикальных перемещений, трещин и напряжений в продольной арматуре.

Комплексное НТС на стадиях проектирования и строительства Объекта: **«Технопарк ПАО Сбербанк» в инновационном центре «Сколково».**



Расчетные исследования НДС, прочности и устойчивости несущих конструкций многофункционального **высотного (404 м) жилого комплекса** на территории **ММДЦ «Москва-Сити» («One Tower»)**

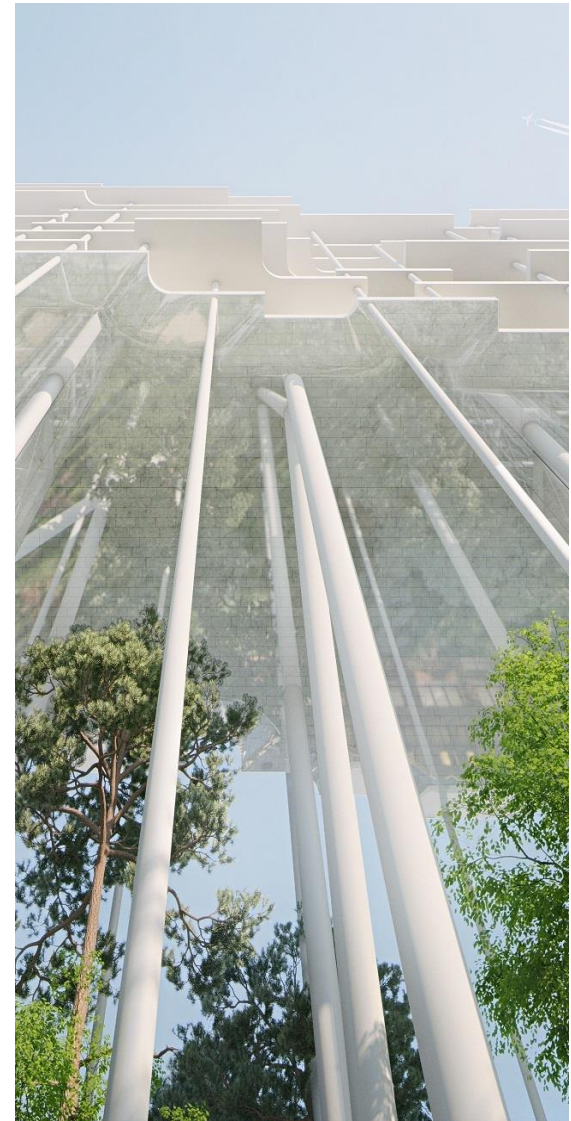


Техническое обследование и расчетные исследования фактического состояния железобетонных конструкций... **Башни «Эволюция» ММДЦ «Москва-Сити»** и выдача заключения по их несущей способности

Расчетное обоснование наиболее ответственных, тяжело нагруженных и сложно решенных трубобетонных конструктивных узлов и сопряжений конструкций Объекта: **«Многофункциональный жилой комплекс с на территории Бадаевского пивоваренного завода, (Москва, Кутузовский проспект, ...)**



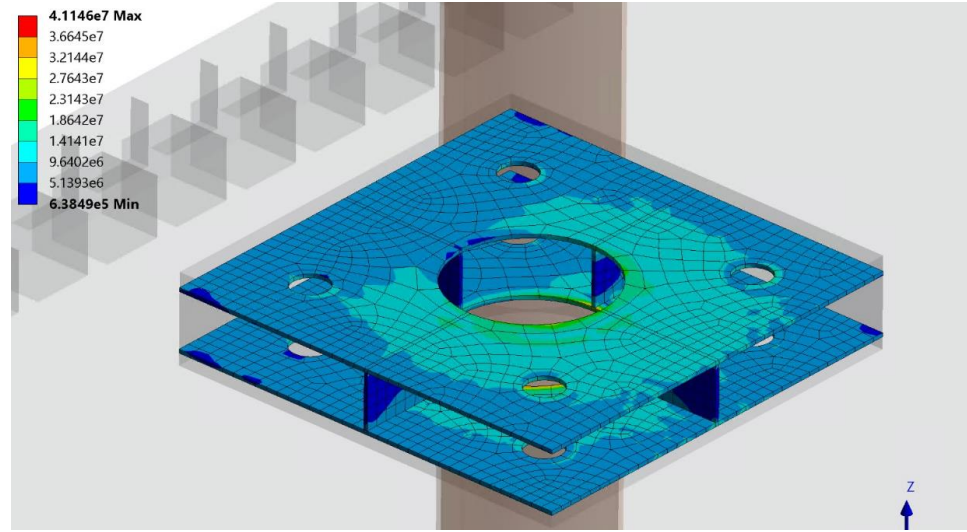
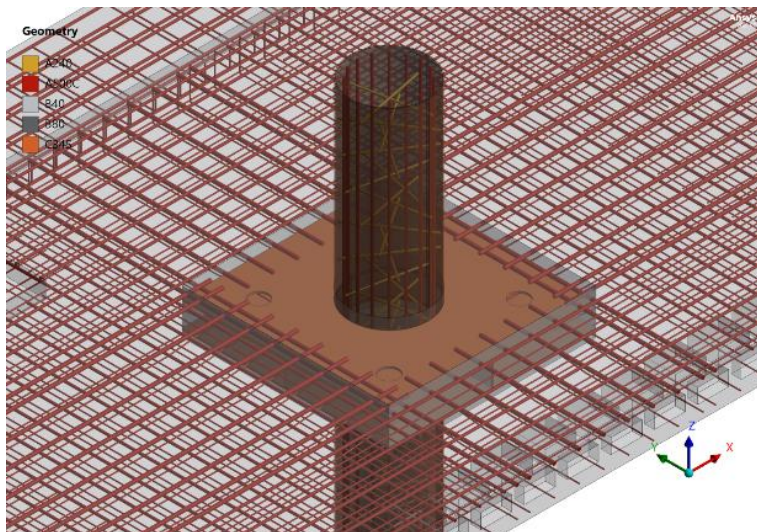
# МЖК «Бадаевский» (г. Москва)



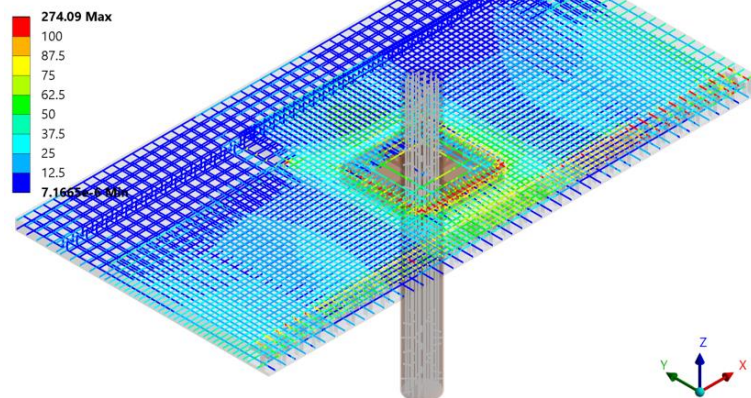
Трубобетонные колонны длиной 35 м

# МЖК «Бадаевский» (г. Москва)

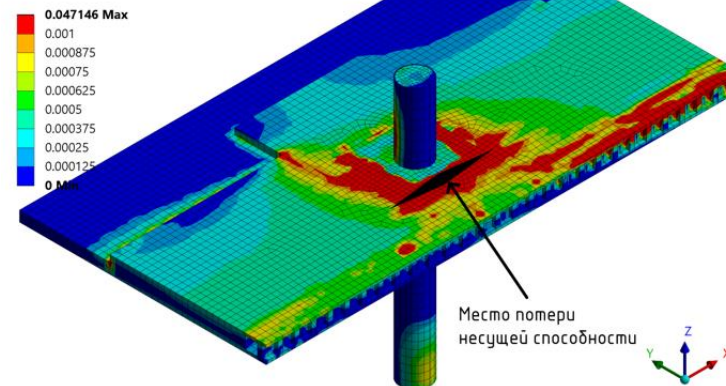
## Узел скрытой стальной капители трубобетонной колонны



**E: Static Structural**  
Equivalent Stress  
Type: Equivalent (von-Mises) Stress  
Unit: MPa  
Time: 1 s

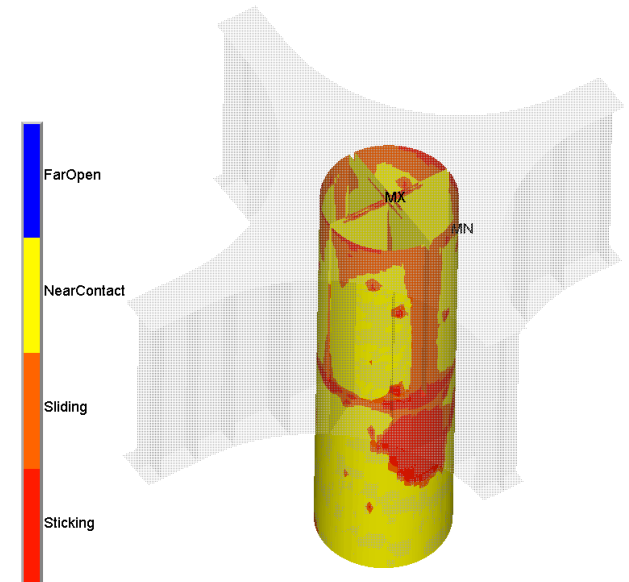
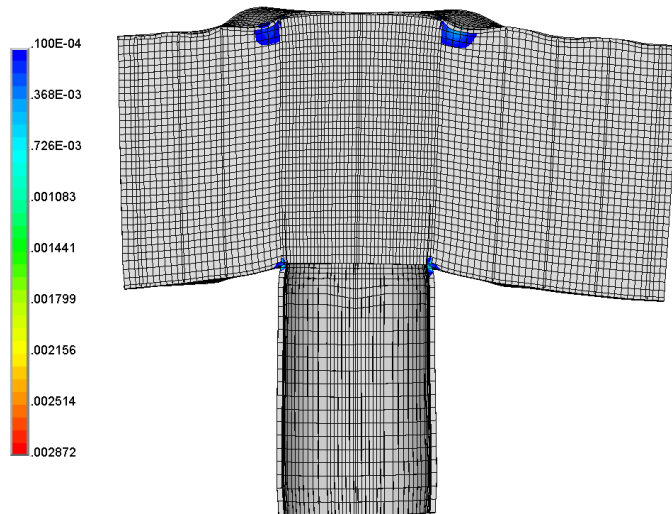
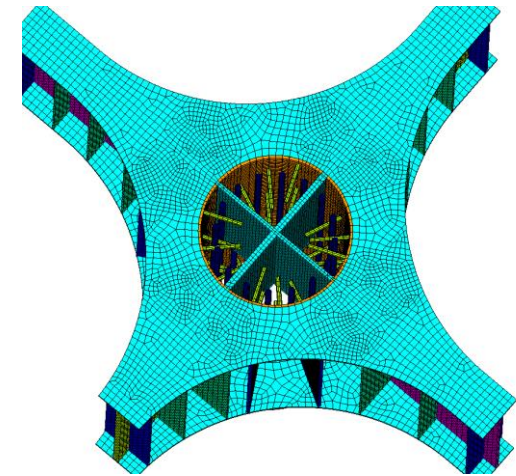
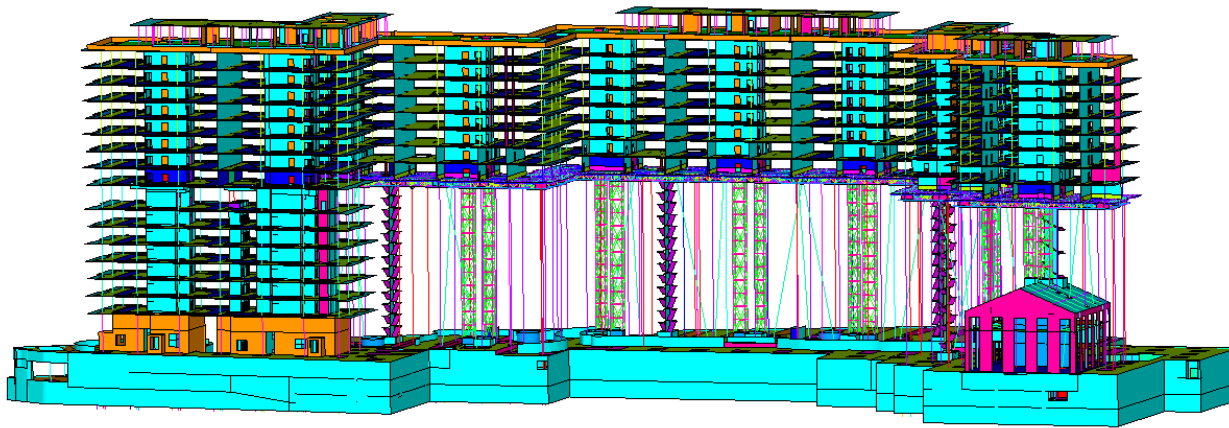


**E: Static Structural**  
Equivalent Plastic Strain - Multiple - 2.4126 s  
Type: Equivalent Plastic Strain  
Unit: mm/mm  
Time: 2.4126 s



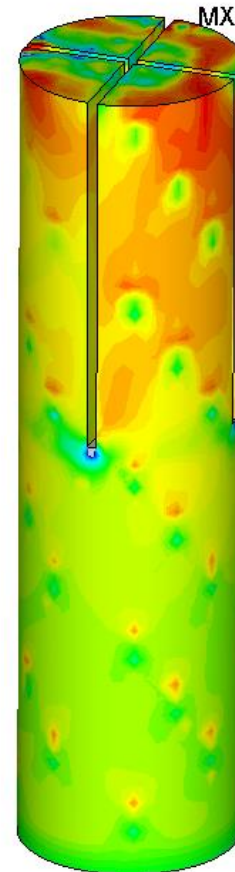
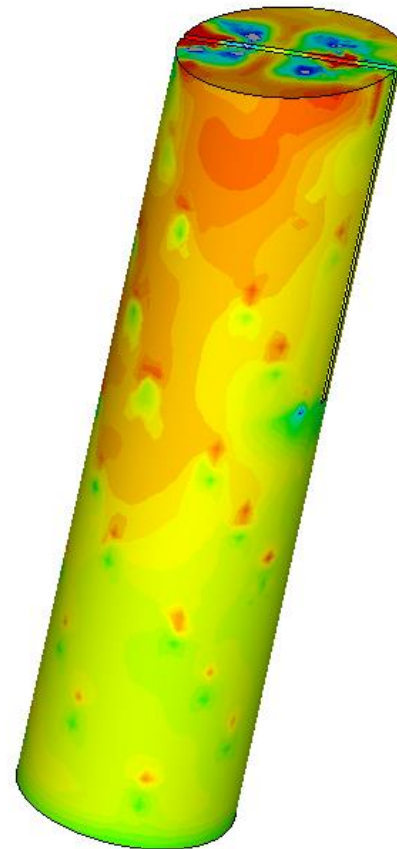
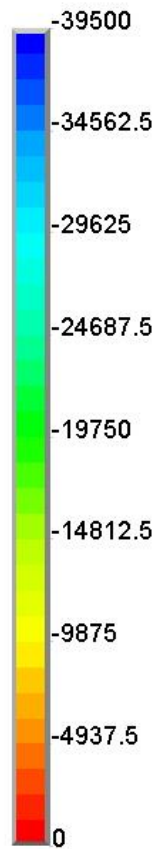
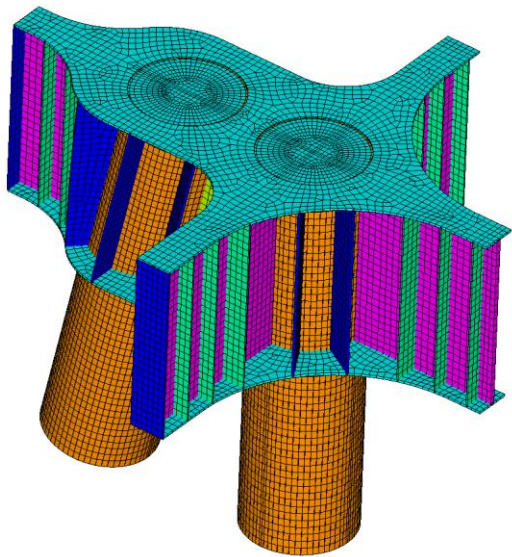
# МЖК «Бадаевский» (г. Москва)

Узел одиночного сварного оголовка трубобетонной колонны



# МЖК «Бадаевский» (г. Москва)

Узел двойного сварного оголовка трубобетонной колонны





*Номинация «За лучшее научное сопровождение реализованного инженерного проекта»:*

«Комплекс научно-исследовательских работ по расчетному обоснованию механической безопасности (напряженно-деформированного состояния, динамики, прочности и устойчивости) систем «основание-железобетонные конструкции фундаментов и трибун – металлоконструкции покрытия и фасадов» стадионов к чемпионату мира по футболу 2018 года (в **Санкт-Петербурге, Самаре, Нижнем Новгороде, Волгограде, Ростове-на-Дону, Екатеринбурге**) при основных и особых сочетаниях нагрузок и воздействий.

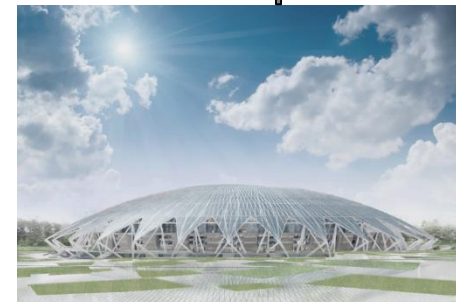
*Авторский коллектив:*

*А.М. Белостоцкий, А.А. Аул,  
Д.С. Дмитриев, А.С. Павлов,  
А.И. Нагибович, К.И. Островский*

Санкт-Петербург



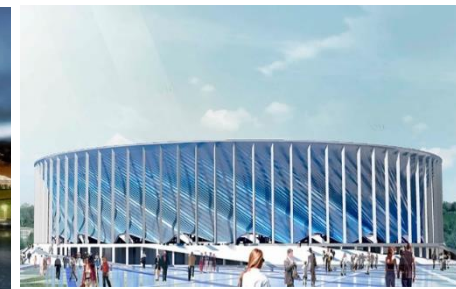
Самара



Волгоград



Нижний Новгород

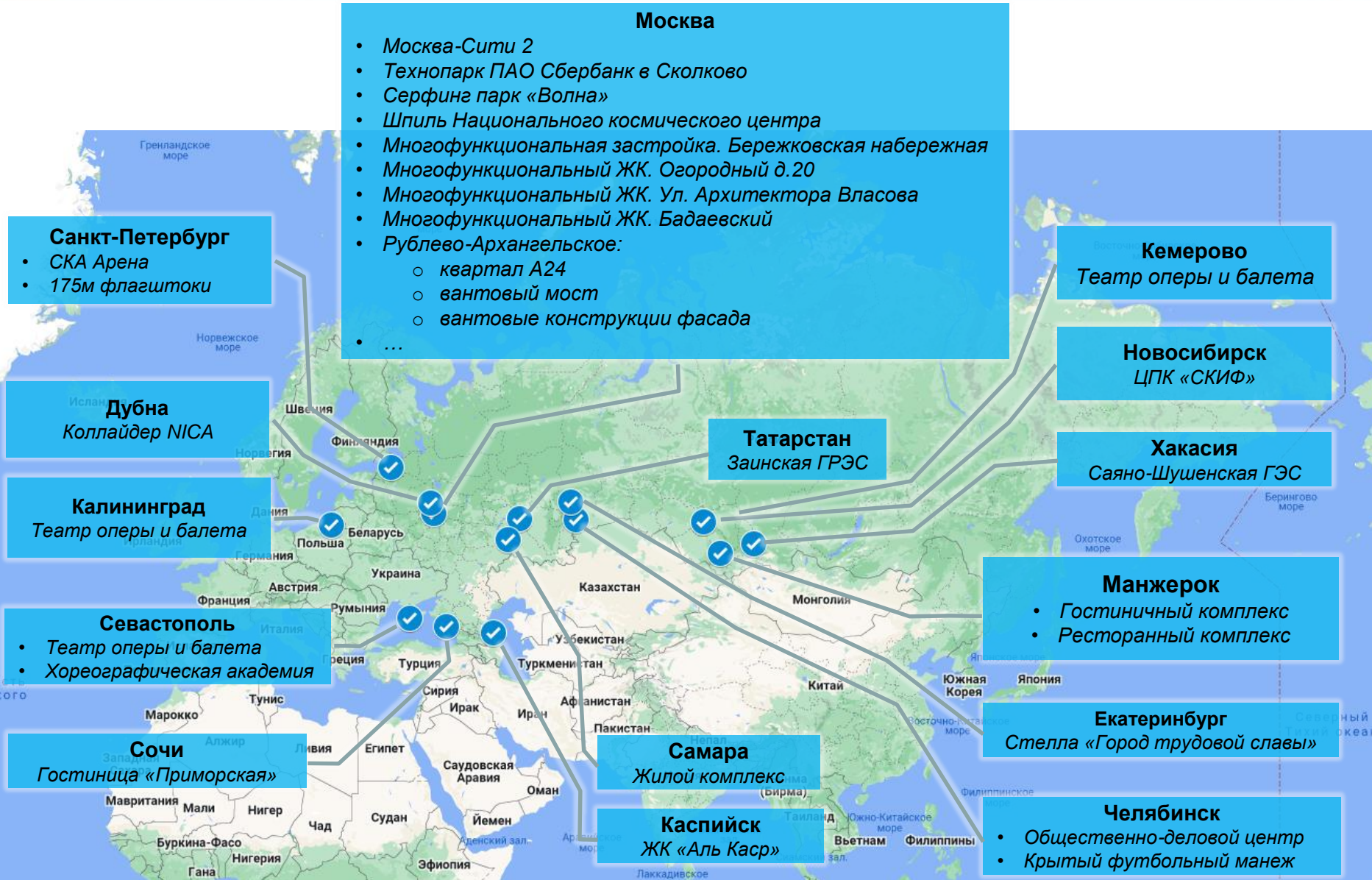


Ростов-на-Дону



Екатеринбург





- ### Москва
- Москва-Сити 2
  - Технопарк ПАО Сбербанк в Сколково
  - Серфинг парк «Волна»
  - Шпиль Национального космического центра
  - Многофункциональная застройка. Бережковская набережная
  - Многофункциональный ЖК. Огородный д.20
  - Многофункциональный ЖК. Ул. Архитектора Власова
  - Многофункциональный ЖК. Бадаевский
  - Рублево-Архангельское:
    - квартал А24
    - вантовый мост
    - вантовые конструкции фасада
  - ...

**Санкт-Петербург**  
• СКА Арена  
• 175м флагштоки

**Дубна**  
Коллайдер NICA

**Калининград**  
Театр оперы и балета

**Севастополь**  
• Театр оперы и балета  
• Хореографическая академия

**Сочи**  
Гостиница «Приморская»

**Кемерово**  
Театр оперы и балета

**Новосибирск**  
ЦПК «СКИФ»

**Хакасия**  
Саяно-Шушенская ГЭС

**Манжерок**  
• Гостиничный комплекс  
• Ресторанный комплекс

**Екатеринбург**  
Стелла «Город трудовой славы»

**Самара**  
Жилой комплекс

**Каспийск**  
ЖК «Аль Каср»

**Челябинск**  
• Общественно-деловой центр  
• Крытый футбольный манеж



# НИР – объекты и задачи последних лет Москва



**МФК «Рублево-Архангельское»**



**Национальный космический центр**



**Многофункциональный жилой комплекс Огородный д.20**



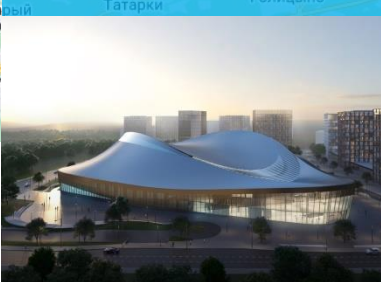
**Многофункциональный высотный жилой комплекс «Москва-Сити 2»**



**Технопарк СБД Сколково**



**Серфинг парк «Волна»**



**Многофункциональная застройка. Бережковская набережная**

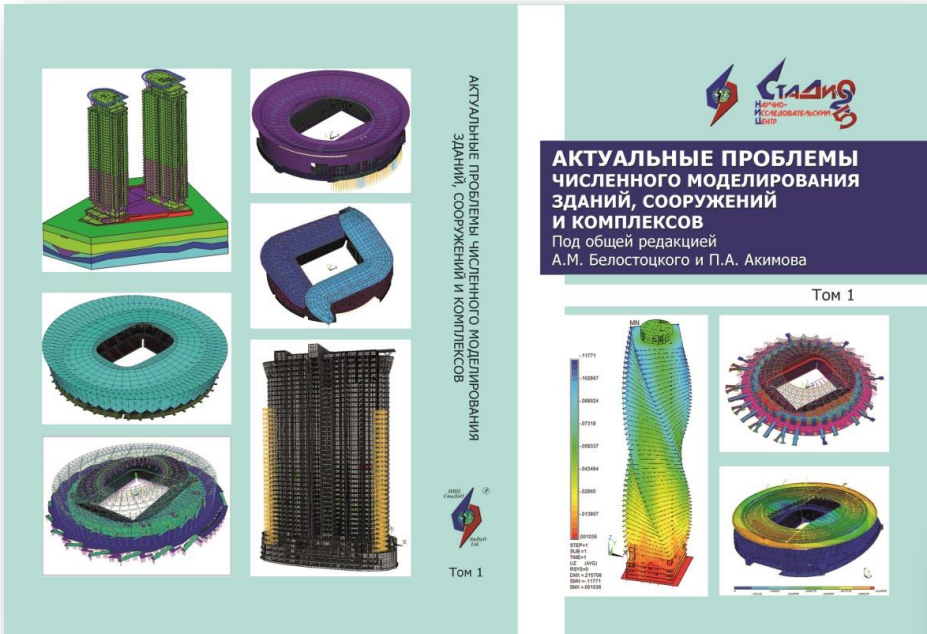


**Многофункциональный жилой комплекс Ул. Архитектора Власова**



**Многофункциональный жилой комплекс «Бадаевский»**





**«Актуальные проблемы численного моделирования зданий, сооружений и комплексов. К 25-летию НИЦ Стадио»**

Том 1

**«Актуальные проблемы численного моделирования зданий, сооружений и комплексов. К 25-летию НИЦ Стадио»**

Том 2



АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И КОМПЛЕКСОВ

Том 2

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УНИКАЛЬНЫХ ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И КОМПЛЕКСОВ**  
Под общей редакцией А.М. Белостоцкого и П.А. Акимова

Том 2



А.М. Белостоцкий П.А. Акимов И.Н. Афанасьева

## ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ АЭРОДИНАМИКА В ЗАДАЧАХ СТРОИТЕЛЬСТВА



**Белостоцкий А.М., Акимов П.А., Афанасьева И.Н.**

**Вычислительная аэродинамика в задачах строительства:**  
Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2017. – 718 с.

В книге рассматриваются методы и алгоритмы решения задач строительной аэрогидродинамики, а также соответствующие программные средства и технологии, приводятся результаты решения модельных, тестовых (верификационных) и практически важных задач в инженерных приложениях.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки «Строительство» (бакалавриат, магистратура), «Прикладная математика» (программы бакалавриата), «Прикладная механика» (программы бакалавриата и магистратуры), «Техника и технологии строительства» (программы аспирантуры), «Информатика и вычислительная техника» (программы аспирантуры), специальности «Строительство уникальных зданий и сооружений» (программа специалитета), рекомендуется студентам старших курсов при выполнении курсовых проектов и работ, выпускных квалификационных работ, а также магистрантам и аспирантам. Кроме того, издание полезно для специалистов в области механики жидкости и газа, вычислительной аэрогидродинамики, вычислительной математики, строительства, может использоваться для самостоятельного изучения.



**Белостоцкий А.М., Акимов П.А., Кайтуков Т.Б.**  
**Математическое и компьютерное моделирование в основе мониторинга зданий и сооружений: Учебное пособие.** – М.: АСВ, 2018. – 712 с.

В книге рассматриваются теоретические основы мониторинга зданий и сооружений (в том числе оригинальная авторская численная методика в основе и составе систем мониторинга несущих конструкций зданий и сооружений на значимых стадиях возведения и эксплуатации), реализующее программно-алгоритмическое и аппаратное обеспечение, а также некоторые верификационные, модельные, тестовые и практически важные примеры. Издание аккумулирует мировой опыт и собственные достижения коллектива Научно-исследовательского центра СтаДиО, Российской академии архитектуры и строительных наук и ранее существовавшего Научно-образовательного центра компьютерного моделирования уникальных зданий, сооружений и комплексов Национального исследовательского Московского государственного строительного университета.

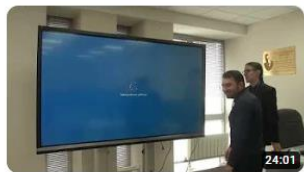


**НИЦ СтаДиО / StaDyO R&D**  
 @stadyord2757 · 369 подписчиков · 53 видео  
 Вы — на канале Научно-исследовательского центра СтаДиО (ЗАО НИЦ СтаДиО) >

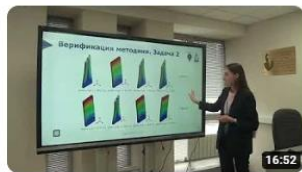
Подписаться

Главная Видео Плейлисты Сообщество Каналы 0 канале

Новые Популярные Старые



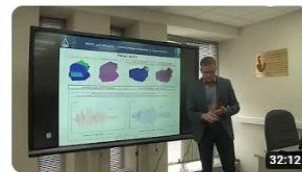
Численное моделирование снеговых нагрузок. Особенности методики. Н.А...  
 229 просмотров · 10 месяцев назад



Численное моделирование аэроупругой неустойчивости строит. конструкций н...  
 206 просмотров · 10 месяцев назад



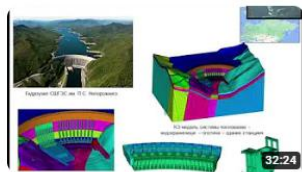
Численное моделирование отклика вантовых светопрозрачн. конструкций н...  
 98 просмотров · 10 месяцев назад



Особенности и проблемы проведения комплексного НТСП уникальных...  
 103 просмотра · 10 месяцев назад



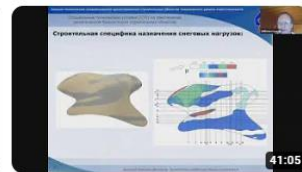
Научная школа Золотова Александра Борисовича: состояние и перспективы...  
 91 просмотр · 10 месяцев назад



Компьютерное моделирование в наукоемких задачах строительства...  
 238 просмотров · 10 месяцев назад



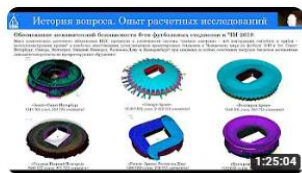
Физико-математические основы метода стоячих волн и принципы его...  
 81 просмотр · 11 месяцев назад



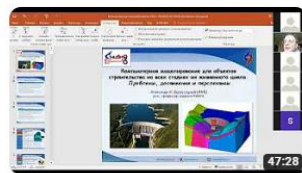
НТС-2. Предсеминар 26 мая 2020. НТС и 9,5 его законов. Часть 3.  
 65 просмотров · 11 месяцев назад



НТС-2. Предсеминар 26 мая 2020. НТС и 9,5 его законов. Часть 1.  
 54 просмотра · 11 месяцев назад



Математическое и физическое моделирование в задачах строительной...  
 578 просмотров · 1 год назад



Лекция для Открытого университета ПНИПУ. 14.03.22  
 300 просмотров · 1 год назад



Теоретические основы методов компьютерного моделирования. НИУ...  
 302 просмотра · 1 год назад



## Проблемы и вызовы, объективные и российские

1. Российские нормы (СП 14..., СП 20...), «группа товарищей» на пути (поперек) прогресса
2. Статус и наполнение НТС проектирования, строительства и эксплуатации уникальных объектов
3. ПО. Аттестация в НТЦ ЯРБ (+), верификация в РААСН (...), сертификация в... (-)
4. Разработка Национального вычислительного комплекса. Актуально/реально ли – как и на базе чего?

....

## Девять *с половиной* основных правил реального *НТС*, не считая 50-и оттенков

1. ***НТС должно быть*** (для зданий/сооружений уникальных и КС-3)
2. *НТС* должно быть именно **«научно-техническим сопровождением»** (а не его имитацией-фальсификацией)
3. Для успешной реализации п.2 *НТС* должно выполняться коллективом(ами)/фирмой(ами) с репрезентативным опытом и актуальной научно-практической репутацией в этой области (никакой умозрительной «статусности» и фиктивных/купленных аттестатов/сертификатов и пр. макулатуры)
4. *НТС* должно предварять, сопровождать и обосновывать **все этапы жизненного цикла** зданий и сооружений. Для стадии проектирования – концепт, изыскания, стадии П и РД.
5. **СТУ** – важная составляющая часть, во многом определяющая состав, объем и инструментарий *НТС*

**Девять с половиной основных правил реального *НТС*,  
не считая 50-ти оттенков**

6. Определение, моделирование (математическое и/или физическое), назначение нагрузок, воздействий и аварийных ситуаций, их расчетных сочетаний – одна из основ *НТС*.
7. Альтернативные расчеты параметров механической безопасности (НДС, динамика, прочность и устойчивость) при основных и особых сочетаниях воздействий – не проформа, а наука и искусство, требующие должной организации, постоянного внимания и изрядной квалификации как проводящих *НТС*, так и «альтернативщиков».
8. Программные комплексы для альтернативных расчетов в рамках *НТС* – только верифицированные в РААСН или аттестованные в НТЦ ЯРБ Ростехнадзора
9. Сравнительный анализ результатов альтернативных расчетов, поиск и устранение (научными приемами) причин расхождения по критериальным параметрам, приведение их в приемлемое соответствие, выпуск исчерпывающего отчета и Заключения по *НТС* – важнейшие составляющие *НТС*
- 9 1/2. Ну, и кто бы что бы ни говорил, доказательное и результативное сопровождение результатов *НТС* в госэкспертизе – его, *НТС* проектирования, заключительный и важнейший аккорд.



**СПАСИБО  
ЗА ВНИМАНИЕ!**