

# Цифровые технологии в строительстве. Из прошлого в будущее. Роль РААСН

*А.М. Белостоцкий*, член-корр. РААСН, ОСН

Общее собрание РААСН, 17.06.2021



## Содержание доклада

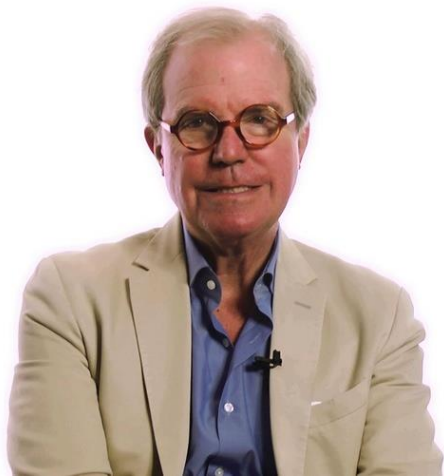
1. «Цифровые» - экономика, производство, технологии (ЦТ, «цифра»). Что это, и зачем?
2. Математическое моделирование нагрузок и воздействий
3. Математическое моделирования НДС, динамики, прочности и устойчивости
4. Связанные задачи вычислительной механики
5. ЦТ в экспериментальных и натурных исследованиях
6. ЦТ в производстве материалов, изделий и конструкций
7. BIM/TIM - идеи «цифровых двойников» в строительстве
8. «Умные» дом, район, город, регион и страна
9. Нормотворчество в области ЦТ
10. РААСН - место во всем вышеперечисленном



1

Цифровая экономика, цифровое производство, цифровые технологии. Что это и зачем?





*Николас Негропонте*

↪ **Цифровая экономика** – это система экономических, социальных и культурных отношений, основанных на использовании цифровых технологий.

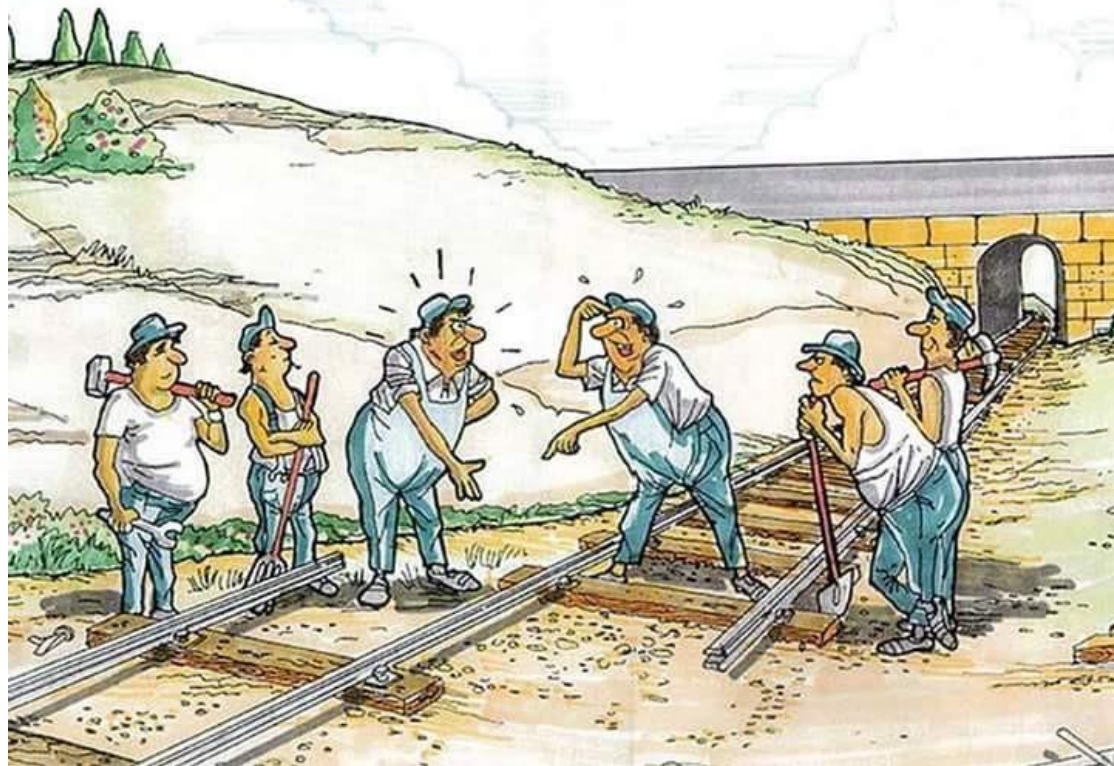
↪ Основной цифровой экономики является **цифровое производство** – концепция технологической подготовки производства в единой виртуальной среде с помощью инструментов планирования, проверки и моделирования производственных процессов.

↪ К современным **цифровым технологиям** относятся:

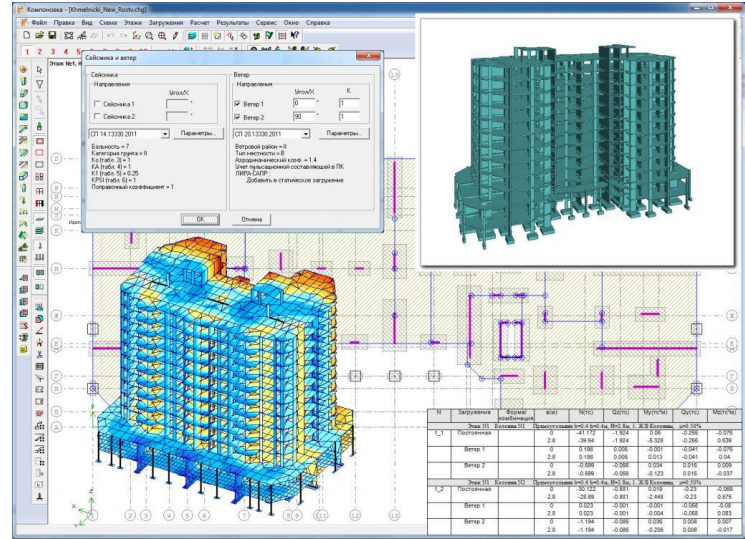
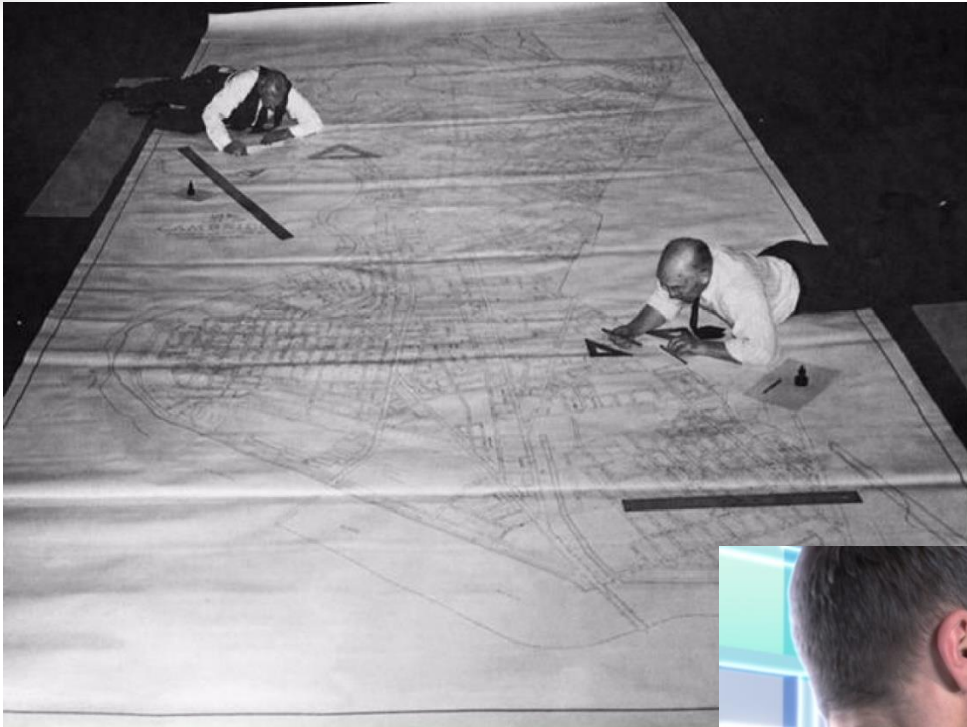
- технологии математического и компьютерного моделирования,
- технологии Big Data (анализ огромных массивов информации),
- технологии машинного обучения,
- аддитивные технологии (технологии 3-D печати),
- интеллектуальные (умные) технологии,
- технологии определения местонахождения,
- облачные сервисы (выделяемое дисковое пространство на удаленном сервере),
- интеллектуальные датчики, мобильные устройства
- др.



## Team Work



Многочисленные эксперты и руководители разных уровней заверяют экспертное сообщество, что именно **внедрение цифровых технологий** станет **важным фактором инновационного развития строительной отрасли**, позволит изыскателям, архитекторам, проектировщикам, инженерам, дизайнерам, заказчикам и строителям стать по-настоящему **единой командой** и добиться успехов в реализации самых сложных проектов капитального строительства.



«Бумажная технология – CAD – BIM

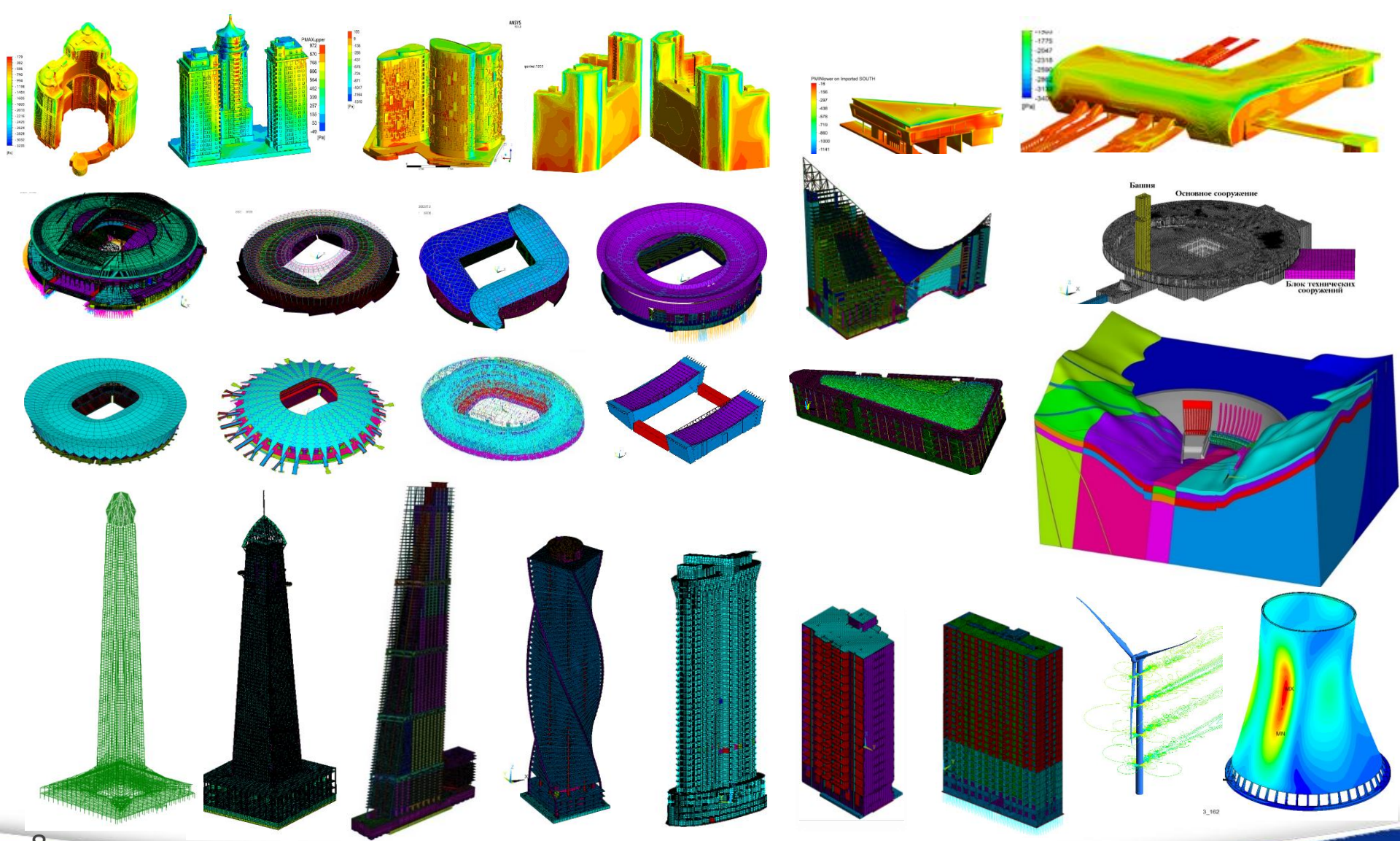


# Некоторые проблемы математического моделирования (обоснование безопасности, э/эффективности, комфортности,...)

- Моделирование климатических нагрузок (пульсационных ветровых, снеговых, гололедных,...), сейсмических и аварийных воздействий
- Разработка/реализация реологических моделей грунтовых массивов и их взаимодействия с сооружениями
- Разработка/реализация нелинейных моделей поведения материалов (железобетона, кирпичной кладки, композитов и пр.) в статических и динамических постановках
- Адекватный учет геометрической, структурной и генетической (последовательности возведения) нелинейностей
- Динамические нелинейные задачи, во всем их многообразии (сейсмика, прогрессирующее обрушение,...)
- Компьютерное моделирование задач **огнестойкости**
- Связанные задачи аэрогидроупругости (в т.ч., флаттер, бафтинг, галопирование и пр.)
- Адаптивные матмодели в основе/составе систем мониторинга («цифровые двойники»), решение некорректных обратных задач
- Решение задач большой вычислительной размерности (параллельные решатели, машинное обучение, квантовые алгоритмы, ...)

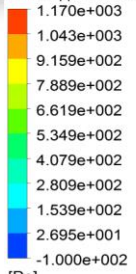


# Объекты строительства – конструкции, здания, сооружения, комплексы, ...



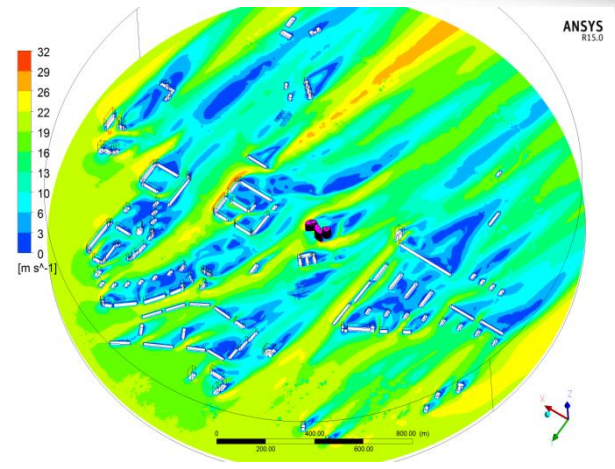
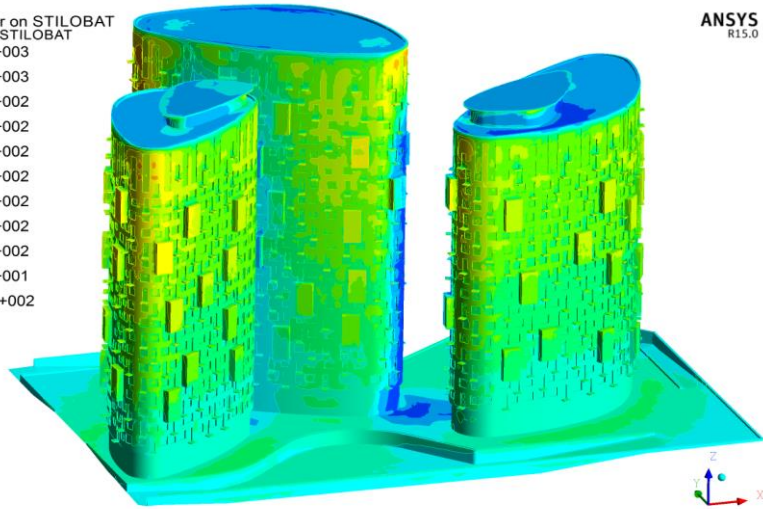


PMAUpper on STILOBAT  
PMAUpper STILOBAT

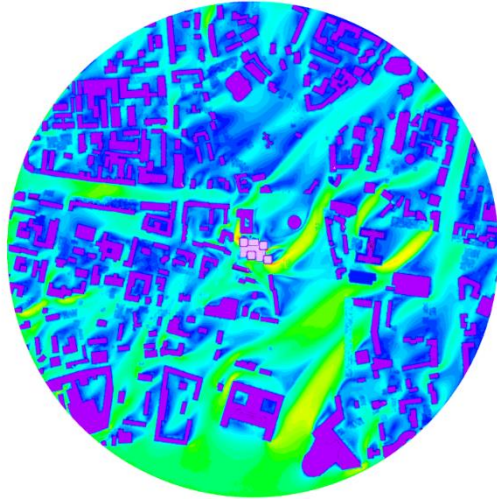
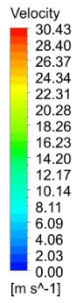
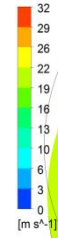


[Pa]

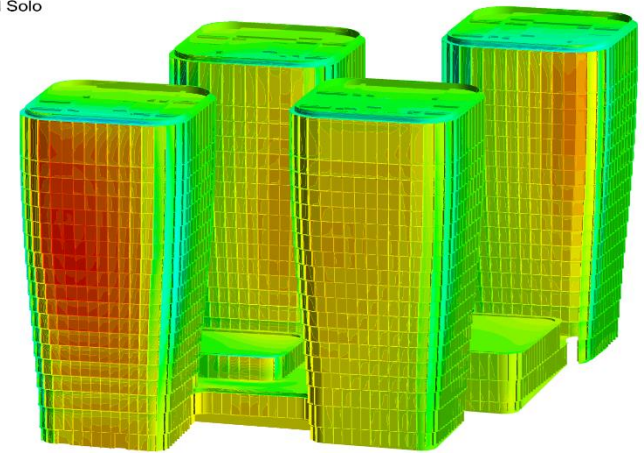
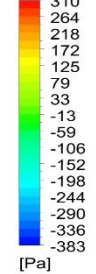
ANSYS  
R15.0



ANSYS  
R15.0



PAVE on Imported Solo

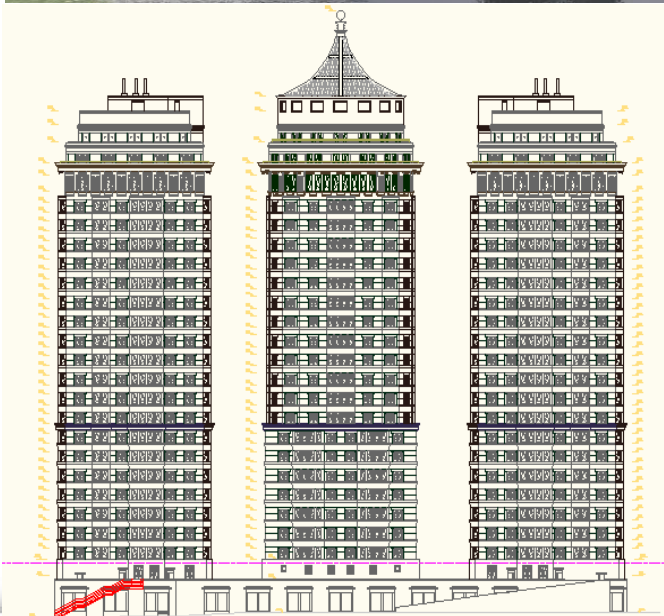


2

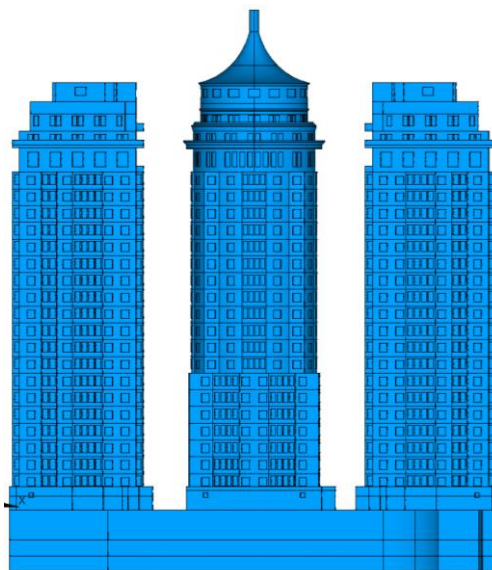
# Математическое и компьютерное моделирование нагрузок и воздействий

# Моделирование ветровых потоков и нагрузок

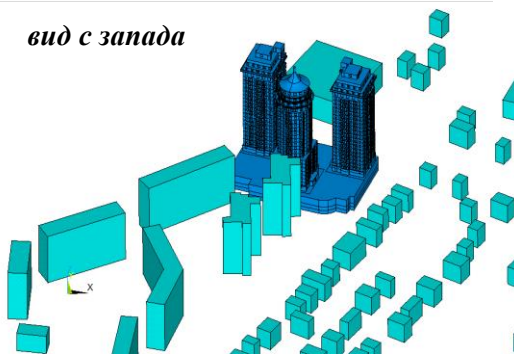
МЖК (Московская обл., г. Пушкино, ...). Ветровые нагрузки на несущие и фасадные конструкции, оценка пешеходной комфортности (ПК ANSYS/CFD)



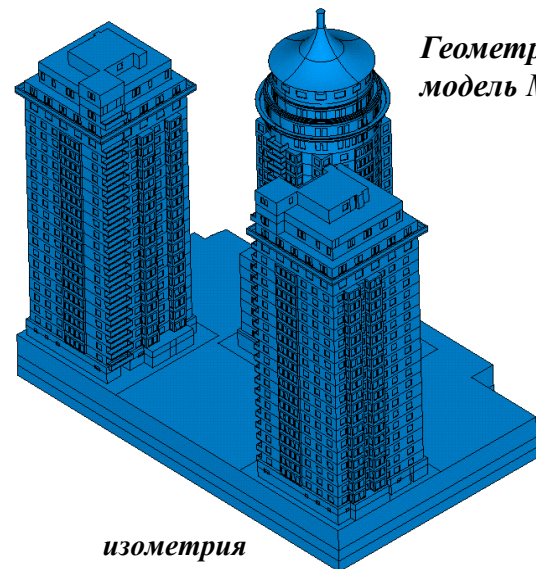
фасад в осях 110-220



вид с запада

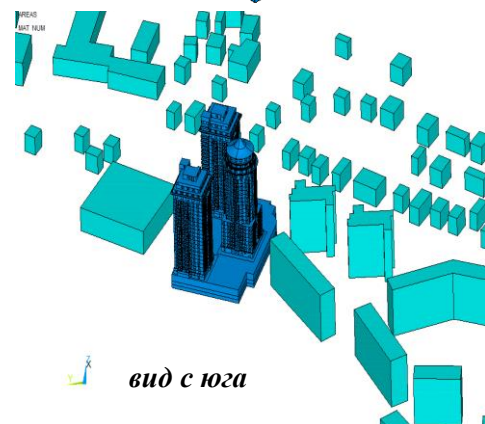


МЖК в существующей застройке (фрагмент)



Геометрическая модель МЖК

изометрия

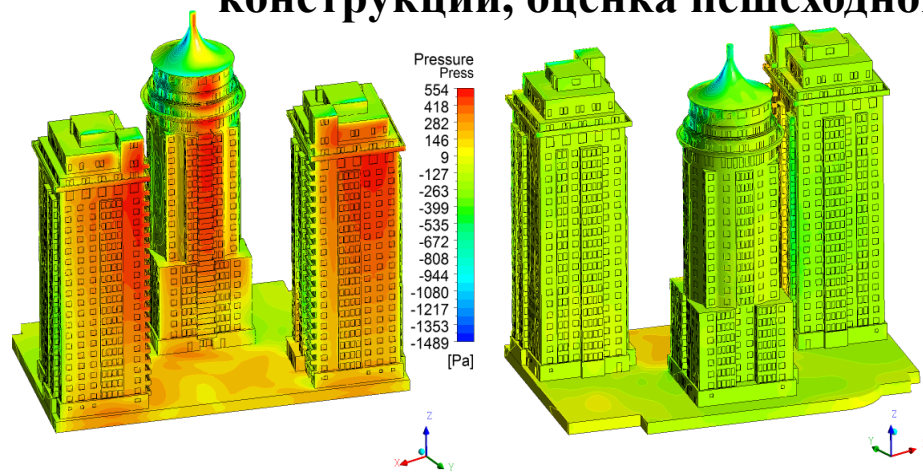


вид с юга

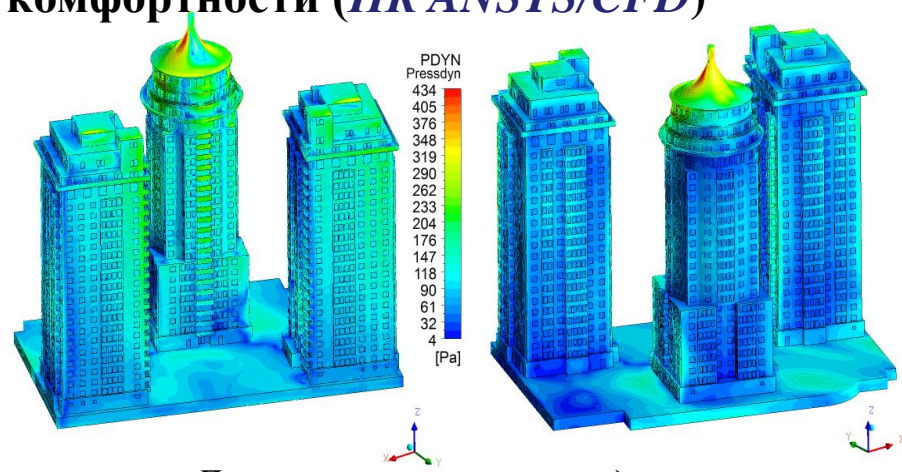


# Моделирование ветровых потоков и нагрузок

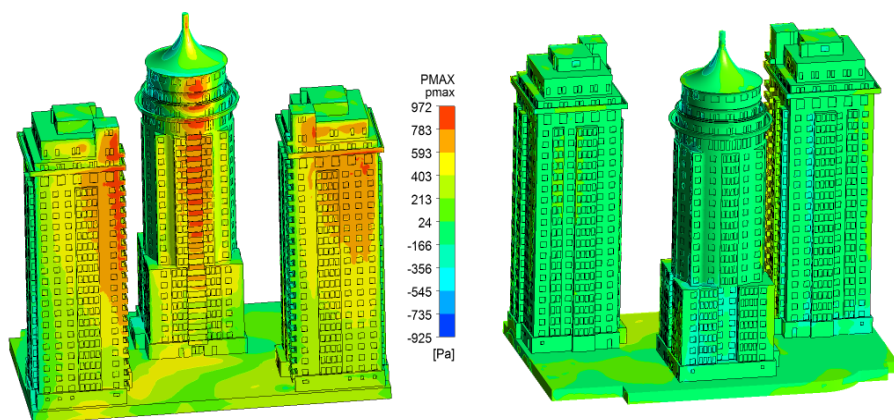
МЖК (Московская обл., г. Пушкино, ...). Ветровые нагрузки на несущие и фасадные конструкции, оценка пешеходной комфортности (ПК ANSYS/CFD)



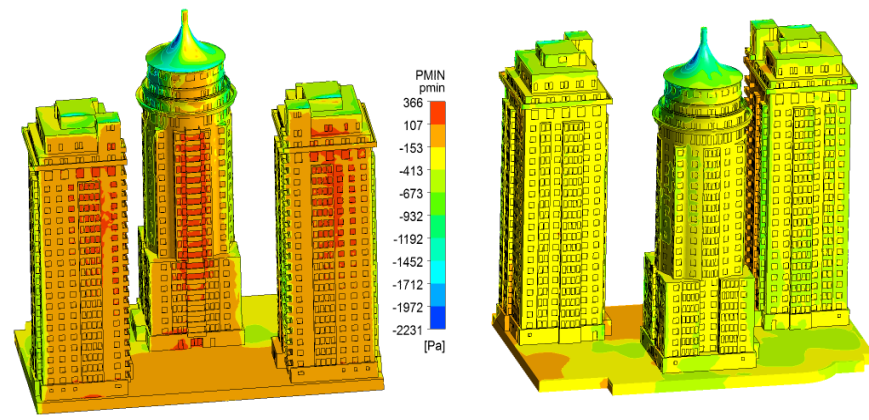
Средние давления на несущие конструкции (Па).  
Угол атаки ветра  $0^\circ$



Пульсационная составляющая давления на несущие конструкции (Па). Угол атаки ветра  $0^\circ$



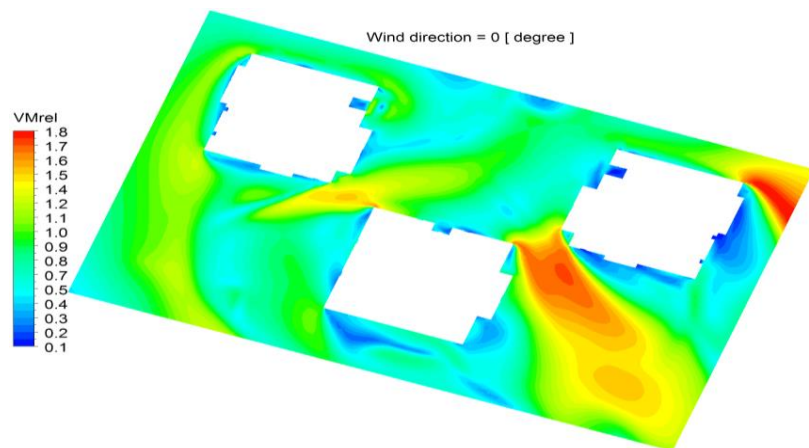
Максимальные давления (Па) на фасадные конструкции для угла атаки ветра  $0^\circ$ .  
Максимальное значение 972 Па, минимальное -925 Па



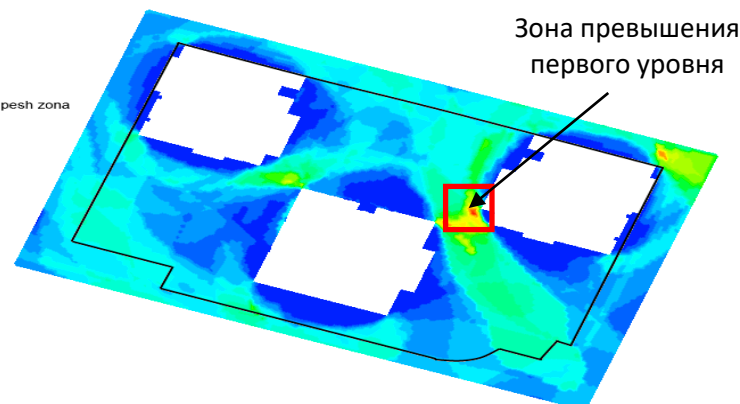
Минимальные давления (Па) на фасадные конструкции для угла атаки ветра  $0^\circ$ .  
Максимальное значение 366 Па, минимальное -2231 Па

# Моделирование ветровых потоков и нагрузок

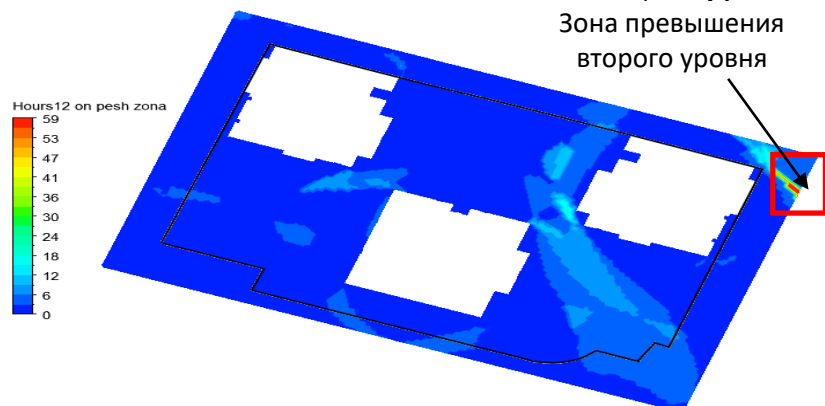
МЖК (Московская обл., г. Пушкино, ...). Ветровые нагрузки на несущие и фасадные конструкции, оценка пешеходной комфортности (ПК ANSYS/CFD)



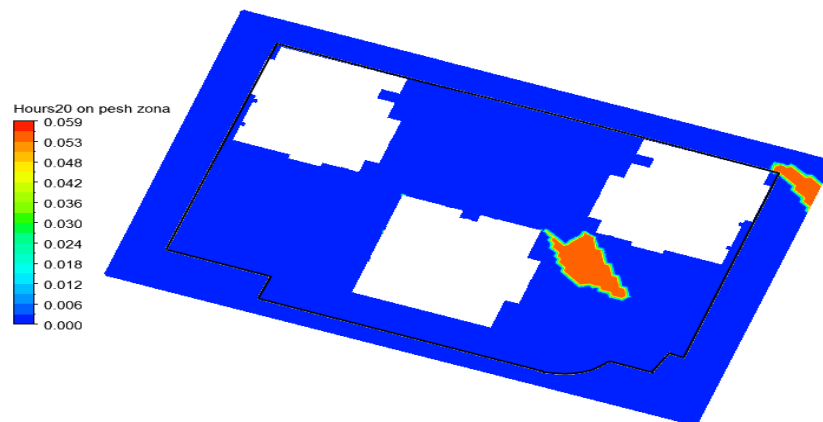
Относительные скорости ветра с учетом порывов в пешеходных зонах  $h=1.5$  м. Угол  $0^\circ$  (север)



1-й уровень пешеходной комфортности – повторяемость скорости ветра в порывах 6 м/с (час/год), коэффициент обеспеченности  $\Theta = 2$ . Допустимая величина – 1000 час



2-й уровень пешеходной комфортности – повторяемость скорости ветра в порывах 12 м/с (час/год), коэффициент обеспеченности  $\Theta = 2$ . Допустимая величина – 50 час

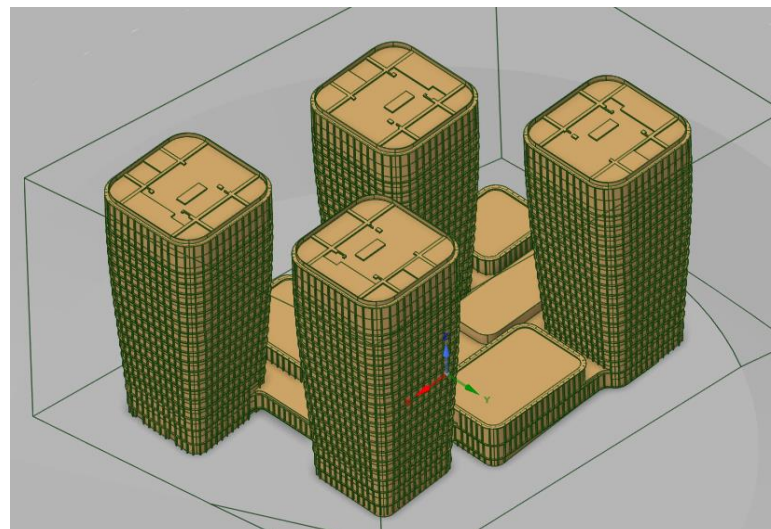
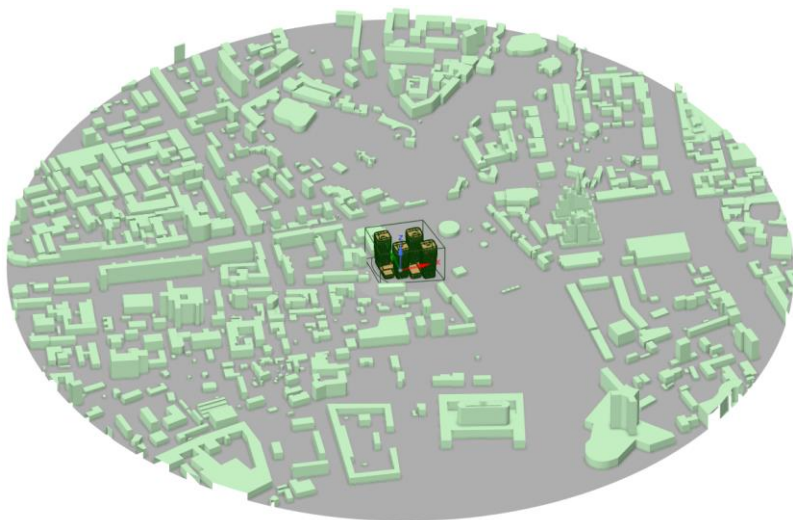


3-й уровень пешеходной комфортности – повторяемость скорости ветра в порывах 20 м/с (час/год), коэффициент обеспеченности  $\Theta = 2$ . Допустимая величина – 5 час

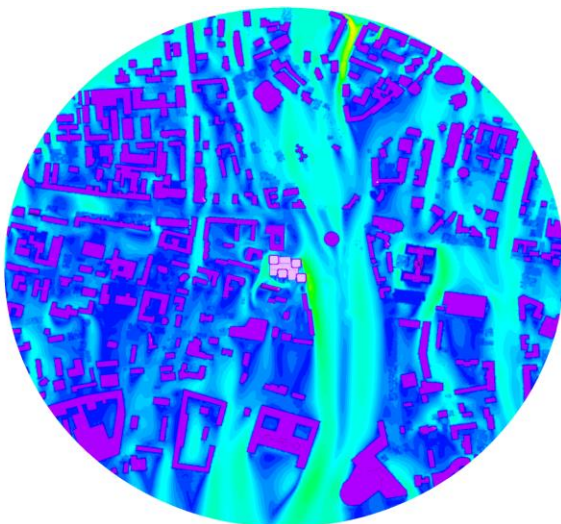


# Моделирование ветровых потоков и нагрузок

## МФК «Соловей» (Москва, ...) в окружающей застройке

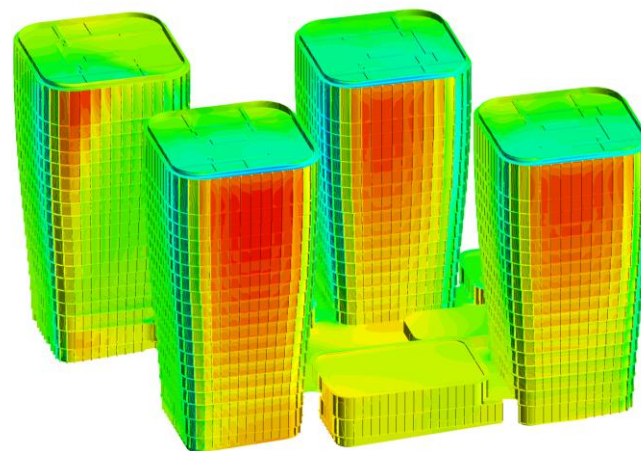


Velocity  
44.32  
41.37  
38.41  
35.46  
32.50  
29.55  
26.59  
23.64  
20.68  
17.73  
14.77  
11.82  
8.86  
5.91  
2.95  
0.00  
[m s<sup>-1</sup>]



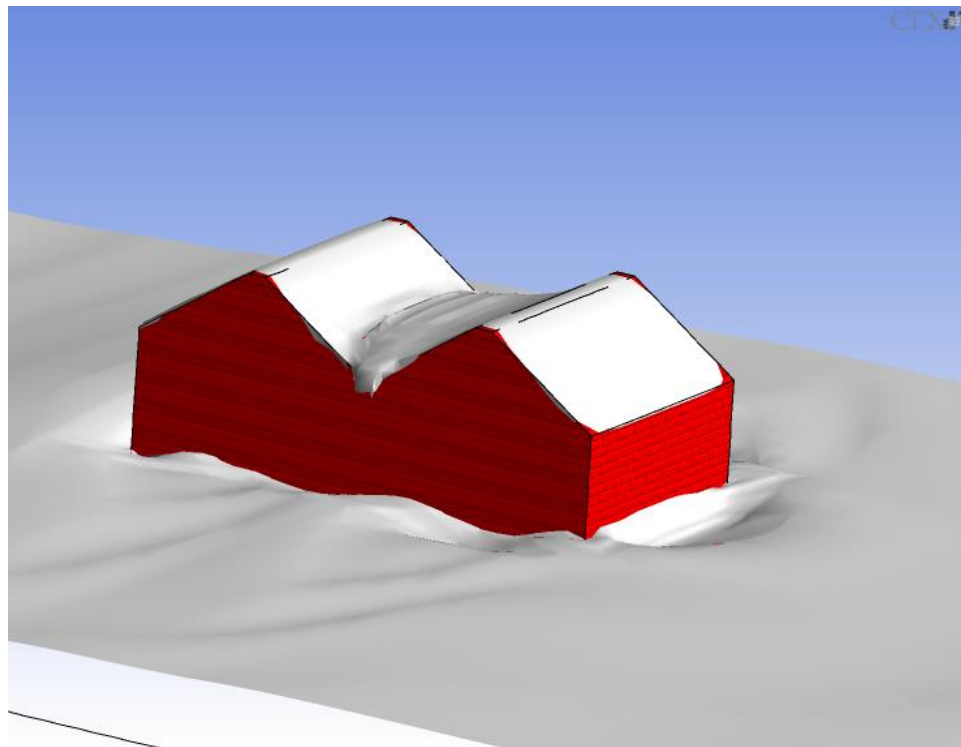
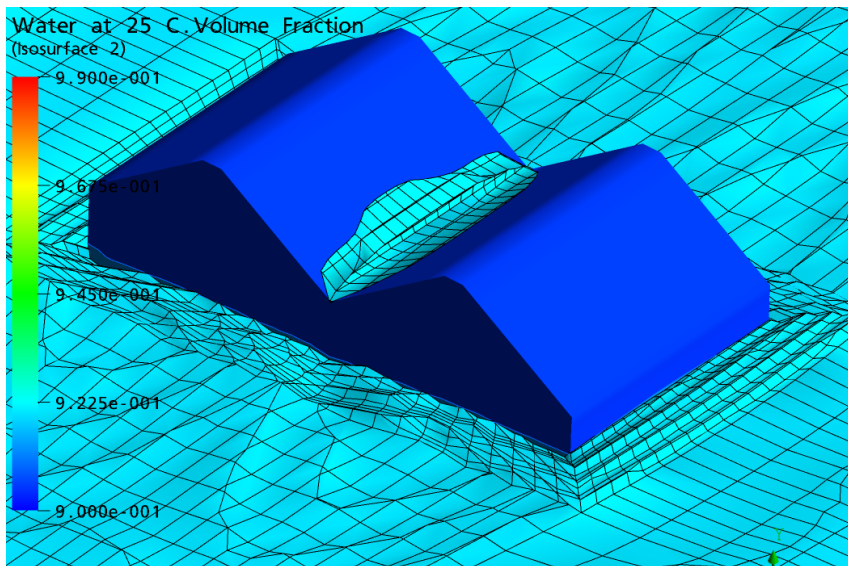
PAVE on Imported Solo

482  
402  
323  
244  
165  
86  
7  
-73  
-152  
-231  
-310  
-389  
-468  
-548  
-627  
-706  
[Pa]



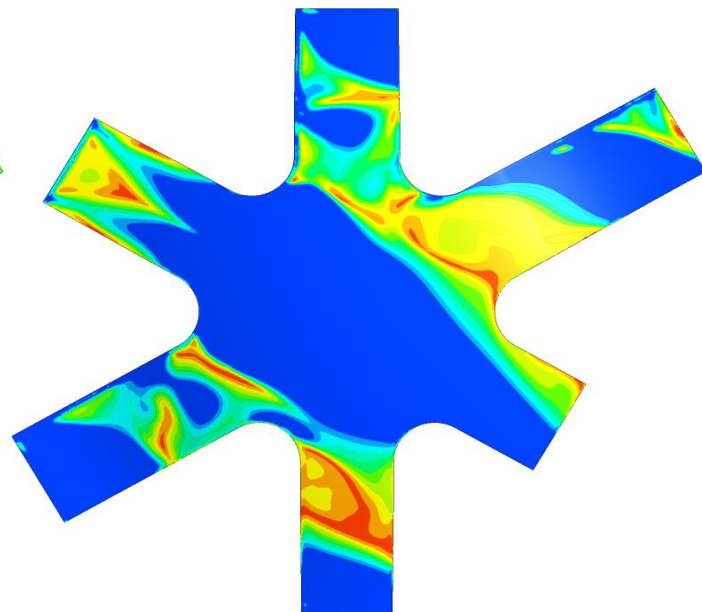
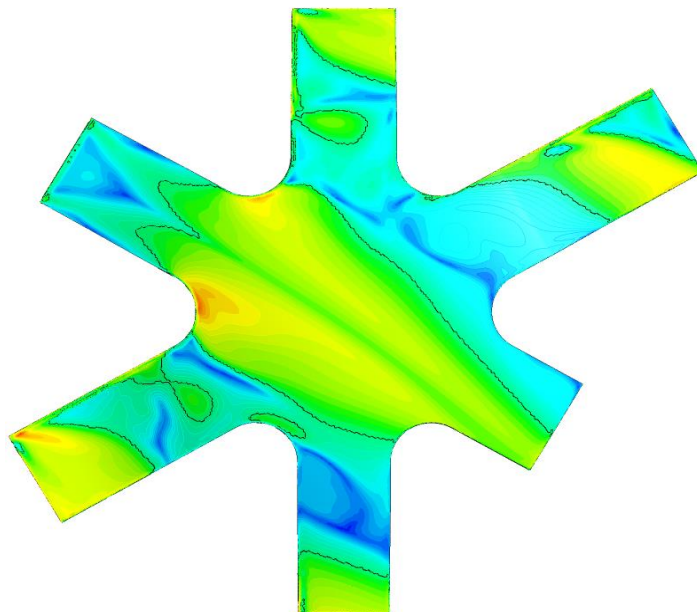
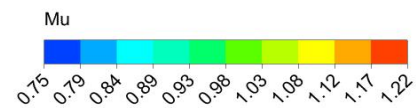
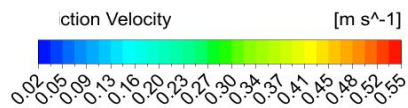
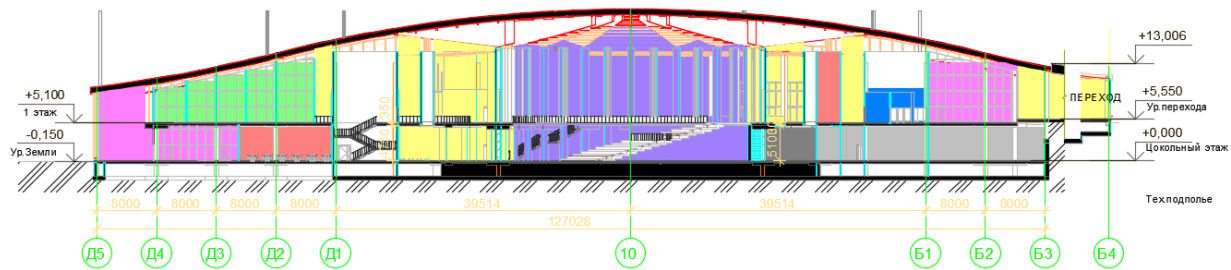
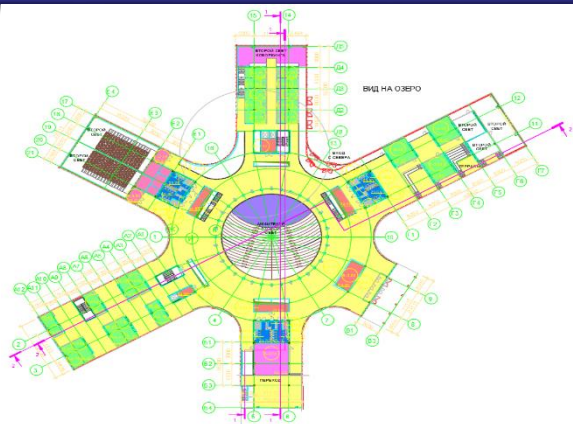


## Моделирование снеговых нагрузок (снегоперенос&снегоотложение)



Математическое моделирование позволяет численно оценить толщину слоя снега для покрытий простых (пока) форм. **Требуются исследования и разработки**

# Моделирование снеговых нагрузок на покрытия



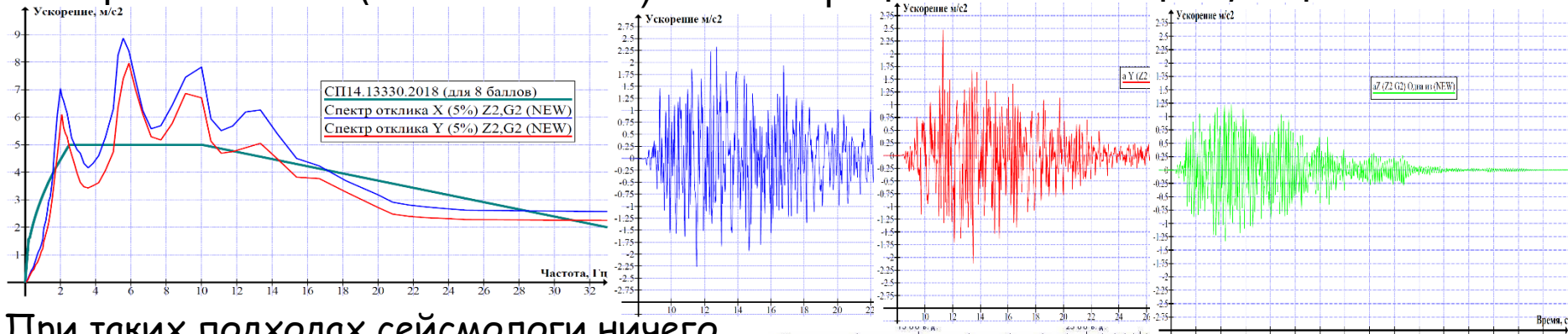
**Исследования,  
разработки,  
верификация,  
апробация**



# Сейсмические воздействия

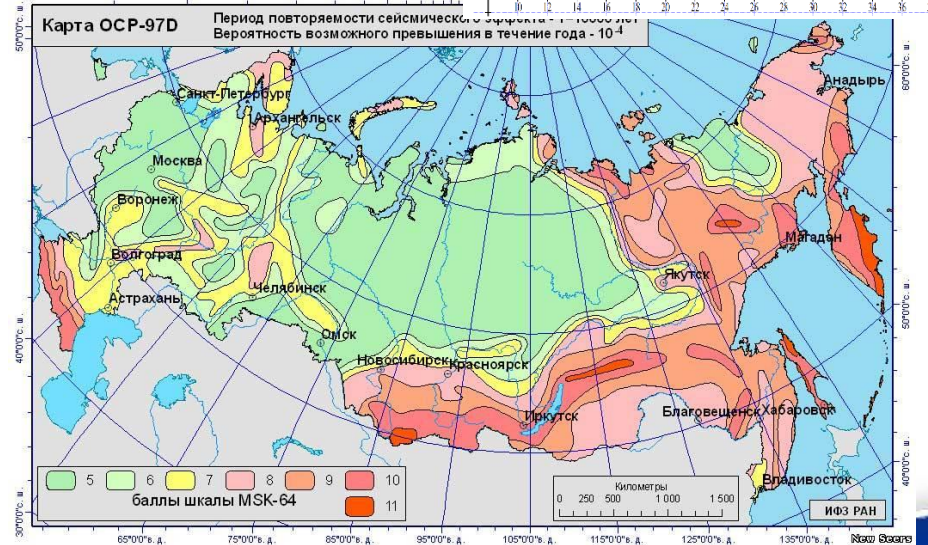
## Традиционные способы определения сейсмических воздействий:

- нормативно (СП-шный коэффициент динамичности) в рамках линейно-спектральной теории;
- по результатам сейсмического микрорайонирования для площадки строительства (сейсмологами) – акселерограммы и спектры ускорений.

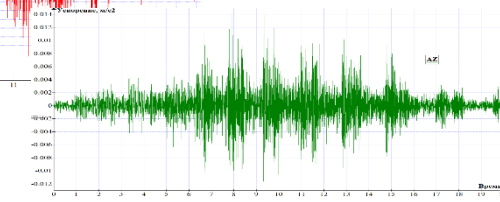
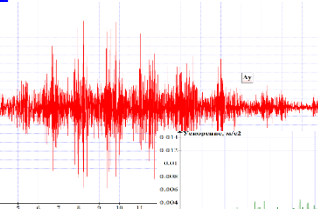
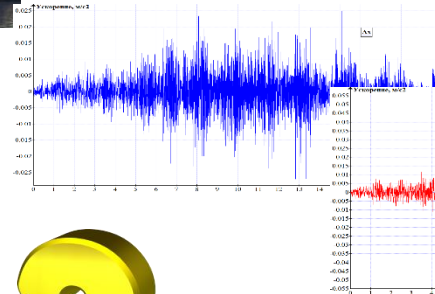
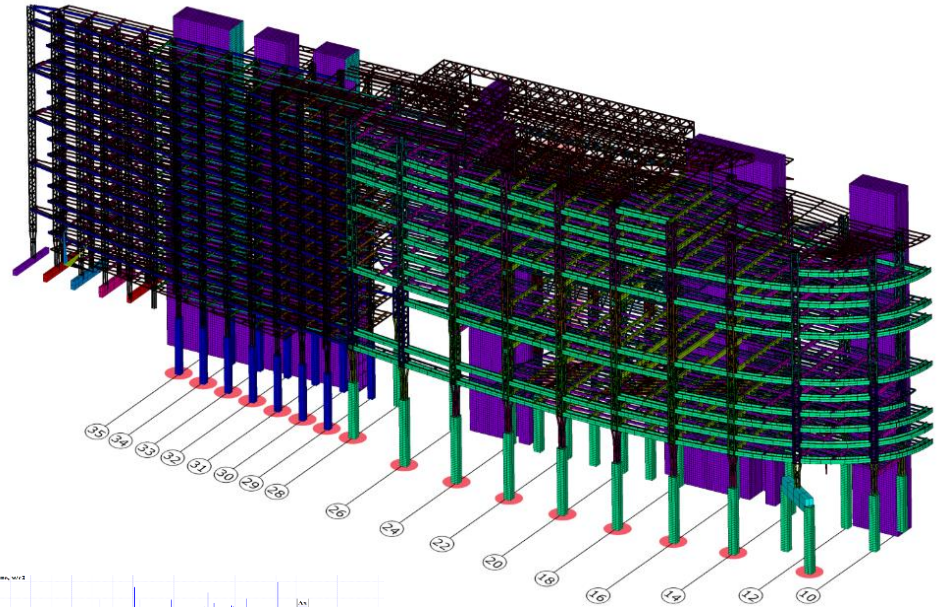


При таких подходах сейсмологи ничего (почти ничего) не знают о здании (сооружении), а «сейсмостойщики» - о предпосылках и инструментарии сейсмологов.

Современные американские нормы для передовой атомной отрасли уже ломают этот подход. Целесообразно учесть этот опыт. Роль цифровых технологий при проведении соответствующих исследований трудно переоценить.







Математическое (численное) моделирование НДС, динамики, прочности и устойчивости

# Большая вычислительная размерность задач компьютерного (численного) моделирования

## 1 The accelerating pace of change ...



## 2 ... and exponential growth in computing power ...

Computer technology, shown here climbing dramatically by powers of 10, is now progressing more each hour than it did in its entire first 90 years

### COMPUTER RANKINGS

By calculations per second per \$1,000



**Analytical engine**  
Never fully built, Charles Babbage's invention was designed to solve computational and logical problems



**Colossus**  
The electronic computer, with 1,500 vacuum tubes, helped the British crack German codes during WW II



**UNIVAC I**  
The first commercially marketed computer, used to tabulate the U.S. Census, occupied 943 cu. ft.



**Apple II**  
At a price of \$1,298, the compact machine was one of the first massively popular personal computers



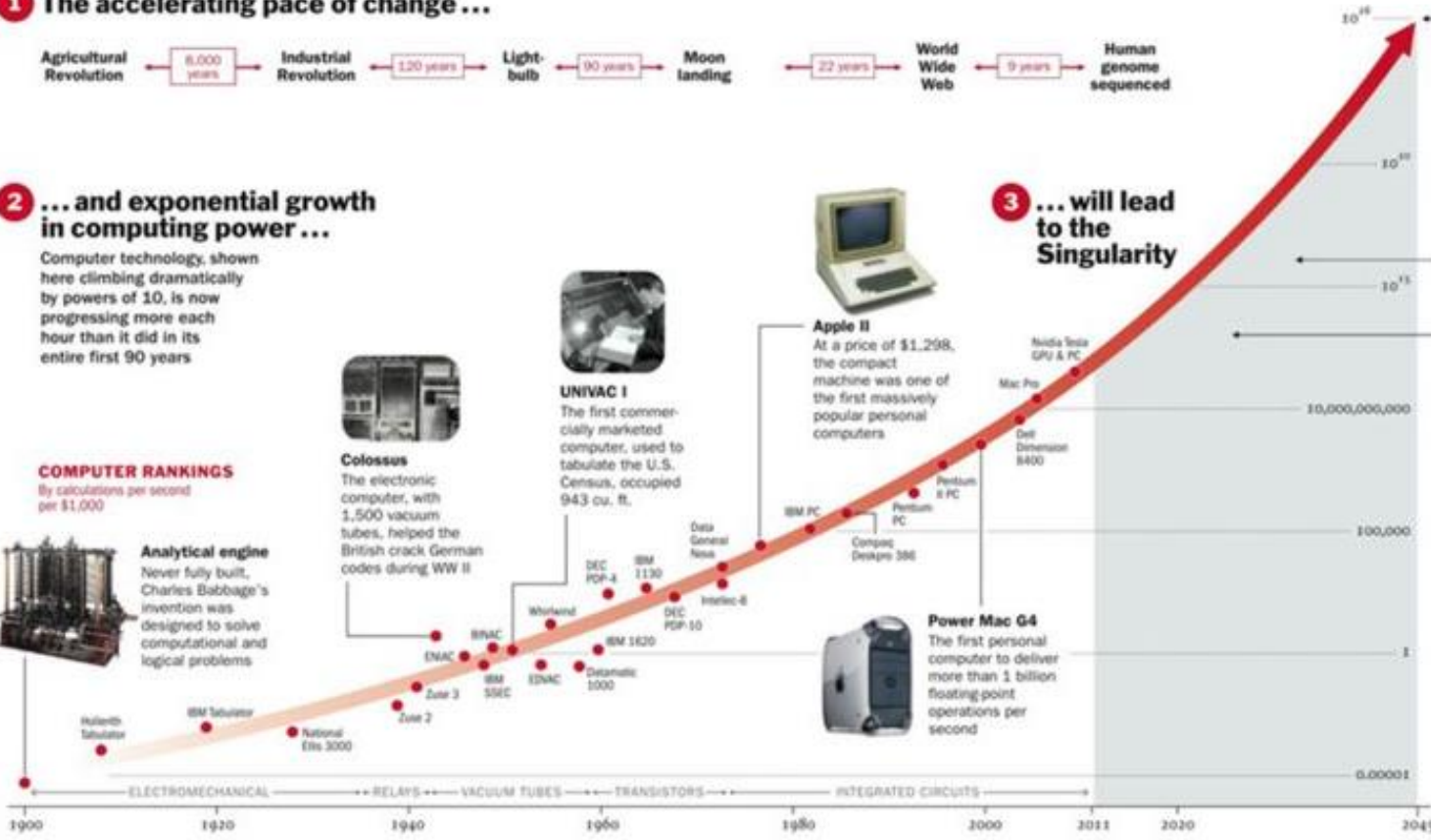
**Power Mac G4**  
The first personal computer to deliver more than 1 billion floating point operations per second

## 3 ... will lead to the Singularity

2045  
Surpasses brainpower equivalent to that of all human brains combined

Surpasses brainpower of human in 2023

Surpasses brainpower of mouse in 2015



Рост вычислительной мощности компьютеров в соответствии с законом Мура

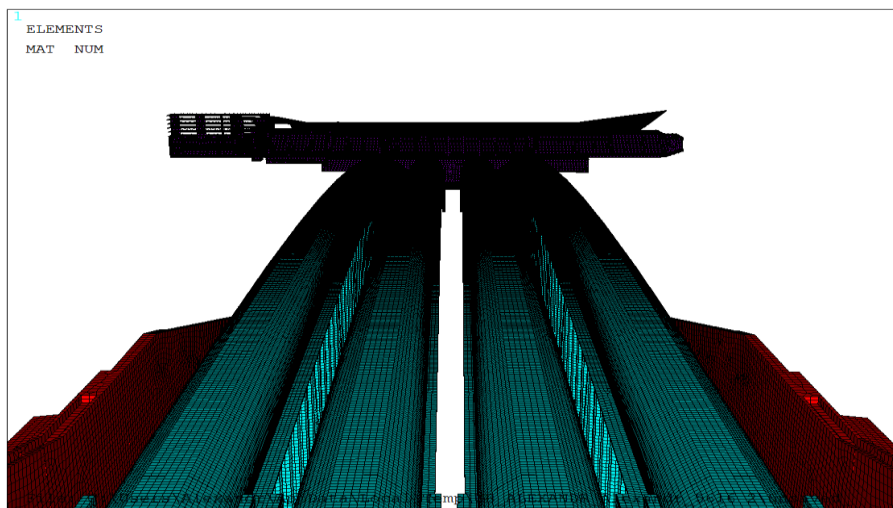
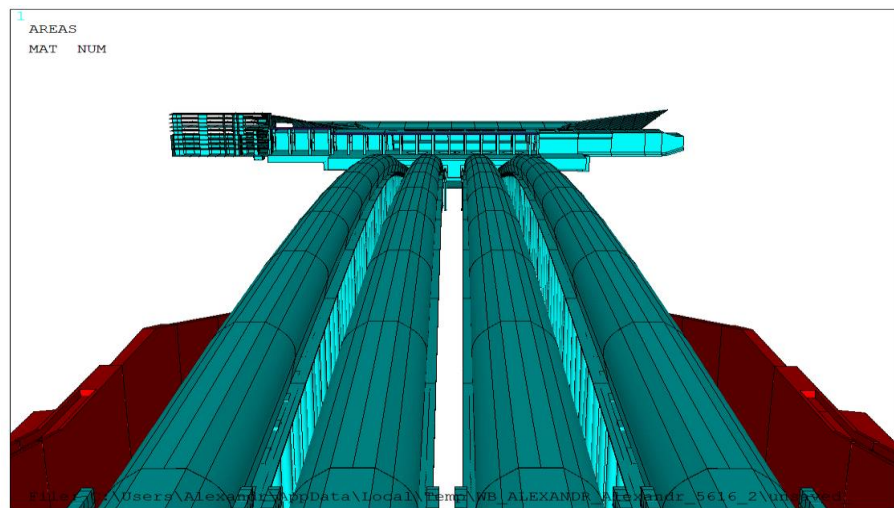




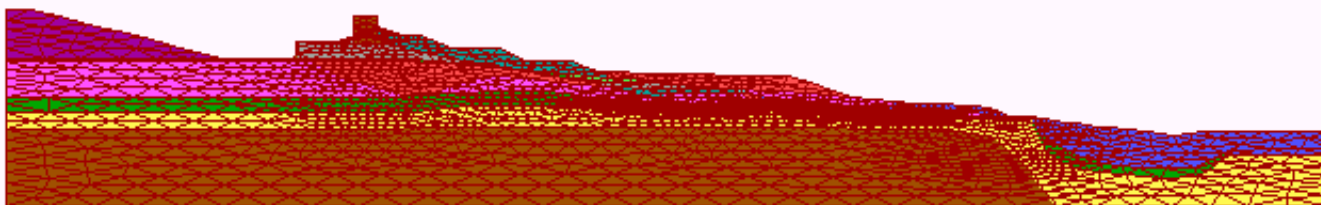
## Большая вычислительная размерность задач компьютерного (численного) моделирования



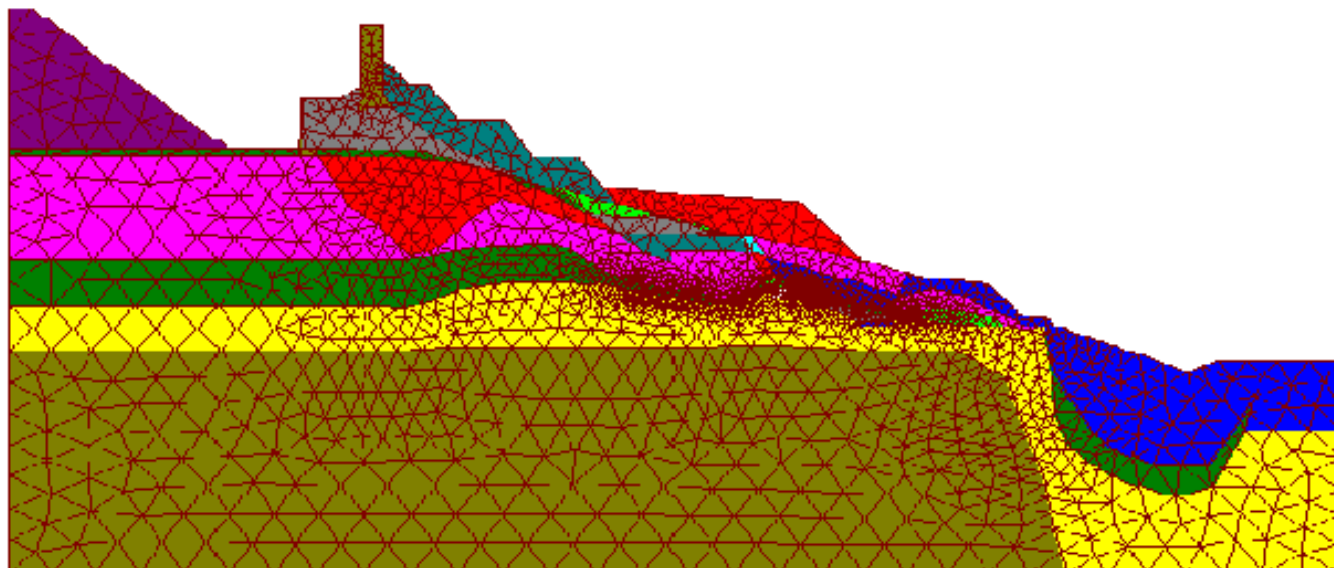
**Вид на водоводы  
Загорской ГАЭС-2  
с водоприемника  
(со стороны верхнего  
бассейна)**



# Моделирование взаимодействия сооружений с грунтовым основанием с учетом реальных свойств, поэтапности возведения и фактической истории эксплуатации



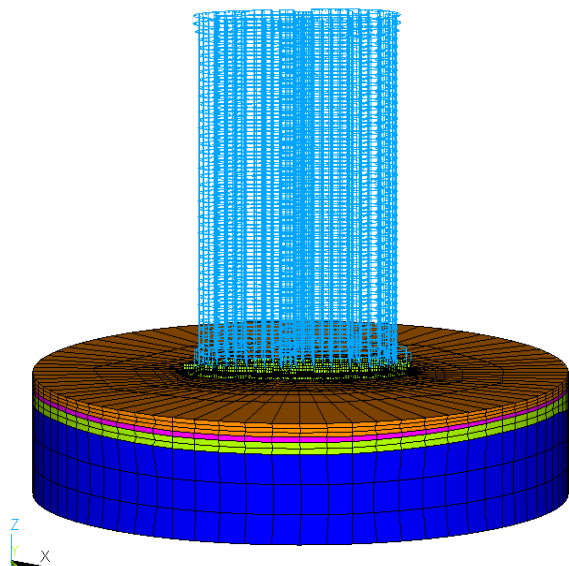
Параметризованная  
конечноэлементная  
модель  
поперечника склона  
Загорской ГАЭС  
*ПК СТАДИО*



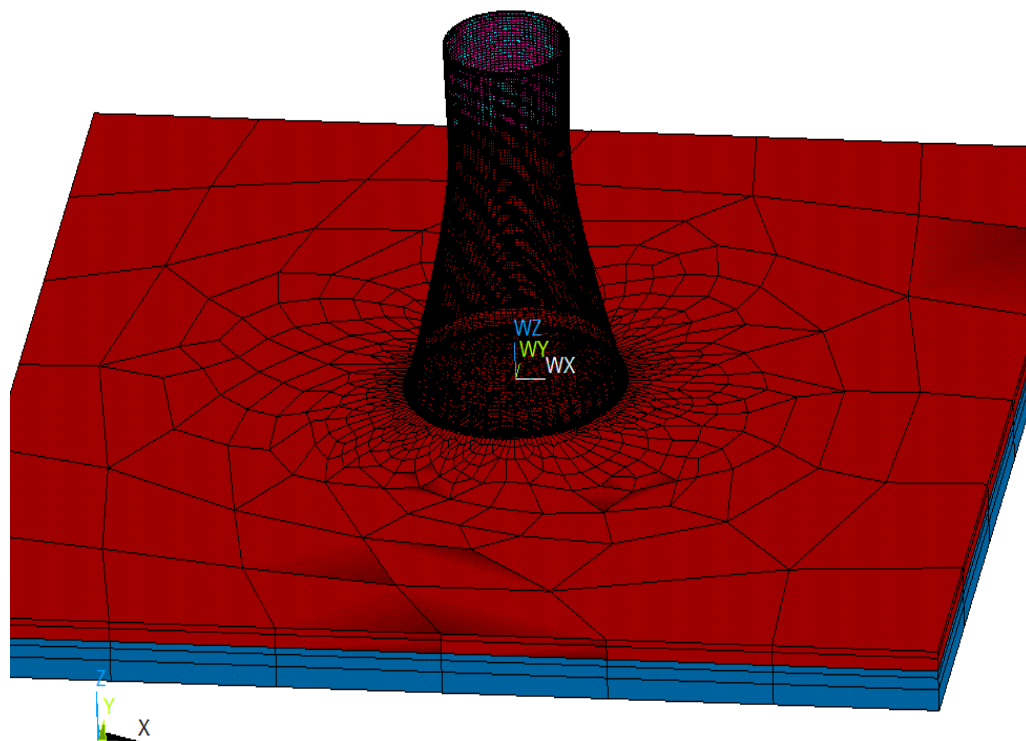


# Моделирование взаимодействия сооружений с грунтовым основанием с учетом реальных свойств, поэтапности возведения и фактической истории эксплуатации

ELEMENTS  
MAT NUM



Модели НДС высотного многофункционального комплекса («Проф-проект») 130 000 узлов, 140 000 КЭ  
Учет взаимодействия с грунтовым основанием по альтернативным методикам

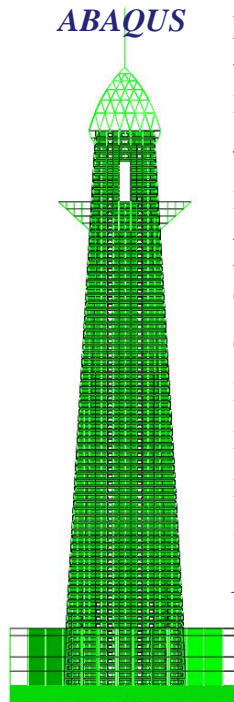


Упрощенная КЭ-модель “динамическое грунтовое основание (объемная) – градирия (оболочечная)” (Нововоронежская АЭС-2) в контактной постановке

# Анализ сейсмостойкости зданий и сооружений

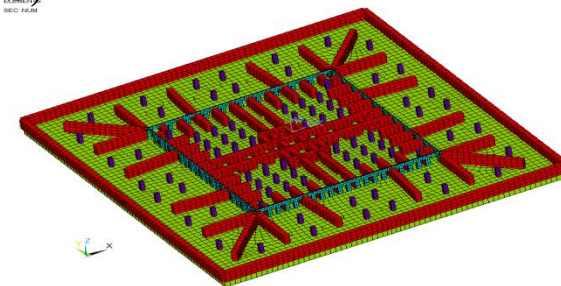
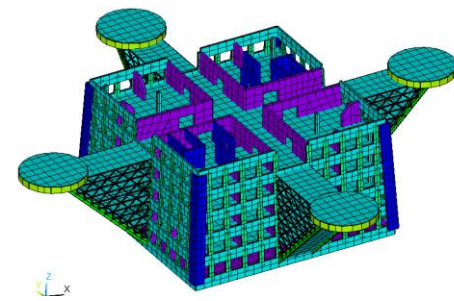
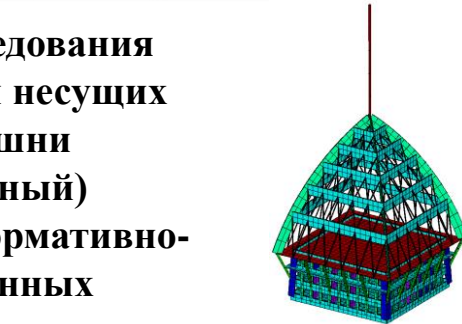


ANSYS

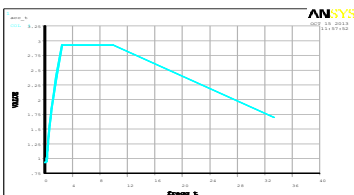


ABAQUS

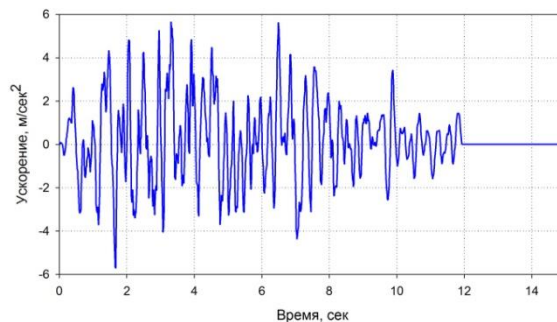
Расчетные исследования НДС, прочности несущих конструкций башни «Ахмат» (г. Грозный) при действии нормативно-регламентированных сочетаний статических, ветровых и сейсмических нагрузок (ПК ANSYS, ПК ABAQUS)



КЭ модели купола, этажи от 65 до 69 с вертолетными площадками и 2 этажа (со стилобатной частью) ПК ANSYS



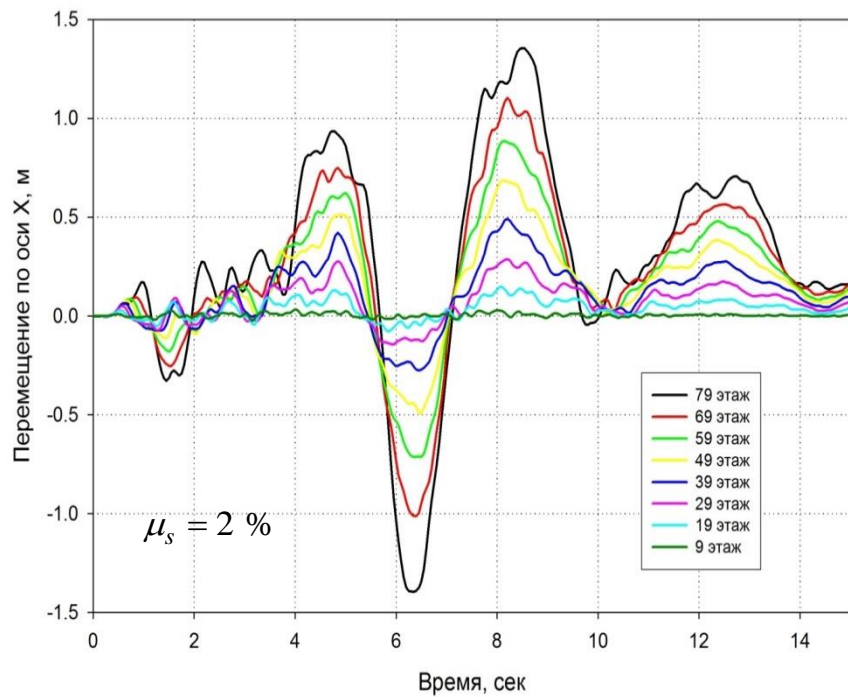
Расчетный спектр ответа Ускорения,  $m/s^2$  - частоты, Гц



Акселерограмма, соответствующая МРЗ



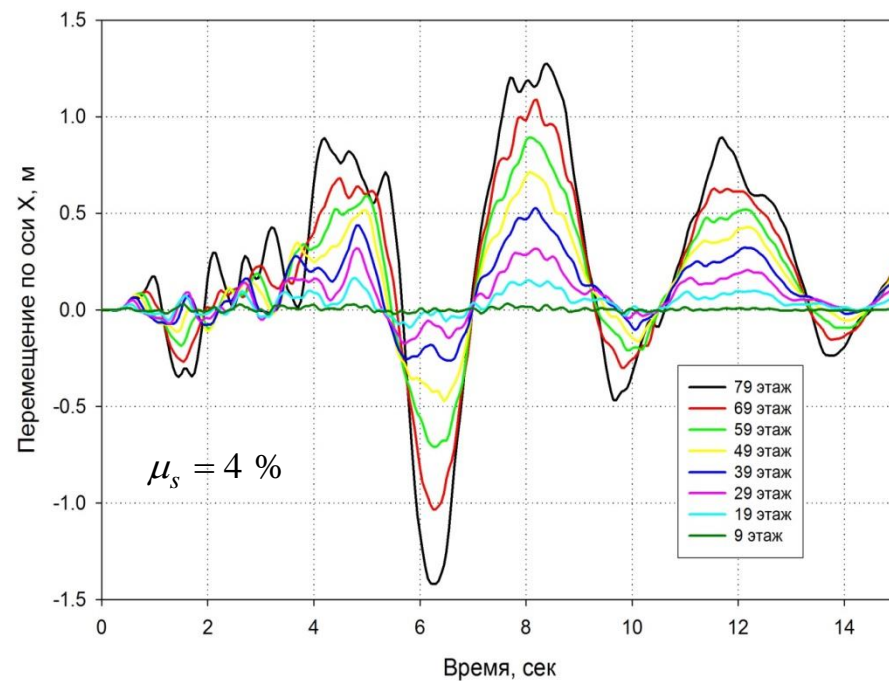
# Анализ сейсмостойкости зданий и сооружений



Перемещения различных этажей по оси X при МРЗ

*Прямой нелинейный (физически и геометрически)  
динамический расчет по явной схеме*

*Коэффициент армирования  
вертикальных конструкций  $\mu_s$*

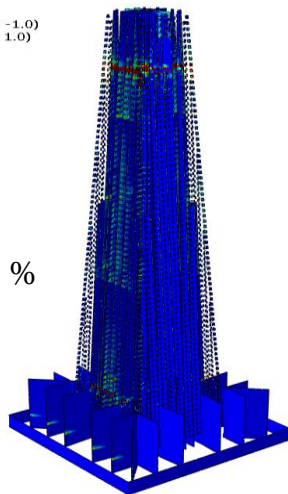


# Анализ сейсмостойкости зданий и сооружений

DAMAGET  
SNEG, (fraction = -1.0)  
SPOS, (fraction = 1.0)  
(Avg: 75%)

+	9.900e-01
+	8.400e-01
+	7.700e-01
+	7.000e-01
+	6.300e-01
+	5.600e-01
+	4.900e-01
+	4.200e-01
+	3.500e-01
+	2.800e-01
+	2.100e-01
+	1.400e-01
+	7.000e-02
+	0.000e+00

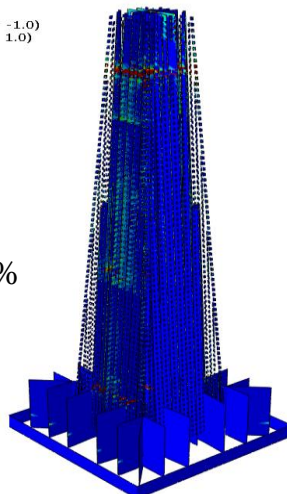
$\mu_s = 2\%$



DAMAGET  
SNEG, (fraction = -1.0)  
SPOS, (fraction = 1.0)  
(Avg: 75%)

+	9.900e-01
+	8.400e-01
+	7.700e-01
+	7.000e-01
+	6.300e-01
+	5.600e-01
+	4.900e-01
+	4.200e-01
+	3.500e-01
+	2.800e-01
+	2.100e-01
+	1.400e-01
+	7.000e-02
+	0.000e+00

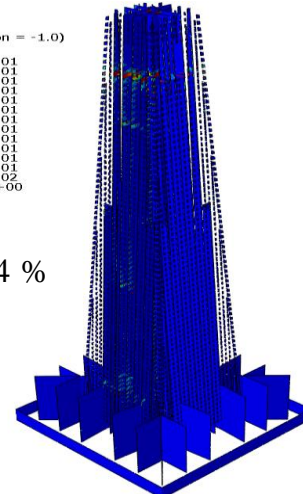
$\mu_s = 2\%$



DAMAGET  
SNEG, (fraction = -1.0)  
(Avg: 75%)

+	9.900e-01
+	8.500e-01
+	7.792e-01
+	7.083e-01
+	6.375e-01
+	5.667e-01
+	4.958e-01
+	4.250e-01
+	3.542e-01
+	2.833e-01
+	2.125e-01
+	1.417e-01
+	7.083e-02
+	0.000e+00

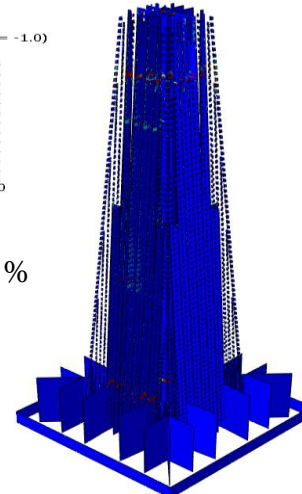
$\mu_s = 4\%$



DAMAGET  
SNEG, (fraction = -1.0)  
(Avg: 75%)

+	9.900e-01
+	8.500e-01
+	7.792e-01
+	7.083e-01
+	6.375e-01
+	5.667e-01
+	4.958e-01
+	4.250e-01
+	3.542e-01
+	2.833e-01
+	2.125e-01
+	1.417e-01
+	7.083e-02
+	0.000e+00

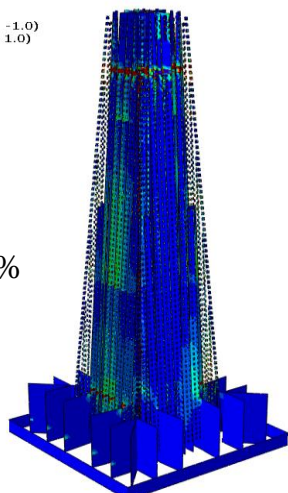
$\mu_s = 4\%$



DAMAGEC  
SNEG, (fraction = -1.0)  
SPOS, (fraction = 1.0)  
(Avg: 75%)

+	9.700e-01
+	5.000e-01
+	4.583e-01
+	4.167e-01
+	3.750e-01
+	3.333e-01
+	2.917e-01
+	2.500e-01
+	2.083e-01
+	1.667e-01
+	1.250e-01
+	8.333e-02
+	4.167e-02
+	0.000e+00

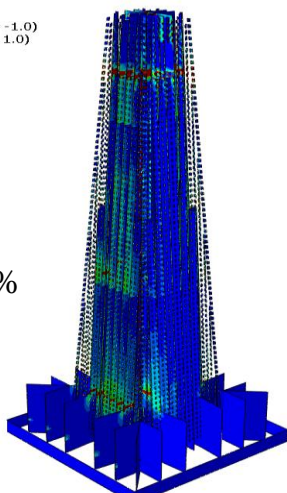
$\mu_s = 2\%$



DAMAGEC  
SNEG, (fraction = -1.0)  
SPOS, (fraction = 1.0)  
(Avg: 75%)

+	9.700e-01
+	5.000e-01
+	4.583e-01
+	4.167e-01
+	3.750e-01
+	3.333e-01
+	2.917e-01
+	2.500e-01
+	2.083e-01
+	1.667e-01
+	1.250e-01
+	8.333e-02
+	4.167e-02
+	0.000e+00

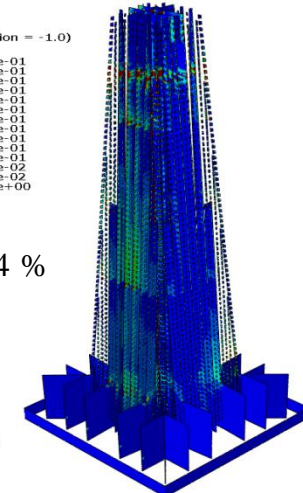
$\mu_s = 2\%$



DAMAGEC  
SNEG, (fraction = -1.0)  
(Avg: 75%)

+	9.700e-01
+	5.000e-01
+	4.583e-01
+	4.167e-01
+	3.750e-01
+	3.333e-01
+	2.917e-01
+	2.500e-01
+	2.083e-01
+	1.667e-01
+	1.250e-01
+	8.333e-02
+	4.167e-02
+	0.000e+00

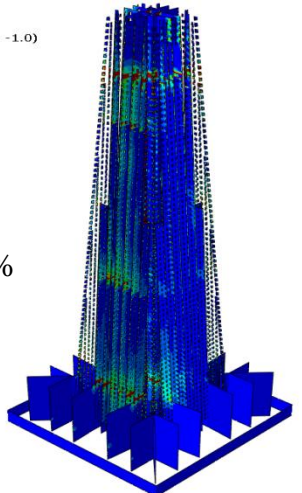
$\mu_s = 4\%$



DAMAGEC  
SNEG, (fraction = -1.0)  
(Avg: 75%)

+	9.700e-01
+	5.000e-01
+	4.583e-01
+	4.167e-01
+	3.750e-01
+	3.333e-01
+	2.917e-01
+	2.500e-01
+	2.083e-01
+	1.667e-01
+	1.250e-01
+	8.333e-02
+	4.167e-02
+	0.000e+00

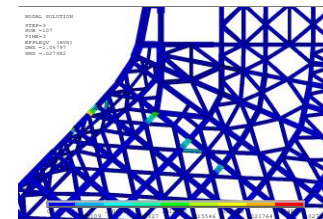
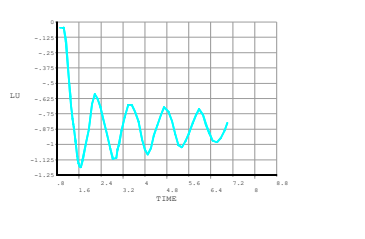
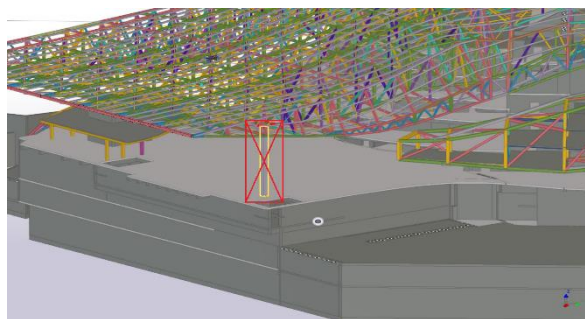
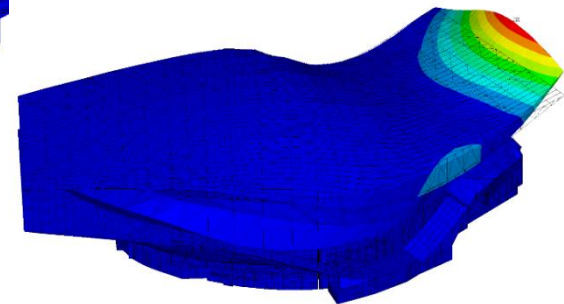
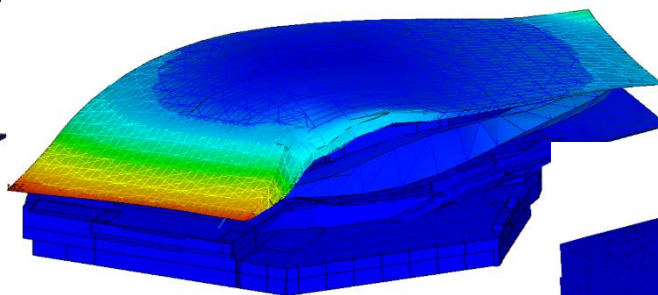
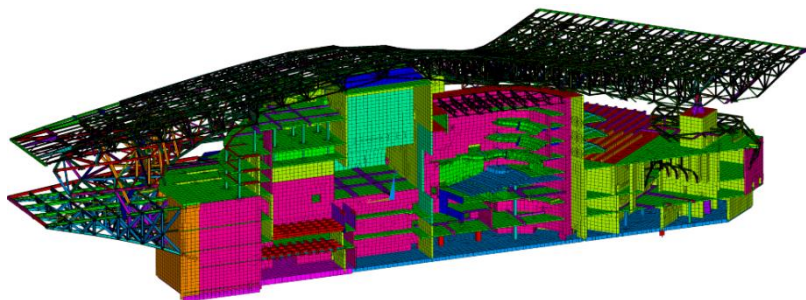
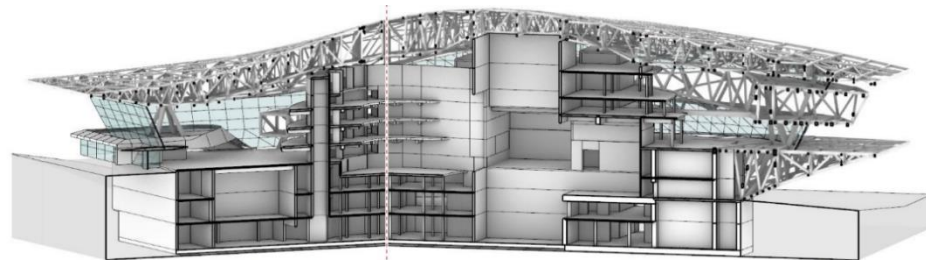
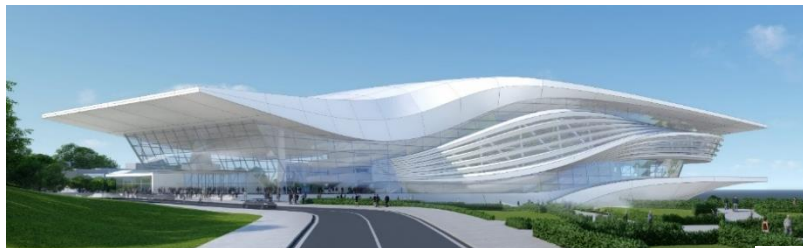
$\mu_s = 4\%$



*Повреждения после МРЗ в конструкциях, для которых была задана физически нелинейная модель, вследствие растяжения (сверху) и сжатия (снизу)*



# Нелинейный динамический анализ сейсмостойкости (MR3) и устойчивости к прогрессирующему обрушению



# Моделирование процессов деформирования и обрушения зданий и сооружений при аварийных и экстремальных воздействиях

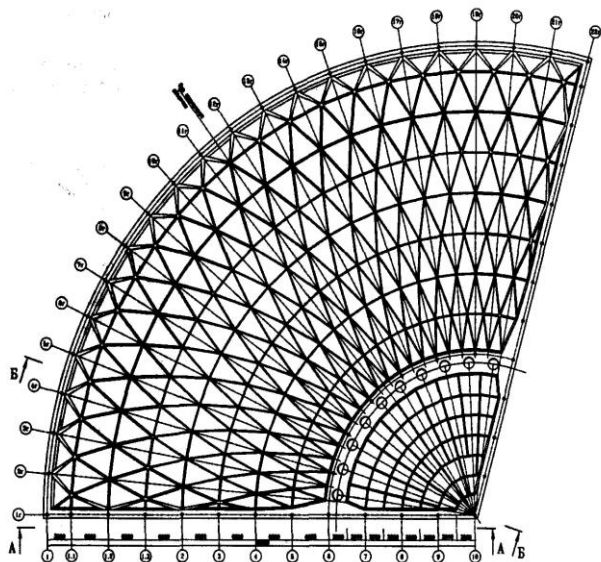
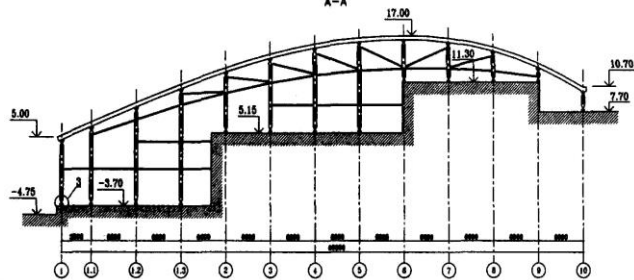


Рис. 25

А-А



с-с

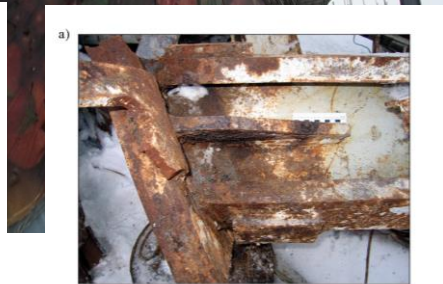


**ANSYS-, ABAQUS-, СТАДИО-, Лира-, SCAD- модели  
СОК «Трансвааль-парк»**



# Моделирование процессов деформирования и обрушения зданий и сооружений при аварийных и экстремальных воздействиях

*ANSYS-, СТАДИО-, Лира-*модели НДС здания Басманного рынка

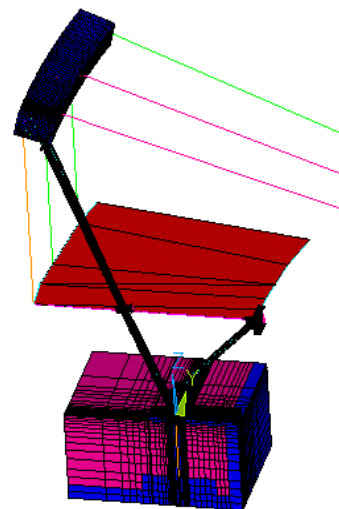
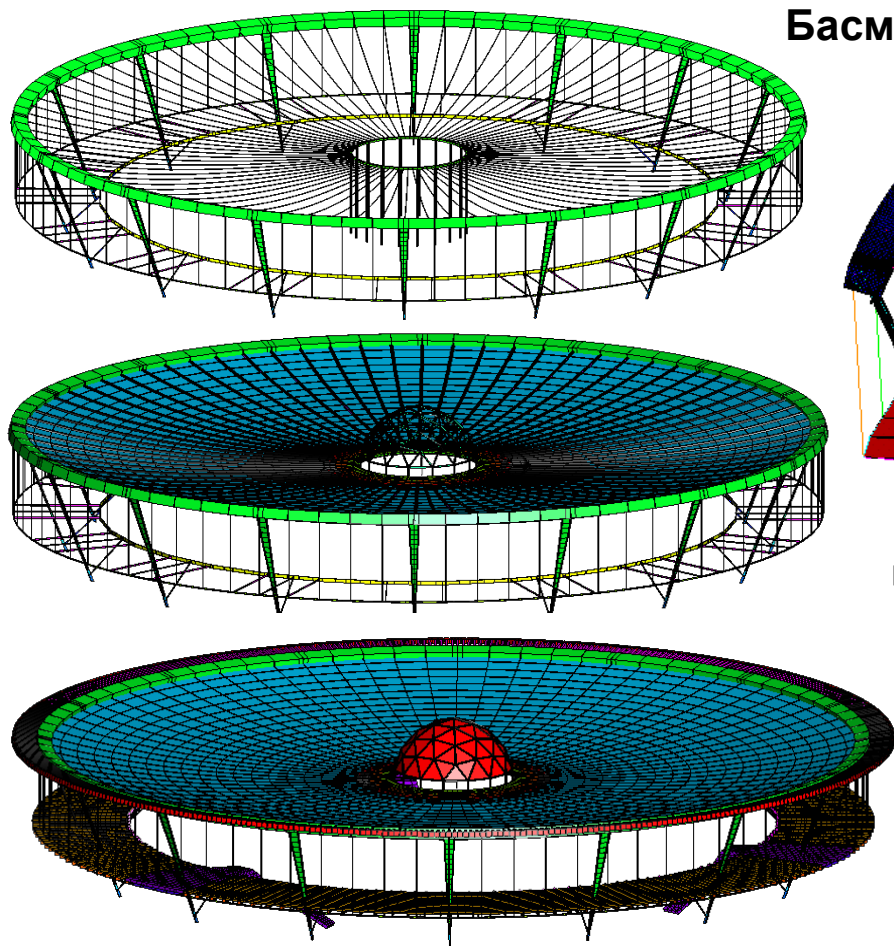


# Моделирование процессов деформирования и обрушения зданий и сооружений при аварийных и экстремальных воздействиях

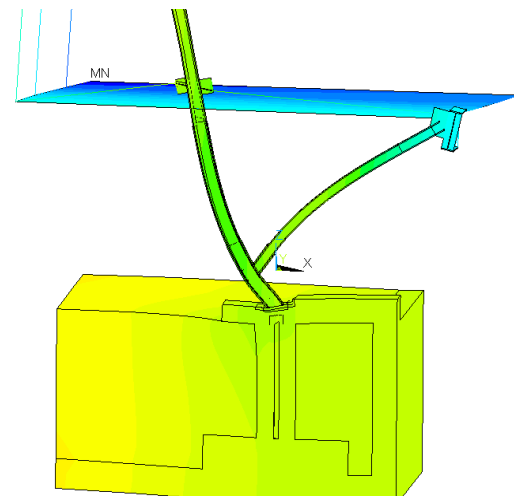
Пространственные модели здания

**ANSYS-, Лира-, СТАДИО-**  
модели НДС здания  
Басманного рынка

Трёхмерные нелинейные модели

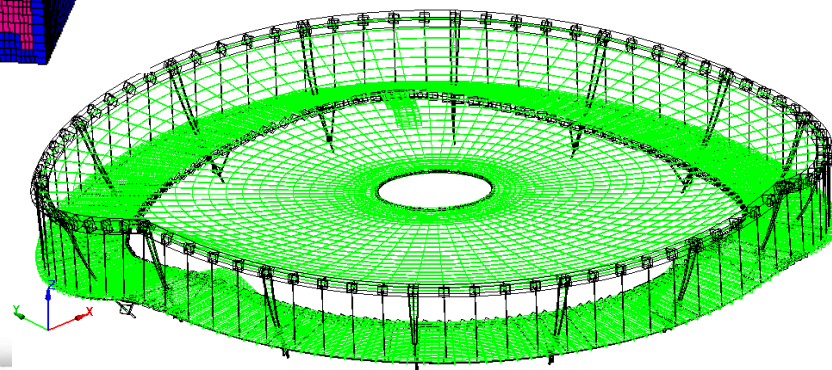


(AVG)  
0  
-8.512  
58.012  
166529



-58.012 -50.752 -43.492 -36.232 -28.973 -21.713 -14.453 -7.193 .0664

Картина обрушения







# НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЁТ ПО ТЕМЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАМКАХ ПЛАНА ФНИ МИНСТРОЯ РОССИИ И РААСЧ НА 2018-2019 ГОД

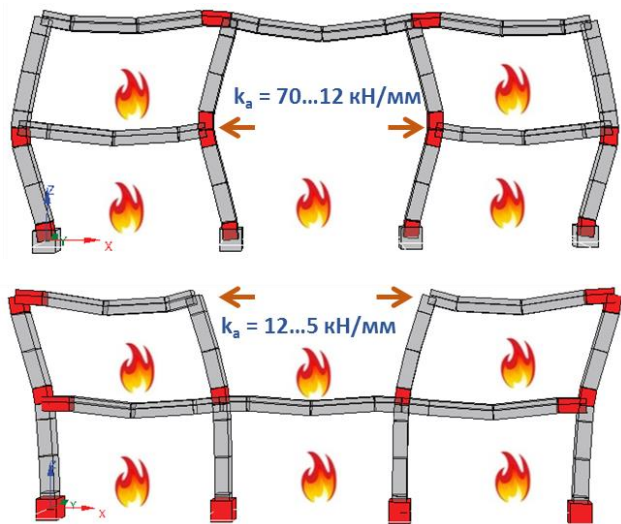
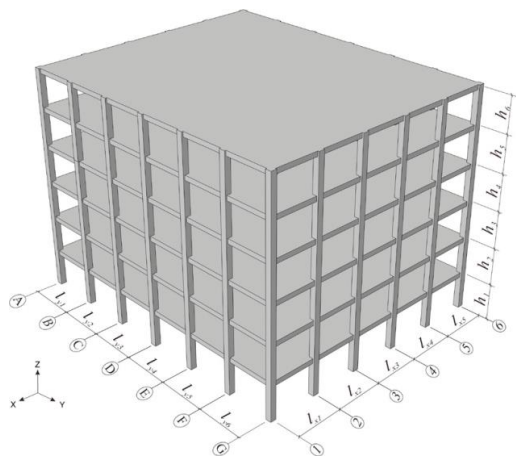


7.4.3 «Исследование, построение и верификация общих нелинейных моделей термосилового сопротивления компонентов железобетона, элементов и конструкций с учётом резко режимных высокотемпературных воздействий, характерных при пожаре, для использования в компьютерном моделировании при расчётном обосновании огнестойкости и конструктивной безопасности зданий и сооружений»

**Научный руководитель:** ФЕДОРОВ В.С., Академик РААСЧ, докт. техн. наук, проф.

**Авторский коллектив:** СИДОРОВ В.Н., чл.-корр. РААСЧ, докт. техн. наук, проф.  
ЛЕВИТСКИЙ В.Е., канд. техн. наук, доц.,  
ВЕРШИНИН В.В., ШЕПИТЬКО Е.С.

# Теория огнестойкости железобетонных конструкций и несущих систем зданий на основе объектно-ориентированного подхода



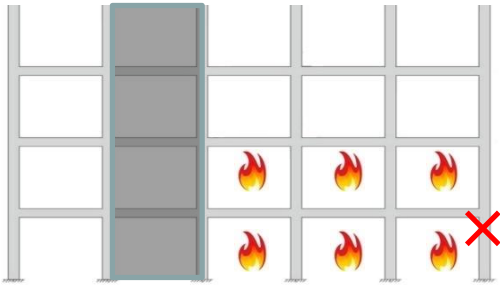
Применение объектно-ориентированного подхода при цифровом моделировании огнестойкости конструкций и несущих систем позволяет оптимизировать требования к огнестойкости несущих конструкций многоэтажных и высотных зданий, что обеспечит энерго- и ресурсосбережение объекта.

Предложенный метод оценки огнестойкости позволяет провести анализ термосилового сопротивления конструкций высотных зданий в условиях реального пожара с целью обоснования снижения требований предела огнестойкости.

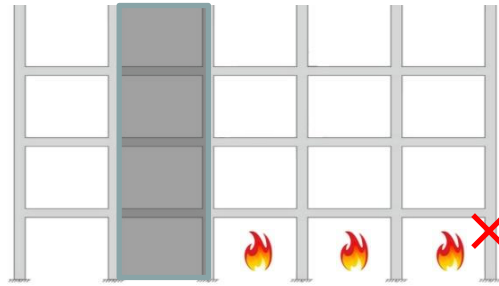


# Сценарии воздействия пожара и время до разрушения

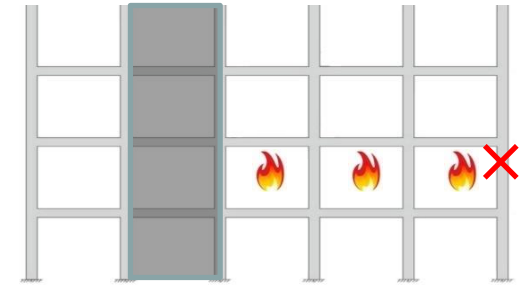
Сценарий 1 128 мин



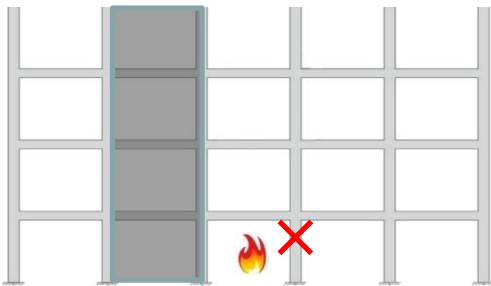
Сценарий 2 32 мин



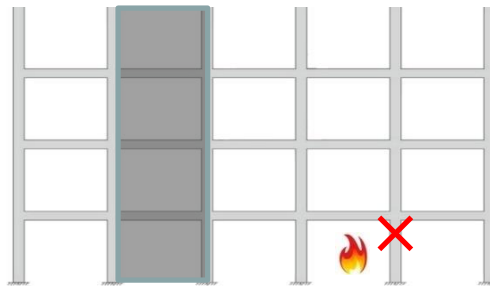
Сценарий 3 122 мин



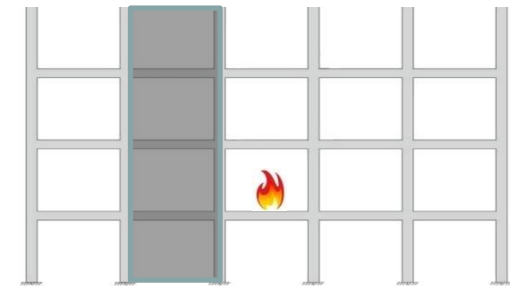
Сценарий 4 62 мин



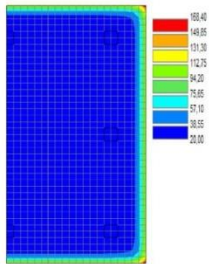
Сценарий 5 84 мин



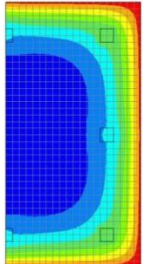
Сценарий 6 свыше 150 мин



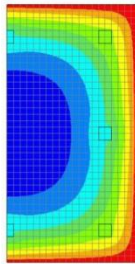
## Температурные профили стоек и ригелей



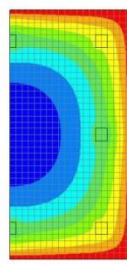
2 мин



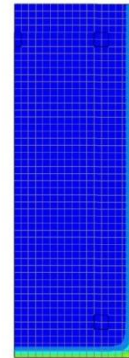
60 мин



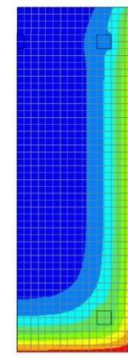
120 мин



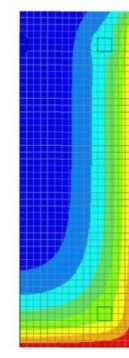
150 мин



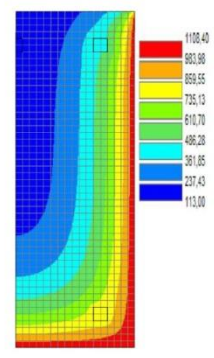
2 мин



60 мин



120 мин



150 мин

## **Научная новизна и практическая значимость**

### **Научная новизна:**

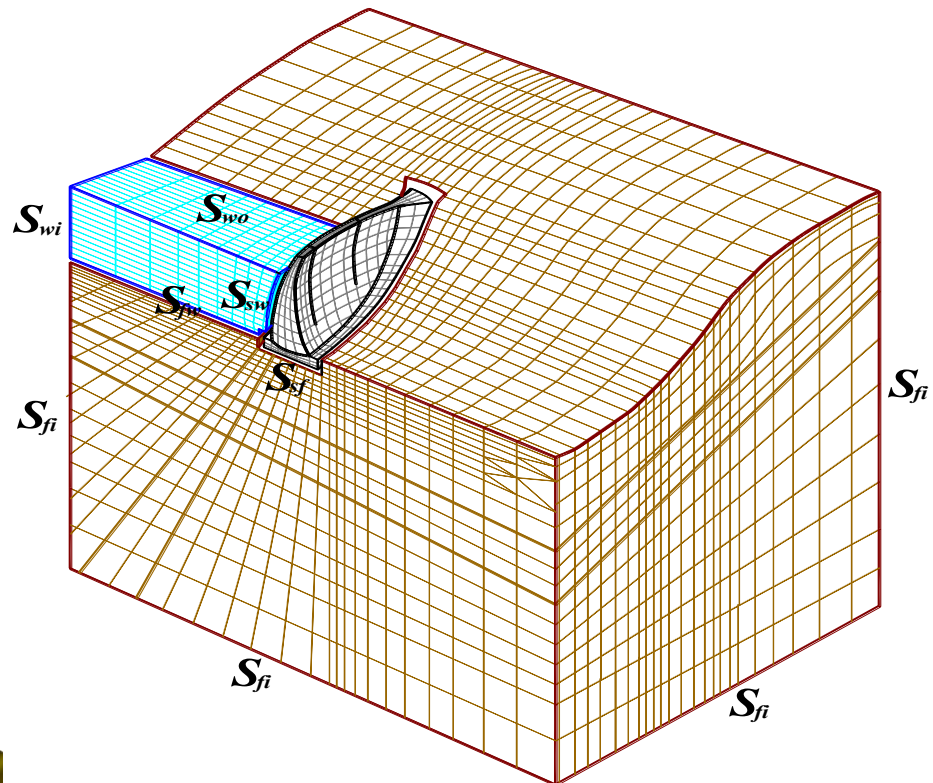
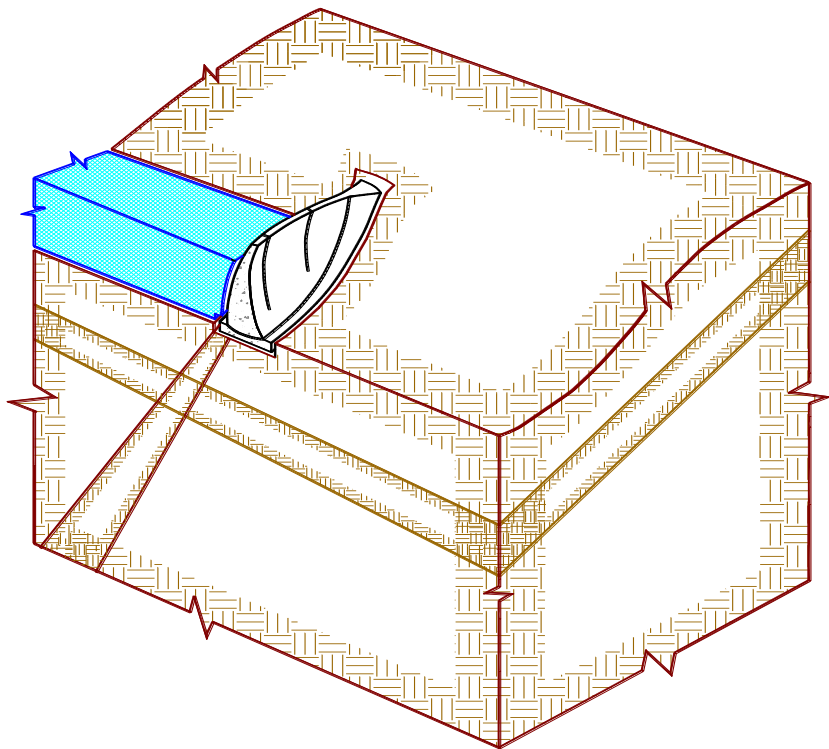
- численный анализ напряжённо-деформированного состояния, распределения внутренних усилий, перемещений и прочности конструкций на основе решения связанных нестационарных температурных и прочностных задач в динамической постановке;
- оценка влияния ограничения жёсткости линейных и угловых опорных закреплений на поведение железобетонных стержневых элементов при нестационарном резкорезимном тепловом воздействии;
- численное моделирование силового сопротивления железобетонных конструкций, работающих в составе плоской многопролётной многоэтажной рамы с учётом реальной жёсткости опорных закреплений при различных сценариях воздействия пожара.

### **Практическая значимость:**

Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых и верификации существующих нормативных документов по огнестойкости железобетонных конструкций, а также при расчётном обосновании проектов реальных сооружений.

Применение разработанных моделей при компьютерном моделировании огнестойкости конструкций и несущих систем позволит реализовать гибкий, объектно-ориентированный подход к обеспечению противопожарной защиты зданий.

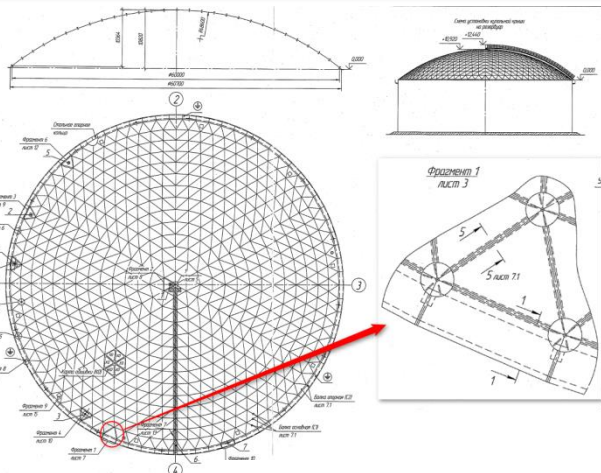




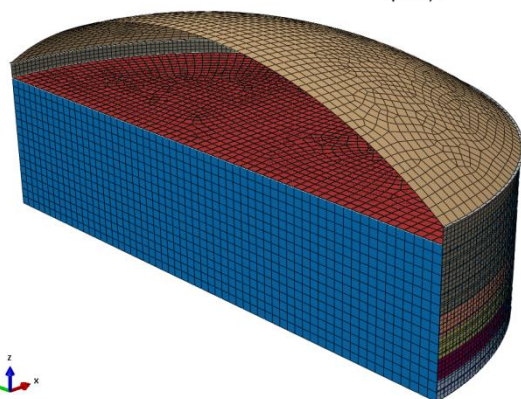
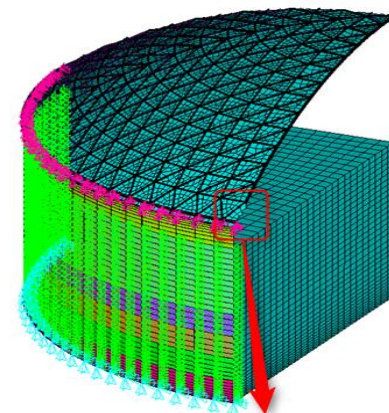
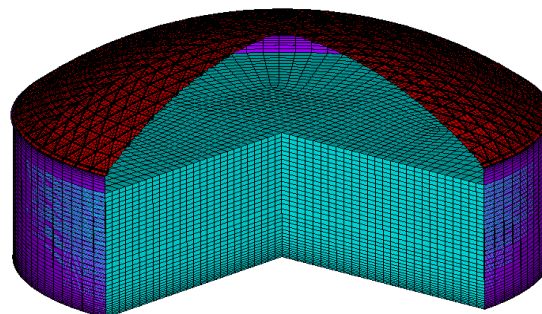
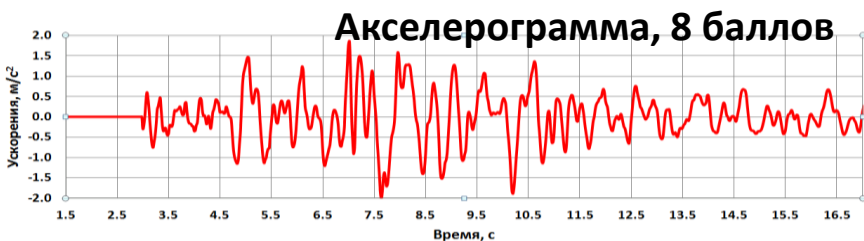
4

Связанные задачи вычислительной механики

# Численное моделирование задач аэрогидроупругости в строительстве

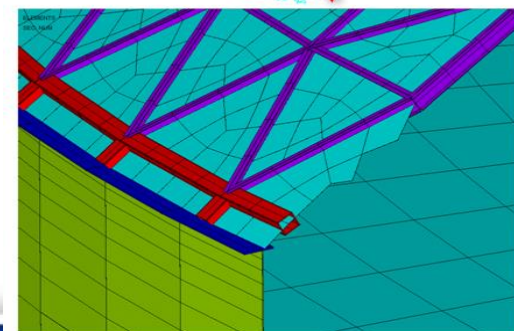


Резервуар РВСПА-50000 с нефтью в сейсмически активном районе



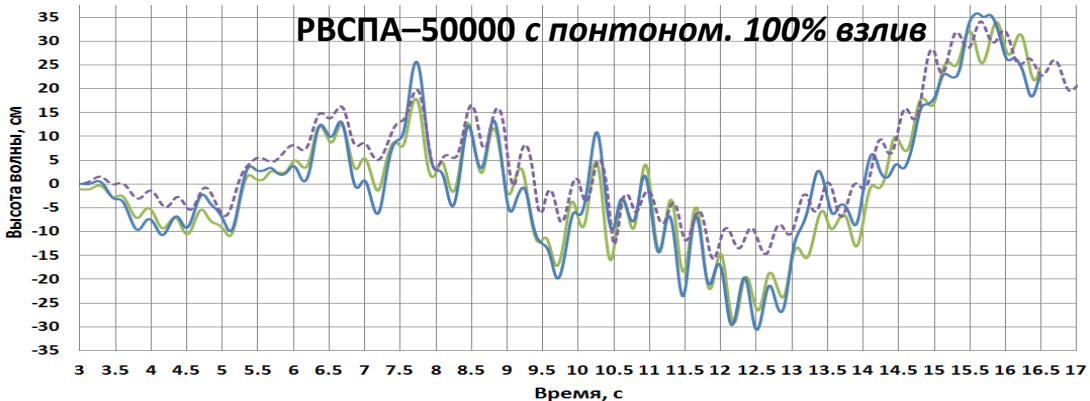
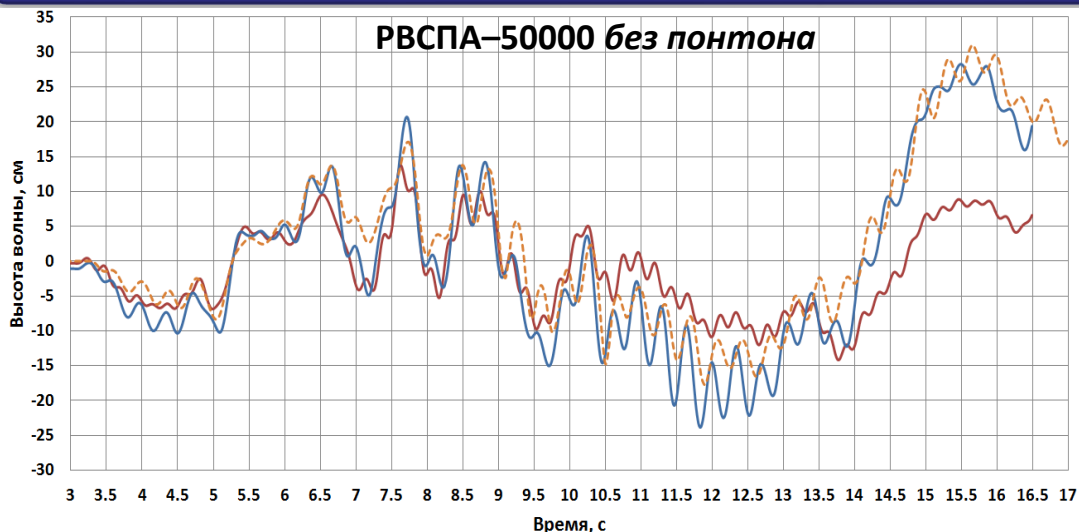
КЭ-модель без понтона при 100% взлыве  
(изометрия с вырезом 1/4).  
Постановка Лагранжа ПК ANSYS Mechanical

КЭ-модель с понтоном при 100% взлыве  
(изометрия с вырезом 1/2).  
Постановка ALE ПК ABAQUS Explicit

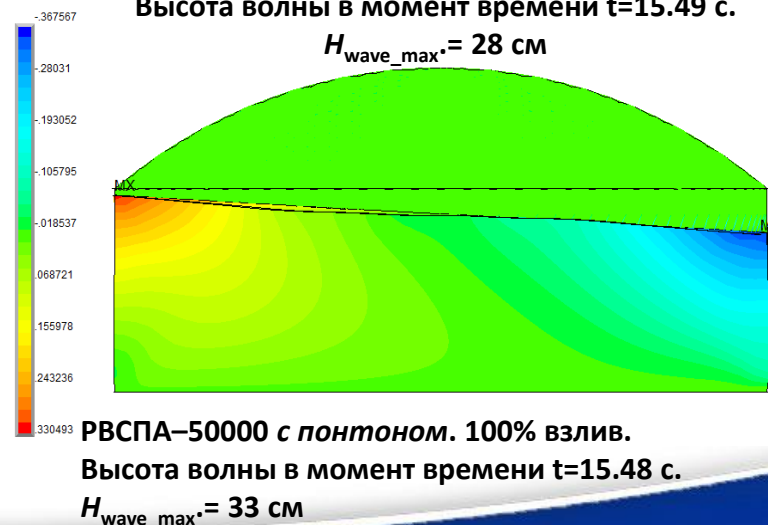
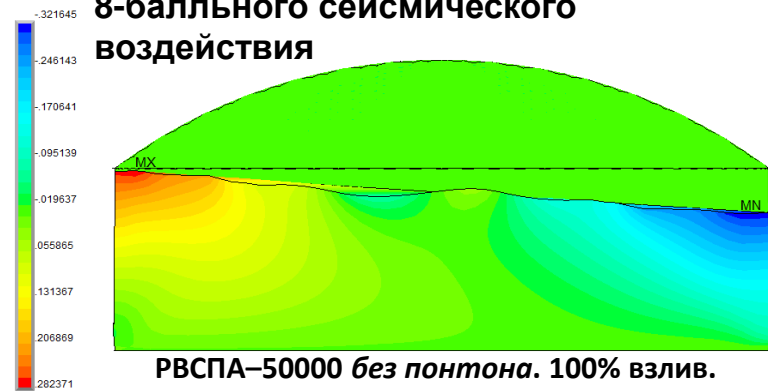




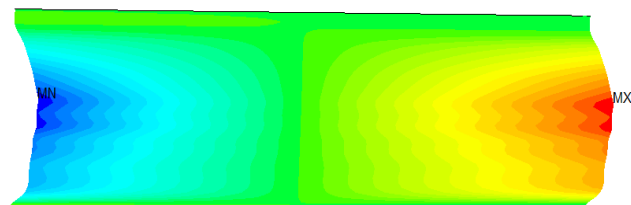
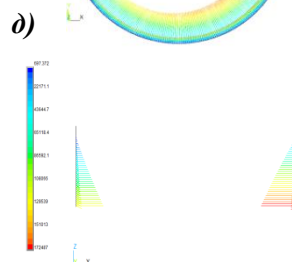
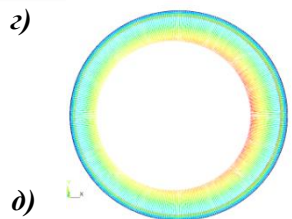
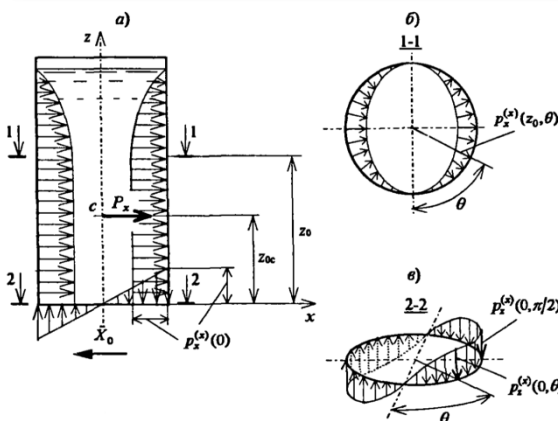
# Численное моделирование задач аэрогидроупругости в строительстве



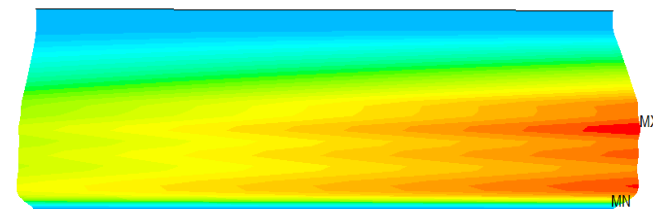
Результаты динамического расчета системы «тонкостенные днище, стенка, ребристая крышка с понтоном – вязкая жидкость (тяжелая нефть)» с учетом 8-балльного сейсмического воздействия



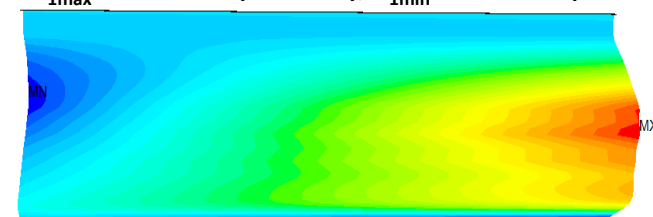
# Численное моделирование задач аэрогидроупругости в строительстве



Окружные (главные) напряжения, Па, от гидродинамического давления по нормативной методике.  
 $\sigma_{1max} = 43 \text{ МПа (4-5 пояс)}$ ,  $\sigma_{1min} = -43 \text{ МПа (4-5 пояс)}$

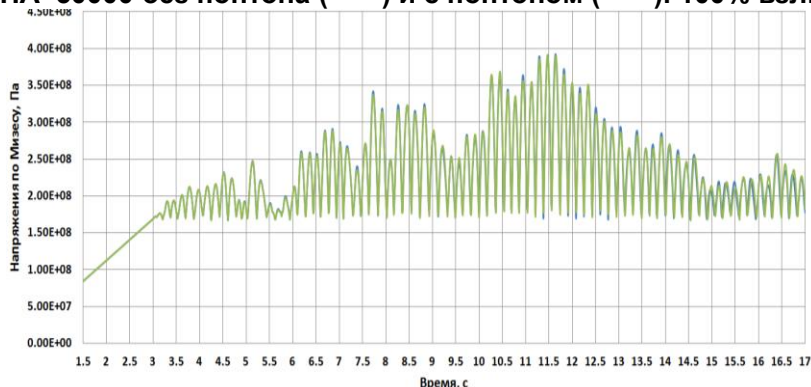


Окружные (главные) напряжения, Па, от суммарного давления по нормативной методике.  
 $\sigma_{1max} = 216 \text{ МПа (4-5 пояс)}$ ,  $\sigma_{1min} = -35 \text{ МПа (4-5 пояс)}$



Гидроупругий динамический расчет при seismicком воздействии с учетом гидростатики ( $t=11.64 \text{ с}$ ). Окружные (главные) напряжения, Па.  
 $\sigma_{1max} = 387 \text{ МПа (4-5 пояс)}$ ,  $\sigma_{1min} = -86 \text{ МПа (4-5 пояс)}$

а), б), в) - распределение сейсмического гидродинамического давления в круглом резервуаре; г), д) – распределение суммарного (гидростатика + квазистатическая гидродинамика) давления [Бирбраер А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость. – СПб.: Наука, 1998. – 255 с.] РВСПА–50000 без понтона (—) и с понтоном (—). 100% взлив.

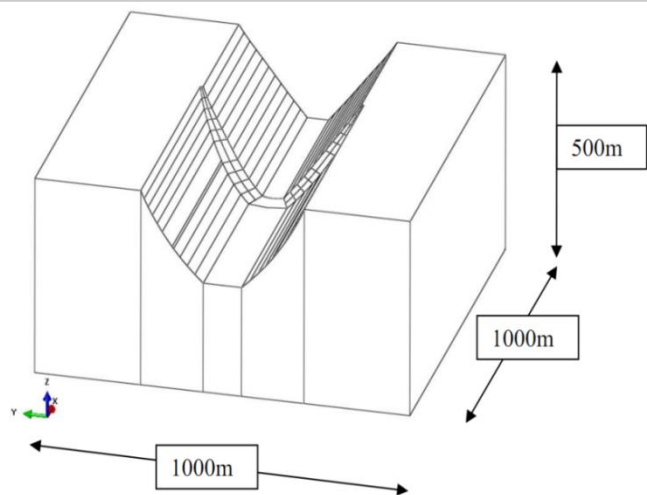


Максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу в стенке резервуара (Па). Без понтона:  $\sigma_{max} = 392 \text{ МПа } t=11.64 \text{ с}$ ; с понтоном:  $\sigma_{max} = 391 \text{ МПа } t=11.47 \text{ с}$  (в постановке Лагранжа ПК ANSYS Mechanical)

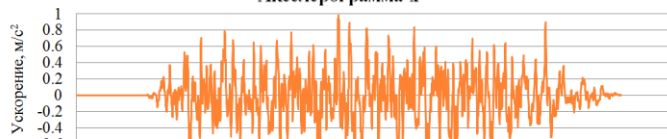
Максимальные амплитуды численных динамических параметров НДС стенки по разработанной адаптивной методике превосходят нормативно-аналитические значения в 5 раз



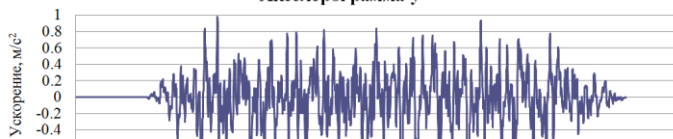
Обоснование новых строительных материалов, конструкций и технологий (энергоэффективность, огнестойкость, химические добавки для ускорения бетонных работ и др. нелинейные задачи теплопроводности и термоупругости)



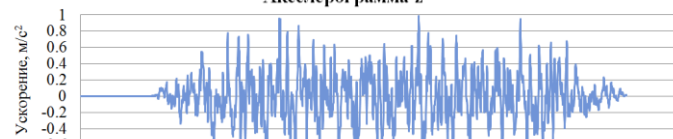
Акселерограмма x



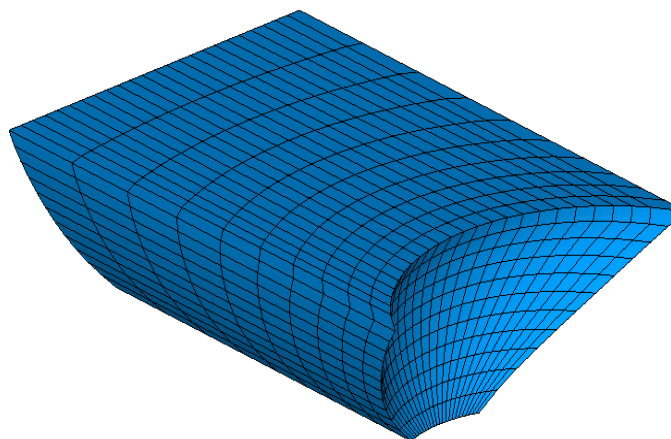
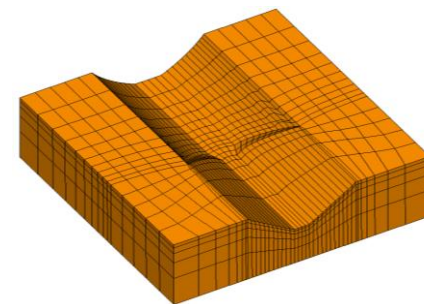
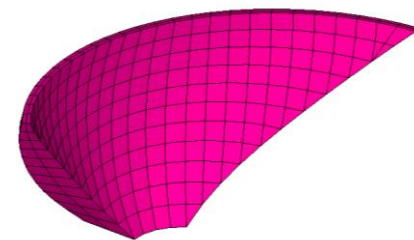
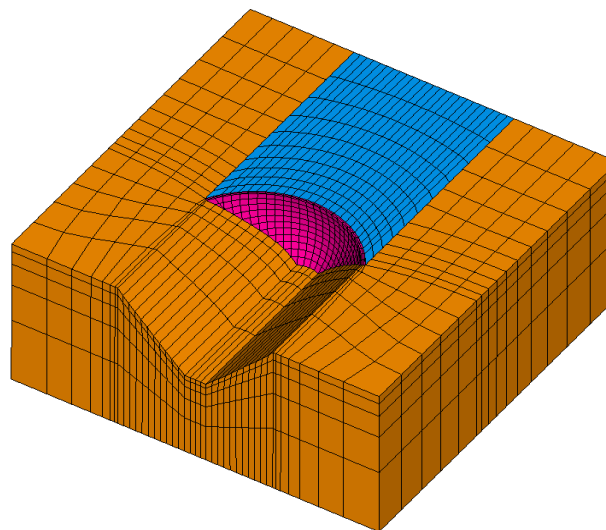
Акселерограмма y



Акселерограмма z



0 5 10 15 20 25  
Время, c



Моделирование массива  
жидкости - 20-узловыми  
6-гранными акустическими  
КЭ FLUID220



5

**Цифровые технологии в экспериментальных  
и натуральных исследованиях.  
Взаимосвязь с математическим моделированием**



## Лазерные сканирующие системы для проведения обследования зданий и сооружений

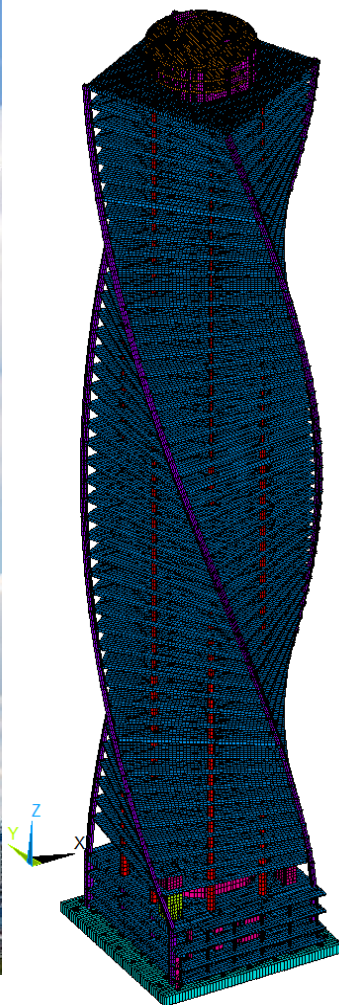


Процесс сканирования производится с высокой скоростью, а полнота полученной информации и избыточность собранных данных при помощи лазерной сканирующей системы не может сравниться ни с одним из ранее реализованных приборов (электронных тахеометров).

# Проблема мониторинга несущих конструкций зданий и сооружений

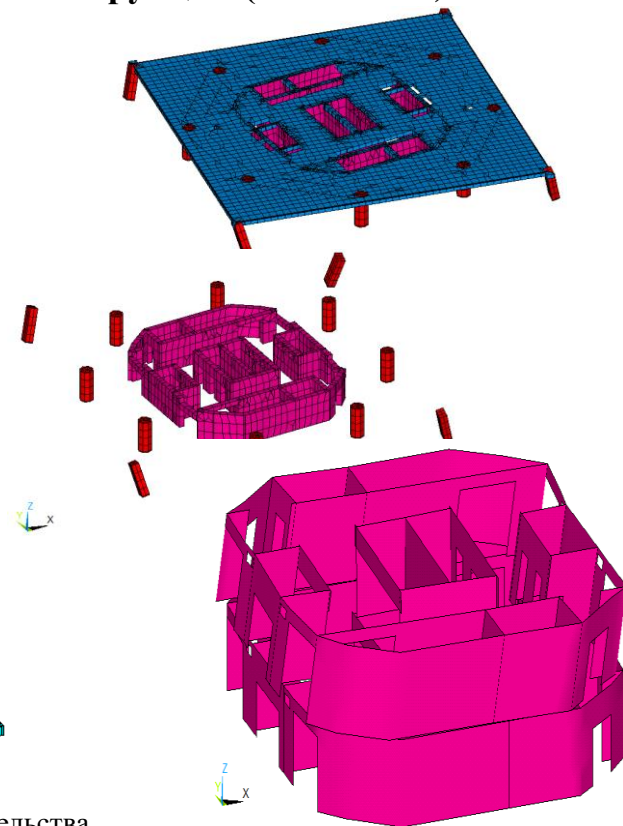


Башня «Эволюция», этапы строительства (правый – по состоянию на июль 2014 года)



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

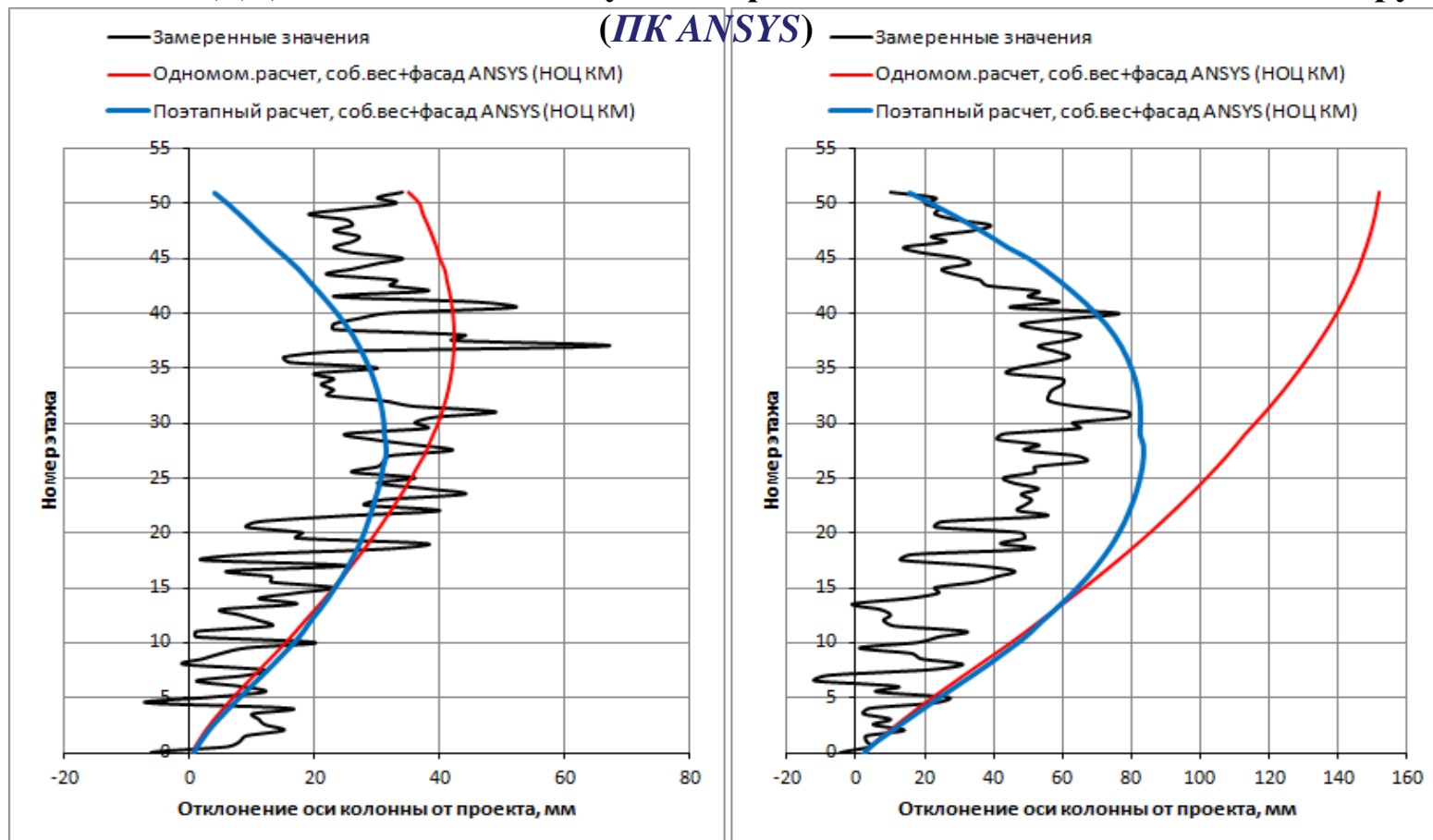
Расчетные исследования НДС, прочности и устойчивости несущих конструкций башни «Эволюция» ММДЦ «Москва-Сити» с учетом фактического положения ж/б конструкций (*ПК ANSYS*)





# Проблема мониторинга несущих конструкций зданий и сооружений

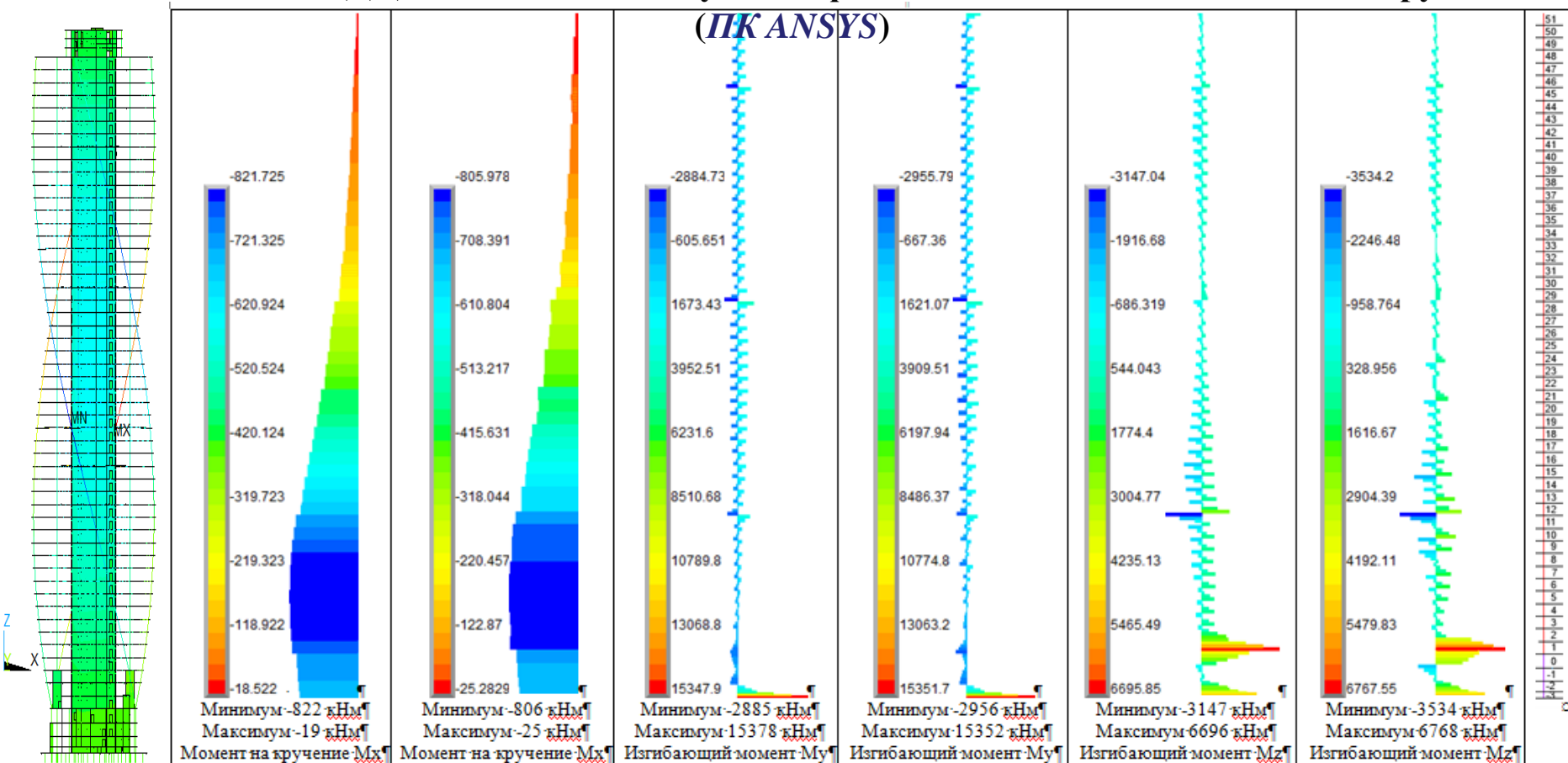
Расчетные исследования НДС, прочности и устойчивости несущих конструкций башни «Эволюция» ММДЦ «Москва-Сити» с учетом фактического положения ж/б конструкций



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).

# Проблема мониторинга несущих конструкций зданий и сооружений

Расчетные исследования НДС, прочности и устойчивости несущих конструкций башни «Эволюция» ММДЦ «Москва-Сити» с учетом фактического положения ж/б конструкций

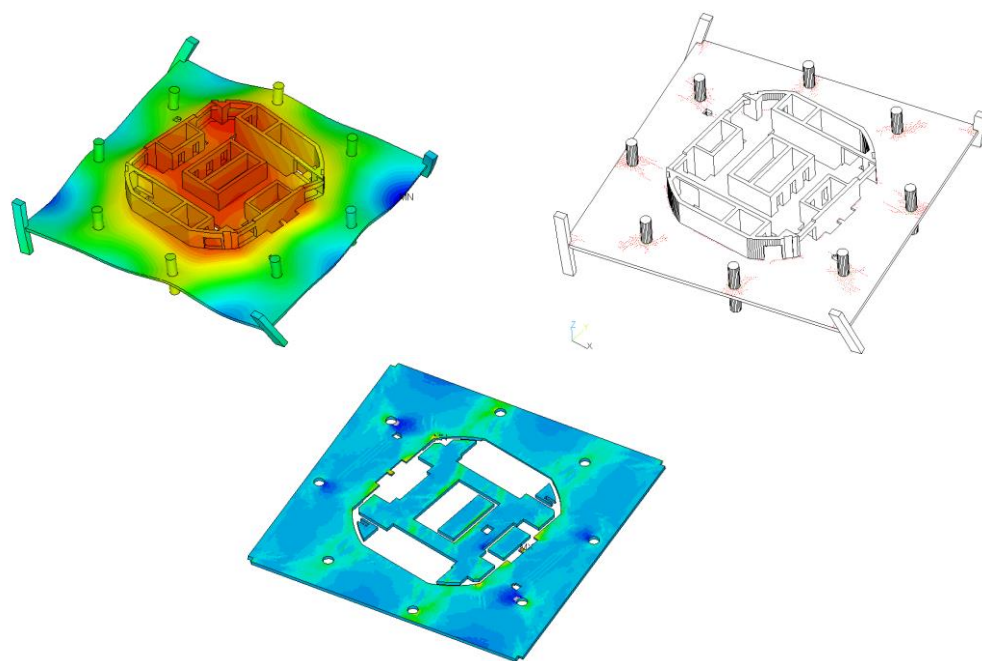
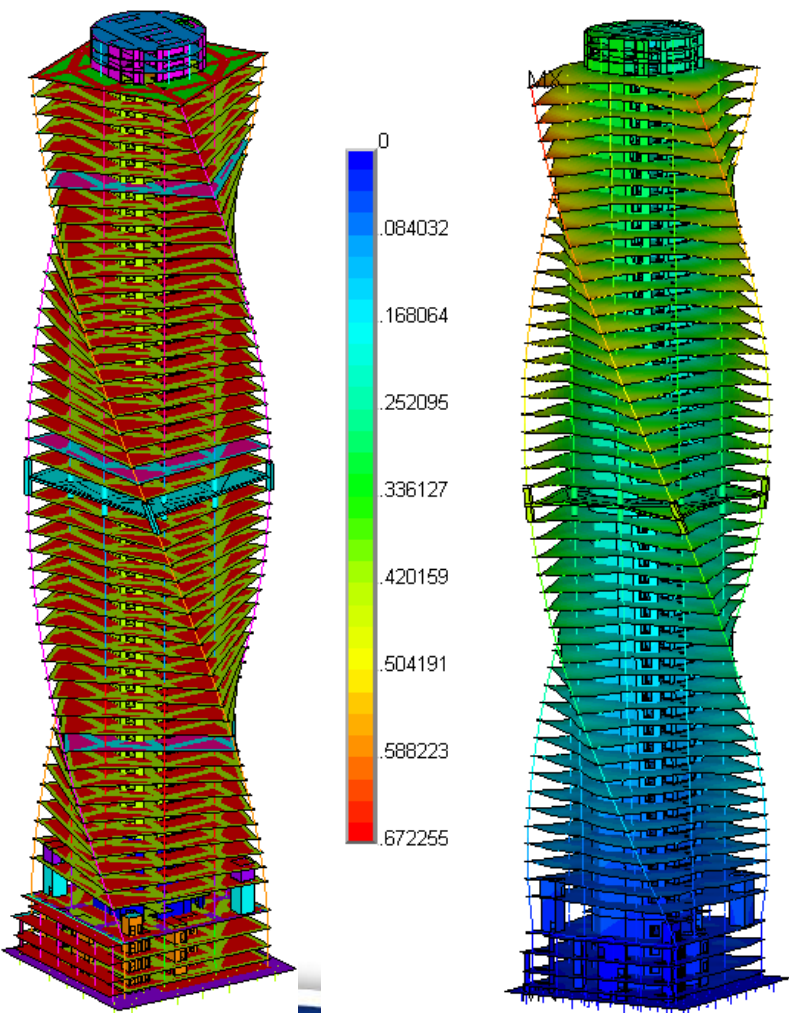


Усилия в колонне Т1ТС, «проектная» и «фактическая №1» модели, сочетание нагрузок 1.32SW+1.44Fac+1.56PN+0.504VN+Crown).



# Проблема мониторинга несущих конструкций зданий и сооружений

Расчетные исследования НДС, прочности и устойчивости несущих конструкций башни «Эволюция» ММДЦ «Москва-Сити» с учетом фактического положения ж/б конструкций (ПК ANSYS)



Полная КЭ-модель со встроенной объемной физически нелинейной моделью типового этажа.  
Распределение вертикальных перемещений, трещин и напряжений в продольной арматуре.



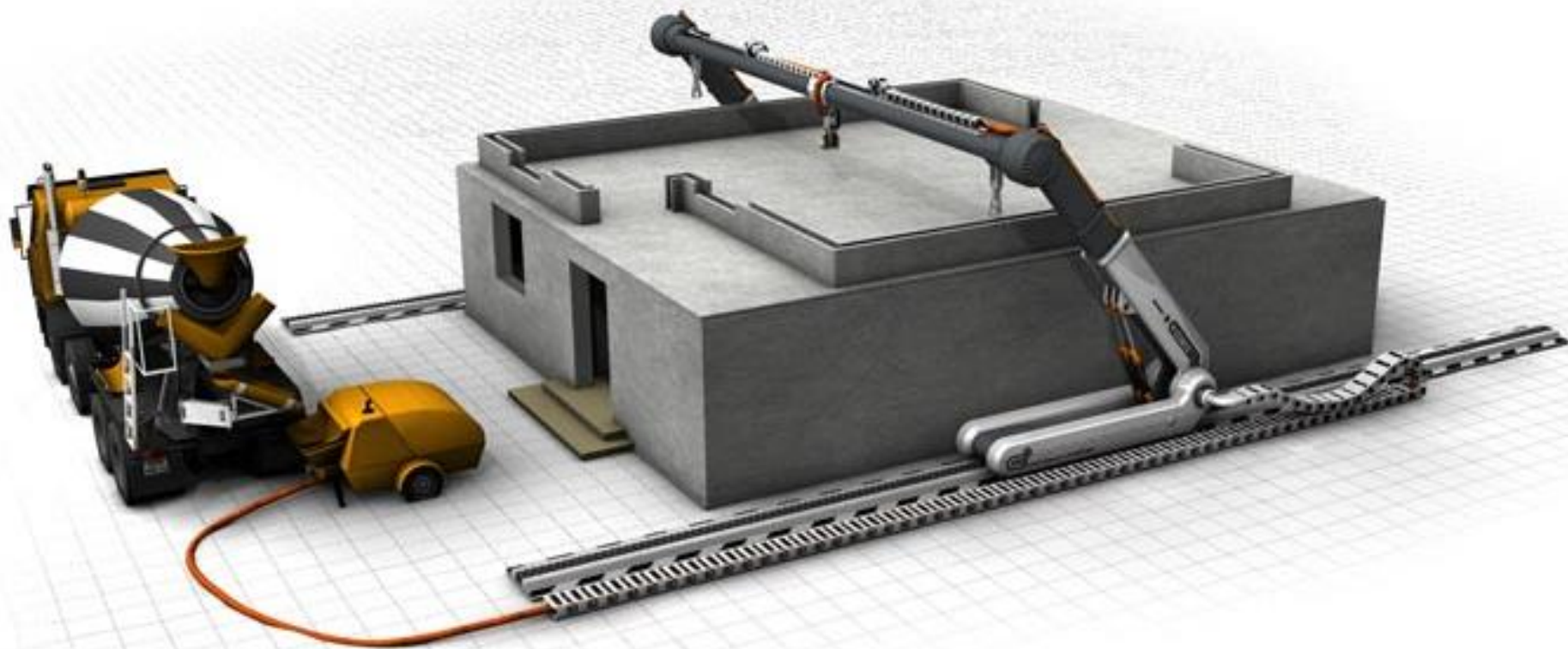
6



**Цифровые технологии в производстве материалов,  
изделий и конструкций**



## Аддитивные технологии (3D-принтинг) – будущее строительства?

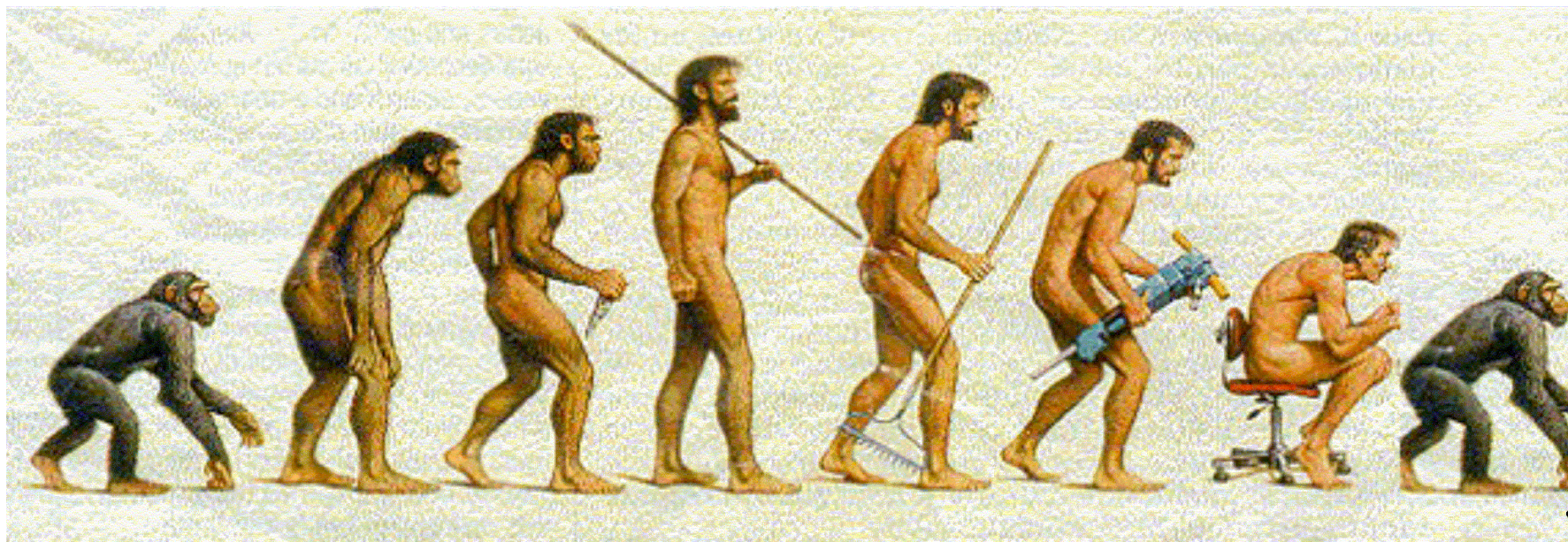


3D-печать, чтобы завоевать популярность, должна доказать, что является **более экономичным и быстрым** способом строительства зданий, по сравнению с традиционными технологиями строительства. Мнения экспертов относительно будущего трехмерной печати зданий расходятся.

## Лазерная 3D технология заливки бетона







7

**ВИМ / ТИМ – идеи «информационной экономики»  
в строительстве и современное состояние  
(реклама и реалии)**



# ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (BIM)



МИНСТРОЙ  
РОССИИ

30%

СОКРАЩЕНИЕ ЗАТРАТ  
НА СТРОИТЕЛЬСТВО  
И ЭКСПЛУАТАЦИЮ



40%<sup>ДО</sup>

СНИЖЕНИЕ ОШИБОК,  
ПОГРЕШНОСТИ В ПРОЕКТНОЙ  
ДОКУМЕНТАЦИИ

50%<sup>ДО</sup>

СОКРАЩЕНИЕ СРОКОВ  
РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА  
(«НУЛЕВОЙ ЦИКЛ» — «ПОД КЛЮЧ»)

СОВОКУПНОЕ ВРЕМЯ  
УМЕНЬШЕНИЯ РАБОТЫ  
ТЕХНОЛОГОВ



АРХИТЕКТОРОВ

20%<sup>НА</sup>

10%<sup>НА</sup>



20-50%<sup>НА</sup>

ЭФФЕКТ ОТ BIM

6<sup>В</sup>  
РАЗ

УМЕНЬШЕНИЕ ВРЕМЕНИ  
НА ПРОВЕРКУ МОДЕЛИ

4<sup>В</sup>  
РАЗА

СНИЖЕНИЕ ПЛАНИРОВАНИЯ  
ПОГРЕШНОСТИ БЮДЖЕТА  
(5% ВМЕСТО 20%)

90%<sup>ДО</sup>

СОКРАЩЕНИЕ  
СРОКОВ КООРДИНАЦИИ  
И СОГЛАСОВАНИЯ



10%<sup>НА</sup>

СОКРАЩЕНИЕ  
СРОКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

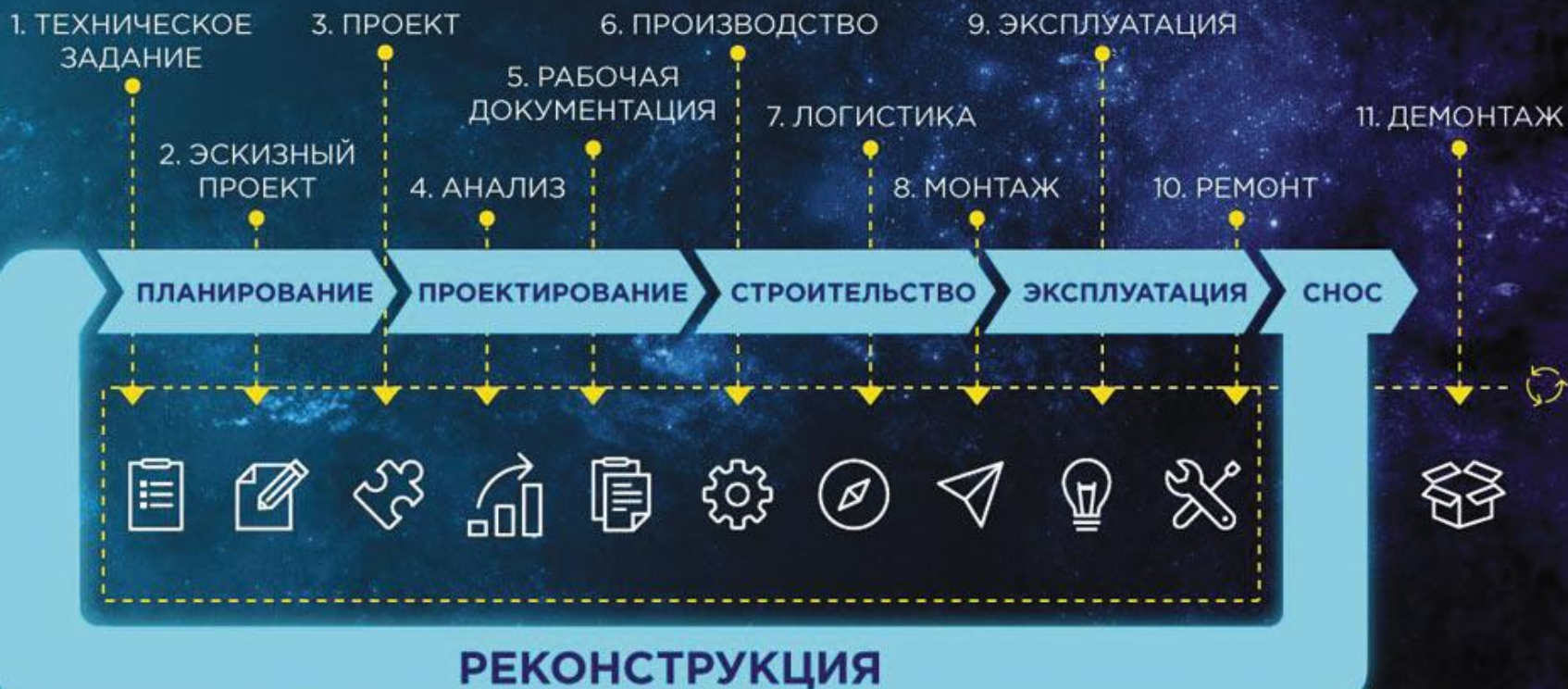
СОКРАЩЕНИЕ  
ВРЕМЕНИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

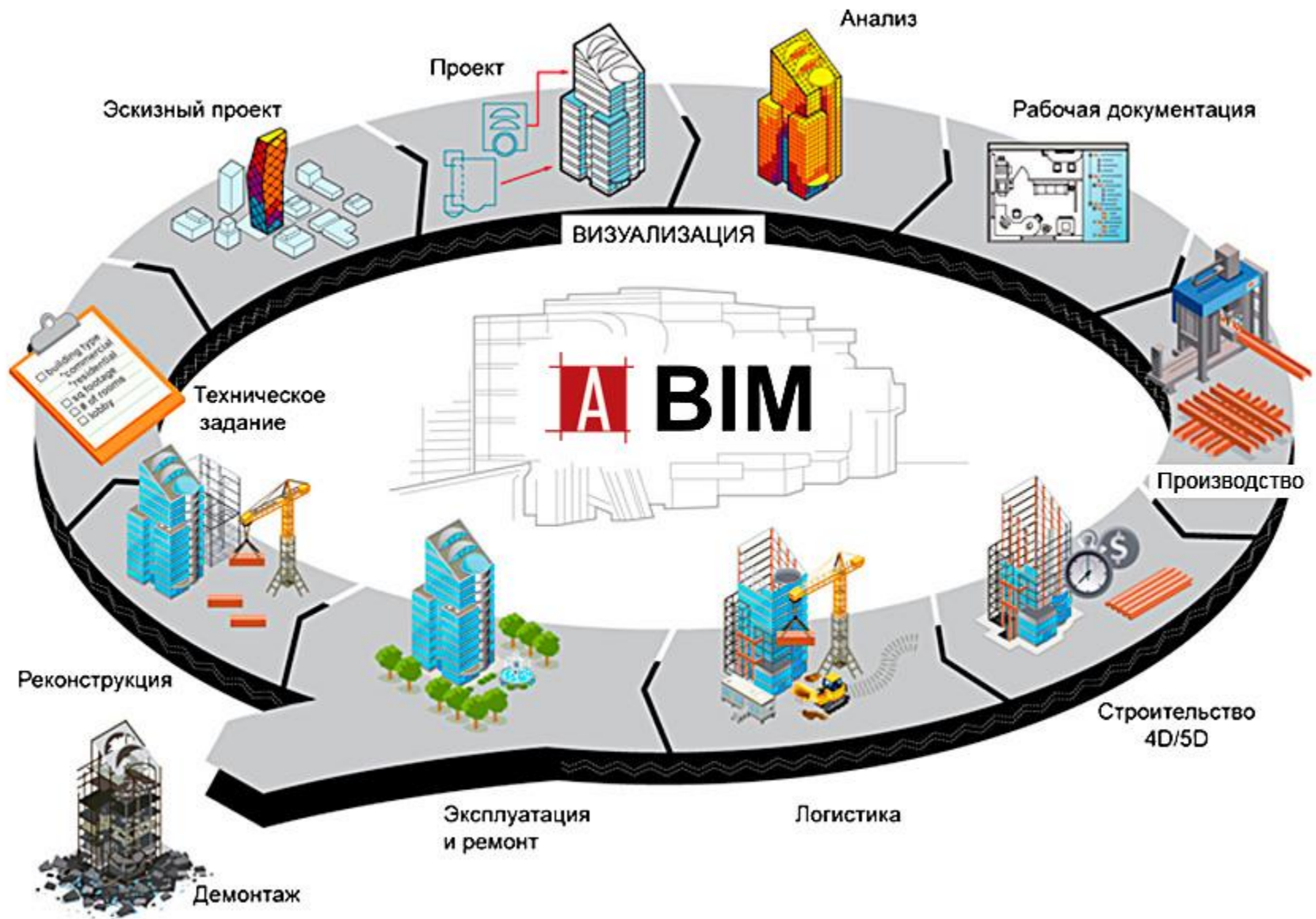


# ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (ВМ)



МИНСТРОЙ  
РОССИИ









Расчетная  
модель



Конструктивная модель  
в специализированном  
ПО



BIM  
(информационное моделирование)

Конструктивная модель  
в BIM



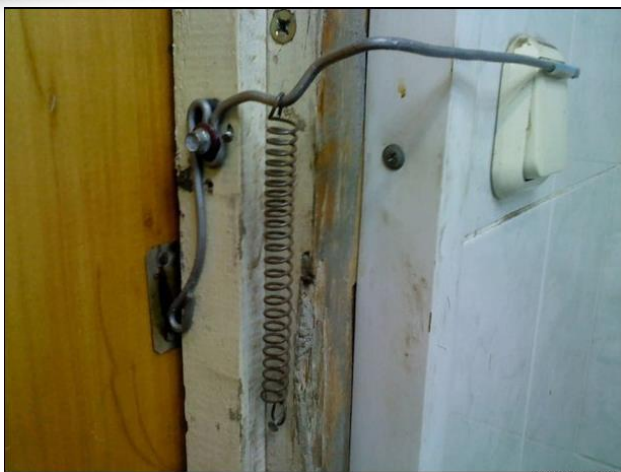
Физическая модель  
(архитектурные компоненты)



## Симптомы «ВИМ/ТИМ болезни»:

1. Повсеместная подмена понятий ВИМ/ТИМ (в лучшем случае - отдельные разделы проекта и/или других стадий жизненного цикла)
2. Судорожная активность растущей «тусовки», генерирующей все новые и забывающей старые обещания красивой жизни
3. Роль государства в развитии и регулировании - под сомнением
4. Кричащее несоответствие реалий и лозунгов/требований, в том числе, министровских
5. Практикующие ВИМ-технологи - «господа иллюстраторы»
6. Проникновение означенного выше в СП и др. нормативы. Не применимые - местами анекдотические - положения
7. Нерешенные и не/плохо решаемые проблемы, например, двусторонней связи «ВИМ-расчетные модели»

**Лечить без РААСН - вряд ли**



8

**«Умные» дом, район,  
город, регион и страна  
в понимании умных  
профессионалов – светлая  
перспектива.**







# Умный дом



Домовая инфраструктура



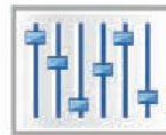
Система безопасности



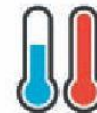
Связь и компьютерная сеть



Развлечения



Система управления



Климат-контроль



Коммуникатор



Экология, уборка  
и вывоз мусора



Умные IT и коммуникации



Умный транспорт



Умная медицина



Умный дом



Умное образование



Умные здания



Умная энергия







9

**Нормотворчество – проблемы и перспективы**



## ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ, ЭКСПЕРТИЗЫ И УТВЕРЖДЕНИЯ СВОДОВ ПРАВИЛ

Блок-схема процедуры проведения работ по разработке, экспертизе и утверждению сводов правил:



**РААСН «выпал»,  
хотя и был ранее**





# Нормотворчество – проблемы и перспективы



1. Отсутствие научно обоснованной концепции разработки СП, ГОСТов и пр. , оргвопросы (ТК 465, ПК...)
2. Минстрой отчитывается количеством разработанных/устраненных нормативов, а не...
3. Укоренившаяся двусмысленность и недоговоренность положений ряда СП. Как одно из следствий - их плохая алгоритмизируемость (к вопросу о цифровизации)
4. Хроническая недоработанность и отсталость ряда СП (например, по сейсмобезопасности, нагрузкам и воздействиям,...)
5. Напротив, в сфере BIM/TIM - пустословие, явная преждевременность
6. Статус и наполнение научно-технического сопровождения (НТС) и спецтехусловий (СТУ) для «уникальщины»
7. «Лоскутное одеяло», «здесь играть - здесь не играть» - возвратно-поступательное движение (например, очередное Постановление Правительства РФ от 04.07.2020 № 985)
8. Нарушение правильной последовательности ФАУ ФЦС «НИР - СП(ГОСТ) - методическое пособие - мониторинг»
9. Экспертная роль РААСН/РАН – было, стало, как «правильно»



10

РААЧН – место во всем вышеперечисленном



## Некоторые соображения и примеры из жизни РААСН

1. Опора на Научные советы (НС) РААСН, кооперация с ВУЗами и «реальным» сектором
2. Опыт и задачи НС «Цифровые технологии в строительстве и архитектуре» (до 2019 г. - «ПТС в строительстве и архитектуре»)
3. Опыт и задачи НС «Техническое регулирование в строительстве»
4. Научно-техническое сопровождение (НТС) на всех стадиях жизненного цикла
5. Взаимодействие с Минстроем России и его структурами (ФАУ ФЦС, ГГЭ,...)
6. РААСН = (ОА+ОГ+ОСН) v (ОА, ОГ, ОСН)? Взаимосвязь и синергия градостроительства, архитектуры и строительных наук - необходима, но сейчас больше декларируема

## НС «ЦТ в строительстве и архитектуре». Опыт и задачи

1. Верификация ПС (с 2007 г.) признана профессиональным сообществом и ГГЭ. Шесть (6) ПС успешно прошли.
  2. Разработаны новые требования к верификации и валидации ПС
  3. Актуальная повестка регулярных заседаний НС
  4. Организация и проведение 8-и международных симпозиумов «Актуальные проблемы компьютерного моделирования...» и конференций «Золотовские чтения», монографии и учебные пособия
- 
1. Формирование адресных запросов разработчикам ПС на реализацию/совершенствование функционала и опций
  2. Организация секций НС под расширенную тематику ЦТ
  3. Участие в разработках нормативов по ЦТ
  4. Ненасильственное привлечение к работе ОА и ОГ



**СПАСИБО  
ЗА ВНИМАНИЕ!**