

**Мониторинг несущих конструкций.
Существующие подходы и их
инженерный анализ**

*Кабанцев О.В.,
к.т.н., МГСУ, профессор
Главный конструктор
«МонолитСтройПроект»*

Мониторинг несущих конструкций. Нормативное обеспечение.

МРДС 02-08

ПОСОБИЕ

по научно-техническому сопровождению и
мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том
числе большепролетных, высотных и уникальных

Москва 2008 г.

Разработано: от Правительства Москвы и Госстроя: ОАО «КТБ ЖБ», ГУП «НИИМосстрой» (головные организации), ФГУП «НИЦ Строительство», ГУП МНИИТЭП, ГОССТРОЙНАДЗОР г. Москвы.

«...Пособие разработано, как методический документ федерального значения, предназначенный для использования участниками строительного процесса в соответствии с положениями закона «О техническом регулировании» для обеспечения надлежащего качества и безопасности строительных объектов за счет применения прогрессивных технических решений, научных методов осуществления мониторинга и решения технических вопросов на всех стадиях строительства....»

Мониторинг несущих конструкций. Нормативное обеспечение.

МРДС 02-08

ПОСОБИЕ по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных

Мониторинг - это систематическое или периодическое слежение (наблюдение) за деформационно-напряжённым состоянием конструкций, или деформациями зданий (или сооружений) в целом, за состоянием грунтов, оснований и подземных вод в зоне строительства, своевременная фиксация и оценка отступлений от проекта, требований нормативных документов, сопоставление результатов прогноза взаимного влияния объекта и окружающей среды с результатами наблюдений с целью оперативного предупреждения или устранения выявленных негативных явлений и процессов. Мониторинг является составной частью НТСС.

Программа мониторинга должна содержать определенный проектировщиком перечень особо ответственных конструкций и узлов; параметры, подлежащие контролю, их расчетные значения; перечень состава работ; выбор системы наблюдений; методы и объемы контрольных операций; необходимое оснащение.

Мониторинг несущих конструкций. Нормативное обеспечение.

МРДС 02-08

ПОСОБИЕ по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных

К особо ответственным узлам и конструкциям следует отнести:

- конструкции либо их элементы, разрушение или недопустимые деформации которых могут привести к снижению безопасности здания и людей, находящихся в нем;
- узлы и конструкции, разрушение или недопустимые деформации которых могут привести к прогрессирующему разрушению конструкций или объекта строительства в целом;
- конструкции, обеспечивающие пространственную жёсткость, неизменяемость и устойчивость сооружения;
- в большепролетных зданиях - это несущие конструкции, перекрывающие главные пролеты и опорные конструкции.

При проведении мониторинга необходимо учитывать работу особо ответственных конструкций и узлов в условиях, не предусмотренных действующими нормами:

- *повышенные нагрузки (особенно в высотном строительстве) на несущие конструкции, возникшие уже в ходе строительства;*
- *воздействие на конструкции природных и техногенных факторов – перепадов температур, ветровых и снеговых нагрузок, вибраций, аварий, пожаров, диверсий (взрывы) и т.д.*

Мониторинг несущих конструкций. Нормативное обеспечение.

МРДС 02-08

ПОСОБИЕ по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных

Задачи, решаемые в ходе мониторинга несущих конструкций

- В ходе мониторинга несущих конструкций должен осуществляться контроль их напряженно-деформационного состояния.
- Сопоставление полученных параметров состояния контролируемых конструкций с нормируемыми параметрами, определенными в проекте, либо нормативных документах.
- Составление заключения о текущем техническом состоянии объекта мониторинга и прогноза по изменению технического состояния на ближайший период.
- Контроль соответствия параметров нагрузок и воздействий на конструкции величинам, принятым при проектировании или указанным в действующих нормативных документах.
- Обеспечение безопасного функционирования несущих конструкций при возведении зданий и сооружений, а также в ходе их эксплуатации, принятие, в случае необходимости, своевременных и адекватных мер по усилению несущих конструкций.

Мониторинг несущих конструкций. Нормативное обеспечение.

МРДС 02-08

ПОСОБИЕ по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных

Состав работ по мониторингу несущих конструкций.

Инструментальный мониторинг конструкций здания базируется на учете нагрузок и измерении деформаций в конструкциях фундаментов и надземной части, с использованием геодезических, сейсмических, вибрационных, акустических и других методов.

В ходе проведения работ по мониторингу следует проводить систематические наблюдения за:

- деформациями отдельных конструкций;
- деформациями отдельных узлов;
- общими деформациями здания.

Мониторинг несущих конструкций. Нормативное обеспечение.

МРДС 02-08

ПОСОБИЕ по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных

Геодезический мониторинг несущих конструкций.

Цели геодезического мониторинга несущих конструкций:

- Определение вертикальных деформаций фундаментов;
- Определение горизонтальных деформаций фундаментов;
- Определение кренов здания (сооружения);
- Определение деформаций ограждения котлована;
- Определение деформаций отдельных конструкций и частей здания (прогибы, смещения).

Мониторинг напряженно-деформированного состояния несущих конструкций.

- Система мониторинга строительных конструкций на базе волоконно-оптических датчиков (получение информации об изменении деформаций контролируемых конструкций; об изменении состояния давления на подошве фундаментной плиты).
- Система мониторинга, основанная на методике динамического зондирования и ранней диагностики деформационного состояния несущих конструкций.
- Система сейсмометрического мониторинга, основанная на измерений соотношения амплитуд собственных частот колебаний здания.

Мониторинг несущих конструкций. Нормативное обеспечение.

МРДС 02-08

ПОСОБИЕ по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных

Результаты мониторинга несущих конструкций.

- Дефектные ведомости;
- Графики изменения деформационного состояния отдельных узлов, элементов и конструкций в целом;
- Акты освидетельствования технического состояния конструкций;
- Заключение о надежности выполненных конструкций и дальнейшей возможности эксплуатации здания;
- Техническое задание (при необходимости) на разработку мероприятий по предупреждению и устранению негативных изменений несущих конструкций и прогноз их влияния на состояние здания в целом;
- Предложения по дальнейшему проведению мониторинга.

Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ.

МРДС 02-08:

«Инструментальный мониторинг конструкций здания базируется **на учете нагрузок и измерениях деформаций** в конструкциях фундаментов и надземной части, с использованием геодезических, сейсмических, вибрационных, акустических и других методов.»

Нагрузки (принимаются в проекте):

- Постоянные – собственный вес конструкций;
- Временные длительно действующие – вес временных перегородок; вес стационарного оборудования; вес изоляции оборудования; вес заполнения оборудования; нагрузки от складироваемых материалов; вес погрузчиков с грузом; вес отложений производственной пыли; нагрузки от деформаций основания; нагрузки от изменения влажности, усадки, ползучести;
- Временные кратковременные – полные нагрузки на перекрытия жилых и общественных зданий; вес людей и ремонтных материалов в зонах обслуживания; полные снеговые нагрузки; полные температурные климатические воздействия; ветровые нагрузки; полные нагрузки от транспорта и т.п.

Эквивалентные равномерно-распределенные нагрузки

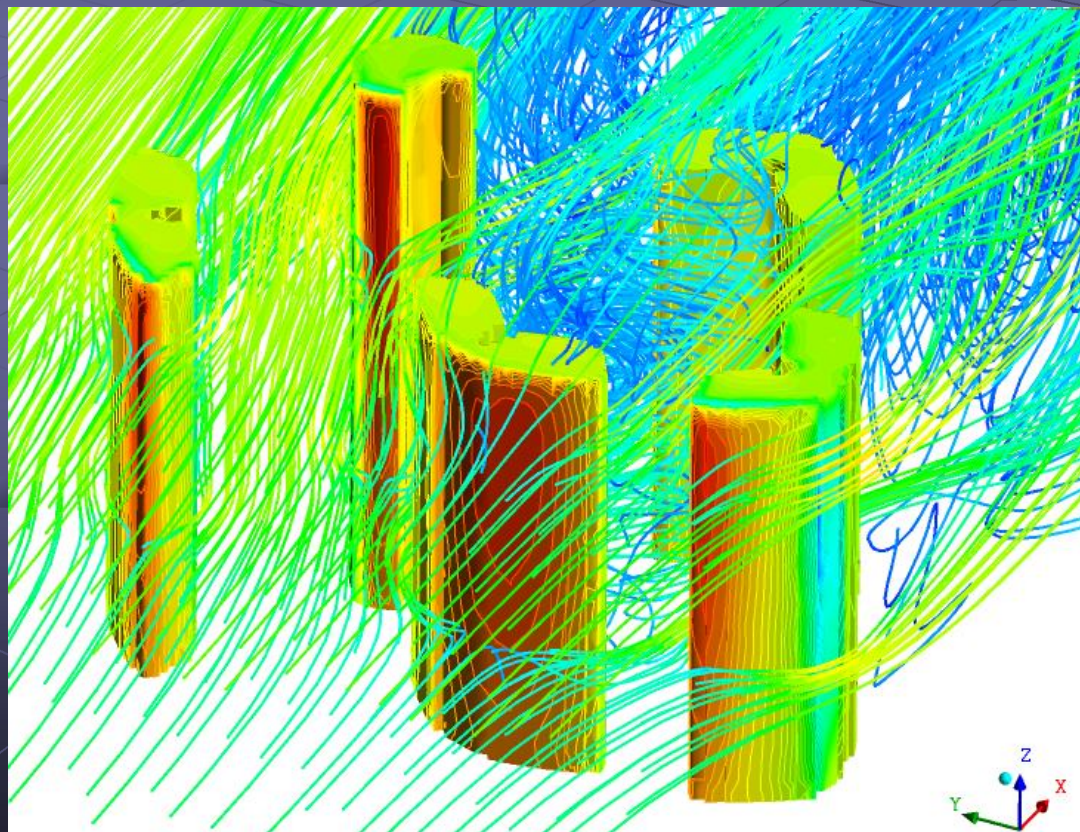
Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ.

МРДС 02-08:

«Инструментальный мониторинг конструкций здания базируется на учете нагрузок и измерении деформаций в конструкциях фундаментов и надземной части, с использованием геодезических, сейсмических, вибрационных, акустических и других методов.»



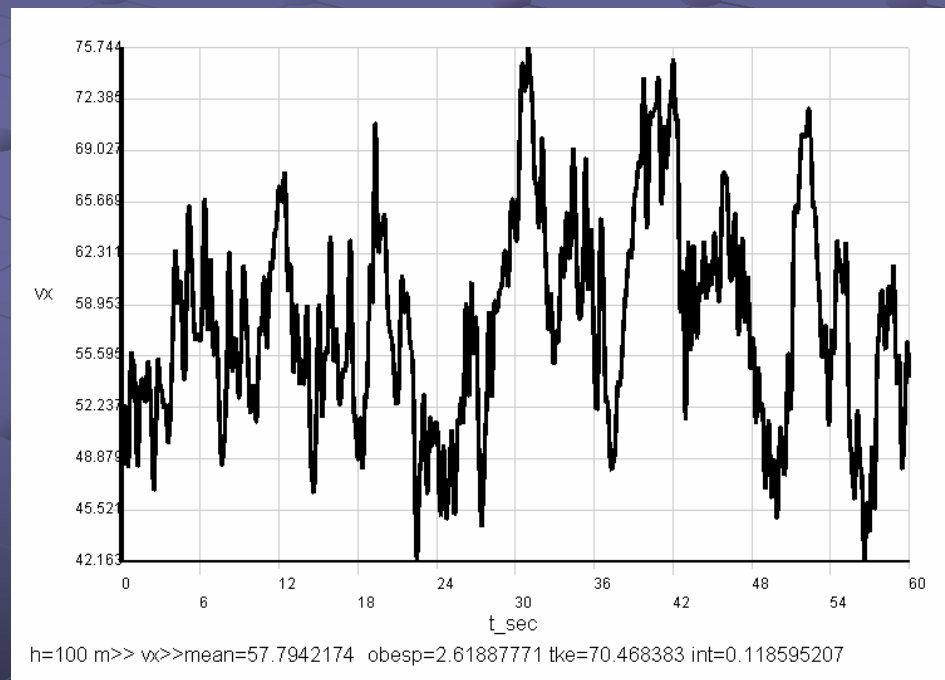
Расчетные линии тока ветра.



Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ.

МРДС 02-08:

«Инструментальный мониторинг конструкций здания базируется на учете нагрузок и измерении деформаций в конструкциях фундаментов и надземной части, с использованием геодезических, сейсмических, вибрационных, акустических и других методов.»

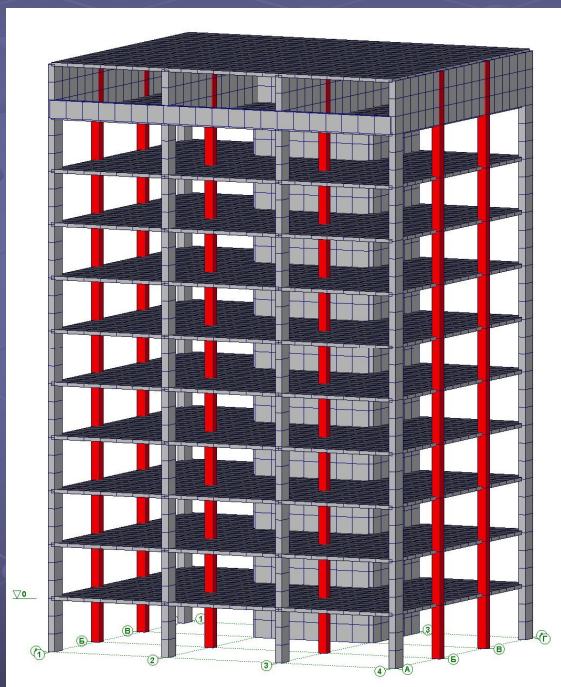


Расчетная генерированная скорость ветра для VI ветрового района (интервал 60 сек).

Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ расчетных методик.

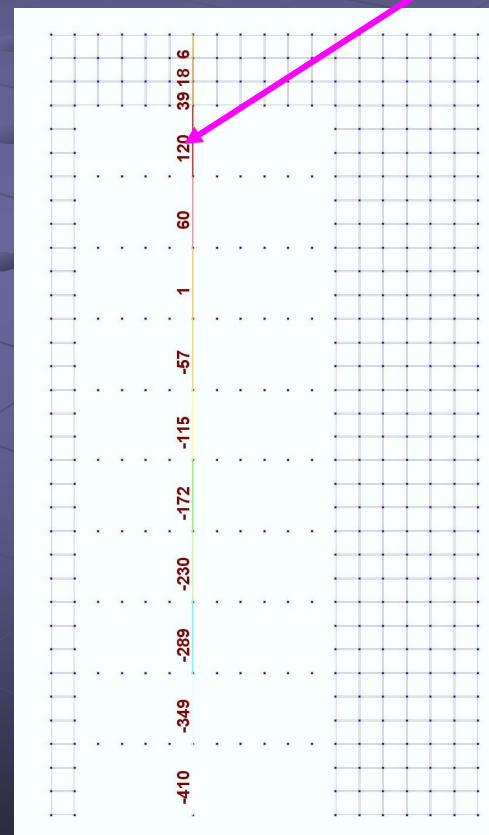
Традиционная методика расчета –
расчет модели с полным набором
элементов проектной длины.

Усилие
растяжения
в колонне
верхнего
яруса 120 т



Общий вид расчетной модели «Test-01».

Перекрытия модели загружены
равномерной распределенной
нагрузкой 15 кПа.



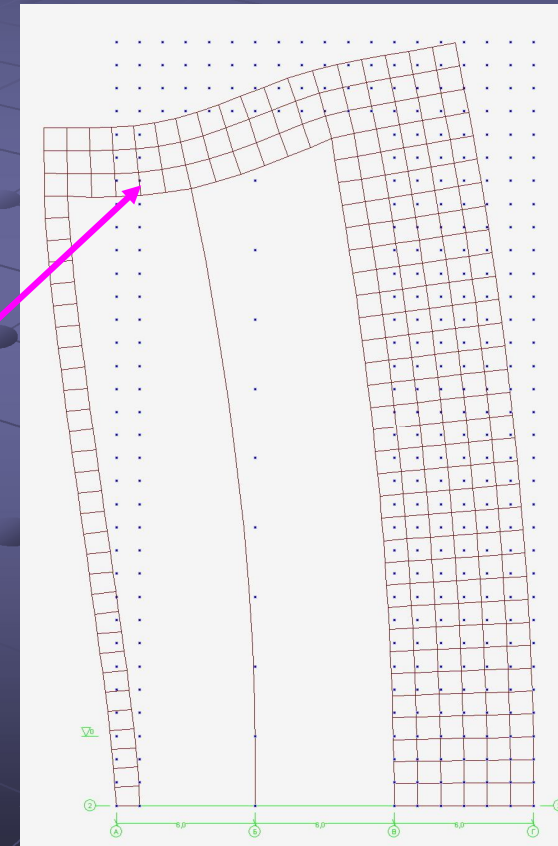
Усилия в колонне по оси «2» расчетной
модели «Test-01».

Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ расчетных методик.

Традиционная методика расчета –
расчет модели с полным набором
элементов проектной длины.

Деформации конструкций под
действием нагрузки, приложенной к
полной расчетной схеме

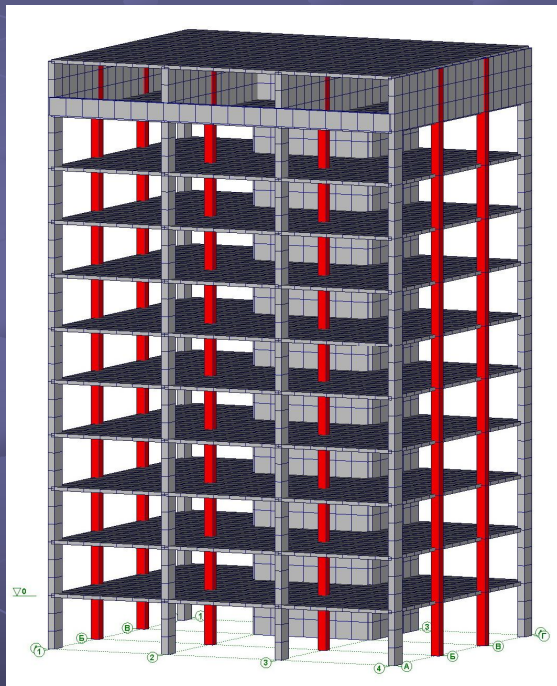
Колонна «ПОДВЕШЕНА» к жесткой
стене верхнего яруса. Результат –
усилие растяжения в колонне.



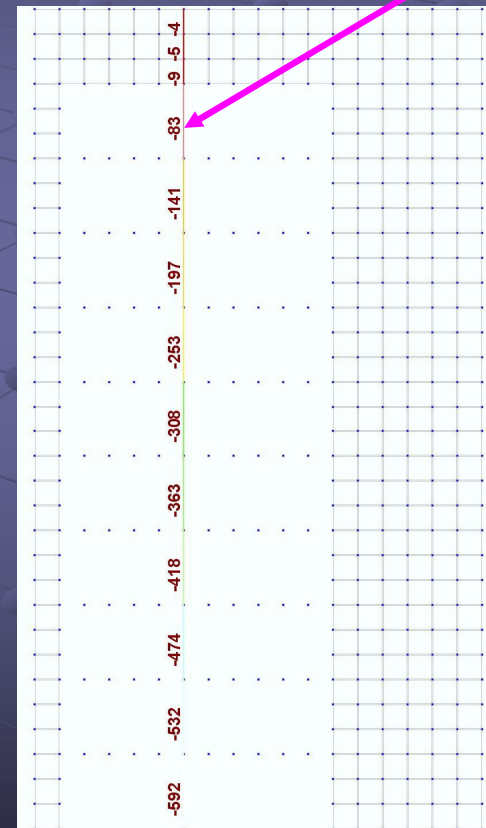
Деформированная схема конструкций по оси
«2» расчетной модели «Test-01».

Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ расчетных методик.

Методика расчета «Монтаж»



Общий вид расчетной модели «Test-01+ Монтаж».
Перекрытия модели загружены равномерной
распределенной нагрузкой 15 кПа.

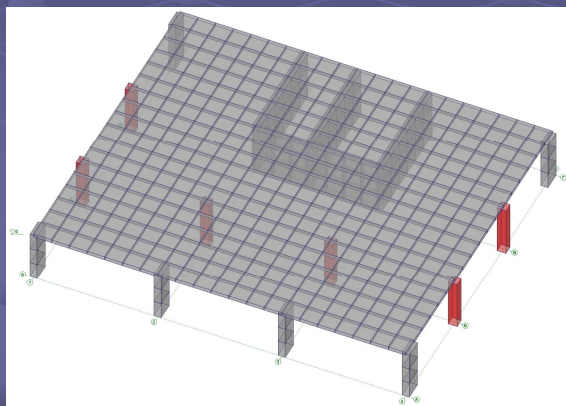


Усилие
сжатия
в колонне
верхнего
яруса 83 т

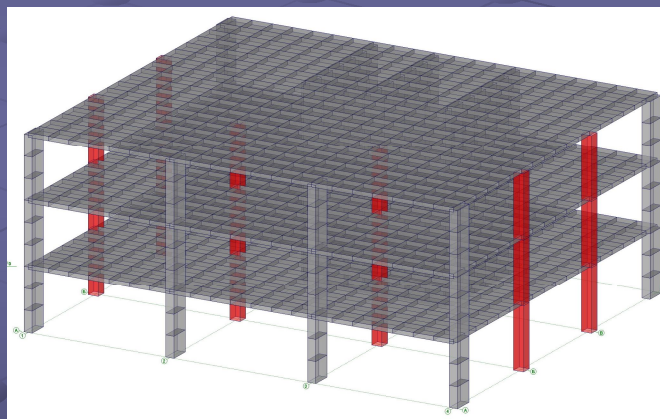
Усилия в колонне по оси «2» расчетной
модели «Test-01+Монтаж».

Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ расчетных методик.

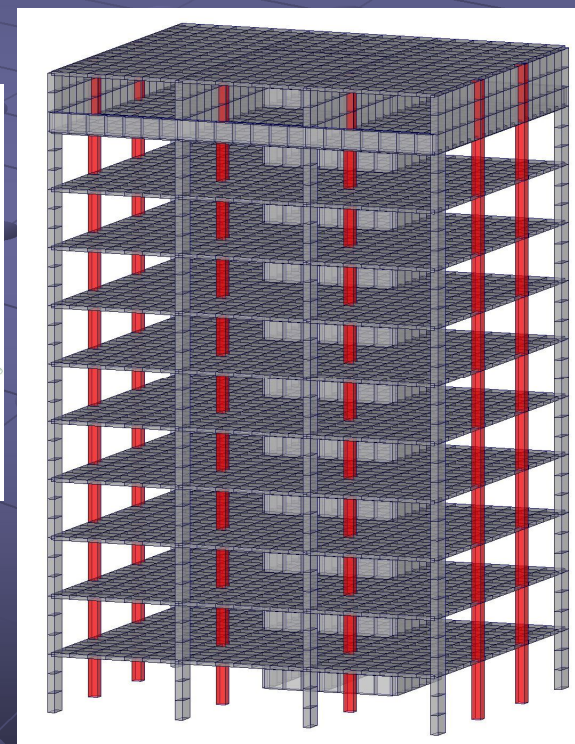
Методика расчета «Монтаж» -
позаэтапное включение элементов в состав деформированной схемы



1 этап расчета модели
«Test-01+Монтаж».



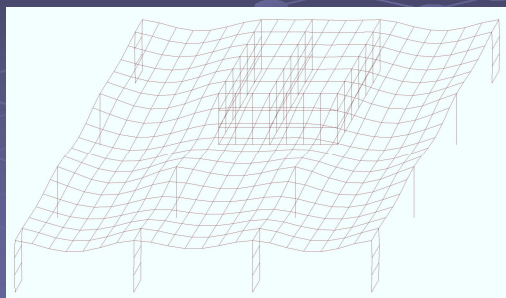
3 этап расчета модели
«Test-01+Монтаж».



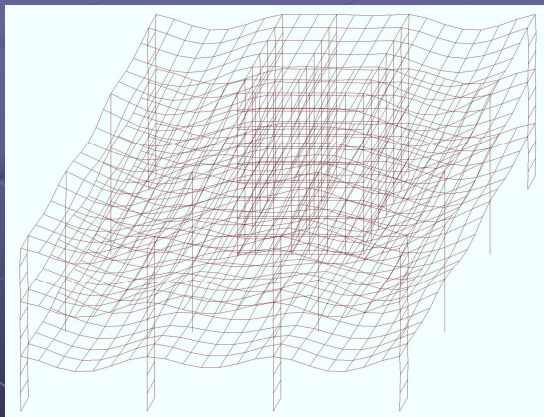
11 этап расчета модели
«Test-01+Монтаж».

Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ расчетных методик.

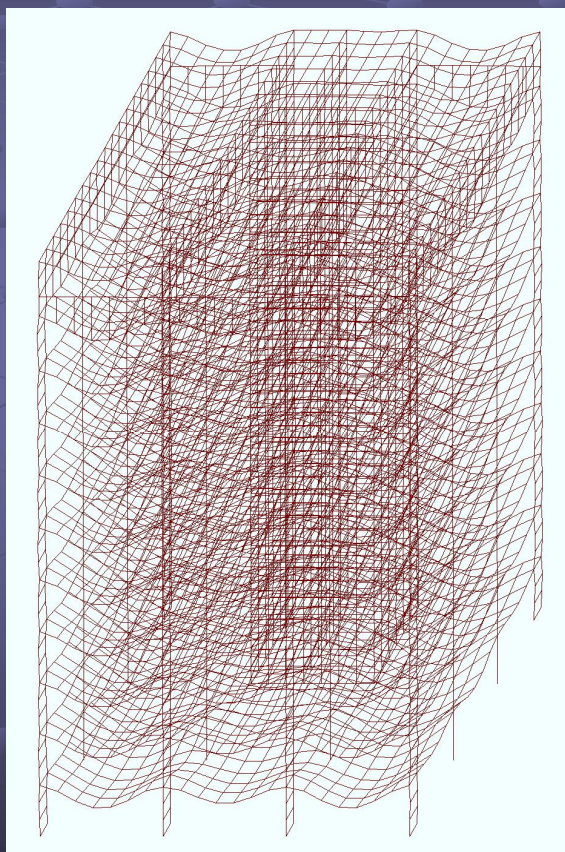
Методика расчета «Монтаж»



Деформации конструкций на 1 этапе расчета модели «Test-01+Монтаж».

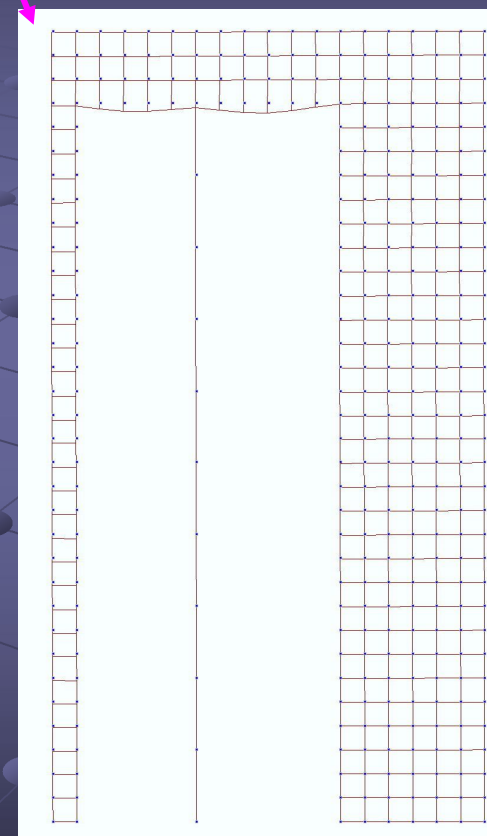


Деформации конструкций на 3 этапе расчета модели «Test-01+Монтаж».



Деформации конструкций на 11 этапе расчета модели «Test-01+Монтаж».

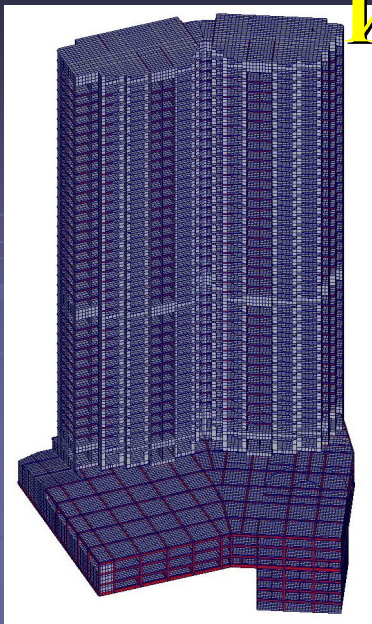
Деформации конструкций нижнего яруса
Компенсированы увеличением длин колонн и
стен на предыдущих этапах «монтажа»



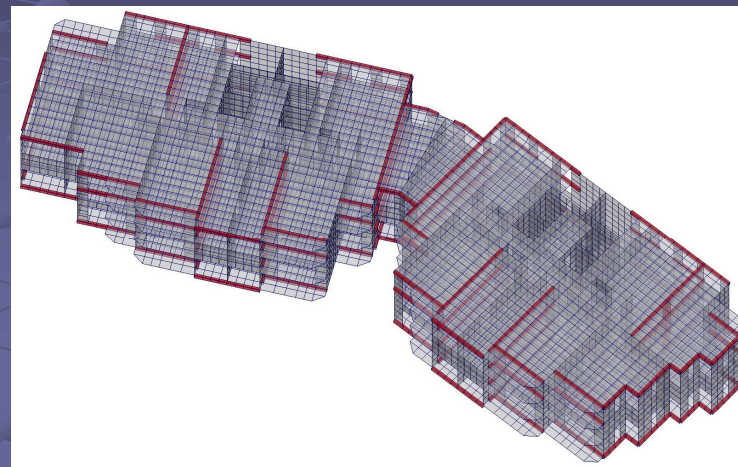
Деформированная схема
Конструкций по оси «2»
на 11 этапе расчета модели
«Test-01+Монтаж».

Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ расчетных методик.

Сопоставление результатов статических расчетов



Общий вид расчетной модели
40 этажного жилого дома.



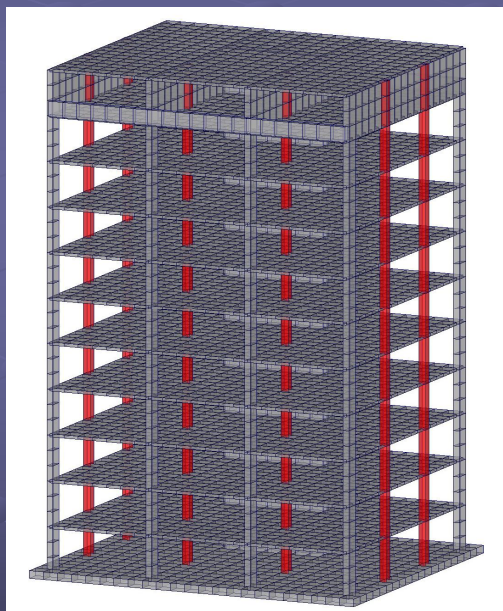
Общий вид расчетной модели типовых и среднего
технического этажей 40 этажного жилого дома.

Усилия в колонне от нагрузок собственного веса (+растяжение; -сжатие), т

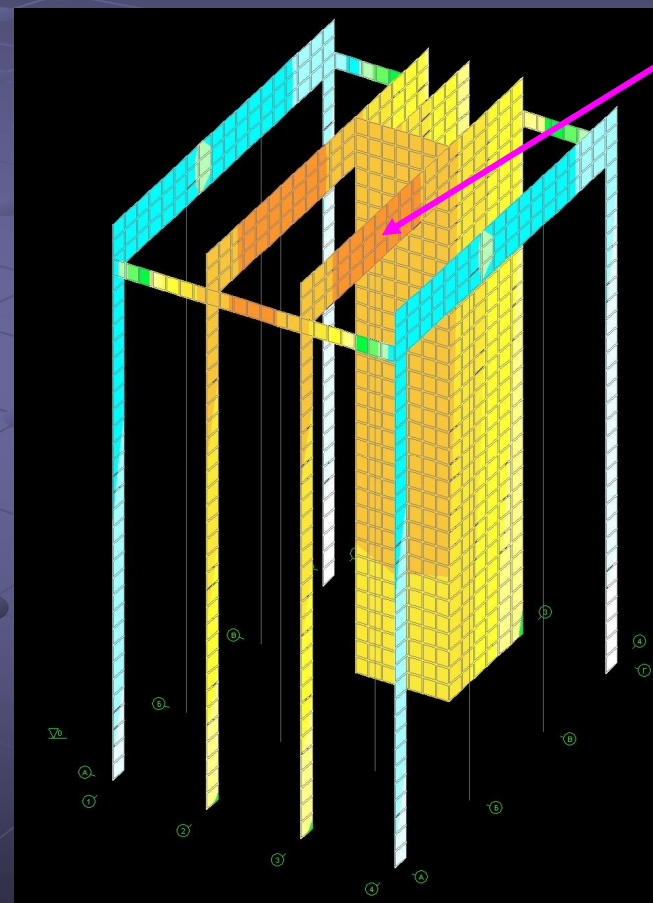
| Методика расчета | Колонна -3 этажа | Колонна 1 этажа | Колонна 15 этажа | Колонна 17 этажа | Колонна 39 этажа |
|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| Традиционная | -260 | -210 | -87 | -187 | +80 |
| «Монтаж» | -300 | -244 | -167 | -276 | -20 |

Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ расчетных методик.

Расчет вертикальных деформаций
Традиционная методика расчета



Общий вид расчетной модели «Test-01
+фундаментная плита». $C1=500\text{т/м}^3$
Перекрытия модели загружены равномерной
распределенной нагрузкой 15 кПа.



Изополя деформаций (по Z)
вертикальных конструкций

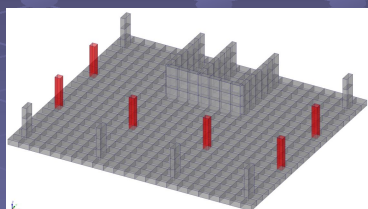
Перемещения Z (...)

| | | | |
|------|-------------------------------------|--------|--------|
| Вкл. | <input checked="" type="checkbox"/> | -69,23 | -66,77 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | -66,77 | -64,32 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | -64,32 | -61,86 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | -61,86 | -59,4 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | -59,4 | -56,95 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | -56,95 | -54,49 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | -54,49 | -52,04 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | -52,04 | -49,58 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | -49,58 | -47,13 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | -47,13 | -44,67 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | -44,67 | -42,22 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | -42,22 | -39,76 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | -39,76 | -37,3 |
| | <input checked="" type="checkbox"/> | -37,3 | -34,85 |

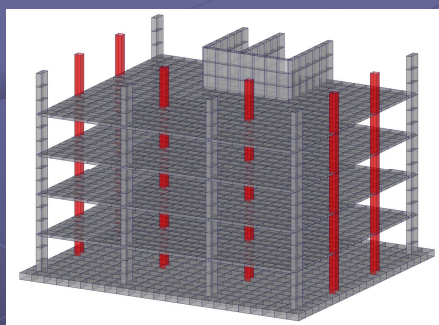
Управление шкалами
Применить Сохранить
Закрыть

Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ расчетных методик.

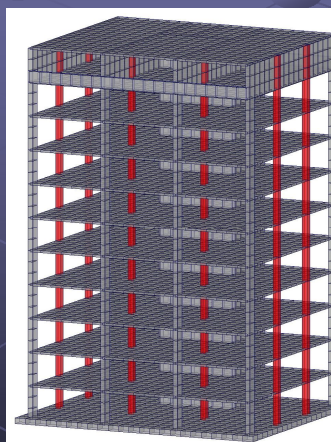
Расчет вертикальных деформаций
Методика расчета «Монтаж»



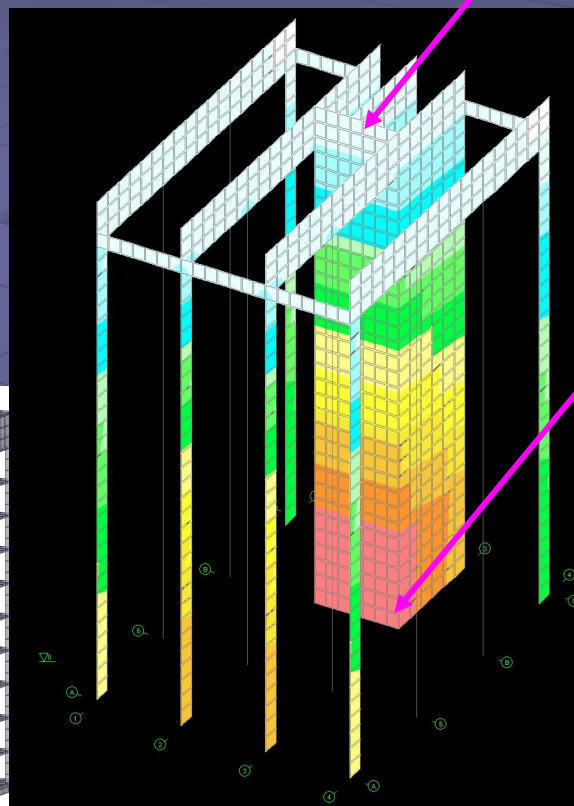
1 этап расчета модели
«Test-01+фунд. плита+Монтаж»
C1=500т/м3.



5 этап расчета модели
«Test-01+фунд. плита+Монтаж».
C1=500т/м3.



12 этап расчета модели
«Test-01+фунд. плита+Монтаж».
C1=500т/м3.



Изополя деформаций (по Z)
вертикальных конструкций

Деформации конструкций
нижнего яруса
компенсированы
увеличением длин
колонн и стен на
предыдущих этапах
«монтаж»

Перемещения Z (...)

Вкл.

| | | |
|-------------------------------------|--------|--------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | -63,11 | -58,67 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -58,67 | -54,23 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -54,23 | -49,8 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -49,8 | -45,36 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -45,36 | -40,92 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -40,92 | -36,48 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -36,48 | -32,05 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -32,05 | -27,61 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -27,61 | -23,17 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -23,17 | -18,73 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -18,73 | -14,3 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -14,3 | -9,86 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -9,86 | -5,42 |
| <input checked="" type="checkbox"/> | -5,42 | -0,98 |

Управление шкалами

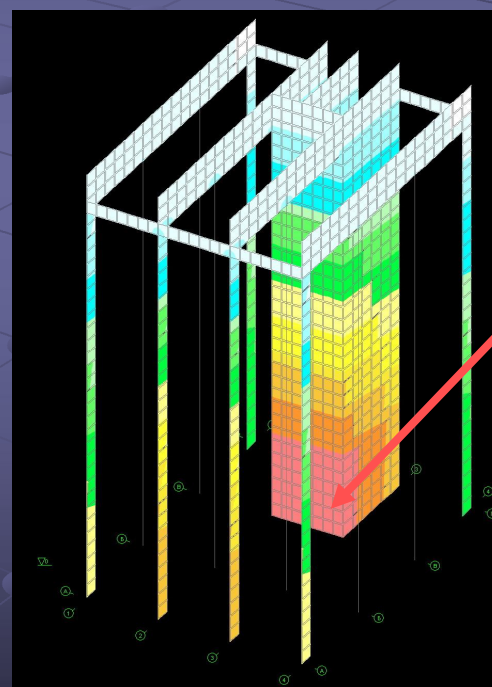
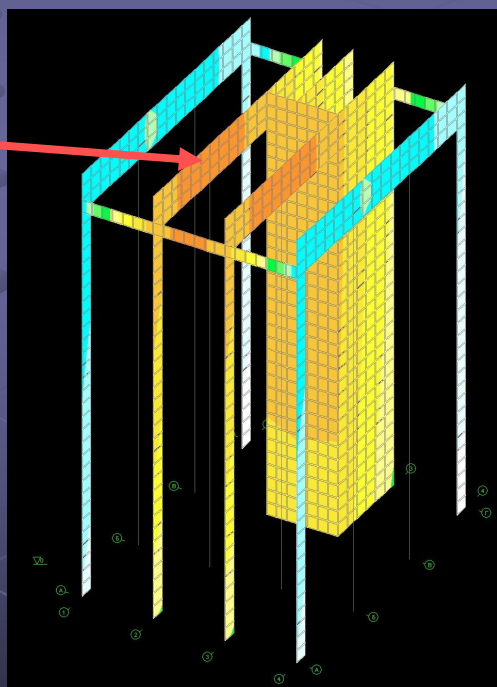
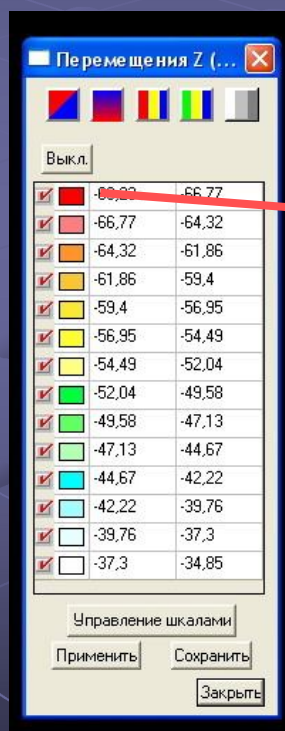
Применить Сохранить

Заккрыть

Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ расчетных методик.

Расчет вертикальных деформаций
Традиционная методика расчета

Расчет вертикальных деформаций
Методика расчета «Монтаж»



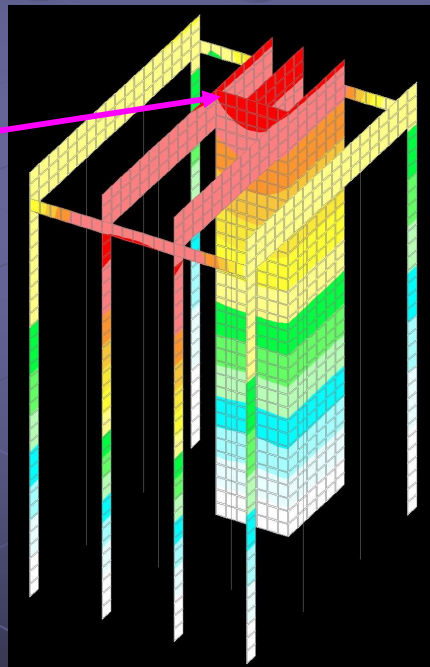
Изополя деформаций (по Z) вертикальных конструкций

Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ расчетных методик.

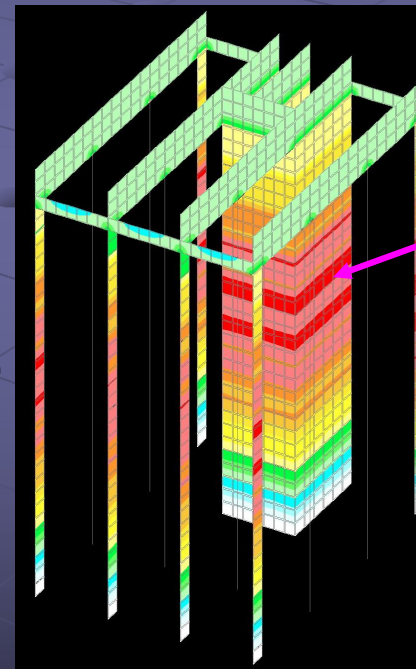
Расчет горизонтальных деформаций

Традиционная методика
расчета

Методика расчета «Монтаж»



Изополя деформаций (по Y) схема вертикальных конструкций по оси «2» расчетной модели «Test-01 + фундаментная плита».



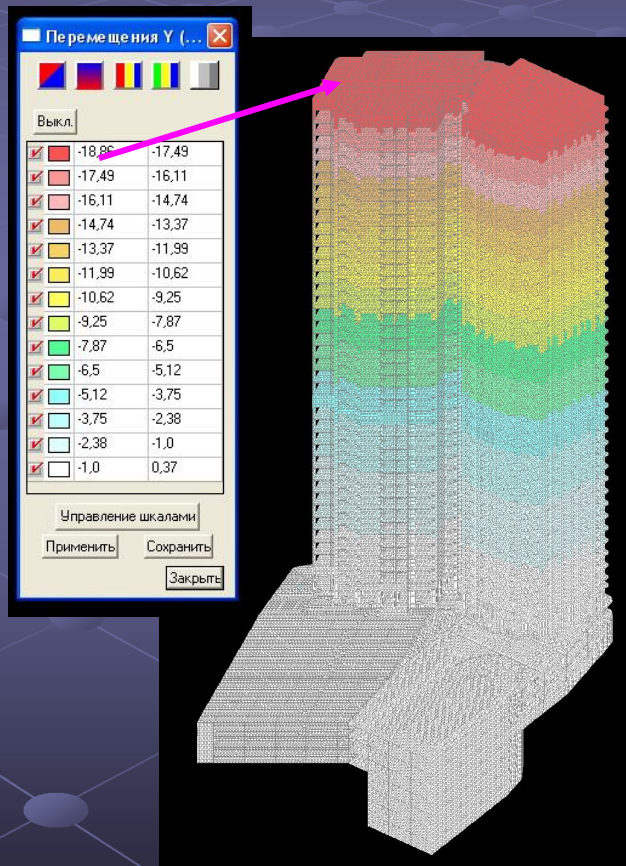
Изополя деформаций (по Y) схема вертикальных конструкций по оси «2» расчетной модели «Test-01 + фундаментная плита + Монтаж».

Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ расчетных методик.

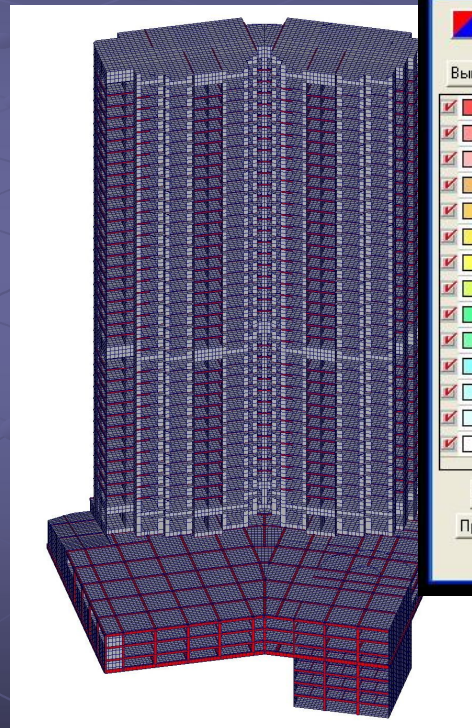
Расчет горизонтальных деформаций

Традиционная методика расчета

Методика расчета «Монтаж»



Изороля деформаций (по y) схема несущих конструкций расчетной модели.



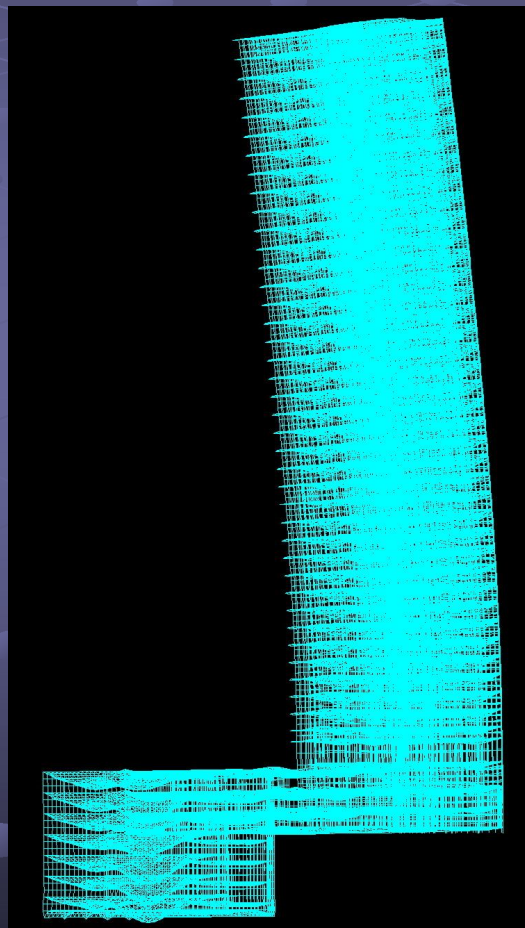
Изороля деформаций (по y) схема несущих конструкций расчетной модели.

Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ расчетных методик.

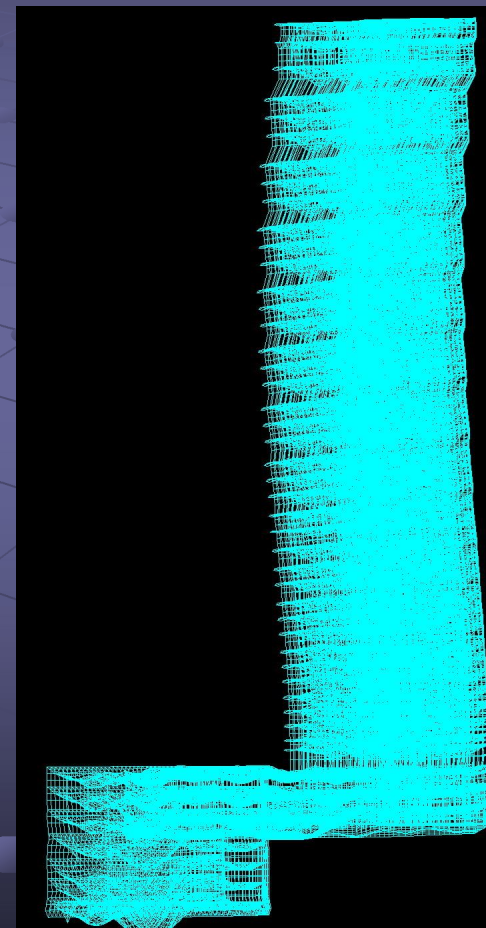
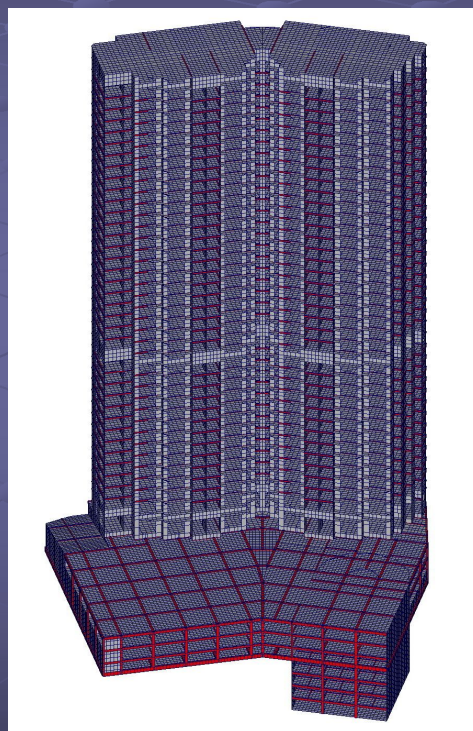
Расчет горизонтальных деформаций

Традиционная методика расчета

Методика расчета «Монтаж»



Деформированная (по y) схема несущих конструкций расчетной модели.



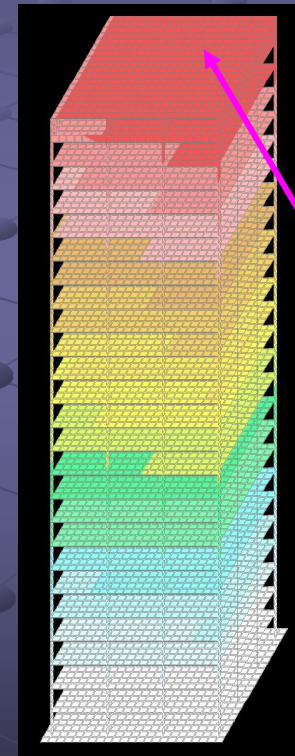
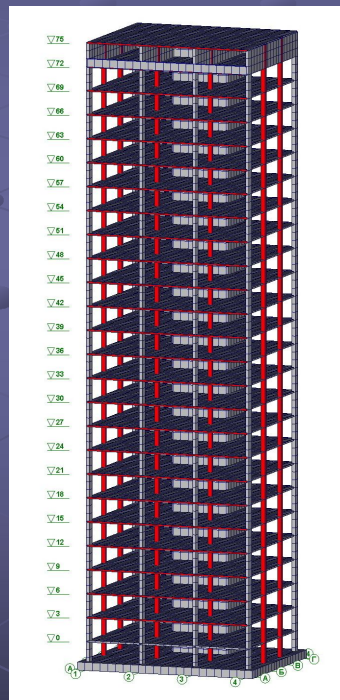
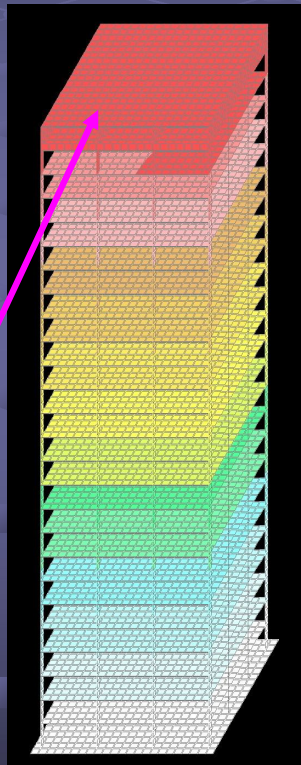
Деформированная (по y) схема несущих конструкций расчетной модели.

Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ расчетных методик.

Расчет на динамические (кратковременные) воздействия

Традиционная методика расчета

Методика расчета «Монтаж»



Изороля деформаций по 1-й форме колебаний ветрового воздействия ($T_1=11,54$ сек); макс. ускорение= $0,0359$ м/сек².

Коэффициенты постели (общие для всех воздействий) $C_1=80$ т/м³; 125 т/м³; 160 т/м³.

Изополя деформаций по 1-й форме колебаний ветрового воздействия ($T_1=5,65$ сек) макс. ускорение= $0,0329$ м/сек².

Коэффициенты постели:

для длительных нагрузок - $C_1=80$ т/м³; 125 т/м³; 160 т/м³.

для динамических воздействий - $C_1=800$ т/м³; 1250 т/м³; 1600 т/м³

Мониторинг несущих конструкций.

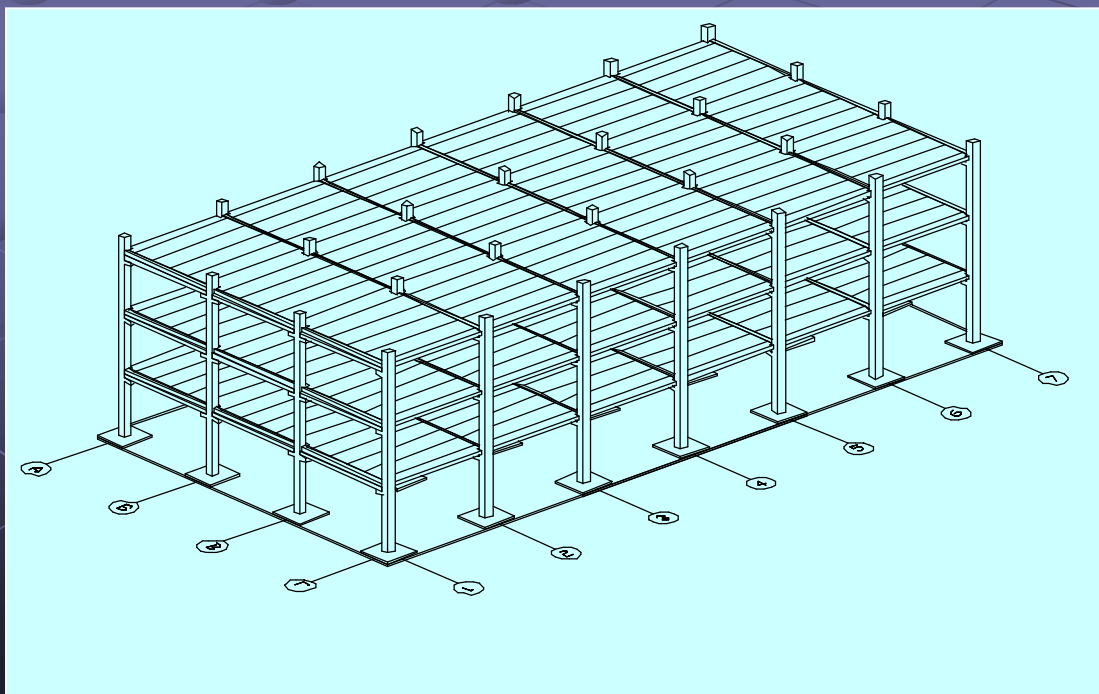
Инженерный анализ экспериментальных методов.

МРДС 02-08:

«Инструментальный мониторинг конструкций здания базируется на учете нагрузок и измерении деформаций в конструкциях фундаментов и надземной части, с использованием геодезических, **сейсмических, вибрационных**, акустических и других методов.»

Изучение влияния неконструктивных элементов на амплитудно-частотные характеристики зданий

Тонких Г.П., Кабанцев О.В., Дорофеев М.Л. «Экспериментальные исследования влияния неконструктивных элементов на периоды собственных колебаний каркасных зданий».



Экспериментальная модель здания с железобетонным каркасом рамной конструктивной схемы.

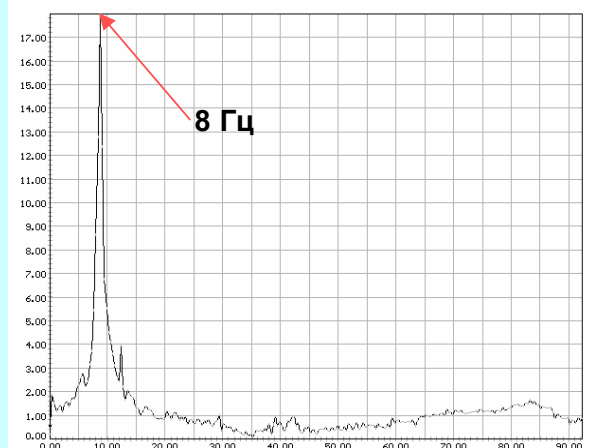
Мониторинг несущих конструкций.

Инженерный анализ экспериментальных методов.

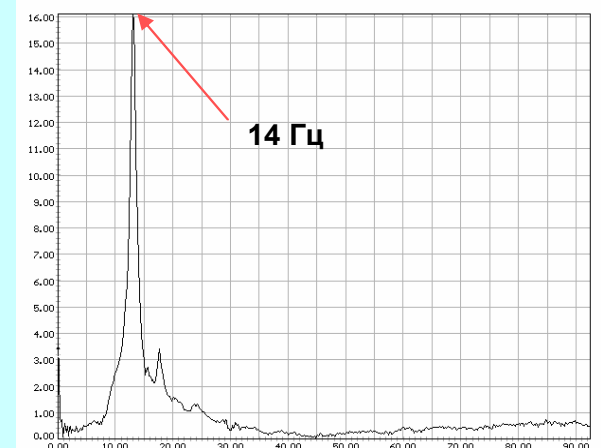
МРДС 02-08:

«Инструментальный мониторинг конструкций здания базируется на учете нагрузок и измерении деформаций в конструкциях фундаментов и надземной части, с использованием геодезических, **сейсмических, вибрационных**, акустических и других методов.»

Изучение влияния неконструктивных элементов на амплитудно-частотные характеристики зданий



Спектр собственных колебаний модели рамной конструктивной схемы в продольном (ненесущем) направлении при отсутствии несущих элементов.



Спектр собственных колебаний модели рамной конструктивной схемы в продольном (ненесущем) направлении при заполнении 1-го этажа модели несущими элементами (перегородками), размещенными в продольном направлении.

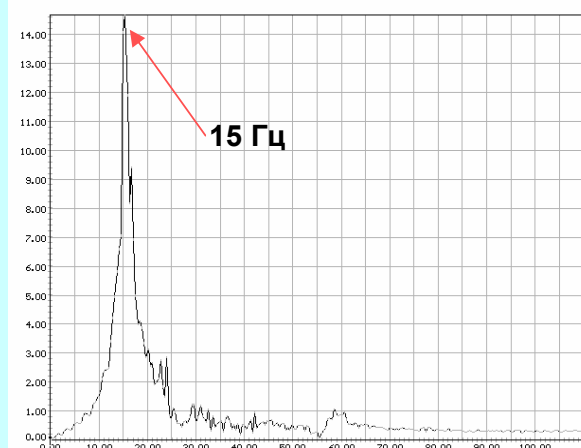
Мониторинг несущих конструкций.

Инженерный анализ экспериментальных методов.

МРДС 02-08:

«Инструментальный мониторинг конструкций здания базируется на учете нагрузок и измерении деформаций в конструкциях фундаментов и надземной части, с использованием геодезических, **сейсмических, вибрационных**, акустических и других методов.»

Изучение влияния неконструктивных элементов на амплитудно-частотные характеристики зданий



Спектр собственных колебаний модели рамной конструктивной схемы в поперечном (несущем) направлении при отсутствии ненесущих элементов.



Спектр собственных колебаний модели рамной конструктивной схемы в поперечном (несущем) направлении при заполнении модели ненесущими элементами (перегородками), размещенными в поперечном направлении.

Мониторинг несущих конструкций.

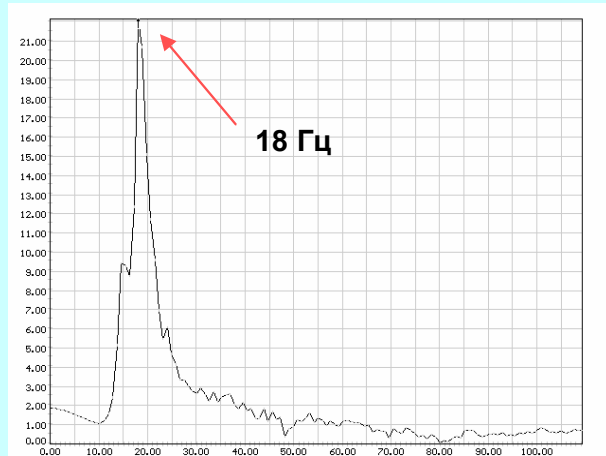
Инженерный анализ экспериментальных методов.

МРДС 02-08:

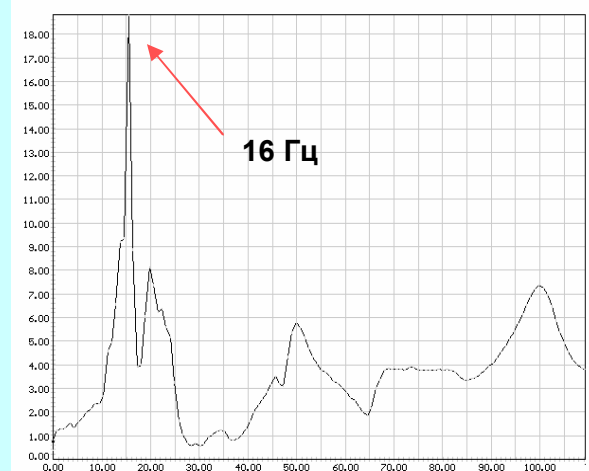
«Инструментальный мониторинг конструкций здания базируется на учете нагрузок и измерении деформаций в конструкциях фундаментов и надземной части, с использованием геодезических, **сейсмических, вибрационных**, акустических и других методов.»

Изучение влияния неконструктивных элементов на амплитудно-частотные характеристики зданий

14 Гц



Спектр собственных колебаний модели рамной конструктивной схемы в продольном (ненесущем) направлении при установке наружных ограждающих конструкций (навесных панелей).



Спектр собственных колебаний модели рамно-связевой конструктивной схемы в продольном (ненесущем) направлении при установке диафрагм жесткости, размещаемых в продольном направлении по двум внутренним осям.

Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ экспериментальных методов.

МРДС 02-08:

«Инструментальный мониторинг конструкций здания базируется на учете нагрузок и измерении деформаций в конструкциях фундаментов и надземной части, с использованием геодезических, сейсмических, вибрационных, акустических и других методов.»



Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ экспериментальных методов.

МРДС 02-08:

«Инструментальный мониторинг конструкций здания базируется на учете нагрузок и измерении деформаций в конструкциях фундаментов и надземной части, с использованием геодезических, **сейсмических, вибрационных**, акустических и других методов.»

«Мониторинг технического состояния несущих конструкций высотного здания»
С.П. Суцев, В.В. Самарин, И.А. Адаменко, В.Н. Сотин

«...Автоматическая сигнальная подсистема мониторинга осуществляет: автоматический в режиме реального времени мониторинг интегральных характеристик напряженно-деформированного состояния несущих конструкций здания ...»

«...Оценка напряжённо-деформированного состояния здания производится экспериментально-расчётным методом. Метод базируется на фундаментальных свойствах конструкции, заключающихся в связи ее жесткости и массы с параметрами собственных и вынужденных колебаний...»

«...При возникновении повреждений отдельных элементов конструкции в них происходит перераспределение внутренних усилий вследствие снижения жёсткости, в результате чего меняется матрица передаточных функций и формы колебаний здания, снижаются собственные частоты и увеличиваются амплитуды колебаний. Анализ этих явлений проводится путем установления взаимосвязи между вынуждающей силой и возникающими колебаниями...»

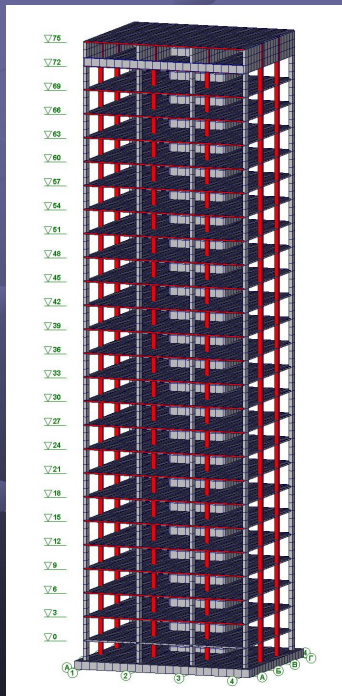
Мониторинг несущих конструкций.

Инженерный анализ экспериментальных методов.

МРДС 02-08:

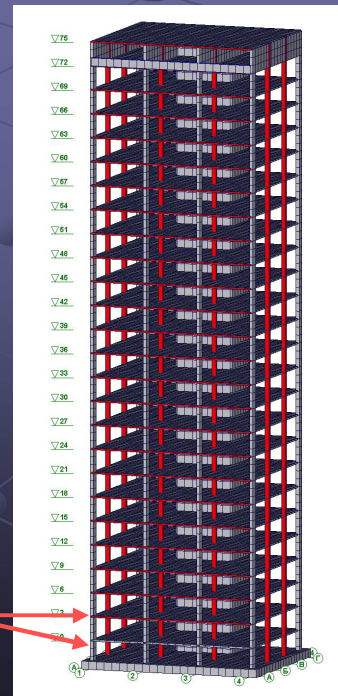
«Инструментальный мониторинг конструкций здания базируется на учете нагрузок и измерении деформаций в конструкциях фундаментов и надземной части, с использованием геодезических, **сейсмических, вибрационных**, акустических и других методов.»

Изучение влияния повреждений несущих элементов на амплитудно-частотные характеристики зданий



1-я форма колебаний
 $T_1=5,65$ сек;
2-я форма колебаний
 $T_1=5,41$ сек;

$$E = 0,1 E_{\text{констр}}$$



1-я форма колебаний
 $T_1=5,69$ сек (100,79%);
2-я форма колебаний
 $T_1=5,41$ сек (100,42%);

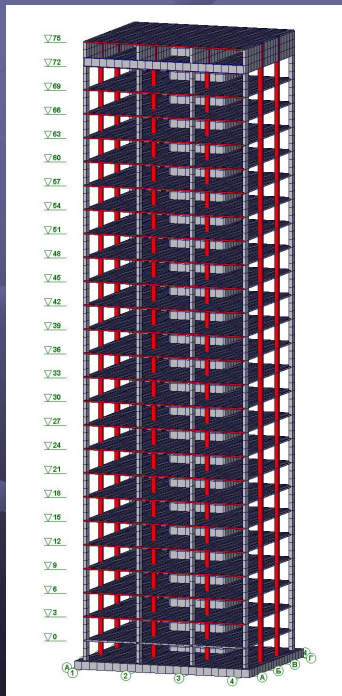
Мониторинг несущих конструкций.

Инженерный анализ экспериментальных методов.

МРДС 02-08:

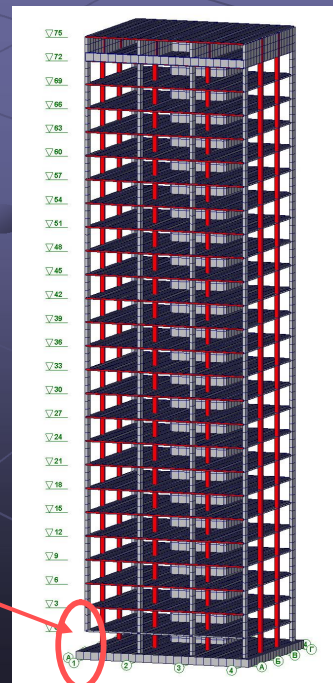
«Инструментальный мониторинг конструкций здания базируется на учете нагрузок и измерении деформаций в конструкциях фундаментов и надземной части, с использованием геодезических, **сейсмических, вибрационных**, акустических и других методов.»

Изучение влияния повреждений несущих элементов на амплитудно-частотные характеристики зданий



1-я форма колебаний
 $T_1=5,65$ сек;
2-я форма колебаний
 $T_1=5,41$ сек;

Удалены
несущие
конструкции!!



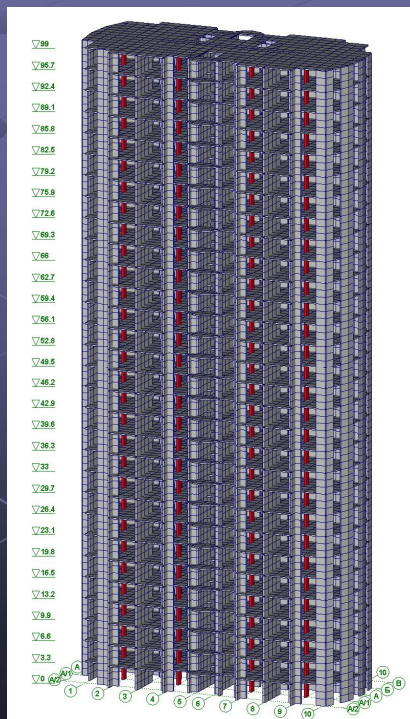
1-я форма колебаний
 $T_1=5,78$ сек (102,37%);
2-я форма колебаний
 $T_1=5,44$ сек (106,40%);

Мониторинг несущих конструкций. Инженерный анализ экспериментальных методов.

МРДС 02-08:

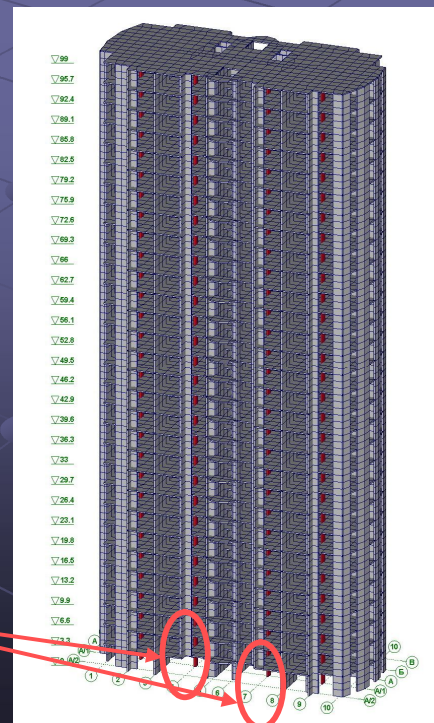
«Инструментальный мониторинг конструкций здания базируется на учете нагрузок и измерении деформаций в конструкциях фундаментов и надземной части, с использованием геодезических, **сейсмических, вибрационных**, акустических и других методов.»

Изучение влияния повреждений несущих элементов на амплитудно-частотные характеристики зданий (30-ти этажный жилой дом в г. Новосибирске)



1-я форма колебаний
 $T_1=2,4478$ сек;
2-я форма колебаний
 $T_1=2,2124$ сек;

Удалены
несущие
конструкции!!



1-я форма колебаний
 $T_1=2,4526$ сек
(100,20%);
2-я форма колебаний
 $T_1=2,2598$ сек
(102,14%);